

**№19
2020**

Механики



веку

**Научное
периодическое
издание**

*Научное периодическое издание по
материалам XIX Всероссийской научно-
технической конференции*

Механики XXI веку

№ 19 2020г.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Рыков С.П. – председатель конференции, д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск;

Огар П.М. - доктор технических наук, профессор кафедры «Машиноведение, механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск;

Попов В.Ю. - кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск;

Слепенко Е.А. - к.т.н., зав. кафедрой «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Рыков С.П. – д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Федоров В.С. - кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

Фигура К.Н. - кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск

Издается с 2004 года. Периодичность 1 номер в год

Журнал зарегистрирован в научной электронной библиотеке Elibrary.ru

Перепечатка материалов из журнала «Механики XXI веку» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала; ссылка на журнал при перепечатке обязательна.

Адрес редакции: 665709, Российская Федерация, Иркутская область, г. Братск, ул. Макаренко, 40, Механический факультет, кафедра «Подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования», тел: 8(3953)325365
e-mail: mechanics@brstu.ru Сайт: <http://www.brstu.ru>

Братск 2020

XIX Всероссийская научно-техническая конференция "МЕХАНИКИ XXI ВЕКУ"

20...22 Мая 2020 г.

**Посвящается 40 – летию организации
Братского государственного университета и
40 – летию Механического факультета**

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

Эксплуатация и ремонт машин и оборудования;
Конструкции, технические и эксплуатационные свойства транспортных средств;
Современные технологии и автоматизация в машиностроении;
Материаловедение, динамика и прочность машин и механизмов.

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», г. Братск, Россия

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Рыков С.П. – председатель конференции, д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск, тел: 8(3953) 32-53-61; **Архипов П.В.** - к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск; **Огар П.М.** - д.т.н., профессор кафедры «Машиноведение, механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск; **Слепенко Е.А.** - к.т.н., зав. кафедрой «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ ВО «БрГУ», г. Братск; **Федоров В.С.** - к.т.н., доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ БрГУ, г. Братск.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Федоров В.С. - к.т.н., доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» БрГУ; **Фигура К.Н.** - к.т.н., доцент кафедры «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» ФГБОУ БрГУ; **Архипов П.В.** - к.т.н., доцент кафедры «Машиностроение и транспорт» ФГБОУ БрГУ.

40 - летию Механического факультета посвящается



специальности АТ и СДМ осуществлен в 1965 году. Далее подготовку студентов по данным специальностям проводили на электромеханическом факультете Братского филиала ИПИ под руководством к.т.н., доцента Льва Дмитриевича Калачева, к.и.н., профессора Клавдии Петровны Петровой, а с октября 1977-го по июль 1980-го - декана электромеханического факультета к.т.н., профессора Михаила Петровича Титова. Он и его



заместители -
доценты
Юрий
Николаевич
Кулаков и
Борис

Васильевич Федоров - проводили большую воспитательную работу. Приходилось уделять много внимания учебной, научной и методической работе. В результате укреплялся кадровый состав кафедр, начали приглашать сотрудников из других вузов страны, сократился отсев обучающихся, улучшилась успеваемость, возросло качество знаний студентов.

В 1980 году Братский филиал ИПИ был преобразован в Братский индустриальный институт, а электромеханический факультет разделен на два факультета: энергетический и механический. Первым деканом мехфака стал назначенный на эту должность к.т.н., профессор Владимир Андреевич Поскребышев. Он возглавлял факультет с 1980 по 1985 годы. Следующие четыре года деканом механического факультета был к.э.н., профессор Михаил Сергеевич Козлов. С 1989 по 2005 годы факультет возглавлял к.т.н., профессор Григорий Васильевич Голованов. Под руководством этих ученых коллектив МФ достиг больших успехов в образовательной и научной деятельности. С 2005 года по настоящее время декан факультета к.т.н., доцент Сергей Алексеевич Зеньков.

Весомый вклад в становление и развитие механического факультета внесли д.т.н., профессора С.В. Белокобыльский, Л.М. Долотов, А.А. Енаев, Л.А.



Ефанов, Д.Ю.Кобзов, Д.В.Лобанов, Л.А Мамаев, П.М. Огар, С.П. Рыков, А.С. Яньюшкин, Н.Н. Яценко., д.э.н., профессор А.А Сапожников, к.т.н., профессора И.М. Ефремов, Н.П. Краснятов, Л.А Рогова, Г.И. Сухоруков, к.т.н., доценты О.П. Бороздин, А.И. Ермаков, И.Д. Ильин, Л.А Калашников, В.А.Коронатов, А.И. Логунов, Л.Н. Мурашова, В.И. Николаев, Л.А Николаев, Г.Н. Плеханов, В.Г. Пятаков, Э.К. Салугин, Ю.Н. Стебеньков, С.О. Сафонов, А.И. Тарасов, В.А Торопов, В.В. Яковлев, Е.П. Ясенков, доценты В.Ф. Бочкарников, Л.М. Гончарова, В.И. Ефремова, Ю.А Кобзов, А.А Кропотов, Г.М. Купехова, З.П. Макарова, З.А Макеева, С.С. Рудя, Л.Г. Семенова, В.В. Шипилов и другие.



Первый коллектив кафедры «Автомобильного транспорта».

В настоящее время факультет объединяет три кафедры: машиностроения и транспорта; машиноведения, механики и инженерной графики; подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин и оборудования.



Коллектив кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование», 2004 г.

На факультете обучается около 250 студентов. За весь период существования нами подготовлено свыше 5000 специалистов, которые успешно работают по специальности в различных регионах страны.



Первое заседание ГЭК кафедры «Технология машиностроения» 1985г.

Основные принципы обучения на факультете базируются на использовании как традиционных, так и новых образовательных технологий, позволяющих обеспечить высокую теоретическую и практическую подготовку специалистов.



Коллектив кафедры «Технология машиностроения», 2010 г.

Кафедры факультета располагают современной лабораторной базой и новейшим программным обеспечением на уровне ведущих вузов страны, что позволяет выпускникам получать практические навыки работы на современном отечественном и зарубежном оборудовании.

С 2000 года осуществляется многоуровневая подготовка: бакалавриат, магистратура, специалитет. Магистратура открыта по трем направлениям и шести магистерским программам (40 % студентов обучается по двухуровневой системе).

В научно-исследовательской деятельности факультета принимают активное участие не только все преподаватели, но и 90% студентов очной формы обучения. Следует отметить, что начиная уже с первого курса обучения студенты участвуют и в реферировании научной литературы, и участвуют во Всероссийских олимпиадах.

Результаты научных исследований преподаватели докладывают на ежегодных научно-технических конференциях, а студенты и магистранты - на ежегодной, ставшей уже традиционной Всероссийской, с международным участием научно-технической конференции «Механики - XXI веку», по результатам которой выпускаются сборники научных трудов, индексируемые в РИНЦ. Поэтому курируемые преподавателями университета при переходе на обучение на следующую ступень – магистратуру студенты уже имеют научный задел, награды и публикации.



Коллектив кафедры «Автомобильного транспорта», 2005 г.

Ежегодно мы участвуем в различных конкурсах: «Ползуновские гранты», «Лучшие товары и услуги Сибири «ГЕММА», конкурсе грантов Президента Российской Федерации для государственной

поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук, грантов Министерства образования и науки РФ. В 2014 году на факультете защищено: 1 диссертация на соискание ученой степени кандидата наук и 1 диссертация на соискание доктора технических наук. Издано 145 научных публикации (из них 8 за рубежом, 22 статей из перечня ВАК, 25 в СМТ), 3 монографии, подано 17 заявок на изобретения, получено 43 патента и 2 свидетельства о регистрации программы ЭВМ. На факультете выполняется научно-исследовательские работы по Государственному заданию Министерства образования и науки РФ с объёмом финансирования 3 миллиона 84 тысяч рублей, а также хозяйственные научные работы на сумму 1 миллион 778 тысяч рублей. Остепененность факультета на конец 2014 го

В научно-исследовательской деятельности факультета принимают активное участие не только преподаватели, но и большинство обучающихся. Основные результаты участия студентов в НИР: 2 заявки на ГРАНТ «УМНИК» и 1 победитель; 7 заявок на конкурс лучшей НИР и 7 наград, дипломов; 36 докладов на 5 конференциях из них 6 докладов без участия сотрудников, 9 заявок на изобретение и 3 патента совместно с сотрудниками; на факультете действуют 7 подразделений для вовлечения студентов в НИР.

В 2015 году работниками факультета издано 108 научных работ (из них 16 статей из перечня ВАК, 7 статей в СМТ, 9 статей в зарубежных изданиях, из которых 5 статей, входящих в базу SCOPUS, а также 75 публикация в сборниках международных и всероссийских конференций и 1 учебное пособие с грифом министерства). Подано 42 заявки на изобретение, получено 30 патентов. Средний индекс Хирша по факультету на конец 2015 года равен 6. На факультете выполняются научно-исследовательские работы по Государственному заданию Министерства образования и науки Российской Федерации с объёмом финансирования 3 миллиона 690 тысяч рублей. Остепененность факультета на конец 2015 года составляет 89,4%. В научно-исследовательской деятельности факультета принимают активное участие не только преподаватели, но и большинство обучающихся.

Основные результаты участия студентов в НИР: 4 заявки на конкурс ВКР 2015г. Министерства образования, 1 заявка на грант Президента РФ 2015, 1 победитель конкурса «УМНИК», дипломы победителей ежегодной региональной олимпиады по материаловедению в ИрГТУ г. Иркутск; 37 докладов на конференциях различного уровня. да составляла 86,5%.



Коллектив кафедры «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование», 2018 г.

В 2016 году на факультете издано 96 научных работ (из них 18 (было 16) статей из перечня ВАК, 10 статей в СМТ, 9 статей в заграничных изданиях, входящих в систему цитирования SCOPUS, а также 36 публикаций в сборниках международных и всероссийских конференций и 1 монография). Получено 4 патента. Средний индекс Хирша по факультету на конец 2016 года равен 9,5. На факультете выполняются научно-исследовательские работы по Государственному заданию Министерства образования и науки Российской Федерации с объемом финансирования 2 миллиона 845 тысяч рублей. Остепененность факультета на конец 2016 года составляет 87,3% (было 89,4%). Основные результаты участия студентов в НИР: 6 заявок на конкурс ВКР 2016г., дипломы участников конференций различного уровня в 2016, дипломы участников ежегодной региональной олимпиады по материаловедению в ИрГТУ г. Иркутск; 36 докладов на конференциях различного уровня.

В 2017 году сотрудниками факультета издано 117 научных работ (из них 38 статей из перечня ВАК, 12 статей в заграничных изданиях, входящих в систему цитирования SCOPUS, 6 статей, индексируемых в базе данных Web of Science.) Издано 37 статей в сборниках международных и всероссийских конференций, а также 3 монографии и 2 учебных пособия. Подано всего 30 заявок на патенты и свидетельства. Средний индекс Хирша по факультету на конец 2017 года равен 10,7. Основные результаты участия студентов в НИР: 5 заявок на конкурс ВКР, подано 2 заявки по программе «УМНИК», получены дипломы участников конференций различного уровня, результаты НИР студентов используются в учебном процессе. По результатам опубликовано всего 37 научных работ на конференциях различного уровня из них 19 без соавторов сотрудников механического факультета.

В 2018 году преподавателями факультета опубликована 91 научная работа (из них 8 статей из перечня ВАК, 11 статей в заграничных изданиях, входящих в систему

цитирования SCOPUS, 12 статей, индексируемых в базе данных Web of Science.), 35 статей в изданиях РИНЦ и 25 публикаций в других системах цитирования. Издано 27 статей в сборниках международных и всероссийских конференций, а также 2 монографии. Подано 5 заявок на объекты промышленной собственности. Получено 12 патентов и 3 свидетельства о государственной регистрации программ ЭВМ. Средний индекс Хирша по факультету на конец 2018 года равен 8,9. Основные результаты участия студентов в НИР: 4 заявки на конкурс ВКР, подано 2 заявки на гранты, 12 патентов и 1 свидетельство о регистрации программы ЭВМ в соавторстве с обучающимися, получены дипломы участников конференций различного уровня, результаты НИР студентов используются в учебном процессе. По результатам опубликовано всего 27 научных работ на конференциях различного уровня из них 9 без соавторов - сотрудников механического факультета. Один студент – победитель регионального конкурса «Студент года» в номинации «Интеллект года».

Не стал исключением и 2019 год. В 2019 году на факультете издано 59 научных работ (из них 11 статей из перечня ВАК, 5 статей в зарубежных изданиях, входящих в систему цитирования SCOPUS, 3 статьи, индексируемая в базе данных Web of Science.), 40 статей в изданиях РИНЦ и 2 публикаций в других системах цитирования. Издано 19 статей в сборниках международных и всероссийских конференций, а также 2 монографии и 3 учебных пособия. Подано 2 заявки на объекты промышленной собственности. Получен 1 патент. Средний индекс Хирша по факультету на конец 2019 года равен 13,83. В научно-исследовательской деятельности факультета принимают активное участие большинство обучающихся. Подготовлен отчет НИР студентов, желающие могут ознакомиться. Основные результаты участия студентов в НИР: 7 заявок на конкурс ВКР (из них 7 отмечены дипломами), 2 диплома в личном зачете на региональной олимпиаде по материаловедению, 1 диплом за участие во Всероссийском инженерном конкурсе "ВИК-2019", г. Симферополь; подана 1 заявка на грант, в соавторстве с обучающимися, получены дипломы участников конференций различного уровня. По результатам опубликовано всего 19 научных работ на конференциях различного уровня (из них 6 без соавторов сотрудников механического факультета).

Обучающиеся отмечены именными стипендиями: 3 Стипендии Президента Российской Федерации по приоритетным направлениям науки и техники; 2 Стипендии Правительства Российской Федерации по приоритетным направлениям науки и техники; 1 Стипендия Губернатора Иркутской области; 3 Стипендии Мэра г. Братска.

Результаты научных работ вызывают интерес предприятий тракторного, авиационного, автомобильного, инструментального машиностроения и других отраслей промышленности. Научные разработки широко используются в учебном процессе. По результатам НИРС организована работа семинаров, конференций, конгрессов, симпозиумов, выставок, включая опубликование собственных научных и учебно-методических работ, а также работ приглашенных авторов-работодателей; наличие совместных публикаций.

Таким образом, участие в научной работе способствует более глубокому закреплению теоретических знаний, получаемых студентами при изучении учебных дисциплин, развивает повышенную требовательность к себе, аккуратность, точность в выполнении заданий и научную активность. Приобщение к будущей профессии приобретает творческий характер и требует углубленного изучения дополнительной научной литературы, проникновения в глубинную сущность изучаемых явлений и процессов.

Сегодня механический факультет проводит обучение студентов по следующим направлениям подготовки: 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» - академический бакалавриат, 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» - академический и прикладной бакалавриат, 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» - академический и прикладной бакалавриат, 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» - специалитет.

Жизнь продолжается. С Юбилеем, механический факультет!

Ученый с мировым именем, организатор и первый руководитель Братского вуза, патриот своего Отечества



Яценко Николай Никанорович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации, лауреат премии Совета Министров СССР, участник Великой Отечественной войны, награжден боевыми орденами и медалями.

Им написано более 200 научных статей и методических разработок, издано 10 монографий в отечественных и зарубежных издательствах, подготовлено 18 кандидатов и 5 докторов наук.

Даты жизни 31 октября 1922 г. – 24 мая 2008 г.

Краткая биография.

Николай Никанорович родился в Полтаве. В 1939 году, семнадцатилетним пареньком, призван в Красную Армию (рядовой, сержант, старший сержант, в годы войны прошёл подготовку на фронтовых курсах младших лейтенантов, далее - командир взвода разведки, командир огневого взвода, командир батареи). А дальше произошёл коренной перелом в его судьбе. В ноябре 1944 года был направлен с передовой в Военную академию бронетанковых войск, в 1949 году окончил 1-й инженерно-танковый факультет и направлен в войска заместителем командира такого полка по технической части, чуть позднее переведён на научно-исследовательский танковый полигон инженером, став затем старшим инженером-испытателем бронетанковой техники и вооружения (г. Кубинка в Подмоскowie).

В 1952 году молодой исследователь принят по конкурсу адъюнктом Академии артиллерийских наук по отделению механическая тяга в артиллерии. После завершения учёбы и проведённых научных изысканий защитил кандидатскую диссертацию (1955 год) и был направлен заместителем начальника ведущего научно-исследовательского и испытательного отдела в созданном при Министерстве обороны НИИИ-21, став затем начальником того же отдела. По результатам испытательных работ им подготовлена и успешно защищена в 1967 году первая в этом Институте докторская диссертация с присуждением учёной степени доктора технических наук по специальности «Колёсные и гусеничные машины». Параллельно с основной работой в НИИИ-21 Н.Н. Яценко вёл преподавательскую работу, получив учёное звание профессора.

В 1969 году вследствие тяжёлой травмы во время испытания военной техники лишился обеих ног и был уволен из рядов Советской армии в звании полковника. После реабилитации Николай Никанорович вернулся к работе ведущим научным сотрудником в том же Институте, где проработал до 1974 года. За эти годы учёным были окончательно отработаны теоретические основы, технология испытаний и доводки автотранспортных средств (АТС) в полигонных условиях, вышли из печати книги «Плавность хода грузовых автомобилей», «Колебания, прочность и форсирование испытания автомобилей», которые переизданы за рубежом, подготовлены к печати новые монографии, получены очередные авторские свидетельства и патенты.

В те годы Николай Никанорович Яценко становится общепризнанным авторитетом в области повышения надёжности специальных автотранспортных средств на основе форсированных и доводочных испытаний: с 1968 года – член научно-технического совета Минавтопрома СССР, с 1970 года – член редакционной коллегии отраслевого научно-технического журнала «Автомобильная промышленность», член высшей экспертной комиссии (ВАК) СССР по присуждению ученых степеней, член ряда специализированных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций, председатель многих государственных аттестационных комиссий по выпуску инженеров-автомобилистов.

Организация и руководство Братским вузом.

В 1974 году Минвуз командировывает Яценко Николая Никаноровича в наш город, чтобы на базе общетехнического факультета Иркутского политехнического института наладить подготовку автомобильных инженеров-механиков для бурно развивающегося Братско - Усть-Илимского территориально-производственного комплекса и начавшегося строительства Байкало-Амурской магистрали.

Его назначают заведующим кафедрой автомобильного транспорта и деканом общетехнического факультета, который он скрупулёзным творческим трудом подготовил с помощью единомышленников для реорганизации в 1975 году в Братский филиал ИПИ, став его директором.

Однако Н.Н.Яценко не был бы тем, кем он был, если бы остановился на достигнутых успехах. Ведя самоотверженную педагогическую работу, читая дисциплину «Автомобили. Теория эксплуатационных свойств», он активно продолжал формировать профессорско-преподавательский состав (приглашал специалистов из других вузов страны), с их участием открывая новые специальности, кафедры и факультеты, одновременно совершенствуя научно-исследовательскую деятельность и наращивая материально-техническую базу филиала и кафедр.

В результате этой масштабной работы цель дружного коллектива во главе с Н.Н.Яценко была достигнута – постановлением Совета министров СССР филиал Иркутского политехнического института преобразуется в Братский индустриальный институт, а Николай Никанорович назначается его первым ректором.

Одновременно продолжается научная работа. В свет выходит (1978 г.) монография «Поглощающая и сглаживающая способность шин» - книга, поставившая точку в затянувшемся на десятилетия споре ученых по многим проблемам этой важнейшей для практики конструирования и эксплуатации АТС области.

И.о. ректора БрИИ Яценко пробыл с января по июль 1980 года.

Продолжение научной и научно-организационной деятельности в Москве.

К сожалению, сказались нагрузки, непосильные даже для физически здорового человека. По требованию врачей Н.Н. Яценко в 1981 г. вынужден был возвратиться в Москву, «для лечения и отдыха». Вместо этого он сразу оказался в гуще событий. Официальные должности: ведущий научный сотрудник НИЦИАМТа, советник Госстандарта Российской Федерации, директор научно-технического центра, заведующий отделом проблем качества и надежности ФГУП «НАМИ», консультант НИИИ-21 МО РФ.

Общественные «нагрузки»: подготовка кандидатов технических наук, научный консультант по докторским диссертациям, работа в специализированных советах по защите диссертаций (НИИИ-21, НАМИ); член редакционной коллегии, затем заместитель главного редактора журнала «Стандарты и качество», член редакционных коллегий журналов «Качество: теория и практика» и «Автомобильная промышленность»; участник подготовки и учреждения Академии проблем качества и член ее президиума; организатор отраслевого отделения («Качество и экологии. Автомобилестроение») этой академии и его первый вице-президент.

Новый вклад в развитие теории и практики автомобилестроения: монографии «Форсированные полигонные испытания автомобилей» (1984 г.), «Колебания автомобиля при торможении» (1989 г.), «Основы полигонных испытаний и сертификация автомобилей»

(1996 г.), а также глава «Энциклопедии машиностроения», посвященная обеспечению надежности автомобильного транспорта, многочисленные публикации в научных журналах.

Николай Никанорович являлся непосредственным научным руководителем исследований, завершившихся успешной защитой 18 кандидатских диссертаций по специальности «Колесные и гусеничные машины» и «Автомобили и тракторы».

Из них: на базе НИИИ-21 МО РФ - 7, на базе НИЦИАМТ: (Автополигон) - 9, на базе БРИИ – 2.

Н. Яценко выступал в качестве научного консультанта при подготовке докторских диссертаций: В.П. Шалдыкина, С.Ф. Безверхова, В.С. Шуплякова, А.А. Енаева, С.П. Рыкова.

Огромные заслуги Николая Никаноровича признаны научной общественностью: сложившаяся вокруг него при жизни научная школа прикладных исследований динамических процессов нагружения автомобильных конструкций, новых – ускоренных – методов оценки надежности агрегатов и систем живет и развивается, включает все новые и новые творческие коллективы.

Результаты его трудов широко и успешно использует практика.

Фронтные и мирные свершения Николая Никаноровича Яценко служили и служат одному делу – укреплению могущества нашей Родины, России.

Статья подготовлена по материалам открытых
источников профессором кафедры МиТ
С.П. Рыковым и главным редактором
газеты «Братский университет»
М.М. Исаковой

Прогиб гидроцилиндра в результате упругого сближения элементов его герметизируемых сопряжений

Кобзов Д.Ю.^{1,a}, Губанов В.Г.^{2,b}, Кобзова И.О.^{1,c}, Кулаков А.Ю.^{1,d}

¹Братский государственный университет, ул. Макренко 40, Братск, Россия

²ООО НТЦ «Гидротранс», Мебельный проезд, 10а, Санкт-Петербург, Россия

^akobzov7159@mail.ru, ^binfo@hydrotrans.ru, ^ckobzovaio@mail.ru, ^dakul333@yandex.ru

Ключевые слова: гидроцилиндр, деформация, напряжения, прогиб, реакция.

В настоящее время широкое распространение на дорожных и строительных машинах (ДСМ) получили гидроцилиндры двустороннего действия с односторонним штоком. В процессе функционального продольно-поперечного нагружения гидроцилиндр деформируется в вертикальной продольной плоскости с образованием у него полного прогиба, являющегося плечом приложения эксплуатационного продольного сжимающего усилия. По мере изнашивания элементов направляющих герметизируемых сопряжений этот прогиб увеличивается, достигая предельных значений и приводя к отказу гидроцилиндра либо вследствие искривления штока, либо из-за увеличения реакций и, соответственно, сил трения и температур в его подвижных герметизируемых сопряжениях. С ростом единичных мощностей ДСМ названные негативные проявления обостряются, снижая надёжность машины в целом. В этих условиях достоверное описание полного прогиба гидроцилиндра позволит уточнить действующие на него эксплуатационные нагрузки. Отсюда, аналитическое описание и количественная оценка прогиба гидроцилиндра в результате упругого сближения элементов направляющих его герметизируемых сопряжений является актуальной задачей.

Введение. Существующие конструкции гидроцилиндров ДСМ двустороннего действия с односторонним штоком содержат корпус с крышками, поршень, шток, направляющую втулку (буксу) и уплотняющие устройства герметизируемых сопряжений.

До приложения продольного сжимающего усилия от действия толкающего усилия на рабочем оборудовании ДСМ гидроцилиндр имеет прогиб, определяемый как сумма прогиба в результате несоосности его основных элементов (штока и гильзы), обусловленного наличием зазоров в его сопряжениях «поршень – гильза» и «шток – направляющая втулка», прогиба в результате наличия возможного начального (технологического) искривления его элементов (штока и корпуса), регламентируемого технологическим допуском на непрямолинейность изготовления длинномерных деталей, а также прогиба от действия поперечных сил – весов этих элементов (Рис. 1).

После приложения продольного сжимающего усилия, то есть при подаче под давлением жидкости в поршневую полость гидроцилиндра, полная его деформация в вертикальной продольной увеличивается (Рис. 2).

При отсутствии заклинивания такое функциональное расположение элементов силового гидроцилиндра под нагрузкой приводит к росту углового перекоса элементов (Рис. 2), увеличению реакций в его подвижных герметизируемых сопряжениях, что значительно ухудшает условия работы элементов этих сопряжений, повышает в них температуру и увеличивает интенсивность изнашивания [1].

По мере изнашивания трущихся поверхностей элементов гидроцилиндра, приводящего опять-таки к увеличению его полной деформации, соответственно, к росту

действующих продольных и поперечных нагрузок, условия функционирования гидроцилиндра ухудшаются с большей интенсивностью, следствием чего является снижение его надёжности и ресурса работоспособности, как по несущей, так и по герметизирующей способностям [1].

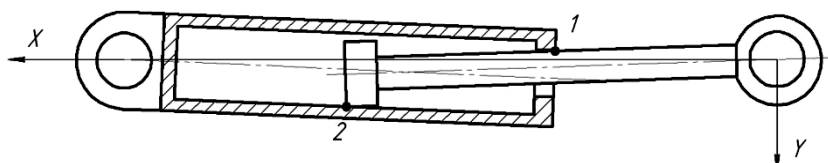


Рис. 1. Схема взаимного расположения элементов сопряжений «шток – направляющая втулка» (точка 1) и «поршень – гильза» (точка 2) до приложения продольного сжимающего усилия.

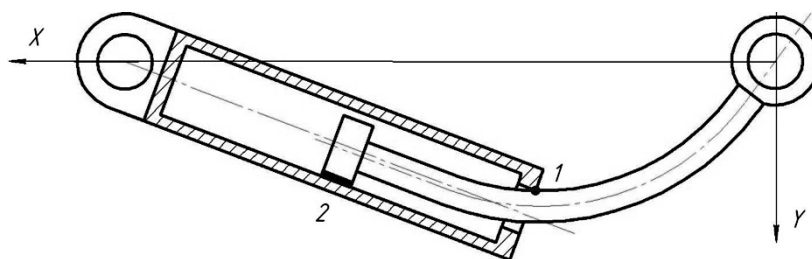


Рис. 2. Схема взаимного расположения элементов сопряжений «шток – направляющая втулка» (точка 1) и «поршень – гильза» (точка 2) гидроцилиндра в процессе его продольно-поперечного нагружения.

Эта деформация гидроцилиндра, будучи плечом приложения продольного сжимающего усилия, приводит к возрастанию изгибающего момента, вызывающего критические напряжения и, соответственно, появление пластической деформации у штока гидроцилиндра (Рис. 3) и последующей потере гидроцилиндром работоспособности в результате заклинивания штока с поршнем в корпусе (гильзе) гидроцилиндра [1].

Кроме этого, угловая несоосность штока и гильзы (корпуса) гидроцилиндра приводит к неравномерному по периметру и ширине износу направляющей втулки и поршня.

Для примера, как следует из материалов работы [1], на начальном этапе эксплуатации наиболее нагруженного гидроцилиндра рукояти экскаватора IV размерной группы угол между штоком и направляющей втулкой в точке 1 (Рис. 1) достигает значения $2,160 \cdot 10^{-3}$ радиан, а угол между поршнем и гильзой в точке 2 составляет $8,55 \cdot 10^{-4}$ радиан. При этом максимальная величина полного прогиба гидроцилиндра в результате его эксплуатационного продольно-поперечного нагружения равна $8,539 \cdot 10^{-3}$ м при собственной начальной деформации его штока $3,532 \cdot 10^{-3}$ м. В дальнейшем в результате эксплуатации вследствие накопления повреждений угол между поршнем и гильзой уменьшается, вплоть до нуля, а в сопряжении «шток – направляющая втулка» увеличивается (Рис. 2).

Очевидно [1, 2], что основной причиной возникновения зазоров и создаваемых ими перекосов длинномерных элементов гидроцилиндра является изнашивание трущихся элементов его подвижных герметизируемых сопряжений, главным образом, его направляющей втулки и поршня, в силу малости ширины их контактной поверхности при значительном пути z трения соответственно по штоку и гильзе.

Исходная информация. Документами, регламентирующими параметры гидроцилиндра, в разные периоды времени и в разных странах были ГОСТ 6540-68, СТ СЭВ 3936-82, ГОСТ 16514-96, а также ISO 2944, 3320, 3322 и 4393, в соответствии с которыми предполагается возможность создания гидроцилиндров по основному и дополнительному рядам (в единицах измерения стандартов) с номинальным давлением $p = (0,63 \dots 63)$ МПа, с ходом поршня (штока) $z = (4 \dots 10000)$ мм, с диаметрами поршня $D_1 = (4 \dots 900)$ мм и штока $D_2 = (4 \dots 900)$ мм, с соотношением площадей давления в поршневой и штоковой полостях ϕ

$= (1,06 \dots 5,26)$; применительно к гидроцилиндрам ДСМ эти параметры лежат в диапазонах: $p = (2,5 \dots 40)$ МПа; $z = (50 \dots 2000)$ мм; $D_2 = (32 \dots 250)$ мм; $\varphi = (1,33 \text{ и } 1,6)$; скорость перемещения штока в этих документах не оговаривается, но лежит в диапазоне $dz/dt = (0,1 \dots 1,0)$ м/с, а, применительно к ДСМ, не превышает 0,5 м/с.

В качестве примера принят один из наиболее нагруженных и наименее надёжных гидроцилиндров ДСМ, получившим распространение в качестве привода рукояти на одноковшовых экскаваторах IV-V размерных групп с параметрами: диаметр поршня (гильзы) $D_{1,3} = 0,14$ м, диаметр штока (направляющей втулки) $D_{2,4} = 0,09$ м, ход штока (поршня) $z = 1,4 \dots 1,5$ м и давление в гидросистеме ДСМ $p = 25$ МПа. Максимальный зазор посадки Н9/d9 в сопряжении «шток – направляющая втулка», составляет 294 мкм, а в сопряжении «поршень – гильза» – 345 мкм.

Задача. Аналитическое описание и количественная оценка прогиба гидроцилиндра в результате упругой деформации и, соответственно, сближения элементов его герметизируемых сопряжений «шток – направляющая втулка» и «поршень – гильза».

Основные положения. С учётом положений работы [1] напряжения сжатия $\sigma_{сж}(x_\sigma)$, возникающие в опасном сечении x_σ штока гидроцилиндра, находящегося в условиях продольно-поперечного нагружения без учёта кинематических особенностей рабочего оборудования конкретной ДСМ аналитически описываются уравнением

$$\sigma_{сж}(x_\sigma) = \frac{P_S}{F(x_\sigma)} + \frac{M_Q(x_\sigma)}{W(x_\sigma)} + \frac{P_S \cdot e(x_\sigma)}{W(x_\sigma)} + \frac{P_S \cdot y_T(x_\sigma)}{W(x_\sigma)}. \quad (1)$$

В нём: первое слагаемое даёт величину нормального напряжения от действия продольного сжимающего усилия P_S , второе – величину наибольших напряжений сжатия, вызванных действием поперечной нагрузки $M_Q(x_\sigma)$ от веса гидроцилиндра, третье и четвёртое – то же, вызванные дополнительным его изгибом при наличии эксцентриситета $e(x_\sigma)$ в его опорах и полного прогиба $y_T(x_\sigma)$, являющихся плечом приложения продольного сжимающего усилия P_S ; $F(x_\sigma)$ и $W(x_\sigma)$ – площадь и момент сопротивления сечения штока, соответственно; x_σ – координата его опасного сечения.

При этом полный прогиб $y_T(x_\sigma)$ гидроцилиндра равен сумме его составляющих

$$y_T(x_\sigma) = y_\alpha(x_\sigma) + y_\beta(x_\sigma) + y_\gamma(x_\sigma) + y_\delta(x_\sigma) + y_P(x_\sigma) + y_Q(x_\sigma) = y_{T0}(x_\sigma) + y_P(x_\sigma). \quad (2)$$

В равенстве (2): $y_T(x_\sigma)$ – полный прогиб гидроцилиндра; $y_\alpha(x_\sigma)$ – его прогиб вследствие выборки технологических зазоров в его подвижных герметизируемых сопряжениях; $y_\beta(x_\sigma)$ – то же в результате возможного начального (технологического) искривления его длинномерных элементов при изготовлении; $y_\gamma(x_\sigma)$ – то же вследствие эксплуатационного искривления его штока; $y_\delta(x_\sigma)$ – то же из-за выборки дополнительных зазоров в результате радиальной деформации под давлением его гильзы (корпуса); $y_P(x_\sigma)$ – то же вследствие его продольного нагружения при наличии вышеперечисленных напряжённых и ненапряжённых деформаций; $y_Q(x_\sigma)$ – то же вследствие поперечного нагружения гидроцилиндра от действия весов его элементов; $y_{T0}(x_\sigma)$ – то же до подачи рабочей жидкости под давлением в полости гидроцилиндра [1].

Согласно положениям работ [3, 4] сближение элементов сопряжения «поршень – гильза» вследствие их упругой деформации, главным образом, за счёт деформации более мягкого поршня по сравнению с гильзой, описывается выражением (3)

$$e_{1-3} = 1,82 \frac{R_2}{l_1} \frac{(1 - \mu_1^2)E_3 + (1 - \mu_3^2)E_1}{E_1E_3} \left(1 - \ln \frac{c}{2} \right). \quad (3)$$

В записи (4) параметры: c – ширина пятна контакта поршня с гильзой по оси x ; D_1 и D_3 – диаметры цилиндрических поверхностей соответственно поршня и гильзы; E_1 и E_3 – модули упругости их материалов, соответственно; R_2 – радиальная нагрузка (реакция), воспринимаемая поршнем шириной l_1 ; μ_1 и μ_3 – коэффициенты Пуассона материалов поршня и гильзы.

Согласно положениям работ [4-6] сближение элементов сопряжения «шток – направляющая втулка» вследствие их упругой деформации, главным образом, за счёт деформации более мягкой направляющей втулки (буксы) по сравнению со штоком, описывается записью (4)

$$e_{2-4} = 1,82 \frac{R_1 (1 - \mu_2^2) E_4 + (1 - \mu_4^2) E_2}{a_1 E_2 E_4} \left(1 - \ln \frac{b}{2} \right). \quad (4)$$

В записи (4) параметры: a_1 и b – длина и ширина пятна контакта направляющей втулки со штоком, соответственно; D_2 и D_4 – диаметры цилиндрических поверхностей соответственно штока и направляющей втулки; E_2 и E_4 – модули упругости их материалов, соответственно; R_1 – радиальная нагрузка (реакция), воспринимаемая втулкой; μ_2 и μ_4 – коэффициенты Пуассона материалов штока и направляющей втулки.

Следствием упругой деформации направляющей втулки и поршня является появление у гидроцилиндра дополнительного прогиба $y_\varepsilon(x)$, который аналитически описывается по аналогии с его прогибом $y_\alpha(x)$ вследствие угловой несоосности длинномерных элементов (штока и гильзы) по причине наличия зазоров в сопряжениях «шток – направляющая втулка» и «поршень – гильза» (Рис. 1) [1].

В этом случае угловая несоосность длинномерных элементов гидроцилиндра характеризуется углом ε_c и описывается выражением (5) [5]

$$\varepsilon_c = \arcsin \left[\frac{L \left(\frac{D_3}{2} + \frac{D_4}{2} + e_{2-4} \right)}{L^2 + \left(\frac{D_1}{2} - e_{1-3} + \frac{D_2}{2} \right)^2} - \frac{\left(\frac{D_1}{2} - e_{1-3} + \frac{D_2}{2} \right) \sqrt{L^2 - \left(\frac{D_3}{2} + \frac{D_4}{2} + e_{2-4} \right)^2 + \left(\frac{D_1}{2} - e_{1-3} + \frac{D_2}{2} \right)^2}}{L^2 + \left(\frac{D_1}{2} - e_{1-3} + \frac{D_2}{2} \right)^2} \right]. \quad (5)$$

В нём L – расстояние между точками 1 и 2 контакта элементов гидроцилиндра по оси x (Рис. 1), равное

$$L = [(l_1 + l_2) - (l_0 + z)]. \quad (6)$$

В записи (6): l_0 – минимальное расстояние по оси x от оси проушины штока до точки 1 контакта штока с направляющей втулкой (Рис. 1); l_1 – ширина поршня; l_2 – полная длина штока; z – его текущее выдвигание, измеренное по оси x .

С учётом вышеизложенного прогиб $y_\varepsilon(x)$ гидроцилиндра (Рис. 3), соответственно, для штока и гильзы аналитически описывается выражениями:

$$y_{\varepsilon ш}(x) = x \sin \varepsilon_{c1} \approx x \varepsilon_{c1}; \quad (7)$$

$$y_{\varepsilon г}(x) = \{[l_3 + (l_0 + z)] - x\} \sin \varepsilon_{c2} \approx \{[l_3 + (l_0 + z)] - x\} \varepsilon_{c2}, \quad (8)$$

где: x – координата исследуемого сечения; ε_{c1} и ε_{c2} – углы, определяемые с достаточной степенью точности [1] посредством совместного разрешения уравнений:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_{c1} + \varepsilon_{c2}; \quad (9)$$

$$\varepsilon_{c1} = \varepsilon_c \frac{[l_3 + (l_0 + z) - (l_1 + l_2)]}{[l_3 + 2(l_0 + z) - (l_1 + l_2)]} \quad (10)$$

и характеризующие соотношение длин гильзы l_3 и выдвинутой из неё части $(l_0 + z)$ штока длиной $(l_1 + l_2)$ (Рис. 3).

Следует отметить, что формулы (9) и (10) справедливы для гидроцилиндров исполнением 1 (а) [7] с креплением на проушинах гильзы и штока. В противном случае, когда речь идёт о гидроцилиндрах исполнением 2 (б) [7], следует прибегать к рекомендациям работ [1].

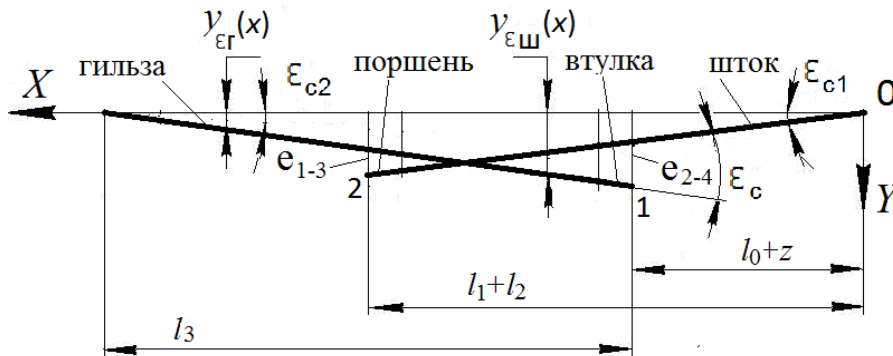


Рис. 3. Расчётная схема для определения прогиба $y_\varepsilon(x)$ гидроцилиндра в результате упругого сближения элементов его сопряжений.

На основании всего вышеизложенного окончательно выражение (2) для описания полного прогиба $y_T(x_\sigma)$ принимает вид

$$y_T(x_\sigma) = y_\alpha(x_\sigma) + y_\beta(x_\sigma) + y_\gamma(x_\sigma) + y_\delta(x_\sigma) + y_\varepsilon(x_\sigma) + y_P(x_\sigma) + y_Q(x_\sigma) = y_{T0}(x_\sigma) + y_P(x_\sigma) \quad (11)$$

Кроме этого, все шесть слагаемых уравнения (13) должны учитываться при расчёте прогиба $y_P(x_\sigma)$ вследствие продольного нагружения гидроцилиндра [8].

Заключение. Как показывают проведённые исследования, учёт прогиба $y_\varepsilon(x)$ при исследовании надёжности и работоспособности гидроцилиндра даёт возможность уточнить значения его прогибов $y_P(x_\sigma)$ и $y_T(x_\sigma)$, а также действующие на гидроцилиндр эксплуатационные нагрузки. Так, величина прогиба $y_P(x_\sigma)$ увеличилась на 10%, а прогиба $y_T(x_\sigma)$ – на 10 ... 15%. На столько же возрастает изгибающий момент $P_S \cdot y_T(x_\sigma)$. Естественно, увеличиваются реакции R_1 и R_2 в подвижных герметизируемых сопряжениях гидроцилиндра, а также напряжения в его несущих длинномерных элементах.

Кроме этого, учёт прогиба $y_\varepsilon(x)$ позволяет с большей степенью достоверности описать характеристики напряжённо-деформированного состояния конструктивных элементов гидроцилиндра, в частности, длинноходовых.

Также надо отметить, что предварительный количественный анализ прогиба $y_\varepsilon(x)$, проведённый согласно данным о возможных параметрах перспективных гидроцилиндров по ГОСТ 6540-68 «Гидроцилиндры и пневмоцилиндры. Ряды основных параметров», показывает, что его роль в их нагрузочном режиме и напряжённо-деформированном состоянии гидроцилиндра повышается с ростом его типоразмера.

Литература

1. Кобзов Д.Ю., Лапшин В.Л., Тарасов В.А., Жмуров В.В. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Часть 3. Несущая способность. // Братск. гос. ун-т. – Братск, 2011. – 88 с., ил., библиогр. 93 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ РАН 27.01.2011, № 27-В2011.
2. Кобзов Д.Ю. О надёжности и работоспособности гидроцилиндров повышенного типоразмера // Вестник Таджикского технического университета. Душанбе, 2012. №4 (20). С. 30-39.
3. Кобзов Д.Ю., Ереско С.П., Кобзова И.О., Лханаг Д., Кулаков А.Ю., Трофимов А.А. О контактном взаимодействии элементов поршневого сопряжения гидроцилиндра // Механики XXI веку. – 2015. - №14. С. 52-57.
4. Заплетохин В.А. Конструирование деталей механических устройств: Справочник. – Л., Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 669 с.
5. Лозовский В.Н. Надёжность гидравлических агрегатов. М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
6. Gerhard Schmausser, Klaus J.Pittner. Zur berechnung schlanrek arbeitszylinder // Ölhydraulik und Pneumatik, Deutschland, 35 (1991), Nr.10. С. 767-775.
7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3-х т. Т.1. Изд. 5-е, перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1980. – 728 с.
8. Кобзов Д.Ю., Жмуров В.В., Кобзова И.О. Варианты расчёта продольного прогиба гидроцилиндра // Системы. Методы. Технологии. – 2011. –№2 (10). С. 45-49.

Deflection of the hydraulic cylinder as a result of elastic convergence of its sealed elements interfaces

Kobzov D.Yu.^{1,a}, Gubanov V.G.^{2,b}, Kobzova I.O.^{1,c}, Kulakov A.Yu.^{1,d}

¹ Bratsk state university, 40 Makarenko st, Bratsk, Russian Federation

²STC «Hydrotrans», 10a Mebelnii proezd, Sankt-Peterburg, Russian Federation

^akobzov7159@mail.ru, ^binfo@hydrotrans.ru, ^ckobzovaio@mail.ru, ^dakul333@yandex.ru

Keywords: hydraulic cylinder, deformation, stress, deflection, reaction.

Currently widespread on road and building construction machines (RBCM) received double-acting hydraulic cylinders with a single rod. In the process of functional longitudinal-transverse loading, the hydraulic cylinder is deformed in the vertical longitudinal plane with the formation of a complete deflection, which is the shoulder of the application of the operational longitudinal compressive force. As the elements of the sealed guide couplings wear out, this deflection increases, reaching the limit values and leading to the failure of the hydraulic cylinder either due to the curvature of the rod or due to an increase in reactions and, consequently, friction forces and temperatures in its movable sealed couplings. With the growth of single power DSM called negative manifestations are exacerbated, reducing the reliability of the machine as a whole. Under these conditions, a reliable description of the complete deflection of the hydraulic cylinder will clarify the operating loads acting on it. Hence, the analytical description and quantitative assessment of the deflection of the hydraulic cylinder as a result of the elastic convergence of the elements of its guide sealed mates is an urgent problem.

Анализ состояния вопроса в области повышения долговечности рабочих органов асфальтосмесителей

Романович А.А.^{1,a}, Дядин М.О.^{1,b}

¹Белгородский государственный университет им. В.Г.Шухова, ул. Костюкова, 46, Белгород, Россия.

^aalexejrom@yandex.ru, ^bdyadin_maks@mail.ru

Ключевые слова: лопатка, асфальтосмеситель, износостойкость, повышение долговечности, наплавка, интенсивный износ.

На сегодняшний день, является актуальной задача, связанная с повышением долговечности и надежности рабочих органов двухвальных смесителей входящих в состав асфальтобетонных заводов. Перемешиваемый материал в смесительной установке, является абразивной средой, при взаимодействии с которой происходит изнашивание рабочих органов агрегата. Интенсивный износ лопаток смесителя, способствует увеличению радиального зазора между кромкой лопатки и стенкой смесителя, что приводит к ухудшению качества асфальтобетонной смеси. Одним из перспективных, на сегодняшний день, направлений повышения износостойкости рабочих органов и долговечности асфальтосмесителя, является применение технологии твердой наплавки.

Введение. На сегодняшний день, в дорожном строительстве, для производства асфальтобетонных, битумоминеральных смесей широко применяются двухвальные смесители. Наиболее уязвимым элементом конструкции которых являются лопатки, воспринимающие основные механические нагрузки в процессе приготовления абразивных асфальтобетонных и битумоминеральных смесей.

Состояние вопроса. Срок службы лопаток асфальтосмесителей, составляет менее двух месяцев, тогда как другие детали смесителей приходится менять в три раза реже, что снижает технико-экономические показатели производства [1-2]. Интенсивный износ лопаток (рис.1.) способствует увеличению радиального зазора между кромкой лопатки и стенкой смесителя, что приводит к ухудшению качества приготовляемой смеси, поскольку слой перемешанной смеси остается на днище смесителя. Согласно исследованиям Попова С.Н. наиболее интенсивное разрушение рабочей кромки лопатки происходит в результате заклинивания и дробления каменных материалов, когда $h_{\min} < \delta < h_{\max}$. Дробление материала произойдет лишь в том случае, когда задняя грань частицы $h_{\max}$ намного больше величины радиального зазора. Если $h_{\max}$ незначительно превышает δ , а создаваемое давление в зоне контакта не превышает предел прочности каменного материала, происходит внедрение частицы в поверхность на глубину $\Delta h = h_{\max} - \delta$ последующим деформированием металла (образование канавки)

Проведенный анализ патентной и научно-технической литературы позволил установить существующие методы повышения износостойкости рабочих органов асфальтосмесителей. Повышение долговечности и срока службы рабочих органов машин на сегодняшний день в основном достигается следующими способами: выбором соответствующего износостойкого материала, термической или химико-термической обработкой поверхности рабочих органов, нанесением функционального покрытия и другими.

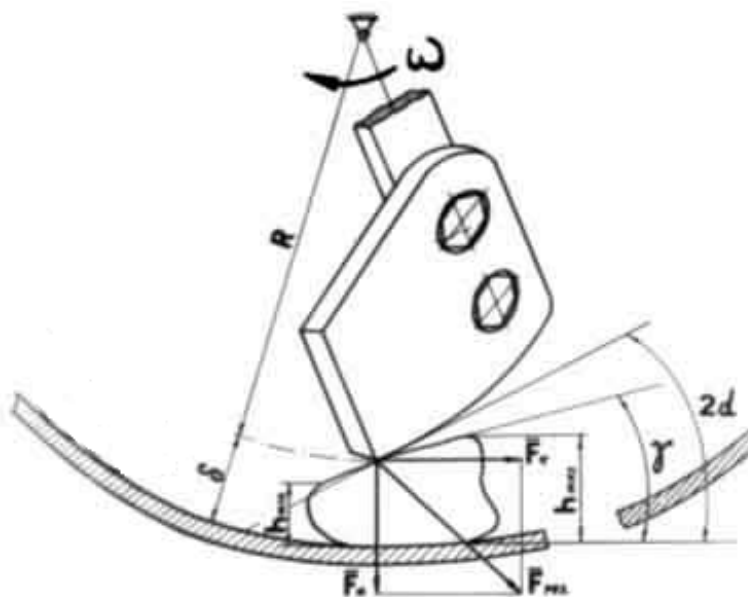


Рис.1.Схема взаимодействия абразивной частицы с лопаткой асфальтосмесителя в зоне радиального зазора

Анализ выбора методики повышения долговечности рабочих органов асфальтосмесителя. Для выбора эффективного метода повышения долговечности и износостойкости лопаток асфальтосмесителя, необходимо принять во внимание характеристику изнашивающей среды, структуру, состав и свойства изнашиваемого материала. Без учета данных параметров подобрать конкретный метод защиты от износа не представится возможным.

Проведенный анализ способа повышения износостойкости и долговечности лопаток асфальтосмесителя методом термической и химико-термической обработки позволил выявить, что его недостатком, является чрезмерно высокая стоимость обработки, высокое потребление электроэнергии, небольшая толщина упрочняемого слоя (0,1-0,5 мм). В связи с этим, повышение износостойкости лопаток асфальтосмесителя данным методом является не целесообразным.

В настоящее время, одним из приоритетных направлений при конструировании лопаток смесителей является создание быстросъемных лопаток либо создание лопаток со съемными изнашивающимися элементами. Недостатком лопаток смесителей, считается то, что их часто можно заменять только целиком. Замена износостойкого покрытия или твердой поверхностной наплавки, как правило, весьма трудоемка и не может производиться в смонтированном состоянии. Поэтому для восстановления лопаток смесителя их необходимо полностью демонтировать. Так, например, согласно технического решения (рис.2.) лопасть смесителя (1) имеет съемный изнашивающийся элемент (6), а технический результат достигается возможностью замены изнашивающихся элементов (6), которые действительно подвержены интенсивному износу (наконечник, концевая часть лопасти, передняя кромка лопасти)[3]. Данная конструктивная возможность, позволяет сократить время операции, направленное на демонтаж и ремонт износившихся частей лопатки смесителя, но не позволяет решить вопрос повышения ее износостойкости.

Одним из перспективных направлений повышения износостойкости рабочих органов и долговечности асфальтосмесителя, является применение технологии твердой наплавки. Основными преимуществами данного метода является:

- возможность нанесения покрытия толщиной более 1 мм, что позволит, при форсированном режиме работы асфальтосмесителя, увеличить износ лопатки;
- возможность многократного проведения процесса и высокая ремонтпригодность наплавленных деталей.

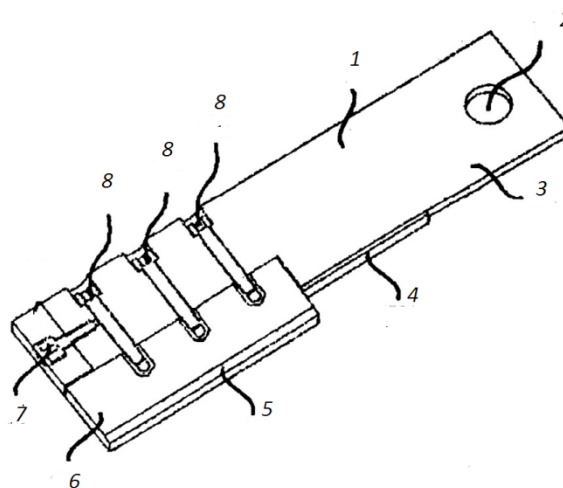


Рис.2. Конструкция лопатки

1- лопасть; 2-отверстие;3-основа; 4-несъемный защитный элемент; 5-скос; 6-изнашивающийся элемент;7-крепление; 8-винты

Согласно классификации Международного института сварки, применение наплавки из износостойких хромистых сталей системы Fe-C-Cr-Mn-Si-W-Mo с повышенным содержанием углерода, является одним из весьма эффективных способов повышения сопротивления абразивному изнашиванию рабочих поверхностей лопаток смесителя [2,4]. Высокая износостойкость достигается многослойной наплавкой с карбидным упрочнением. В настоящее время, практическими исследованиями доказано, что для повышения износостойкости лопаток асфальтосмесителя, наиболее перспективными для сплавов, являются высокоуглеродохромбористые износостойкие материалы. Твердую наплавку на рабочей поверхности лопаток асфальтосмесителя осуществляют электродами ЭН-Т590, ЭН-Т620, ЦС-1 фирмы «Сормайт».



Рис.3. Характер износа поверхности лопатки

Результаты исследований.Проведенный нами анализ процесса износа лопаток асфальтосмесителя показал, что износ лопатки происходит неравномерно в различных ее частях, за счет разного удельного давления и скорости скольжения абразивных частиц по поверхности лопатки. Максимальный износ наблюдается на боковой части лопатки обращенной к стенке корпуса смесителя (рис.3.) На основании проведенных исследований,на наш взгляд наиболее рациональным является применение износостойких элементов, выполненных из высокоуглеродохромбористых материалов, в местах подверженных интенсивному износу (рис.4.).К ним относятся боковые части, направленные

к стенке корпуса смесителя, передняя рабочая и торцевая кромки. Данное решение позволит сократить межремонтный интервал лопаток асфальтосмесителя за счёт повышения их износостойкости.

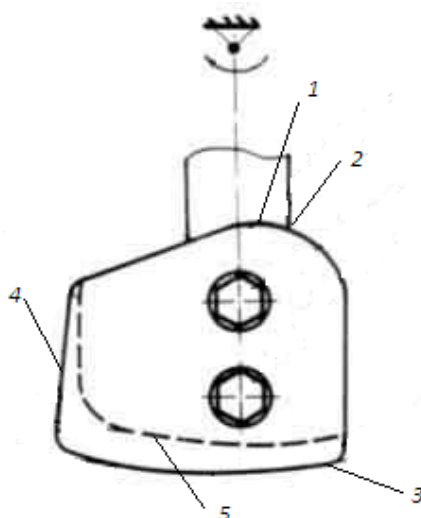


Рис.4. Зоны износа лопатки асфальтосмесителя

1- лопасть; 2-стойка;3-рабочая кромка; 4-торцевая кромка; 5- контур реального износа лопатки во время эксплуатации асфальтосмесителя.

Выводы. Таким образом, проведенный анализ научно-технической литературы и реального процесса износа лопаток асфальтосмесителя позволил установить, что наиболее уязвимым местом, снижающим долговечность рабочих органов агрегата, является достаточно быстрый износ боковых частей лопаток, направленных к стенке корпуса, передних и торцевых их кромок. Повышение износостойкости рабочих органов возможно достичь при не больших затратах, осуществив наплавку износостойкого материала только тех частей лопаток, которые подвержены наибольшему износу.

Литература:

1. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Mamatova V.V., Ebrahim Amini. Increase of size reduction of materials with anisotropic texture // Journal of Physics: Conference Series. 2018. T.1118. № статьи 012031
2. Скотникова М.А., Цветкова Г.В., Белов Ю.М., Крылов Н.А. Особенности строения наплавочных материалов для рабочих лопаток смесителей// Металлообработка. 2011. №1 (61).С. 37-42
3. Патент № 2392043 Российская Федерация, МПК ВО1F 15/00 (2006.01), ВО1F 7/00 (2006.01). Лопасть смесителя со съёмным изнашивающимся элементом: № 2007142846/15: заявл.29.03.2006: опубл. 20.06.2010/ Зайлер Андреас, Вернер Вольфган, Аке Клаус; заявитель МАШИНЕНФАБРИК ГУСТАВ АЙРИХ ГМБХ УНД КО.КГ.-15с. : 10 ил.
4. Романович А.А., Романович М.А., Локтионов И.С. Повышение износостойкости рабочих органов агрегата // Сб. докл. междунар. науч. практ. конф. «Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях» Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. С. 259-262.

Analysis of the state of the issue in the field of improving the durability of working bodies of asphalt mixers

Romanovich A.A.^{1,a}, Dyadin M.O.^{1,b}

¹Belgorod State Technological University named after V.G.Shukhov, Belgorod city, Kostyukova Street, building 46, Russia Federation

^aalexejrom@yandex.ru, ^bdyadin_maks@mail.ru

Keywords: blade, the asphalt-mixing, wear, increased durability, cladding, intensive wear

Today, it is a pressing task to increase the durability and reliability of the working tools of two-shaft mixers included in asphalt concrete plants. The agitated material in the mixing unit is an abrasive medium with which the working elements of the unit wear. Intensive wear of mixer blades increases radial gap between blade edge and mixer wall, which leads to deterioration of asphalt concrete mix quality. One of the promising directions of increasing wear resistance of the working tools and durability of the asphalt mixer is the use of hard build-up technology.

УДК 656.073.9

Грузовой эвакуатор с функцией постановки перевернутых транспортных средств на колёса

Позынич К.П.^{1,a}, Сидорков В.В.^{1,b}, Эунап Р.А.^{1,c}

¹Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

^akpp.51@mail.ru, ^bsidorkov@pnu.edu.ru, ^croman@eunap.ru

Ключевые слова: транспортные средства, эвакуационные работы, аварийно-спасательный агрегат.

В работе рассмотрена конструкция аварийно-спасательного агрегата с функцией постановки перевернувшегося транспортного средства на колёса перед погрузкой для дальнейшего транспортирования, выполняющего эвакуационные работы со сложной погрузкой как автомобилей, так и другой спецтехники.

Динамика изменения уровня автомобилизации в мире и в России показывает, что процесс имеет однозначный нарастающий характер [1]. Однако, одновременно с этим автомобилизация породила ряд проблем, требующих незамедлительного, а часто и опережающего решения.

В нашей стране это, прежде всего, проблемы развития системы служб, связанных с эксплуатационным обслуживанием парка транспортных средств (ТС) и придорожным обслуживанием участников движения [1]. Процесс погрузки авто, как известно, является одним из наиболее травматичных для поверхности кузова машины, поскольку неумелое обращение с погрузочным оборудованием непременно приведет к необходимости после выполнения транспортировки машины обратиться за помощью по её восстановлению.

Среди видов дорожно-транспортных происшествий (ДТП) особый интерес представляет такой вид ДТП, как опрокидывание автомобилей. Согласно официальной терминологии, опрокидывание происходит вследствие воздействия неблагоприятных погодных условий, технической неисправности, неправильного размещения или крепления

груза, из-за применения неправильных приемов управления. К этому виду не относятся опрокидывания, происшедшие в результате другого вида ДТП, например, столкновения. Распределение ДТП по их видам показывает [2], что опрокидывание транспортных средств – это один из распространённых видов ДТП, на которые приходится около 20% от их общего количества. В подобных ситуациях требуются грузовые эвакуаторы с функцией постановки перевернутого автомобиля на колёса перед погрузкой для дальнейшего транспортирования. Используемые сегодня грузовые автоэвакуаторы часто не могут решить указанную проблему. Подходящий тип эвакуатора и специальные приспособления способны решить все проблемы при погрузке, сделав ее максимально бережной и безопасной.

Проведенный нами обзор и анализ технических характеристик потенциальных аварийных грузовых автомобилей показал, что их габаритные размеры в среднем составляют от 5,5 м до 11 м в длину и от 2,5 м до 4 м в высоту, а вес машин с полной и не полной загрузкой варьируется от 3,4 т до 33 т.

Обзор и анализ основных видов и параметров существующих грузовых эвакуаторов позволил сделать вывод, что представленные эвакуаторы не обладают функцией вертикализации опрокинувшихся грузовых транспортных средств.

Отдельный анализ существующих средств и способов подъёма опрокинувшихся грузовых транспортных средств показал, что к ним в большинстве случаев относятся:

- эвакуация с применением пневмодомкратов и гидравлических стоек,
- эвакуация с применением транспортных средств,
- эвакуация с применением стреловых самоходных кранов,
- эвакуация с применением грузовых эвакуаторов.

Рассмотрим первый способ постановки на колеса опрокинутого грузового автомобиля с помощью пневмодомкратов (рис. 1).

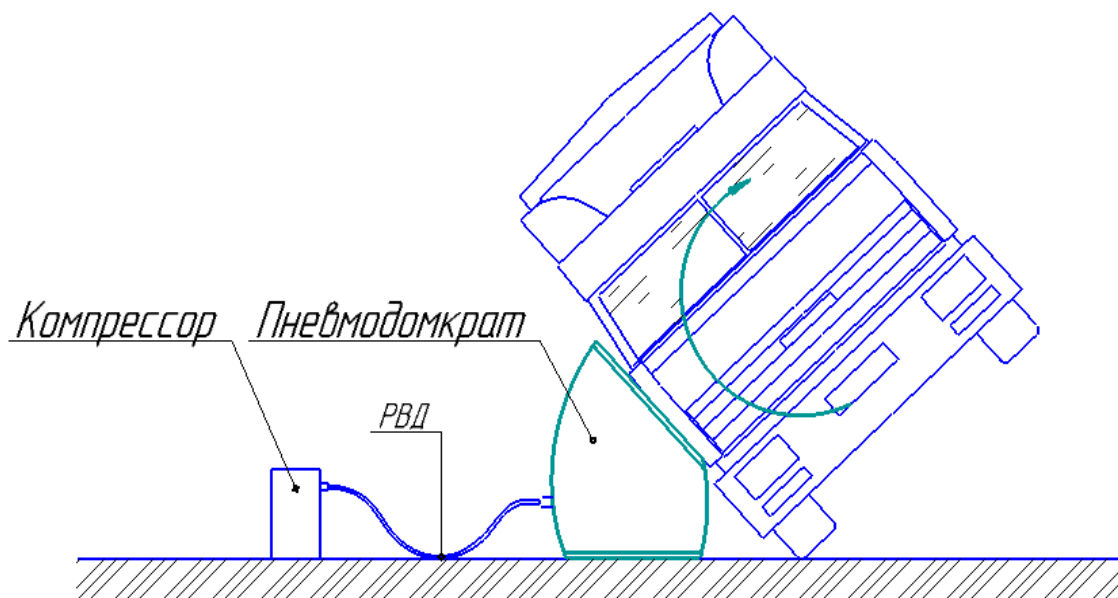


Рис. 1. Способ подъема ТС при эвакуации с помощью пневмодомкратов

На рис. 2 представлена схема использования грузового транспортного средства для постановки на колеса опрокинувшегося грузового автомобиля.

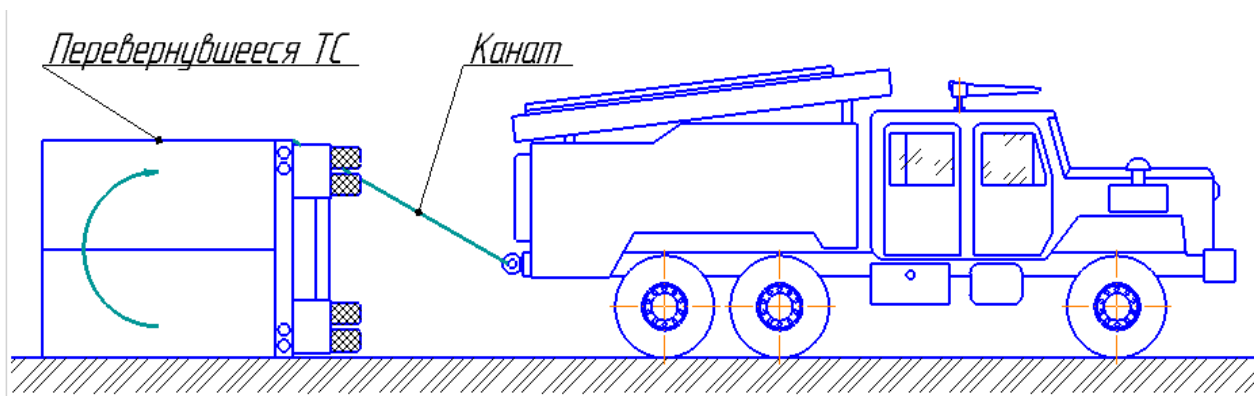


Рис. 2. Способ подъема ТС при эвакуации с помощью другого грузового автомобиля

Наиболее часто используются автомобильные краны общего назначения, причём их применение сопровождается многочисленными нарушениями действующих правил, в большинстве случаев – косой подъем (рис. 3).

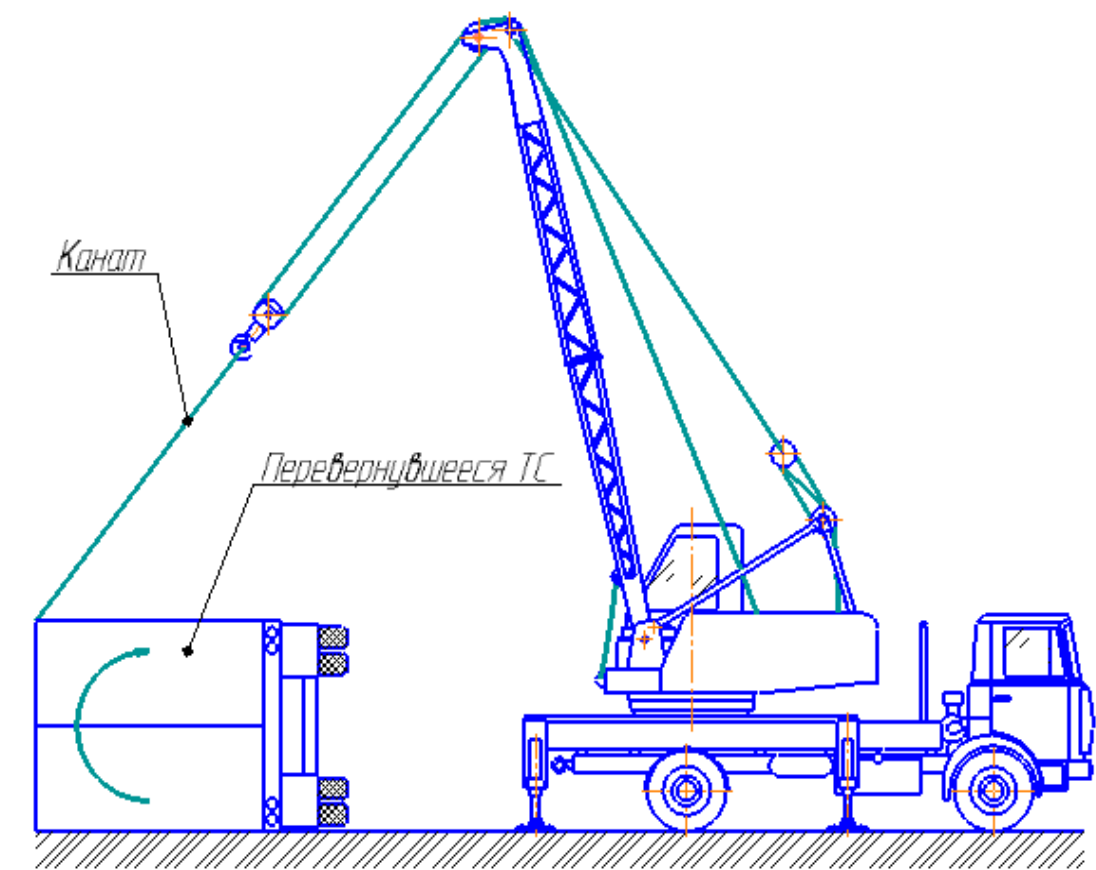


Рис. 3. Способ подъема ТС при эвакуации с помощью крана общего назначения

Небольшое распространение в России пока нашли специализированные автоэвакуаторы для грузовых автомобилей, один из таких эвакуаторов показан на рис. 4.

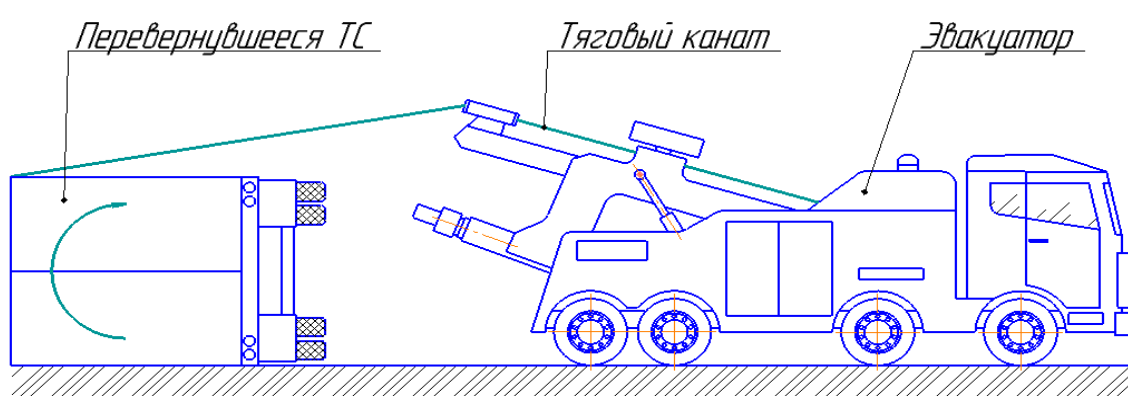


Рис. 4. Способ подъема ТС при эвакуации с помощью автоэвакуатора для грузовых автомобилей

Таким образом, проведенный анализ выявил определенные тенденции в развитии автомобильных грузовых эвакуаторов, показывающие расширение их технических возможностей, например, способность вертикализации транспортных средств.

На рис. 5 представлена принципиальная конструкция аварийно-спасательного агрегата, выполняющего работы, в числе прочего, и по подъему перевернутых транспортных средств.

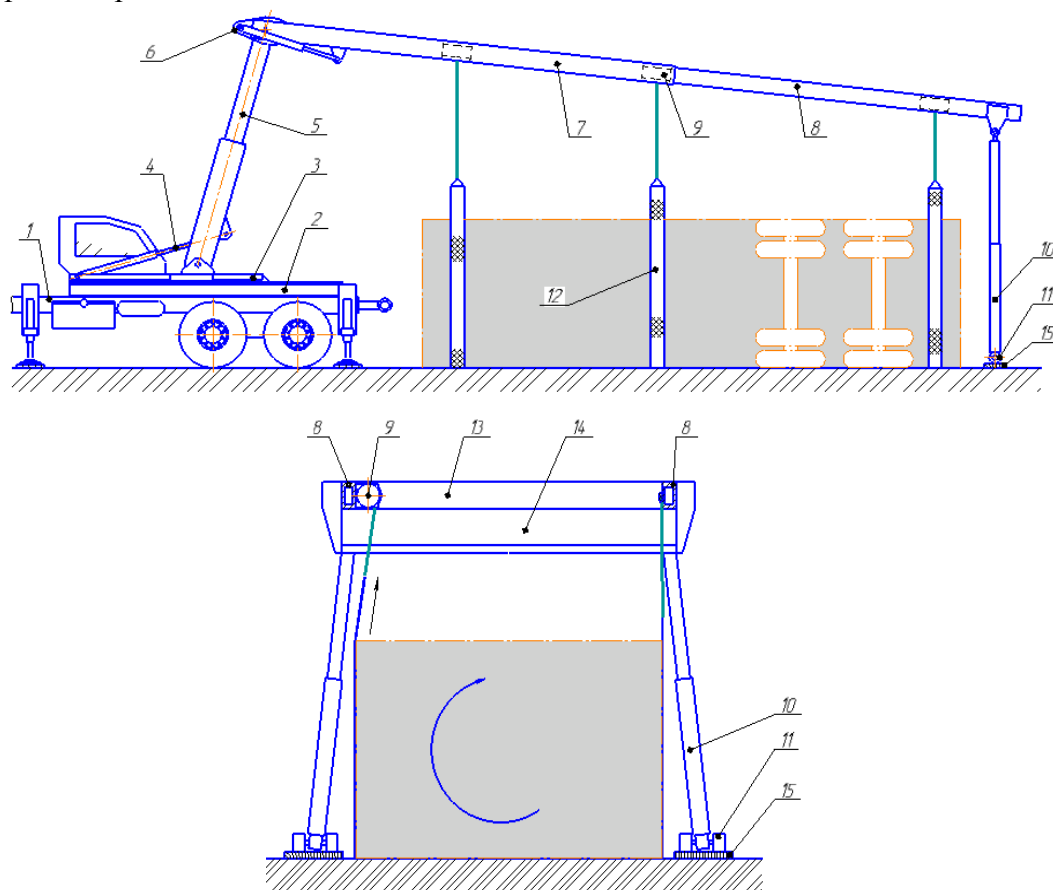


Рис. 5. Устройство для подъема перевернутых трейлеров (патент США № 4290731)

Устройство, монтируется на 3-осном автошасси и служит для подъема и установки на колеса перевернутых во время аварий автотрейлеров, автосамосвалов, погрузчиков массой до 30 т. Обычно для этих целей используются стреловые автокраны общего

назначения. Однако при большой грузоподъемности они не проходят под мостами, линиями электропередач и в туннелях.

Для устранения этого недостатка на шасси 1 патентуемого устройства устанавливают раму 2 с опорно-поворотным устройством 3. На ней монтируется телескопическая стрела 5, состоящая из двух секций и имеющая длину около 3 м. Подъем и опускание стрелы производятся гидроцилиндром 4. На оголовке стрелы установлен балансир 6, к которому шарнирно прикрепляется раздвижной П-образный портал, обхватывающий перевернутое транспортное средство. Портал состоит из полых коробчатых балок 7 и 8, соединенных поперечинами. Задний конец портала опирается на телескопические стойки 10, выполненные в виде гидродомкратов, и имеет опорные ролики 11 и опорные башмаки 15. Застрорка перевернутого транспортного средства осуществляется с помощью чалочных лент 12, концы которых соединяются с лебедками 9. Включая лебедки одной стороны портала, переворачивают транспортное средство, устанавливая его на ходовые колеса. В транспортном положении портал устанавливается за кабиной автошасси с помощью гидроцилиндра. Телескопические стойки 10 подвешиваются на кронштейнах за кабиной.

Рассмотрим более подробно предлагаемую для проектирования конструкцию аварийно-спасательного агрегата, её особенности и принцип действия (рис. 6).

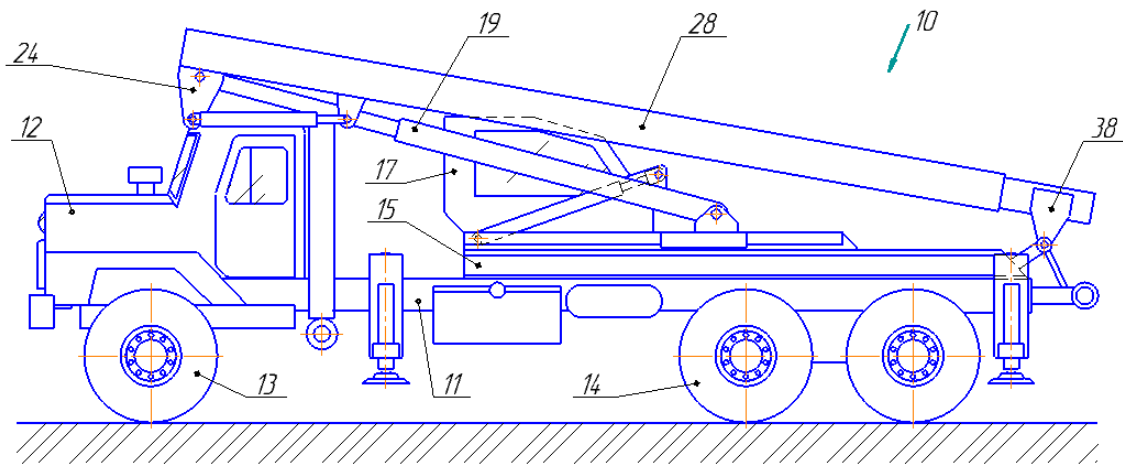


Рис. 6. Общий вид аварийно-спасательного агрегата

Аварийно-спасательный агрегат – это специализированное устройство, монтируемое, как правило, на трёхосном автомобильном шасси и служащее для подъёма и установки на колёса перевернутых во время аварий грузовых автомобилей, автотрейлеров, автосамосвалов, стреловых самоходных кранов, погрузчиков, прицепов и других транспортных средств массой до 30 т. Подъём и установка на колёса перевернутых транспортных средств – главное назначение проектируемой машины. Она не заменяет собой существующие грузовые эвакуаторы, но выполняет не свойственные последним важные операции – подъём и установку на колёса перевернутых во время аварий транспортных средств.

За кабиной 12 шасси на раму автомобиля устанавливается опорная рама большой жёсткости 15, на которой закреплены гидрофицированные выносные опоры для обеспечения грузовой устойчивости и неповоротная часть опорно-поворотного устройства. Поворотная часть опорно-поворотного устройства соединена с рамой поворотной платформы 17, на которой размещается рабочее оборудование и кабина оператора с системой управления аварийно-спасательным агрегатом.

На поворотной платформе в силовых проушинах, размещённых по её разным сторонам на расстоянии 2 ... 3 м друг от друга, с помощью пальцев крепятся две двухсекционные, параллельные друг другу телескопические стрелы 19 общей длиной

около 3-х метров каждая. Поворот (качание) стрел осуществляется с помощью двух гидроцилиндров, расположенных между телескопических стрел 19. Проушины гильз гидроцилиндров соединены пальцами с проушинами на поворотной платформе, а их штоки 21 – с шарнирными соединениями в виде усиленных втулок на поперечине, соединяющей корневые секции стрел. Оба гидроцилиндра работают одновременно, так что оба выдвигаются в один и тот же момент времени в одинаковой степени. При выдвигении происходит подъём телескопических стрел 19. На рисунке 2.1 стрелы и гидроцилиндры их подъёма показаны в транспортном положении аварийно-спасательного агрегата.

На оголовках обеих стрел установлены балансиры 24, к которым шарнирно прикрепляется поперечина раздвижного П-образного портала 28, который поворачивается в проушинах балансиров гидроцилиндрами, штоки которых шарнирно соединены с выступающими проушинами 27, находящимися на нижних поясах продольных балок корневой секции раздвижного П-образного портала 28.

Раздвижной П-образный портал 28 выполнен из полых коробчатых балок, соединённых поперечинами (рис. 7).

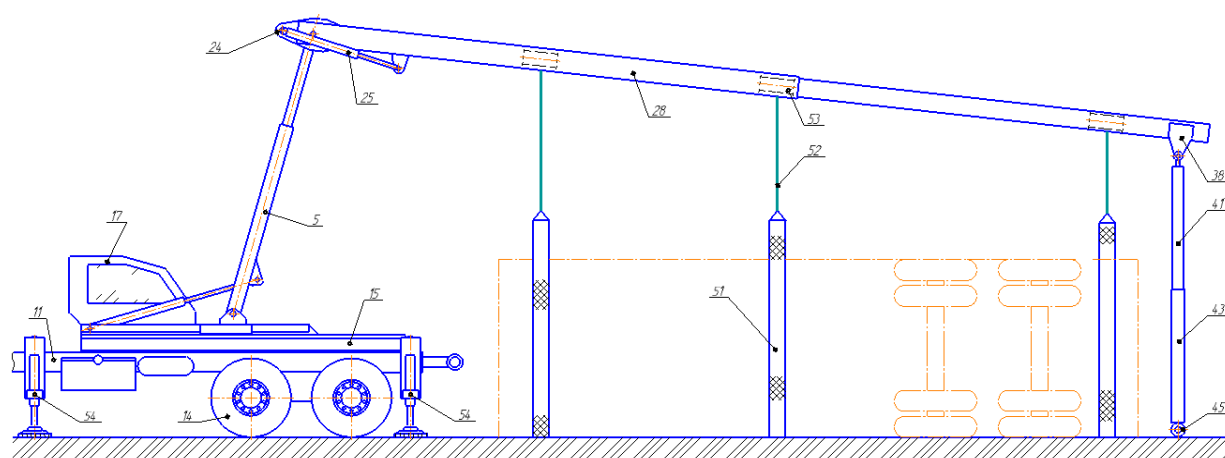


Рис. 7. Аварийно-спасательный агрегат в рабочем положении

Выдвижная секция портала меньшего поперечного сечения перемещается внутри корневой секции при помощи гидроцилиндров, штоки которых соединены с выдвижными секциями. В задней части выдвижные секции портала соединены поперечным элементом и на них установлены проушины 38 (рис. 7).

Проушины 38 жестко соединены с поперечным элементом 40 рамы (рисунок 2.3). Задний конец портала опирается на телескопические стойки - опоры 41 и 42, высота которых устанавливается путем размещения стопорного штифта 44 (рис. 8). При достижении необходимой высоты штифт вставляют в соосные, просверленные по всей длине отверстия в опорах 41 и 43. В нижней части опор устанавливаются ролики 45 или башмаки.

В транспортном положении аварийно-спасательного агрегата съёмные телескопические опоры - стойки собираются и перевозятся на кронштейнах за кабиной, как показано на рис. 6. Съёмные телескопические стойки, показанные на рис. 8, можно отрегулировать в большом диапазоне высот. Регулировка высоты выполняется путем перемещения опорных частей вверх или вниз.

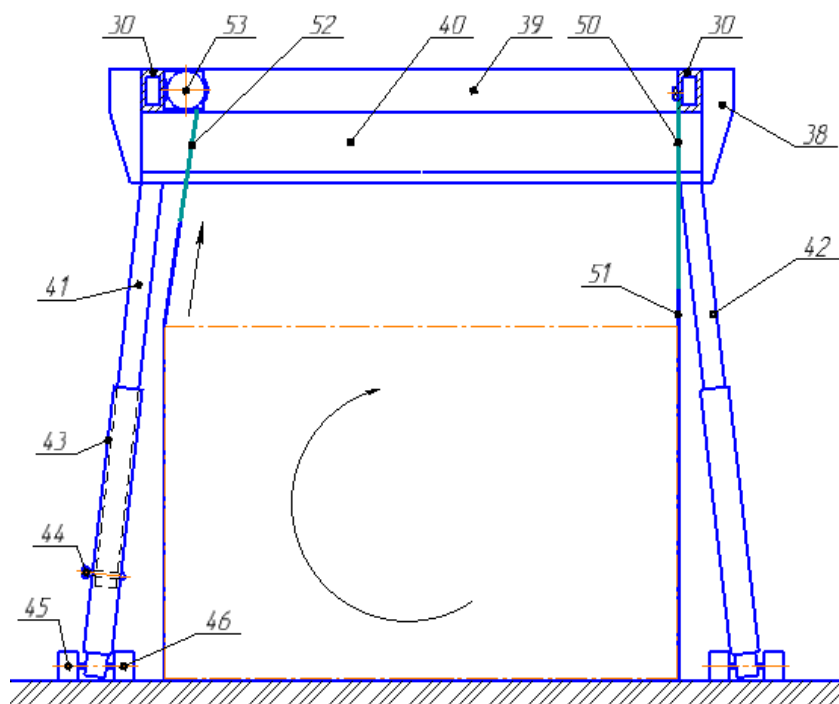


Рис. 8. Опорные стойки раздвижного П-образного портала

Застропка перевернутого транспортного средства осуществляется с помощью чалочных (строповых) лент 51 (рис. 8), концы которых соединяются с одной стороны с канатами лебёдок 53, а с другой – крепятся к продольным балкам раздвижного П-образного портала. Стропы 51 шире, чем тяговые канаты и имеют достаточную длину, чтобы их можно было пропустить вокруг перевернутого транспортного средства. Обычно ширина строповых лент варьируется в диапазоне от десяти до двадцати сантиметров. Такая большая ширина служит нескольким целям. Во-первых, она предотвращает повреждение транспортного средства и порчу груза, как это может происходить с использованием стального проволочного каната небольшого диаметра. Во-вторых, обеспечивается большая площадь контакта с опрокинутым транспортным средством и его грузом, что увеличивает силу трения. Необходимо, чтобы пятно контакта было достаточным для надёжного сцепления чалочных (строповых) лент с поверхностью аварийного автомобиля, чтобы при его вращении за счет силы трения повернуть опрокинутый автомобиль в вертикальное положение. Кроме того, стропы с петлями на концах дают возможность отсоединения от канатов 50 и 52 по рис. 8.

Рассмотрим кратко технологическую схему выполнения работ предлагаемым аварийно-спасательным агрегатом на примере подъёма опрокинувшегося трейлера, находящегося на дороге или её обочине. Последовательность действий следующая.

По предварительно оформленной заявке на эвакуацию аварийно-спасательный агрегат выезжает с места стоянки на место происшествия. Общий вид аварийно-спасательного агрегата в транспортном положении показан на рис. 9.

После прибытия на место, оператор осматривает местоположение опрокинутого транспортного средства и выбирает наиболее подходящий путь подъезда.

Совмещая по возможности продольные оси аварийного транспортного средства и аварийно-спасательного агрегата, последний подъезжает к аварийному трейлеру.

Оператор обозначает периметр места проведения работ оградительной лентой на необходимом расстоянии от техники.

Для выполнения каких-либо дальнейших действий аварийно-спасательный агрегат устанавливается на гидравлические выносные опоры.

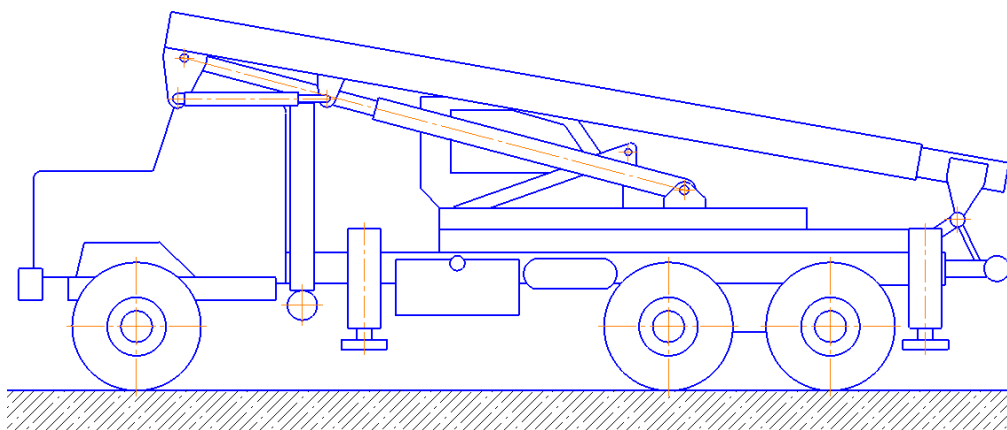


Рис. 9. Аварийно-спасательный агрегат в транспортном положении

Поворотная платформа с незначительно поднятыми стрелами поворачивается из походного положения на 180 градусов, к П-образному portalу присоединяются телескопические стойки-опоры и раздвижной П-образный портал поднимается до уровня, превышающего верхний габарит перевернутого транспортного средства (рис. 10).

Продольная ось раздвижного П-образного портала аварийно-спасательного агрегата совмещается с осью перевернутого трейлера.

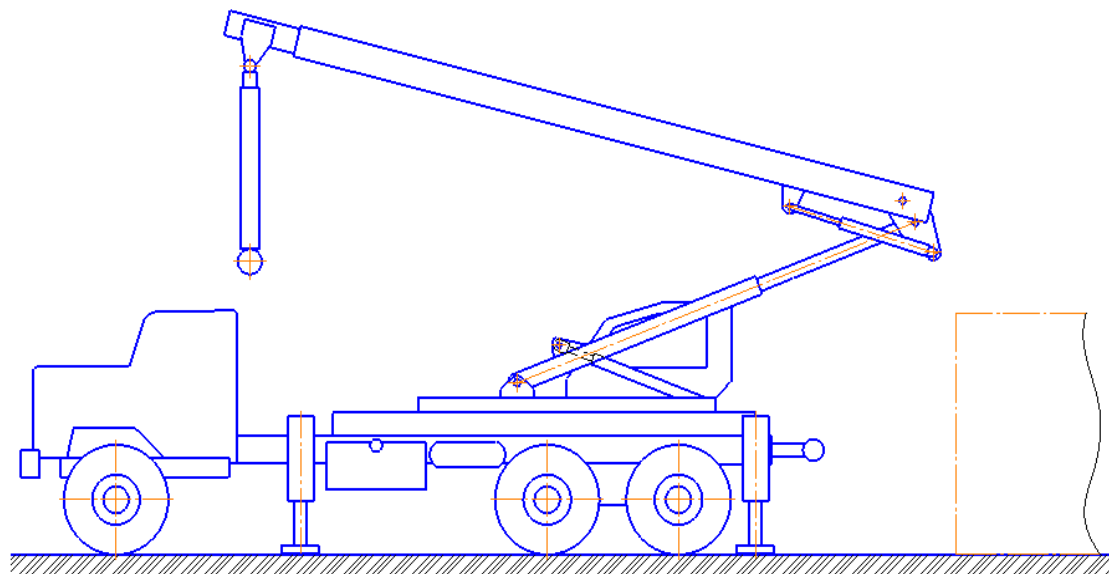


Рис. 10. Установка телескопических стоек-опор на П-образном портале

Поворотная платформа поворачивается на 180 градусов, раздвижной П-образный портал при помощи стрел устанавливается над перевернутым трейлером для последующего выдвижения секций портала, как показано на рис. 11.

Выполняется процесс телескопирования выдвижной секции раздвижного П-образного портала вдоль прицепа.

После того, как рама выдвинута на необходимое расстояние, её опирают на телескопические стойки, как показано на рис. 12. Следует отметить, что поверхность, как правило, неровная, но устройство телескопических опор способно учитывать переменность уровня поверхности. Оборудование может работать и на наклонной поверхности в пределах ряда ограничений. Наклонная поверхность может потребовать применения более длинных канатов для строповки.

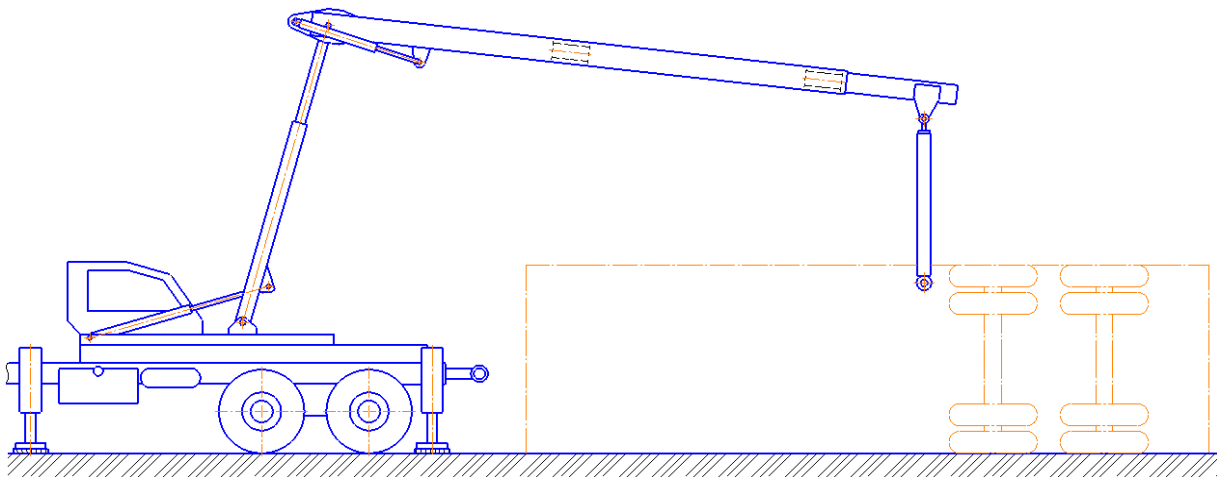


Рис. 11. Установка раздвижного П-образного портала

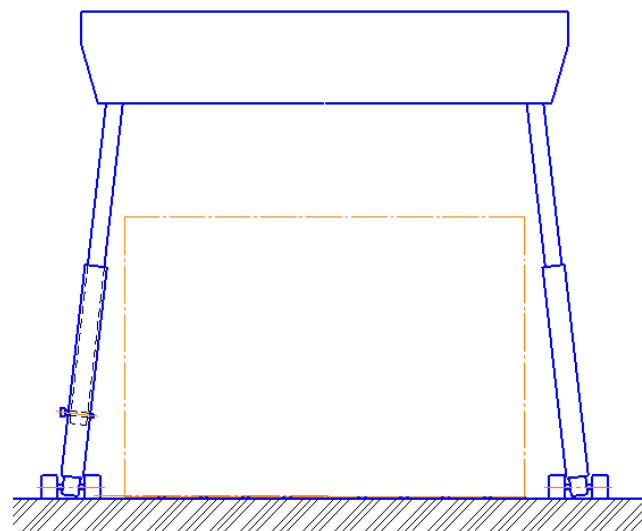


Рис. 12. Положение опорных телескопических стоек после их установки на поверхность

Последующий процесс вертикализации транспортного средства включает в себя прокладку строп, размотку канатов на барабанах лебедок и зацепление их в единое целое. После строповки канаты и стропы находятся в нужном положении для поднятия и переворота транспортного средства, как показано на рис. 13.

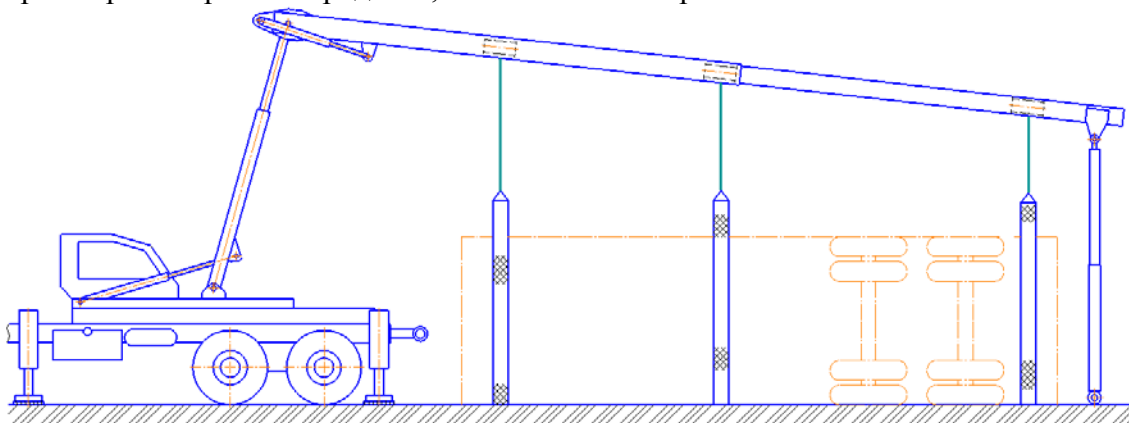


Рис. 13. Положение агрегата после прокладки строп и зацепление их с канатами лебедок

Иногда может потребоваться сначала слегка приподнять только один конец транспортного средства. Например, если левый конец опрокинутого прицепа легко доступен, и прокладка стропы под ним может быть осуществлена довольно легко, то его можно слегка приподнять, так что бы можно было проложить стропу в центральной части под опрокинутым прицепом.

После того как все стропы проложены и зацеплены с канатами, выполняется выбор слабины в канатах. Осуществлять подъем необходимо синхронно, так, чтобы вес трейлера равномерно распределялся по всем стропам.

После подъема на небольшое расстоянии от земли лебедки приводятся в нормальный режим работы до переворота опрокинутого прицепа. Как правило, для постановки прицепа на колеса необходимо осуществить его поворот на девяносто градусов. В любом случае, поворот на 90 градусов достигается за счет использования лебедок вдоль одной стороны прицепа, наматывая канат на барабан, в то время как лебедки вдоль другой стороны прицепа не работают. Они могут быть отключены или вообще отсутствовать. В любом случае вращение прицепа осуществляется вышеизложенным способом.

После того, как трейлер будет доведен до почти вертикального положения, лебедки приводятся в действие в обратном направлении, чтобы опустить трейлер на поверхность. Трейлер опускается колёсами на поверхность. В случае отсутствия части колёс или инвентарных опорных стоек трейлер может поддерживаться одной или двумя стропами, как показано на рис 14.

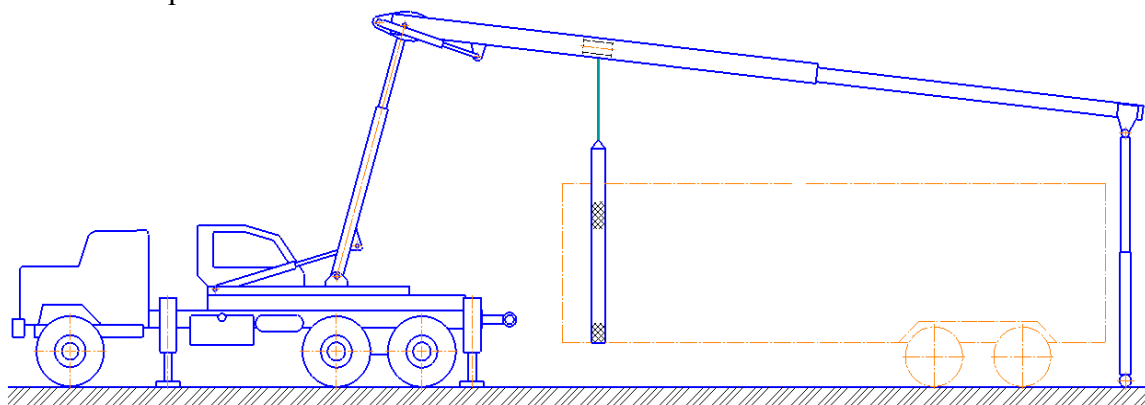


Рис. 14. Положение агрегата после постановки на колеса опрокинутого прицепа

В случае, если поставленный в вертикальное положение трейлер находится в неудобном месте для сцепки с тягачом, то аварийно-спасательный агрегат может двигаться своим ходом, буксируя трейлер за собой, поддерживая его строповым устройством, предварительно убрав выносные опоры, собрав телескопические стойки и задвинув выдвижную секцию П-образного портала. Дальность транспортировки может составлять всего несколько метров, а возможно, что будет необходимо отбуксировать трейлер и на значительное расстояние. Обычно это зависит от того, есть ли подходящий тягач, который сможет буксировать трейлер. При отсутствии легкодоступного тягача аварийно-спасательный агрегат может сам функционировать как тягач.

Для работы предлагаемого аварийно-спасательного агрегата, кроме обоснования его принципиальной конструктивной схемы, требуется решить следующие проблемы:

- необходимо обосновать размерные и весовые параметры базового шасси аварийно-спасательного агрегата для выполнения, рассмотренного выше рабочего процесса;

- необходимо разработать или подобрать из существующего парка компактные электрические или гидравлические лебёдки и узлы их крепления на продольных балках раздвижного П-образного портала;

- необходимо разработать устройство токоподвода или подвода гидрожидкости к лебёдкам, находящимся на раздвижном П-образном портале;
- требует решения проблема синхронизации работы гидроцилиндров поворота и выдвижения секций стрел, а также телескопирования секции раздвижного П-образного портала;
- необходимо решить проблему соединения широких полотенчатых стропов с канатами лебёдок и балками раздвижного П-образного портала;
- при расчёте коробчатых секций стрел и секций раздвижного П-образного портала требуется оптимальное проектирование коробчатых сечений с целью снижения металлоёмкости рабочего оборудования и расхода топлива при работе двигателя шасси аварийно-спасательного агрегата;
- требует решения проблема оснащения аварийно-спасательного агрегата специальным сцепным устройством, позволяющим буксировать аварийное транспортное средство после постановки его на колёса.

Безусловно, перечисленные выше проблемы представляют практический интерес, т.к. просматривается идея создания универсальной машины, выполняющей все функции существующих грузовых эвакуаторов и наделённой новыми функциями, что делает её намного эффективнее всех существующих машин.

Литература:

1. РАГС [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов. – Режим доступа: <https://www.rags.ru/stroyka/text/52629/> (дата обращения 10. 05. 2018).
2. Правила дорожного движения и статистика дорожно-транспортных происшествий [Электронный ресурс]: презентация – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/903026/> (дата обращения 11. 05. 2018).

Cargo tow truck with the function of placing inverted vehicles on the wheels

Pozynich K. P.^{1,b}, Sidorkov V. V.^{1,b}, Eunap R. A.^{1,c}

¹Pacific National University, Tikhookeanskaya Street, 136, Khabarovsk 680035, Russian Federation

^a kpp.51@mail.ru, ^b sidorkov@pnu.edu.ru, ^c roman@eunap.ru

Keywords: vehicles, evacuation operations, emergency rescue unit.

The paper considers the design of an emergency rescue unit with the function of placing an overturned vehicle on wheels before loading for further transportation, performing evacuation operations with complex loading of both cars and other special equipment.

Анализ технологической схемы транспортировки горных пород с использованием беспилотных карьерных самосвалов

Соболев А.А.^{1а}, Андрищенко А.С.^{1б}

¹Институт горного дела ДВО РАН, 680000, Россия, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51.

^а alexsoboll@mail.ru; ^б andryushchenko.as@amur-gold.ru

Ключевые слова: система транспортировки, модернизация, карьерные самосвалы, беспилотный транспорт, искусственный интеллект

Безопасность, эффективность, снижение производственных затрат производства всегда были и остаются основными задачами, стоящими перед горными предприятиями, а совершенствование производственных процессов и горного оборудования основным направлением для их решения. Установлено, что передовым, перспективным и быстро развивающимся направлением в мире является расширение доли участия искусственного интеллекта и минимизация человеческого участия в процессах транспортировки горных пород. Уровень развития систем коммуникаций и передачи данных, сенсорной и детекторной техники, а также IT технологий уже на данном этапе позволяет заменить водителя карьерного автосамосвала искусственным интеллектом. Построение маршрутов, управление автосамосвалом с анализом, оценкой, и прогнозом дорожной ситуации возможно осуществлять без участия человека.

Введение. Согласно зафиксированной в США статистики [1], в период 1995 по 2011 годы, на горных предприятиях произошло 633 несчастных случая закончившихся летальным исходом. Данные инциденты были классифицированы по категориям принадлежности к горному оборудованию (бульдозеры, автотранспорт, буровые установки и т.д.) использование которого послужило причиной, повлекшей несчастный случай. На рисунке 1 показано число инцидентов, связанных с использованием определенного вида горного оборудования, на котором видно преобладание инцидентов связанных с использованием автосамосвалов, на долю которых пришлось – 137 случаев или 21,6 % от общего количества.



Рис.1 – Диаграмма распределения несчастных случаев на горных предприятиях США связанных с работой определенного вида горного оборудования

Из этого числа на долю открытого способа добычи приходится 129 (94,2 %) несчастных случаев и лишь 8 (5,8%) на использование самосвалов при подземной добыче полезных ископаемых.



Рис. 2 – Распределение несчастных случаев с летальным исходом по видам горных работ

Вышеприведённые цифры статистики, а также проведенные международные исследования в данном направлении [2,3] характеризуют автомобильный транспорт на открытых горных работах как наиболее опасный по сравнению с другими видами горного оборудования. В связи с чем работы по разработке и коммерческому внедрению автоматизированной техники в процессы транспортировки горной массы и повышение доли участия в них искусственного интеллекта являются весьма актуальными.

В нашей стране, работы по разработке и созданию технологий для автоматизации горного производства активно ведутся [4-10], однако уровень их коммерциализации и внедрения в производство остается относительно невысоким. Из-за чего повышение эффективности и безопасности горного производства, снижение производственных затрат и улучшение условий труда остаются в числе приоритетных производственных задач, а создание и внедрение новых технологий, базирующихся на максимальной компьютеризации и исключении человека из производственных процессов и рабочего пространства карьера, является одним из перспективных научных направлений, призванным решить эти задачи.

Техническое исполнение и основные элементы системы.

Успешное функционирование системы требует интенсивной бесперебойной работы целого ряда различных устройств, подсистем, сенсоров, контроллеров и датчиков [11]. Систему автономного управления возможно установить на некоторые штатные модели карьерных самосвалов, Komatsu 830E, 930E, Caterpillar 789D, Hitachi EH5000 и сделать их усовершенствование до автономно управляемых [12-16]. В 2016 году компания Komatsu выпустила первый автономный карьерный самосвал без использования кабины водителя для управления, а также с уже встроенными сенсорами, датчиками и системами самоуправления в кузов автомобиля [14]. Принципиальная схема взаимодействия и работы системы автономных самосвалов изображена на рис. 3.

Центр управления и контроля программирует маршруты движения, отвечает за координацию работы и безопасность движения карьерных автосамосвалов. С использованием беспроводной связи, информации полученной с GPS навигаторов, система управления отслеживает все оборудование в карьере, включая управляемое человеком, для предотвращения внештатных ситуаций, столкновений и аварий автономно работающей техники. Информация касательно маршрутов движения, пунктов назначения и скорости движения передается по беспроводной высокоскоростной системе передачи данных принципа WiFi [17].

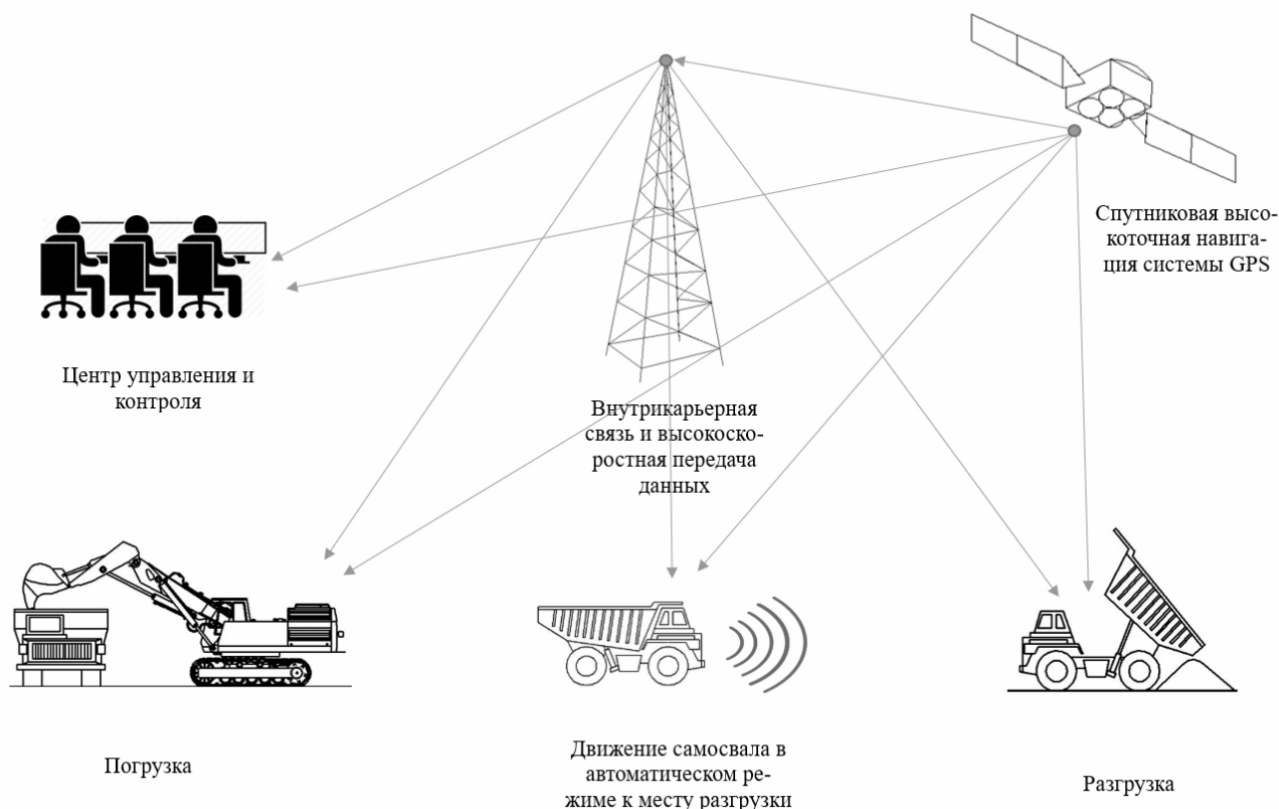


Рис 2. Принципиальная схема взаимодействия и работы системы автономных самосвалов

В большинстве случаев погрузка горной массы осуществляется, управляемыми человеком, карьерными экскаваторами либо фронтальными погрузчиками, каждый из которых оснащен бортовым компьютером с системой touch-screen на котором оператором машины указывается точное место остановки самосвала для погрузки, а также передается сигнал автосамосвалу, указывающий начало и завершение погрузки. В настоящее время также используются системы с автоматическим позиционированием карьерного автосамосвала под ковшом погрузочной машины на основе встроенного в ковш маячка.

После погрузки, центральная система управления направляет и ведет самосвал, согласно установленного маршрута, карьерный автосамосвал с рудой на обогатительную фабрику, а с пустой породой в отвал для разгрузки.

Во время движения самосвал определяет свое местоположение с использованием системы высокоточного позиционирования GPS с точностью определения 1-5 см. Система определения препятствий, работающая на технологиях RADAR (радиоволновая) и LIDAR (лазерная) выявляет на пути следования наличие других транспортных средств, людей, животных и т.д. и компьютер принимает решение о замедлении либо полной остановке самосвала, в том числе, и о возобновлении движения. Также компьютер сам принимает решение об объезде препятствия либо пережидания до его устранения в случае с появлением на дороге животных или людей. Включение в процесс человека с контрольного центра происходит в редких и исключительных случаях, если система не видит выхода из сложившейся ситуации (например, полностью перегородившее дорогу другое транспортное средство) и подает тревожный сигнал [18]. Иногда, для перестраховки, в случаях сильных дождей и ухудшения дорожных условий, контрольный центр снижает общий скоростной режим сразу для всего парка самосвалов, хотя и в данном случае техника способна самостоятельно принимать решение по выбору скорости на дорогах и при прохождении поворотов [19]. При выполнении данных функций, для увеличения безопасности,

дополнительная информация для принятия адекватного решения, искусственному интеллекту самосвала, поступает от вспомогательных систем и датчиков: предотвращения заноса; контроля скорости вращения и угла поворота колес; контроля уровня загрузки кузова, лазерной системы определения края дороги и др.

Результаты исследований и их обсуждение

Создание автоматической системы работы автосамосвалов для транспортировки руды и пустых пород стало возможным во многом развитию следующих отраслей науки и технологии:

Развитие системы коммуникаций сделало возможным надежную передачу большого количества информации без задержек на значительные расстояния, что позволяет оперативно собирать и обмениваться данными с различных многочисленных систем и датчиков.

Развитие надежных сенсорных технологий на основе Radar и Lidar способных бесперебойно работать в сложных карьерных, а также природно-климатических условиях, позволяет выявлять и распознавать встречающиеся на пути объекты с установлением скорости и направления движения. Данные технологии позволяют скорректировать систему, а также предотвратить внештатные ситуации

Развитие вычислительных систем и компьютерных технологий и сделало возможным решать сложные задачи по обработке большого объема данных (big data) за короткий временной промежуток, это позволяет искусственному интеллекту (artificial intelligence) своевременно анализировать, контролировать ситуацию и принимать решения.

Развитие навигационных систем и создание высокоточной системы позиционирования GPS позволяет машинам и операторам определять и контролировать геопозицию с точностью до 1 см.

Внедрение данных, технологий на Российских предприятиях будет невозможно без наличия сотрудников соответствующей компетенции в новых областях, что уже на данном этапе, требует радикально нового подхода к подготовке кадрового обеспечения горных предприятий.

Литература:

1. Ercelebi S. G., Bascetin A. Optimization of shovel-truck system for surface mining //Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2009. – Т. 109. – №. 7. – С. 433-439.
2. Schexnayder C., Weber S. L., Brooks B. T. Effect of truck payload weight on production //Journal of construction engineering and management. – 1999. – Т. 125. – №. 1. – С. 1-7.
3. E. Uhlemann. Active safety vehicles evolving toward automated driving [Connected Vehicles]. IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 10, no. 4, pp. 20-23, Dec. 2015.
4. Секисов Г.В. Рациональный способ разработки маломощных крутопадающих рудных месторождений. /Секисов Г.В., Соболев А.А.// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №11 С. 38-45.
5. Пат. 2375576 Российская федерация, МПК Е 21 С 41/26, В 03 В 7/00. Способ освоения месторождений твердых полезных ископаемых [Текст] / Секисов Г. В., Соболев А. А., Якимов А. А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. – 2008117958/03 ; заявл. 04.05.2008 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34. – 7 с.: ил.
6. Пат. 2375577 Российская Федерация, МПК7 Е 21 С 41/26, В 03 В 7/00. Способ освоения месторождений твердых полезных ископаемых [Текст] / Секисов Г. В., Рассказов И. Ю., Авдеев П. Б., Соболев А. А., Якимов А. А. ; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. – № 2008131164/03 ; заявл. 28.08.08 ; опубл. 10.12.09, Бюл. № 34.
7. Чебан А.Ю. Совершенствование техники и технологий безвзрывной разработки горных пород : моногр. / А. Ю. Чебан. - Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. - 260 с.
8. Чебан А.Ю. Разупрочнение поверхностного слоя уступов при сезонном промерзании породы. /Чебан А.Ю., Соболев А.А.// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 4. С. 113-119.
9. Секисов Г.В. Состояние и основные пути развития добычи природных строительных материалов в южных субрегионах дальневосточного округа /Секисов Г.В., Чебан А.Ю., Соболев А.А.

//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 7. С. 71-76.

10. Алексеев В.С. Повышение извлечения мелкого золота на промывочном приборе шлюзового ти-па /Алексеев В.С., Серый Р.С., Соболев А.А. // Обогащение руд. 2019. № 5. С. 13-18.11.

Carter, Russell A. Location, location, location. Engineering and Mining Journal; Jacksonville Том 209, Изд. 1, (Jan/Feb 2008): P. 44-47.

12. Hitachi dump trucks autonomous haulage solution - AHS. HitachiMachineryChannel. Официальный пресс канал компании Hitachi. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [//youtube.com/watch?v=c9_Os6Ha-Gk](https://youtube.com/watch?v=c9_Os6Ha-Gk) (Дата обращения: 22.02.2019)

13. Komatsu View Magazine. 2010 №3 Special Edition. Published by Komatsu Ltd. Construction & Mining Equipment Marketing Division 2-3-6, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8414, Japan

14. Komatsu autonomous haulage system. Komatsu пресс релиз. [Электронный ресурс] Режим доступа: [//www.komatsu.com.au/innovation/autonomous-haulage-system](http://www.komatsu.com.au/innovation/autonomous-haulage-system) (Дата обращения: 08.02.2019)

15. Hodges C. Deep Learning for Driverless Vehicles //Handbook of Deep Learning Applications. – Springer, Cham, 2019. – С. 83-99.

16. Grad, Paul S. Running with robotics. Engineering and Mining Journal; Jacksonville Том 211, Изд. 1, (Jan/Feb 2010): 34-36.

17. Nebot E.M. Surface mining: main research issues for autonomous operations. Nebot E.M. Thrun S., Brooks R., Durrant-Whyte H. Robotics Research. Springer Tracts in Advanced Robotics, vol 28. Springer, Berlin, Heidelberg

18. Redwood N. Autonomous haulage systems financial model assessment. /Redwood N.// Report of Whittle Consulting company for Mining Technical group (Australia). 14 Feb 2018. 28 P.

19. E. Uhlemann. Active safety vehicles evolving toward automated driving [Connected Vehicles]. IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 10, no. 4, pp. 20-23, Dec. 2015.

The analysis of the technological scheme of rocks transporting by using automated dump trucks

Sobolev A.A.^{1a}, Andrushenko A.S.^{1b}

¹Mining institute, Far Eastern branch Russian Academy of Science 680000 Khabarovsk, 51 Turgenev st.

^aalexsoboll@mail.ru, ^bandryushchenko.as@amur-gold.ru

Keywords: transportation system, modernization, mining trucks, unmanned vehicles, artificial intelligence

Safety, efficiency, reduction of production costs has always been and remain the main issues for mining enterprises. The improvement of production processes and mining equipment is the main direction for their solution. The advanced, perspective and fast developing direction in the world's practice is expansion of artificial intelligence and minimization of human participation in the mining processes including the transportation. The development level of communication and data transmission systems, sensor and detector technologies, as well as IT allows to replace the driver of a dump truck with computer artificial intelligence. Construction of routes, driving of the dump trucks with analysis, assessment, and forecast of the road conditions can be done without human intervention.

Мировые тренды совершенствования и модернизации транспортных систем на открытых горных работах

Соболев А.А.^{1а}

¹Институт горного дела ДВО РАН, 680000, Россия, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51

^аalexsoboll@mail.ru

Ключевые слова: информационные технологии, автономная система транспортировки, карьерные самосвалы, беспилотный транспорт, искусственный интеллект, открытые горные работы

Проанализирован мировой опыт повышения эффективности автотранспортных технологических схем на карьерах. Выявлено, что быстро развивающимся и перспективным направлением в мире является минимизация и исключение участия человека в технологических процессах горного производства. Развитие техники и технологий позволяет произвести поэтапную замену водителей карьерных автосамосвалов в процессе транспортировки горной массы на роботизированные комплексы. Система сенсоров, детекторов и датчиков в комбинации с искусственным интеллектом компьютера способна анализировать, оценивать и прогнозировать дорожную ситуацию с принятием адекватного решения. Внедрение системы автономной транспортировки руды автосамосвалами в карьерах способствует повышению технико-экономических показателей транспортировки горной массы и безопасности горного производства. Обозначены направления повышения уровня роботизации и автоматизации производственных процессов на российских горных предприятиях для сокращения существующего отставания по сравнению с передовыми зарубежными компаниями.

Введение. Ежедневно на горных предприятиях в мире погибает 2-3 человека в следствие работы карьерных самосвалов [2]. Проведенные международные исследования в данном направлении [3], а также приведённые выше статистические данные, характеризуют автомобильный транспорт как весьма опасный по сравнению с другими видами горного оборудования. В связи с чем работы по разработке и коммерческому внедрению автоматизированной техники в процессы транспортировки горной массы и повышение доли участия в них искусственного интеллекта являются весьма актуальными.

В нашей стране, работы по разработке и созданию технологий для автоматизации горного производства ведутся активно [4-12], однако уровень их коммерциализации и внедрения в производство остается относительно невысоким. Из-за чего повышение эффективности и безопасности горного производства, снижение производственных затрат и улучшение условий труда остаются в числе приоритетных производственных задач, а создание и внедрение новых технологий, базирующихся на максимальной компьютеризации и исключении человека из производственных процессов и рабочего пространства карьера, является одним из перспективных научных направлений, призванным решить эти задачи.

Мировой опыт использования автономных карьерных самосвалов

Обзор мировых практик [13-20] показал, что работы в этом направлении ведутся, начиная с 2008 года (таблица 1). Основоположниками внедрения таких технологий стали горные компании Rio Tinto в Австралии и Codelco в Чили совместно с машиностроительными предприятиями Komatsu (Япония) и Caterpillar (США), в последние годы к ним присоединился также и производитель карьерных самосвалов Hitachi.

Мировой опыт промышленного внедрения систем автономных карьерных самосвалов

Страна	Название компании	Название месторождения	Добываемое полезное ископаемое	Используемая техника и ее грузоподъемность	Год внедрения
Чили	CODELCO's Gabriela Mistral	Gaby	Медь	Komatsu 930E, 320 тонн	2010
Мексика	BHP-Billiton	Navajo coal	Уголь	Caterpillar 793F, 250 тонн	2012
Австралия	Stanwell	Meandu mine	Уголь	Hitachi EH5000, 347 тонн	2014
	Fortescue Metals Group	Solomon mine	Железная руда	Caterpillar 789D, 180 тонн (56 единиц)	2013
	Thiess	Christmas Creek	Железная руда	Komatsu 930E and Caterpillar 789D (65 единиц)	2019
	Rio Tinto	West Angelas, Yandicoogina, Hope Downs 4, Nammuldi	Железная руда	Komatsu 930E и Caterpillar 789D, 180-320 тонн (80 единиц)	2008
США	Barrick Gold Corp	Arturo mine	Золото	Komatsu 930-E, 320 тонн (5 единиц)	2018-2019
Канада	Suncor Energy Inc.	Suncor sand oil mine	Сланцевая нефть	Komatsu 980E-4AT, 400 тонн (9 единиц)	2019

За 10 лет с момента внедрения системы автономно работающих самосвалов компанией Komatsu поставлено свыше 100 единиц техники в Австралию, Южную и Северную Америки, а объем перевозок еще на конец 2017 года превысил 1,5 млрд тонн руды и пустых пород [21].

Несмотря на то, что освоение данной технологии на предприятиях большинства крупных горнодобывающих компаний мира осуществляется последние 10 лет, значительное (в несколько раз) увеличение числа внедрений произошло именно за последние 2 года с серьезными планами на продолжение и расширение данного направления модернизации в ближайшем будущем.

Например, компания Fortescue Metals Group на железорудном карьере Salomon в Западной Австралии, приступившая непосредственно к использованию самоуправляемого автотранспорта еще в 2013 г за последние 2 года значительно интенсифицировала данное направление и внедрила свыше 50 карьерных самосвалов Caterpillar 789D грузоподъемностью 180 тонн [16].

Компания Thiess в текущем году планирует установить автоматизированные системы управления как минимум на 65 единиц Komatsu 930E и Caterpillar 789D на месторождении Рождественский ручей (Christmas Creek) в Австралии. В компании Barrick Nevada, на

руднике Arturo в штате Nevada USA, в текущем году планирует модернизировать 5 автомобилей Komatsu 930-E на автоматическое управление.

В текущем году компания Suncor по добыче сланцевой нефти в Канаде совместно с компанией SMS equipment приступили к тестированию самых крупных в мире по грузоподъемности, 400 тонных беспилотных карьерных самосвалов – Komatsu 980E-4AT [22]. В настоящее время успешно функционируют 9 самосвалов, с планами по расширению данного направления до 150 единиц техники в течении 6 лет [23]. Результатом расширения проекта беспилотных самосвалов ожидается сокращение 500 рабочих мест и набор 100 новых сотрудников с одновременным значительным увеличением производительности транспортировки.

Основываясь на изученных материалах, на данный момент передовым и самым крупным новатором в этом направлении является Австралийская компания Rio Tinto, где разработка системы беспилотных самосвалов началась в 2008 году в рамках программы «Карьер будущего» (Mine of the Future) и компания является первым в мире горным предприятием, осуществившим внедрение полностью автоматизированной системы транспортировки (Autonomous haulage systems (AHS)) железосодержащей руды с трех своих карьеров Yandicoogina, Hope Downs 4 и Nammuldi (район Pilbara) на обогатительную фабрику. Управление и контроль за данной системой осуществляется с операционного центра в городе Перт находящегося порядка 1500 км от места проведения работ. Компания является крупнейшим в мире держателем парка автоматизировано работающих карьерных самосвалов, имея в наличии свыше 80 единиц марок Caterpillar и Komatsu и планами по увеличению более чем до 140 автосамосвалов уже к концу 2019 года [15]. Объем перевозок в рамках данной системы в компании еще в феврале 2018 года превысил 1 млрд тонн и в настоящее время составляет 20% от общей транспортной производительности.

Широкое внедрение технологии свидетельствует о том, что она не только готова к промышленному внедрению, но и доказала свою эффективность и надежность.

Над созданием опытно-промышленных образцов автономных самосвалов и их испытанием работают и многие другие компании, и горные предприятия. В их числе широко используемые в России Белазы совместно с Вист групп и компанией СУЭК. Запланированные первые опытно-промышленных испытания беспилотных карьерных самосвалов в России, согласно информации опубликованной на сайте концерна «Белаз», активно проводились в 2019 году в компании СУЭК на угольном разрезе «Абаканский» в Хакасии [24]. Испытания показали, что компании все еще находится на стадии опытных образцов, способных двигаться по заданным траекториям и выполнять заданные функции, однако, говорить о полном овладении технологиями искусственного интеллекта и автономного передвижения, по нашему мнению, пока рано. На данный момент, уровень их разработки пока не позволяет организовать широкое и массовое внедрение на горных предприятиях России.

Реальными потенциальными партнерами для горных предприятий в этом секторе пока остаются компании Komatsu и Caterpillar. В ближайшем будущем, планируется завершение промышленных испытаний и расширение доли рынка беспилотных самосвалов компанией Hitachi, проводящей удачное тестирование системы на месторождении каменного угля Meandu mine в штате Queensland, Австралия. Однако данные компании пока не готовы внедрять данные технологии на горнодобывающих предприятиях России.

Результаты исследований и их обсуждение

Система транспортировки горной массы с использованием автономных самосвалов, подтвердила способность обеспечить бесперебойную работу карьеров 24 часа 7 дней в неделю [25,26]. За счет снижения числа рабочих, находящихся непосредственно в зонах повышенной опасности повысилась безопасность производства, полностью устранены инциденты, связанные с усталостью водителей, травмами, ушибами, растяжениями, негативным воздействием шума и пыли. В результате эксплуатации на предприятиях было отмечено повышение коэффициента технического использования самосвала с 80 до 90% на

первых годах службы автомобиля [27], отмечается снижение: расхода топлива на 5%, износа шин на 7% [28,29], эксплуатационных расходов до 30% [30]. Все это ведёт к увеличению производительности труда.

Прогнозируется [31] возможность пересмотра параметров системы разработки и СНИПов, в частности, увеличение максимального угла откоса бортов карьера; снижение ширины автомобильных дорог и увеличение углов их наклона. Данные изменения будут способствовать росту темпов углубления и глубин карьеров, а, как следствие, более интенсивной и полной отработке запасов месторождений.

Выводы

Анализ современной практики внедрения карьерных автономных самосвалов показал отставание российской горной промышленности от мировых лидеров на 5-10 лет.

Отечественным добывающим компаниям для того, чтобы не допустить более существенного разрыва и технико-экономического отставания, следует активизировать работу по модернизации транспортных схем при открытой разработке полезных ископаемых в соответствии с мировыми тенденциями на основе постоянного мониторинга технических и технологических инноваций.

Это потребует более тесного и плотного сотрудничества горнодобывающих компаний страны с научными институтами и учебными организациями различных направлений для повышения уровня автоматизации и роботизации технологических процессов с использованием искусственного интеллекта.

Внедрение современных технологий будет невозможно без наличия специалистов с соответствующими компетенциями, что уже на данном этапе, требует радикально нового подхода к кадровому обеспечению горных предприятий. Потребуется переориентация сотрудников технического профиля, включая водителей и операторов, в область информационных технологий с развитием у них навыков обработки больших объемов информации, программирования, анализа, контроля и коррекция работы искусственного интеллекта горных машин и оборудования.

Литература:

1. Zhang M., Kecojevic V., Komljenovic D. Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis //Safety science. – 2014. – Т. 65. – С. 106-117.
2. Meech, J. A. (2014). Autonomous Haulage Trucks - the new way to mine. University of British Columbia The Norman B. Keevil Institute for Mining Engineering The Centre for Environmental Research in Minerals, Metals, and Materials Vancouver, British Columbia The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, V6T1Z4.
3. E. Uhlemann. Active safety vehicles evolving toward automated driving [Connected Vehicles]. IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 10, no. 4, pp. 20-23, Dec. 2015.
4. Алексеев В.С. Повышение извлечения мелкого золота на промывочном приборе шлюзового типа /Алексеев В.С., Серый Р.С., Соболев А.А. // Обогащение руд. 2019. № 5. С. 13-18.
5. Секисов Г.В. Рациональный способ разработки маломощных крутопадающих рудных месторождений. /Секисов Г.В., Соболев А.А.// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. №11 С. 38-45.
6. Пат. 2375576 Российская федерация, МПК Е 21 С 41/26, В 03 В 7/00. Способ освоения месторождений твердых полезных ископаемых [Текст] / Секисов Г. В., Соболев А. А., Якимов А. А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. – 2008117958/03 ; заявл. 04.05.2008 ; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34. – 7 с.: ил.
7. Пат. 2375577 Российская Федерация, МПК⁷ Е 21 С 41/26, В 03 В 7/00. Способ освоения месторождений твердых полезных ископаемых [Текст] / Секисов Г. В., Рассказов И. Ю., Авдеев П. Б., Соболев А. А., Якимов А. А. ; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. – № 2008131164/03 ; заявл. 28.08.08 ; опубл. 10.12.09, Бюл. № 34.
8. Чебан А.Ю. Совершенствование техники и технологий безвзрывной разработки горных пород : моногр. / А. Ю. Чебан. - Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. - 260 с.

9. Гладырь А.В. Проектирование системы геоакустического мониторинга нового поколения. Гладырь А.В., Мигунов Д.С., Мирошников В.И., Луговой В.А. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 9. С. 101-108.
10. Секисов Г.В. Состояние и основные пути развития добычи природных строительных материалов в южных субрегионах дальневосточного округа /Секисов Г.В., Чебан А.Ю., Соболев А.А. //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № 7. С. 71-76.
11. Чебан А.Ю. Разупрочнение поверхностного слоя уступов при сезонном промерзании породы /Чебан А.Ю., Соболев А.А. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 4. С. 113-119.
12. Пат. 2399763 Российская федерация, МПК Е 21 С 41/26, В 03 В 7/00. Способ разработки маломощных крутопадающих месторождений скального типа [Текст] / Секисов Г.В., Авдеев П.Б., Рассказов И.Ю., Соболев А.А. заявитель и патентообладатель Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН. – № 2009127661/03; заявл. 17.07.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 34. – 7 с.: ил.
13. Bellamy D. Assessing the impact of driverless haul trucks in Australian surface mining / Bellamy D., Pravica L. // Resources Policy. – 2011. – Т. 36. – №. 2. – С. 149-158.
14. Fagnant, D. J., & Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 77, 167-181.
15. Annual report 2017. /RioTinto// Brisbane City QLD 4000. 2018. 258P.
16. Staff reporters. The West Australian Journal. 8 November 2018 [Электронный ресурс] Режим доступа: thewest.com.au/business/mining/thiess-wins-fortescue-metals-group-work-for-more-autonomous-haulage-system-trucks-ng-b881015764z (Дата обращения: 08.02.2019)
17. Parreira J. An interactive simulation model to compare an autonomous haulage truck system with a manually-operated system : дис. – University of British Columbia, 2013.
18. Carter, Russell A. Location, location, location. Engineering and Mining Journal; Jacksonville Том 209, Изд. 1, (Jan/Feb 2008): P. 44-47.
19. Hitachi dump trucks autonomous haulage solution - AHS. HitachiMachineryChannel. Официальный пресс канал компании Hitachi. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [//youtube.com/watch?v=c9_Os6Ha-Gk](https://youtube.com/watch?v=c9_Os6Ha-Gk) (Дата обращения: 22.02.2019)
20. Komatsu View Magazine. 2010 №3 Special Edition. Published by Komatsu Ltd. Construction & Mining Equipment Marketing Division 2-3-6, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8414, Japan
21. Komatsu autonomous haulage system. Komatsu пресс релиз. [Электронный ресурс] Режим доступа: [//www.komatsu.com.au/innovation/autonomous-haulage-system](http://www.komatsu.com.au/innovation/autonomous-haulage-system) (Дата обращения: 08.02.2019)
22. Paul Moore SMS Equipment deploys the first autonomous 980E truck at Suncor in the oil sands SMS Equipment deploys the first autonomous 980E truck at Suncor in the oil sands. International mining. 16 April 2019 [Электронный ресурс] Режим доступа: [//im-mining.com/2019/04/16/sms-equipment-deploys-first-autonomous-980e-truck-suncor-oil-sands/autonomous-haulage-system](http://im-mining.com/2019/04/16/sms-equipment-deploys-first-autonomous-980e-truck-suncor-oil-sands/autonomous-haulage-system) (Дата обращения: 23.04.2019)
23. Dan Healing. Suncor is building a fleet of 150 driverless trucks that will cut 400 jobs over the next six years The Canadian Press. January 30, 2018
24. Роботизированные самосвалы. Белаз пресс релиз. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [//belaz.by/uploads/userfiles/files/%D0%91%D0%95%D0%9B%D0%90%D0%97-75131%20Robot.pdf](http://belaz.by/uploads/userfiles/files/%D0%91%D0%95%D0%9B%D0%90%D0%97-75131%20Robot.pdf) (Дата обращения: 22.02.2019)
25. Komatsu View Magazine. 2010 №3 Special Edition. Published by Komatsu Ltd. Construction & Mining Equipment Marketing Division 2-3-6, Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-8414, Japan
26. Komatsu autonomous haulage system. Komatsu пресс релиз. [Электронный ресурс] Режим доступа: [//www.komatsu.com.au/innovation/autonomous-haulage-system](http://www.komatsu.com.au/innovation/autonomous-haulage-system) (Дата обращения: 08.02.2019)
27. Grad, Paul S. Running with robotics. Engineering and Mining Journal; Jacksonville Том 211, Изд. 1, (Jan/Feb 2010): 34-36.

28. Nebot E.M. Surface mining: main research issues for autonomous operations. Nebot E.M. Thrun S., Brooks R., Durrant-Whyte H. Robotics Research. Springer Tracts in Advanced Robotics, vol 28. Springer, Berlin, Heidelberg
29. Redwood N. Autonomous haulage systems financial model assessment. /Redwood N./ Report of Whittle Consulting company for Mining Technical group (Australia). 14 Feb 2018. 28 P.
30. Grad, Paul S. Running with robotics. Engineering and Mining Journal; Jacksonville 211, Issue. 1, (Jan/Feb 2010): 34-36.
31. Трубецкой, К. Н., et al. «Научно-технические вопросы изменения организации управления открытыми горными работами с применением роботизированной карьерной техникой.» Горная Промышленность 5 (135) (2017) С. 27-30.

World trends in development and modernization of the open pit haulage system

Sobolev A.A.^{1a}

¹Mining institute, Far Eastern branch Russian Academy of Science 680000 Khabarovsk, 51 Turgenev st.

^a alexsoboll@mail.ru,

Keywords: information technology, autonomous transportation system, mining trucks, unmanned vehicles, artificial intelligence, open cast mining

The analysis of international experience in increase of efficiency of open pit haulage system has been done. It is revealed that a new, rapidly developing and the most perspective direction in the world is to minimize and exclude human participation in the technological processes of mining. The development of technologies and equipment, allows gradually to replace the human driver in the transportation process and step into fully autonomous haulage system. The combination of sensors and detectors with the artificial intelligence of computer is able to analyze, evaluate and predict the traffic conditions with the generation of an adequate intellectual decision. The introduction of autonomous haulage system in open-pit mining contributing into improving of the technical and economic performance of the rocks transportation and safety of mining. Outlined the directions for increasing the level of robotics and automation of production processes at the Russian mining enterprises to reduce the existing gap in this field between Russian and international mining companies.

УДК 620.193

Особенности защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии в процессе эксплуатации

Гиннэ С.В.^{1a}

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва, пр. им. газеты Красноярский рабочий 31, Красноярск, 660037, Россия

^asvetlanaginne@rambler.ru

Ключевые слова: коррозия металлов, почвенная коррозия металлов, методы защиты от почвенной коррозии

Исследование посвящено изучению теоретических и практических аспектов защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии в процессе эксплуатации. Автором статьи предлагается обобщённая классификация методов защиты промышленного

оборудования от почвенной коррозии. В работе представлено подробное описание способов реализации активной защиты от почвенной коррозии, продемонстрировавших высокую результативность в процессе эксплуатации промышленного оборудования. Катодная защита электрическим методом заключается в постоянной катодной поляризации промышленного оборудования, осуществляемой от внешнего источника электрической энергии. Катодная защита гальваническим методом состоит в катодной поляризации, вызванной электрическим контактом промышленного оборудования с металлом, обладающим более отрицательным электродным потенциалом. Анодная защита предполагает смещение в положительную сторону потенциала активно растворяющегося материала промышленного оборудования до достижения его устойчивого пассивного состояния.

Во многих странах в данный момент времени наблюдаются большие экономические потери производства и значительный экологический ущерб из-за коррозии промышленного оборудования. Приблизжённое оценивание производственных расходов из-за коррозии промышленного оборудования и её последствий показывают, что в большинстве стран суммарные ежегодные потери различных отраслей промышленности могут достигать от 1,5 до 4,0% ВВП [1; 2]. Как отмечают многие специалисты, значительная часть промышленного оборудования (по некоторым подсчётам от 40 до 50%) в той или иной степени испытывают разрушающее воздействие разного вида агрессивных сред, к которым относится и почва (грунт) [1]. При этом эксперты подчёркивают, что почвенная коррозия оказывает наиболее опасное влияние на подземное промышленное оборудование: погружные скважинные насосы, силовые электрические кабели, резервуары, обсадные трубы скважин, опоры, трубопроводы, сваи и топливно-энергетическое оборудование и другое [1 – 4]. Поэтому защита промышленного оборудования от почвенной коррозии выступает в качестве одной из первоочередных задач модернизации промышленных объектов для увеличения их экономической эффективности и экологической безопасности.

В этой связи, основной целью настоящей статьи является выявление и характеристика прогрессивных методов защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии в процессе его эксплуатации на основе анализа теории и практики применения разнообразных способов борьбы с почвенной коррозией технических объектов. В соответствии с заявленной целью исследования нами проведён целенаправленный отбор теоретического материала и определена логика нашей работы. Первым шагом мы уточнили дефиницию понятий «почвенная коррозия металлов» и «методы защиты металлов от почвенной коррозии». В качестве второго шага, нами произведена обобщённая классификация методов защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии. Третьим шагом мы обратились к подробному описанию способов реализации активной защиты от почвенной коррозии, показавших наибольшую продуктивность в ходе эксплуатации промышленного оборудования.

В предшествующих работах, опираясь на итоги изучения содержательных характеристик почвенной коррозии металлов, мы определились с собственной интерпретацией данного феномена как самопроизвольного процесса разрушения металлов вследствие физико-химического воздействия почвы (грунта), в результате которого металлы окисляются и теряют присущие им свойства [5]. Методы защиты металлов от коррозии, по нашему мнению, представляют собой комплекс мероприятий, направленных на обнаружение и устранение коррозионных процессов, с целью сохранения и поддержания работоспособности промышленного оборудования в процессе его создания, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта [6]. При этом необходимо отметить, что методы защиты металлов от почвенной коррозии предполагают целенаправленное воздействие на материал, рабочую среду и конструктивные элементы (факторы) промышленного оборудования с целью устранения или снижения отрицательного воздействия почвы (грунта), содействующего возникновению и развитию коррозионных процессов.

Исследователи-практики все существующие современные техники, технологии, приёмы и средства защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии условно разделяют на три вида: активную, пассивную и комплексную защиту [3; 4; 7 – 10]. Тщательный анализ научно-технических источников информации позволил нам разработать обобщённую классификацию методов защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии (рис. 1). Активная защита промышленного оборудования от почвенной коррозии объединяет различные методы электрохимической защиты (ЭХЗ). Пассивная защита промышленного оборудования от почвенной коррозии включает следующие методы противокоррозионной защиты: изоляцию промышленного оборудования от воздействия почвы (грунта); специальные методы укладки промышленного оборудования в почву (грунт); повышение коррозионной стойкости промышленного оборудования; снижение агрессивности почвы (грунта). Комплексная защита промышленного оборудования от почвенной коррозии сочетает в себе активные и пассивные методы защиты и, как правило, связана с управлением электрохимическими процессами, протекающими на границе материала промышленного оборудования и почвы (грунта).

Согласно траектории исследования, заявленной в начале статьи, предлагаем перейти к детальной характеристике активной защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии, предполагающей поддержание такого энергетического состояния материала промышленного оборудования, при котором окисление его термодинамически сильно замедлено или вообще невозможно. Наиболее широкое применение в процессе эксплуатации промышленного оборудования получили два способа активной защиты от почвенной коррозии, а именно: катодная защита и анодная защита.

Катодная защита от почвенной коррозии основана на снижении скорости растворения материала промышленного оборудования по мере смещения его потенциала коррозии в зону более отрицательных значений, чем естественный потенциал. При данном способе противокоррозионной защиты промышленному оборудованию сообщается настолько отрицательный электрический потенциал, что окисление его материала становится термодинамически невозможным или снижается до минимальной степени. Установлено, что естественный потенциал стали в почве (грунте) примерно равен от $-0,55$ до $-0,6$ Вольт, поэтому для осуществления катодной защиты стального промышленного оборудования от почвенной коррозии нужно сместить его потенциал коррозии на $(0,25 \dots 0,30)$ Вольт в отрицательную сторону. Иными словами, прилагая между поверхностью материала промышленного оборудования и почвой (грунтом) электрический ток, необходимо достигнуть снижения потенциала в дефектных местах изоляции этого оборудования до значения ниже критерия защитного потенциала, равного $-0,85$ Вольт. Эмпирическим путём доказано, что в итоге протекания обозначенного процесса скорость коррозии стального промышленного оборудования утрачивает практическое значение, т.к. снижается до 10 мкм в год.

При описании катодной защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии некоторые учёные акцентируют внимание на том, что в отдельных случаях указанный вид противокоррозионной защиты может осуществляться не постоянно, а периодически, создавая ощутимый экономический эффект. В нормативно-технологической литературе указывается, что катодную защиту промышленного оборудования от почвенной коррозии можно выполнять двумя способами: 1) применением внешних источников постоянного тока (электрический метод); 2) применением жертвенных анодов-протекторов (гальванический метод).



Рис. 1. Обобщённая классификация методов защиты от почвенной коррозии

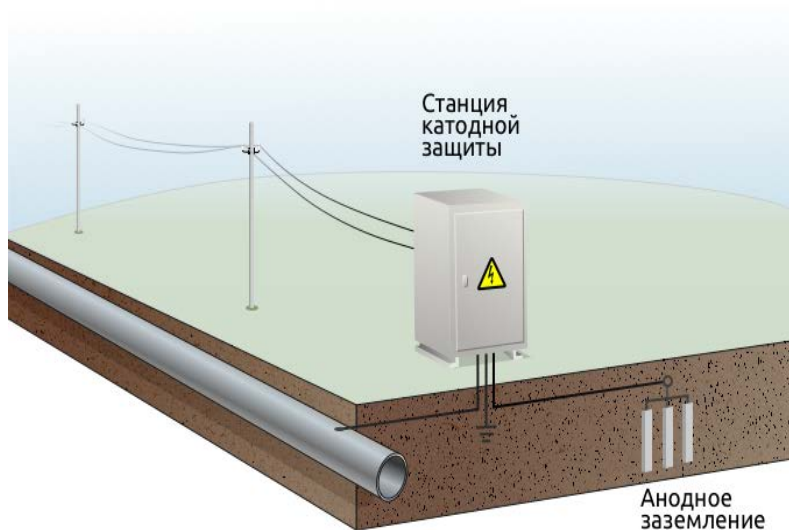


Рис. 2. Катодная защита от почвенной коррозии электрическим методом

Катодная защита от почвенной коррозии электрическим методом представляет собой постоянную катодную поляризацию промышленного оборудования, осуществляемую от внешнего источника электрической энергии, для чего используют преобразователи различной конструкции, питающиеся от сети переменного тока: специальные катодные установки, воздушные линии, аккумуляторные батареи, селеновые выпрямители, дизельгенераторы, термогенераторы, газогенераторы и другие (рис. 2). Сущность рассматриваемого метода противокоррозионной защиты заключается в следующем: под действием напряжения внешнего источника электрической энергии постоянный ток перемещается по замкнутой электрической цепи анод–почва–оборудование и возвращается по проводнику к источнику электрической энергии, в результате чего происходит разрушение анода, а промышленное оборудование остаётся целым (рис. 3 и 4, б). Катодную защиту от почвенной коррозии данным методом рекомендуется употреблять для защиты промышленного оборудования, эксплуатирующегося в почве (грунте) с достаточно большой электропроводностью.

Рассмотрим принципиальную схему катодной защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии электрическим методом на примере проложенного в земле трубопровода, представленную в работе В.Е. Василенкова и М.Н. Гудзенко. Установленная на земле катодная станция 1 (источник тока) соединяется отрицательным полюсом (катодом) с защищаемым трубопроводом 3, а металлическим проводником с положительным полюсом со специально уложенным в земле металлическим электродом – анодом 2 (рис. 3). Таким образом, уточняют специалисты, под действием напряжения катодной станции постоянный ток проходит по кругу анод–почва–трубопровод и возвращается по проводнику на катодную станцию: при этом анод разрушается, а трубопровод сохраняется [7].

Катодная защита от почвенной коррозии гальваническим методом состоит в катодной поляризации, вызванной электрическим контактом промышленного оборудования с металлом, обладающим более отрицательным электродным потенциалом, например стального оборудования с магниевой отливкой. В основу данного метода положен тот факт, что различные металлы в электролите имеют различные электродные потенциалы. Как утверждают И.В. Семенова, Г.М. Флорианович и А.В. Хорошилов, если создать гальванопару из двух металлов и разместить её в электролит, то металл с более отрицательным потенциалом станет анодом и будет разрушаться, защищая, тем самым, металл с менее отрицательным потенциалом (на рис. 4, а: минус – соединяется с трубой, а плюс – с анодным заземлением) [9].

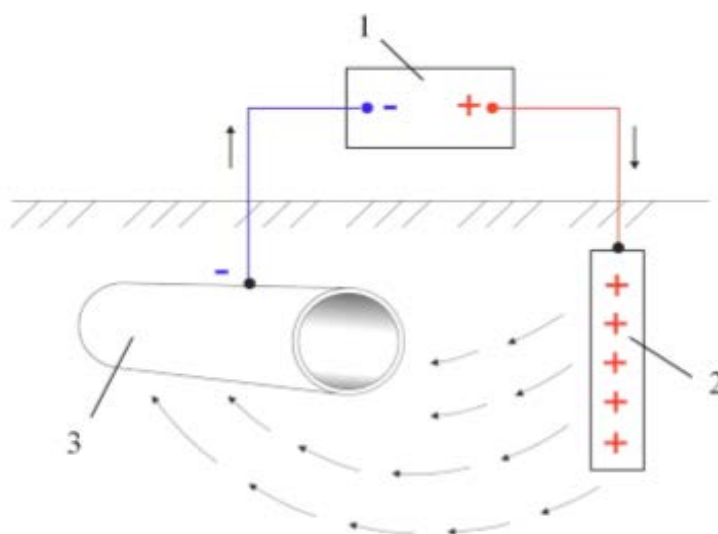


Рис. 3. Принципиальная схема катодной защиты электрическим методом [7]
1 – катодная станция (источник тока); 2 – анодный электрод; 3 – трубопровод

В ходе промышленных испытаний выявлено, что более электроотрицательный металл в среде с достаточно высокой электропроводностью подвергается окислению, в результате чего разрушается. Этот металл является протектором и его необходимо регулярно заменять. Для защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии в качестве протекторов чаще всего используют магний, алюминий, цинк. Однако, по мнению ряда экспертов, не всегда целесообразно использовать в качестве протекторов чистые металлы. В процессе лабораторных экспериментов выяснено: 1) магний имеет высокую скорость собственной коррозии; 2) поверхность чистого алюминия покрывается плотной оксидной плёнкой; 3) из-за крупнозернистой дендритной структуры чистый цинк растворяется неравномерно. Поэтому для получения у протекторов необходимых эксплуатационно-технических характеристик некоторые учёные предлагают вводить в их состав легирующие элементы.

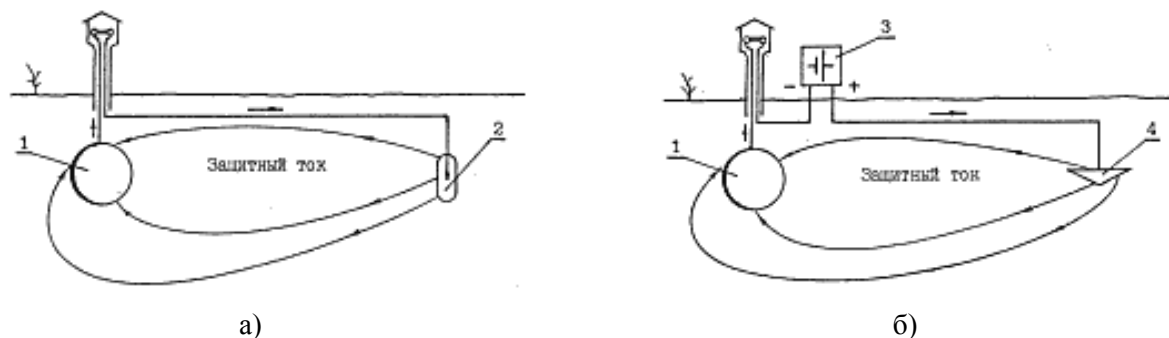


Рис. 4. Принцип катодной защиты [9]

1 – заложённый в грунт трубопровод, 2 – гальванический жертвенный анод, 3 – источник постоянного тока, 4 – малорастворимый анод

а) с помощью гальванических жертвенных анодов; б) с помощью поляризации от источника постоянного тока

Опытным путём обосновано, что использование катодной защиты гальваническим методом действительно только в низкоомных почвах (грунтах) – до 50 Ом·м, т.к. в высокоомных почвах (грунтах) этот метод не обеспечивает необходимый уровень защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии. Кроме того, установлено, что чрезмерное завышение разности потенциалов отрицательно влияет на адгезию изоляционного покрытия и способно вызвать наводороживание материала промышленного оборудования, которое может привести к водородному растрескиванию. Помимо выше обозначенного выявлено, что при снижении разности потенциалов в определённом диапазоне возможно возникновение коррозионного растрескивания промышленного оборудования под напряжением.

Анодная защита промышленного оборудования от почвенной коррозии подразумевает смещение в положительную сторону потенциала активно растворяющегося материала до его перехода в устойчивое пассивное состояние. В трудах современных исследователей отмечается, что такое смещение потенциала можно осуществить несколькими способами: 1) от внешнего источника тока; 2) введением ингибиторов-окислителей в раствор; 3) включением в состав сплава элементов, например, благородных металлов, способствующих повышению результативности протекающего на поверхности материала катодного процесса [8 – 10]. С точки зрения практикующих специалистов, анодная защита перспективна к применению при эксплуатации промышленного оборудования в хорошо электропроводных почвах (грунте) и изготовленного из легко пассивирующихся материалов – сплавов на основе железа (углеродистых сталей, низколегированных нержавеющей сталей, высоколегированных сталей различного состава), титана и других.

Обобщение научно-технической информации о защите промышленного оборудования от почвенной коррозии позволяет нам представить следующие выводы. Во-первых, влияние

почвы приводит к специфичным коррозионным повреждениям промышленного оборудования, которые вызывают разрушение и простой индустриальных объектов, колоссальную трату материалов, потери и перебои в поставках производимого продукта, катастрофы и аварии промышленного оборудования, приводящие к загрязнению окружающей среды. Во-вторых, для предотвращения или уменьшения повреждения промышленного оборудования от почвенной коррозии, необходимо своевременно и соответствующим образом налаживать систему противокоррозионной защиты, требующей регулярной проверки технико-технологических параметров работы промышленного оборудования, его периодических обследований с целью обнаружения и устранения коррозионно-опасных мест. В-третьих, результативность обозначенной системы противокоррозионной защиты в значительной степени определяет уровень надёжности функционирования и продолжительность сроков эксплуатации промышленного оборудования в условиях разрушающего воздействия почвы (грунта). В-четвёртых, выбор того или иного метода(ов) защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии нужно осуществлять, исходя из технико-экономических соображений. Выше сформулированные выводы разрешают нам утверждать, что необходимо продолжать совершенствование используемых и разработку новых, более действенных методов защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии в процессе его эксплуатации.

Литература:

1. Назарова, А.А. Возможность применения продуктов очистки отработавших моторных масел в качестве ингибитора для защиты стали 3 от почвенной коррозии / А.А. Назарова, Е.Д. Таныгина, С.Д. Полищук // Инновационная техника и технология. – Пенза, 2016. – № 2. – С.41–46.
2. Назарова, А.А. Влияние химического и гранулометрического состава различных типов почв на скорость почвенной коррозии стали 3 / А.А. Назарова, Е.Д. Таныгина // Апробация. – Тамбов, 2016 – № 3. – С.14–17.
3. Галимуллина, С.Р. Использование полимерных покрытий для защиты подземных металлоконструкций от почвенной коррозии / С.Р. Галимуллина, А.В. Карташова, Е.А.Распутина, Е.И.Ямщиков. // Приоритетные направления развития науки и образования. – Пенза, 2018 – С.47–51.
4. Никулин С.А. Повышение эффективности предотвращения коррозии нефтегазопроводов на основе оптимального регулирования режимов работы станций катодной защиты : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : 25.00.19. – Ухта, 2015. – 147 с.
5. Гиннэ, С.В. О почвенной коррозии металлов: теория вопроса / С.В. Гиннэ, Ш.Р. Джураев // Инновационные процессы в современной науке (INNOVATIVE PROCESSES IN MODERN SCIENCE) : Материалы Международной научно-практической конференции, 19 апреля 2019 года (г. Прага, Чехия) / Vydavatel «Osvícení», Научно-издательский центр «Мир науки». – Прага : Vydavatel «Osvícení»; Нефтекамск : Научно-издательский центр «Мир науки», 2019. – С.38–43.
6. Кулак В.В. К вопросу о защите металлов от коррозии / В.В. Кулак, В.Д. Слабышева, С.В. Гиннэ // Наука и молодежь : проблемы, поиски, решения: труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2016. – Вып. 20. – Ч. IV. Технические науки. – С. 19–22.
7. Василенков, В.Е. Модернизация системы водоснабжения с использованием катодной защиты трубопроводов / В.Е. Василенков, М.Н. Гудзенко // Инновации в сельском хозяйстве. – М., 2017. – № 4. – С.46–50.
8. Вагин, В.А. Технология защиты подземных трубопроводов от коррозии в зонах промышленных площадок / В.А. Вагин // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. М. – 2009. – № 8. – С.15–18.
9. Семенова И.В. Коррозия и защита от коррозии / И.В. Семенова, Г.М. Флорианович, А.В. Хорошилов / Под ред. И.В. Семеновой. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 336 с.
10. Husband P.S. Asset deterioration and discoloration in water distribution systems / P.S. Husband, J.B. Boxa // Journal of Water Research. – 2011. – Vol. 45. – Issue 1. – P. 113–124.

Features of protection of industrial equipment from soil corrosion during the operation process

Ginne S.V.^{1a}

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, the ave. of the newspaper the Krasnoyarsk worker 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

^asvetlanaginne@rambler.ru

Keywords: corrosion of metals, soil corrosion of metals, methods of protection of from soil corrosion

The research is devoted to the study of theoretical and practical aspects of protection of industrial equipment from soil corrosion during operation. The author of the article offers a generalized classification of methods for protecting industrial equipment from soil corrosion. The detailed description of techniques for implementing active protection against soil corrosion, which have demonstrated high efficiency during the operation process of industrial equipment, is presented in the article. The cathode protection by the electric method consists in the constant cathode polarization of industrial equipment, carried out from an external source of electrical energy. The cathode protection by the galvanic method consists in cathode polarization, caused by the electrical contact of industrial equipment with a metal, having a more negative electrode potential. The anode protection involves shifting the potential of the actively dissolving material of industrial equipment to the positive side until it reaches a stable passive state.

УДК 625.088

Вибрационный комплекс для приготовления и дозировки цементобетонной смеси используемой для 3D строительных принтеров

Ефремов М.И.^{1,a}, Смирнова А.А.^{2,b}, Ефремов И.М.^{2,b}

¹Санкт-Петербургский государственный политехнический университет имени Петра Великого, ул. Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургская академия машиностроения имени Ж.Я.Котина, ул. Бабушкина, 119, г. Санкт-Петербург, Россия

^aimefremov@yandex.ru, ^bmichdoker@mail.ru

Ключевые слова: анализ, геометрическая форма, вибрационный смеситель, виброактиватор, 3-D принтер.

В данной работе представлена конструкция смесительного агрегата с функцией дозировки приготовленной смеси. Актуальность работы доказывается перспективностью применения строительных 3D принтеров. Данная технология и применяемое оборудование позволяет в значительной степени поднять производительность строительного производств в области малоэтажного строительства, сократить затраты на электроэнергию и дорогостоящие наполнители. Предлагаемая конструкция смесителя отличается возможностью получения цементобетонных смесей с равномерно

распределенной полимерной фиброй во всем объеме замеса, тем самым решается проблема армирования получаемых изделий различных форм. Достигается это применением вибрации в процессе перемешивания. Оригинальный вибрационный механизм предполагает возможность изменения амплитуды и частоты вибрации в зависимости от рецептурыготавливаемой цементобетонной смеси. Вибрационное воздействие на цементобетонную смесь позволяет снизить вязкость смеси на этапе приготовления и вместе с тем ускорить процесс затвердевания в форме, по причине активизации цемента и гидратации наполнителей. В паре со строительным 3D принтером предлагаемый смеситель позволит создавать различные архитектурные формы.

В строительной индустрии все большую популярность приобретают строительные 3D-принтеры. Широкому внедрению препятствует стоимость расходного материала, в частности новых видов цементобетонной смеси, отличающейся скорейшим твердением. Для ускорения процесса твердения применяют различные химические добавки, не всегда безопасные. Предлагается использовать фибробетон для строительного принтера на основе различных материалов, в частности полимеров. Однако перемешивание фибры в бетонной смеси в традиционных смесительных машинах затруднено и не приводит к равномерному распределению в объеме замеса [2].

Одним из путей решения этих задач является применение вибрации в процессе перемешивания. Современный уровень технологии бетона и теории твердения вяжущих веществ, свидетельствует о том, что основные свойства бетона являются функцией протекающих в нем процессов. Одним из наиболее эффективных методов, повышающих качество бетона является вибрационная обработка [1, 3, 8, 9].

В процессе вибрирования происходит тиксотропное разжижение смеси; активизация цемента; равномерное распределение цемента, ускоряется гидратация; очищение заполнителя от пылеватых и глинистых веществ, повышается скорость твердения бетона, сокращается время смешивания. Повышенная эффективность вибрационных машин обуславливается характером воздействия их на обрабатываемую среду и принципиальными особенностями устройства.

Вибротехника является прогрессивным методом, возможности которого и область применения еще далеко не выявлены. Анализ конструкции смесителей, выпускаемых отечественной промышленностью для производства бетонных и растворных смесей, показывает недостаточную связь между потребностями строительной отрасли и техническими параметрами этих машин.

В России насчитывается более двух десятков производителей и поставщиков бетоносмесительного оборудования (ОАО «Тульский завод стройтехники», ОАО «Строймаш» (г. Лебедянь Липецкой области), АОЗТ «АОР» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Ярославский завод «Стройтехника», ООО «УПТК Стройтехника» (г. Москва) и др). Анализ конструкции и технических характеристик бетоносмесителей принудительного действия, выпускаемых этими предприятиями, показал их значительное разнообразие как по конструктивным, так и по технологическим параметрам. Но при этом при разработке указанных смесителей в основном не соблюдались какие-либо закономерности и положения создания типоразмерных рядов машин и реологические свойства смесей [4, 5].

Говоря о совершенствовании бетонов и их технологических возможностях, можно отметить, что самую главную роль при этом играет процесс смешивания компонентов смеси и получение высокооднородных смесей, что возможно сделать лишь в смесителях, имеющих наиболее оптимальные параметры (конструктивные, технологические. Знакомясь с высказываниями специалистов в области создания и производства современного смесительного оборудования, нельзя не обратить внимание, что основной акцент делается на вопросы очень важные (надежность, организация сервиса, внешний вид, используемые материалы, конструктивные новации, стоимость), но в большинстве из

них ничего не говорится о недостатках или достоинствах тех или иных смесителей с позиции их главной задачи – получения высокооднородных смесей [1,3,6].

Промышленный опыт эксплуатации бетоносмесительного оборудования показывает, что одной из причин снижения прочностных показателей бетонных и железобетонных конструкций и, соответственно, срока их службы является неоднородный состав бетонной смеси. А причиной этого в значительной степени является именно невысокое качество бетона, выдаваемого смесителем [10,5].

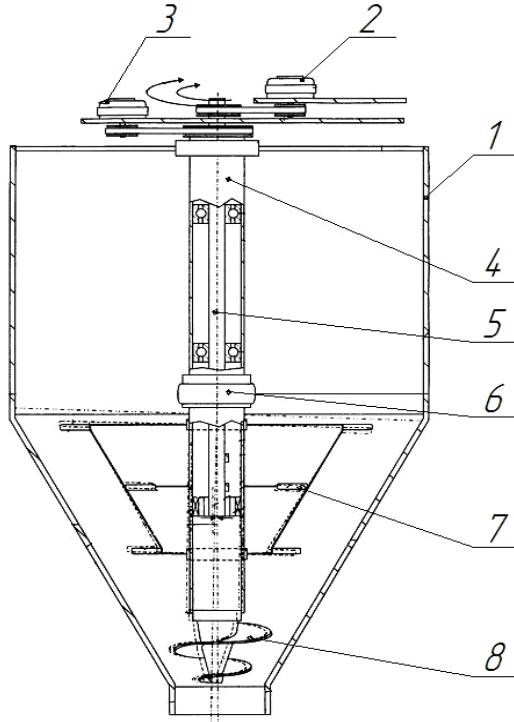


Рис.1. Схема вибрационного смесителя
1 – корпус; 2 – привод вибровозбудителя;
3 – привод лопастного органа; 4 – вал;
5 – вибровозбудитель; 6 – гибкий элемент;
7 – лопасти на каркасе; 8 – шнек.

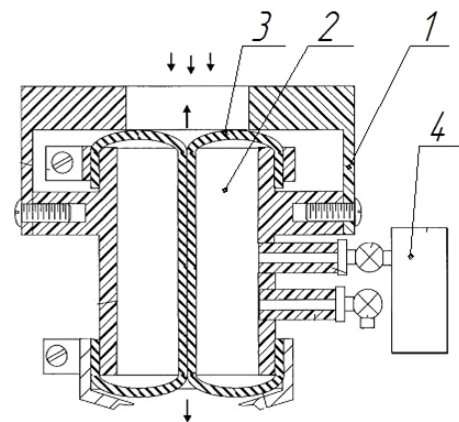


Рис. 2. Схема дозирующего устройства
1 – корпус; 2 – пневмокамера;
3 – резиновый элемент;
4 – компрессор

Таким образом, повышение интенсивности процессов смешивания становится возможным только при использовании новых эффектов воздействия. Одним из таких эффектов является, как мы упоминали и ранее, вибрация смешивающего устройства, ибо она значительно уменьшает вязкость смесей, что и обуславливает интенсификацию диффузионных процессов смешивания.

С целью улучшения качеств растворных и бетонных смесей, повышения уровня однородности смеси за счет применения вибрационных систем была поставлена задача разработки вибрационного смесителя циклического действия с лопастным органом перемешивания и расположением вибровозбудителя непосредственно в лопастном органе, что позволит снизить удельное сопротивление на лопасти при работе и улучшить физические свойства бетонных и растворных смесей (см.рис.1), и так же разработать устройство дозировки готовой смеси по предоставленной схеме (см. рис. 2).

Исходя из заданной схемы вибросмесителя, была разработана схема смесителя для бетонных и растворных смесей показанная на (рис. 3.).

Конструкция смесителя представляет собой корпус, закрепленный на раме, внутри которого вращается лопастной вал с вибровозбуждением для улучшения физических свойств бетонных и растворных смесей, а так же для снижения удельных сил сопротивления смеси на лопасти рабочего органа.

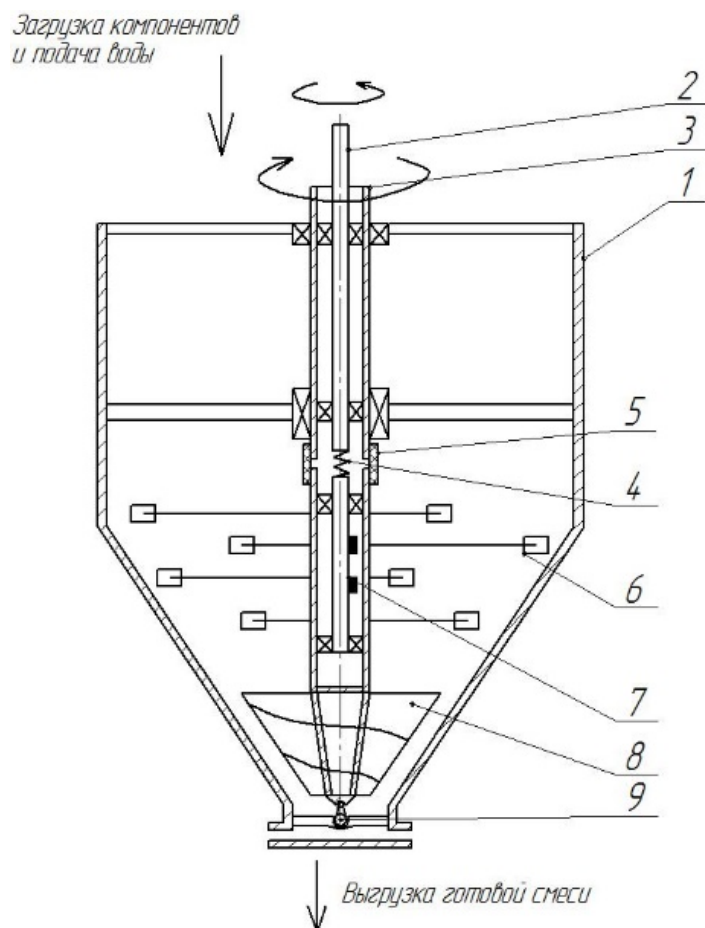


Рис. 3. Схема вибрационного смесителя для бетонных смесей

1 – корпус; 2 – привод вибровозбудителя; 3 – привод лопастного органа; 4 – гибкий элемент вибровозбудителя; 5 – гибкий элемент лопастного вала; 6 – лопасти; 7 – вал вибровозбуждения с дибалаксами; 8 – шнек; 9 – подпятник.

Конструкция смесителя является полностью сборно-разборной, что характеризует ее с лучшей стороны при монтаже. На рисунке 4. показан непосредственно сам смеситель. Под позицией 1 показан корпус, выполненный как сборочная единица, из крышки, цилиндра и конуса. В корпусе закрепляется рабочее оборудование 2 которое и отвечает за перемешивание растворов и бетонных смесей за счет создания турбулентности с помощью лопастей 3. Во избежание оседания бетонной смеси на дне смесителя в разгрузочном отверстии на рабочем оборудовании 2 установлен конический шнек 4 который в процессе перемешивания устремляет оседающую смесь в верх где она подхватывается лопастями 3. Поскольку внутри рабочего органа 2 располагается вибровозбудитель, то для придания лопастному валу плавающего положения в устройстве рабочего вала предусмотрен сильфон 6 позволяющий увеличить амплитуду колебаний и снизить нагрузки на подшипники. Для ограничения амплитуды колебаний вала в нижней части рабочего органа 2 установлен подпятник 5 служащий не только ограничителем, но и опорой вала.

Дозатор представлен в виде корпуса (1) в нутрии которого установлена пневмокамера (2) с герметично закрепленным на ней резиновым элементом, работающим как клапан. Снизу дозатор закрывается крышкой. Во избежании попадания бетонной смеси в корпус дозатора в нем так же предусмотрены резиновые уплотнения в верхней и нижней части пневмокамеры закрепленные на корпусе и крышке.

Принцип работы дозатора довольно простой, перед началом загрузки компонентов в камеру перемешивания смесителя в пневмокамеру дозатора подается воздух от компрессора и резиновый элемент расширяется под давлением преграждая тем самым путь из камеры перемешивания

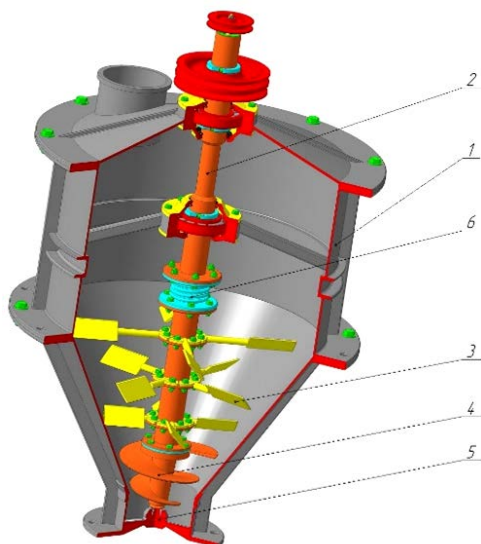


Рис. 4. Вибрационный смеситель
1 – корпус; 2 – рабочее оборудование;
3 – лопасти; 4 – конический шнек;
5 – подпятник; 6 – сильфон.

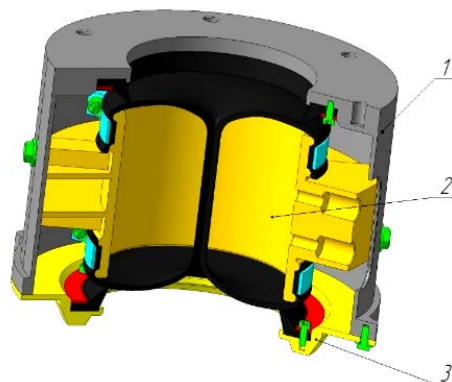


Рис. 5. Дозатор
1 – корпус; 2 – пневмокамера
3 – крышка.

Регулировка давления в пневмокамере осуществляется настройкой давления в пневмосистеме и для того чтобы не произошло превышения давления в пневмокамере в системе установлены предохранители как показано на пневмосхеме (см. рис. 6.).

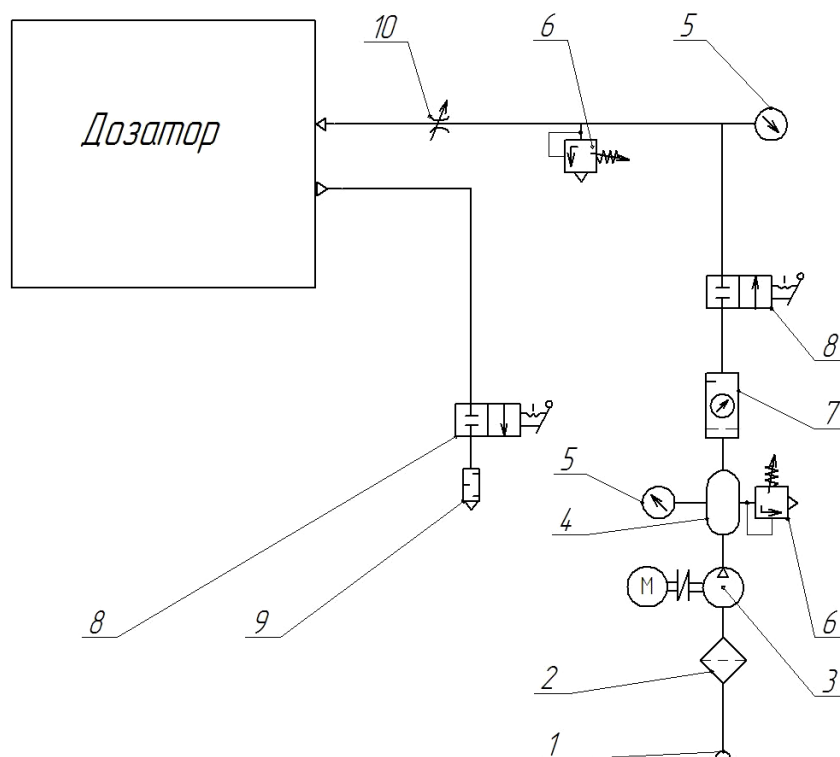


Рис.6. Пневмосхема

1 – заборник воздуха из атмосферы; 2 – фильтр; 3 – компрессор; 4 – ресивер; 5 – манометр; 6 – предохранитель; 7 – блок подготовки воздуха; 8 – распределитель; 9 – глушитель; 10 – дроссель регулируемый.

В процессе выгрузки бетонной смеси с дозатора стравливается воздух и включается реверс рабочего оборудования «режим разгрузки» помогая тем самым быстрее разгрузить камеру перемешивания.

Одним из путей решения этих задач является использование вибрации в процессе перемешивания. Современный уровень технологии бетона и теории твердения вяжущих веществ, свидетельствует о том, что основные свойства бетона являются функцией протекающих в нем процессов. Одним из наиболее эффективных методов, повышающих качество бетона является вибрационная обработка.

В процессе вибрирования происходит тиксотропное разжижение смеси; активизация цемента; равномерное распределение цемента, ускоряется гидратация; очищение заполнителя от пылеватых и глинистых веществ, повышается скорость твердения бетона, сокращается время смешивания.

За последние годы во многих отраслях народного хозяйства, и особенно в строительстве, начинают широко внедрять вибрационные машины и виброметоды ведения различных работ. Внедрение вибротехники повышает уровень механизации и автоматизации многих трудоемких работ, способствует коренному усовершенствованию технологических процессов, увеличивает экономическую эффективность предприятий и повышает производительность труда.

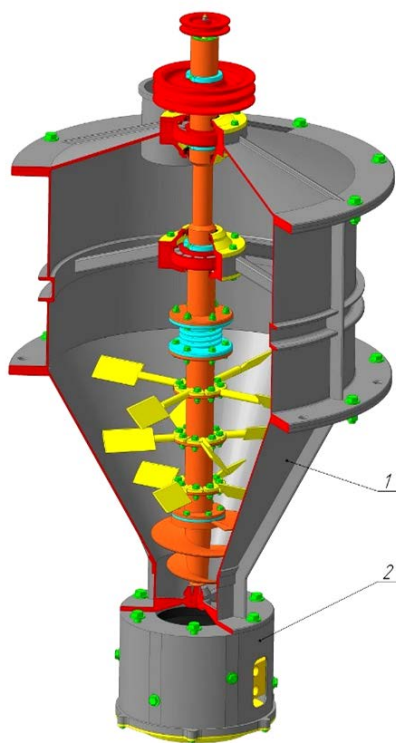


Рис. 7. Вибрационный смеситель с закрепленным на нем дозатором
1 – вибрационный смеситель; 2 – дозатор.

Повышенная эффективность вибрационных машин обусловливается характером воздействия их на обрабатываемую среду и принципиальными особенностями устройства. Особенностями предлагаемой конструкции явилась возможность получения смесей используемых в работе строительных 3D принтеров. Фибробетоны с полимерными наполнителями позволяют решать кроме задач высокопроизводительной подачи смеси, еще и возможность непрерывного армирования.

Литература:

1. Ефремов И.М. Интенсификация процесса и выбор параметров роторно-вибрационного смесителя: Научная диссертация. - Л.; Ленинградский ордена Ленина политехнический институт имени М.И.Калинина, 1985. -250с.
2. Поскребышев В.А., Радина Т.Н., Ефремов И.М. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учебное пособие. – Братск: БрГТУ, 2002. – 124с.
3. Кузьмичев В.А. Вибрационное смешивание строительных материалов: Учебное пособие. – БрИИ. – Братск. 1993. – 67с.
4. Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование. – М.: Высшая школа., 1987. -376с.
5. Ефремов И.М. Машины для производства цементных и асфальтобетонных смесей: Учебное пособие. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2003. – 110с
6. Королев К.М. Механизация приготовления и укладки бетонной смеси. – М.: Стройиздат, 1986. – 136с.
7. Королев К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. М.: Стройиздат, 1976, 145 с.
8. Королев К.М. Современное бетоносмесительное оборудование и опыт его эксплуатации. М.: ЦНИИТЭСтроймаш, 1978. 59 с.
9. Королев К.М., Аракелянц М.М. Вибрационные смесители для приготовления бетонных и растворных смесей. М.: Стройиздат, 1961. 55 с.
10. Ефремов И.М., Лобанов Д.В., Фигура К.Н., Комаров И.В. Патентно-аналитический обзор и расширенная классификация бетоносмесительных машин в аспекте исследования вибрационных технологий перемешивания бетонных смесей. // Системы. Методы. Технологии, 2011, №10, С. 38-45.

Vibration complex for preparation and dosage of cement concrete mix used for 3D construction printers

Efremov M. I^{1 a}., Smirnova A. A.^{2, b}, Efremov I. M.^{2b}

¹Saint Petersburg state Polytechnic University Peter the Great University, 29 Politechnicheskaya str., Saint Petersburg, Russia

²Saint Petersburg Academy of mechanical engineering named after Zh. Ya. Kotin, 119 Babushkina str., Saint Petersburg, Russia

^a imefremov@yandex.ru, ^b michdocer@mail.ru

Keywords: analysis, geometric shape, vibration mixer, vibration activator, 3-D printer.

This paper presents the design of a mixing unit with the function of dosage of the prepared mixture. The relevance of the work is proved by the prospects of using construction 3D printers. This technology and the equipment used can significantly increase the productivity of construction industries in the field of low-rise construction, reduce energy costs and expensive fillers.

The proposed design of the mixer is characterized by the possibility of obtaining cement-concrete mixtures with a uniformly distributed polymer fiber throughout the entire volume of mixing, thus solving the problem of reinforcing the resulting products of various shapes. This is achieved by applying vibration during the mixing process. The original vibration mechanism assumes the possibility of changing the amplitude and frequency of vibration depending on the recipe of the prepared cement-concrete mixture.

The vibration effect on the cement-concrete mixture reduces the viscosity of the mixture at the preparation stage and at the same time speeds up the process of solidification in the form, due to the activation of cement and hydration of fillers. When paired with a construction 3D printer, the proposed mixer will allow you to create various architectural forms.

Усовершенствованный выемочный комплекс для отработки маломасштабных угольных разрезов

Чебан А.Ю.^{1а}

¹Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, ул. Тургенева 51, Хабаровск, Россия

^а chebanay@mail.ru

Ключевые слова: уголь, децентрализованные потребители энергии, исполнительный орган, сортировка, мягкие контейнеры.

Для многих районов Крайнего Севера России характерно наличие децентрализованной энергетики, основу топливного баланса которой составляет уголь. Суровые климатические условия и большие расстояния транспортировки обуславливают высокую стоимость топлива, а многочисленные перегрузки ведут к потерям угля от просыпания и выдувания. В статье предлагается конструкция усовершенствованного выемочного комплекса для послойной отработки пласта угля, включающего гусеничное ходовое оборудование, фрезерный исполнительный орган, сортировочное устройство, накопитель для угольной мелочи, систему пневмотранспортирования, упаковочную установку, весовое устройство и другое оборудование. В процессе работы выемочного комплекса ведется сортировка вынутаго угля с выделением мелких фракций, заполнение и упаковка мягких контейнеров для последующей их отправки мелким потребителям. Перевозка угля в контейнерах позволит сохранить его качество и исключить потери.

Введение. Во многих районах Крайнего Севера Российской Федерации осуществляется децентрализованное тепло и электроснабжение, где при отсутствии крупных промышленных потребителей и невысокой плотности населения имеется множество малых рассредоточенных потребителей энергии. При этом тепло и электроэнергия вырабатываются от малых автономных энергоустановок, топливо для которых поставляется в рамках «северного завоза» [1]. В Российской Федерации уголь является одним из ключевых видов топлива для производства тепла и электроэнергии. Высокая стоимость топлива поступающего в районы Крайнего Севера обусловлена, прежде всего, большими расстояниями и высокой стоимостью перевозки топлива до потребителей, так в Якутии стоимость доставки угля с месторождения Джебарики-Хая до потребителей бассейна реки Яна в пять раз превышает затраты на приобретение угля у поставщика. При этом доставка угля осуществляется с двумя, тремя и более перевалками и хранением в пути, в некоторых случаях на второй год навигации [2]. Естественная убыль угля на всех этапах транспортирования, достигающая согласно нормативным документам до 8-12%, возникает из-за просыпей, выдувания, вымывания, увлажнения. Кроме того, снижаются качественные характеристики угля вследствие его переизмельчения, окисления и засорения остатками других грузов.

Состояние вопроса. Важным направлениями повышения эффективности теплоснабжения районов Крайнего Севера являются обеспечение необходимых качественных параметров в процессе добычи угля, а также снижение потерь количества и качества угля при его транспортировке от мест добычи до районов потребления [2]. В настоящее время развиваются технологии ведения горных работ открытым и подземным способом, а также технологии переработки угля [3-9]. Расширяется область безвзрывных технологий выемки горных пород, совершенствуются технические средства механической

выемки [10-13]. Для повышения качества добываемого угля предлагаются технологические схемы, предусматривающие его сортировку как на специальном участке вне разреза, так и непосредственно в забое. В работе [14] предлагается совместно с выемочной машиной циклического действия использование в забое перерабатывающего звена и дополнение транспортного звена технологическим автотранспортным средством с установленными на нем специализированными контейнерами. Использование контейнеров с полученным сортовым углем обеспечивает сохранность его качественных и количественных характеристик. В связи с большим количеством горного оборудования и производственного персонала данную схему нецелесообразно применять на малых угольных разрезах, кроме того, металлические контейнеры имеют сравнительно большую массу и стоимость, также потребуются значительные дополнительные расходы для возвращения порожних контейнеров назад для их повторного использования. Известна технологическая схема добычи угля карьерными комбайнами с одновременной сортировкой горной массы, при этом отделенная угольная мелочь транспортируется в герметичные бункеры специального транспортного средства, а сортовой уголь грузится в автосамосвалы [15]. Недостатком данной схемы является то, что для упаковки угля в контейнеры требуется дополнительная производственная линия, а также требуется специальный автомобиль для сбора угольной мелочи.

Для транспортирования насыпных грузов широкое применение получили мягкие контейнеры из полимерных материалов представляющие собою складывающуюся закрытую емкость с круглым или квадратным поперечным сечением [16]. Погрузочно-разгрузочные операции с такими контейнерами осуществляются кранами или погрузчиками, данные контейнеры можно штабелировать на складах в два-три яруса [17].

Целью работы является создание специализированного выемочного комплекса, обеспечивающего одновременную выемку, сортировку и упаковку угля в мягкие контейнеры при разработке малых угольных разрезов для снабжения мелких потребителей в районах с децентрализованным энергообеспечением.

Результаты исследований и их обсуждение

Автором предлагается усовершенствованный выемочный комплекс для работы на малых угольных разрезах с последующей поставкой готовой продукции мелким децентрализованным потребителям. Выемочный комплекс оборудован фрезерным исполнительным органом 1, транспортно-сортировочной установкой 2, накопителем 3, системой пневмотранспортирования 4 мелких фракций и автоматической упаковочной установкой 5 для дифференцированной фасовки крупных и мелких фракций добываемого угля в мягкие контейнеры 6 (рис.1).

Автоматическая упаковочная установка 5 включает бункер 7, упаковочное устройство 8, кассету 9 со сложенными мягкими контейнерами 6, весовое устройство 10 с приводными роликами, эстакаду 11. Бункер 7 оснащен заслонками для перекрытия подачи соответственно мелких и крупных фракций угля в мягкий контейнер 6.

Усовершенствованный выемочный комплекс ведет послойно-полосовую отработку угольного пласта, полезное ископаемое поступает от фрезерного исполнительного органа 1 на транспортно-сортировочную установку 2, где осуществляется отделение мелких фракций угля в качестве подрешетного продукта. Крупные фракции угля в качестве надрешетного продукта перемещаются в бункер 7, на который упаковочным устройством 8 установлен и удерживается мягкий контейнер 6. Крупные фракции угля заполняют мягкий контейнер 6 до тех пор, пока не срабатывает датчик весового устройства 10, рассчитанный на номинальную массу заполненного мягкого контейнера 6. Автоматическая система управления подает сигнал на перекрытие заслонки, отсоединение мягкого контейнера 6 от бункера 7 и его запаковку. Включается привод роликов весового устройства 10 и запакованный мягкий контейнер 6 перекачивается с роликов весового устройства 10 на ролики эстакады 11, по которым под действием силы тяжести скатывается на поверхность забоя. После чего упаковочным устройством 8 вынимается из кассеты 9 сложенный мягкий контейнер 6 и

присоединяется к бункеру 7, открывается затвор и вновь осуществляется наполнение мягкого контейнера 6 крупными фракциями угля. Во время замены мягкого контейнера 6 крупные фракции угля, подающиеся транспортно-сортировочной установкой 2, накапливаются в бункере 7, что обеспечивает безостановочную работу выемочного комплекса при замене мягких контейнеров 6.

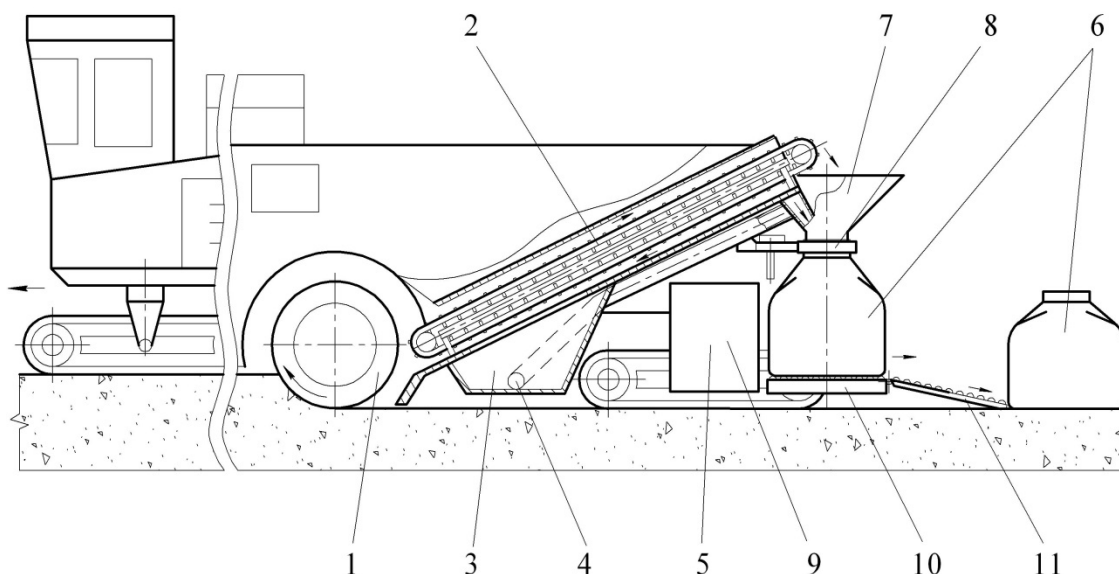


Рис. 1. Схема усовершенствованного выемочного комплекса при разработке угольного пласта

При заполнении накопителя 3 мелкими фракциями угля выемочный комплекс останавливается и посредством системы пневмотранспортирования 4 осуществляется заполнение очередного мягкого контейнера 6 угольной мелочью. Погрузку заполненных мягких контейнеров 6, оставленных на поверхности забоя, можно осуществлять, например, с помощью транспортного средства с бортовой платформой и манипулятором.

Выводы

Предлагаемая конструкция усовершенствованного выемочного комплекса позволяет производить отделение угольной мелочи при ведении выемочно-погрузочного процесса, что значительно уменьшает пыление при ведении добычных работ. Повышение функциональности горного оборудования обеспечивающего наряду с выемкой сортировку и упаковку полезного ископаемого обеспечивает сокращение количества применяемого оборудования и производственного персонала для его обслуживания, что особенно важно для малых разрезов. Доставка потребителям отдаленных районов угля в контейнерах обеспечивает сохранность его количественных и качественных характеристик, при этом применение мягких контейнеров для упаковки угля позволит минимизировать затраты на приобретение и транспортировку тары.

Литература:

1. Ткач С.М., Гаврилов В.Л., Батугина Н.С., Хоютанов Н.А., Федоров В.И. Геотехнологические требования к созданию малых угольных разрезов в Заполярной зоне Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №.S30 С. 152-162.
2. Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Баракаева И.Д., Тарский Н.Д. Повышение энергобезопасности заполярных районов Республики Саха (Якутия) на основе освоения местных топливно-энергетических ресурсов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2014. №6. С. 47-55.
3. Чебан А.Ю. Технология разработки угольного месторождения с применением выемочно-погрузочного комплекса // Маркшейдерский вестник. 2019. №4. С. 55- 59.
4. Патент № 2452583, В03D 1/02. Способ обогащения угольного сырья.

5. Чебан А.Ю. Добычный комплекс для открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых // Горное оборудование и электромеханика. 2017. №3. С. 8-11.
6. Гладырь А.В., Константинов А.В. Разработка алгоритма оптимальной конфигурации наблюдательной сети системы геомеханического мониторинга // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2019. Т. 6. №1. С. 71-77.
7. Чебан А.Ю. Классификация конструкций карьерных комбайнов // Недропользование XXI век. 2015. №5 (55). С. 64-69.
8. Цой Д.И., Рассказов М.И., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Константинов А.В. Исследование влияния длиннопериодных деформационных волн на геоакустическую активность горного массива // Проблемы недропользования. 2019. №4 (23). С. 66-73.
9. Prakash A., John L.P., Pal R.P. Highwall mining in India. Part II. Subsidence management mechanism at mine level // Journal of Mines, Metals & Fuels. 2014. Vol. 62. no. 9–10. pp. 254–262.
10. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №1. С. 20-22.
11. Пихлер М., Панкевич Ю.Б. Wirtgen Surface Miner в Индии. Опыт селективной разработки угольных месторождений // Горная промышленность. 2003. №4. С. 40-47.
12. Чебан А.Ю. Технология разработки сложноструктурного месторождения апатитов и выемочно-сортировочный комплекс для ее осуществления // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 399-404.
13. Mohd Im. Variation of production with time, cutting tool and fuel consumption of surface miner 2200 SM 3.8 // International Journal of Technical Research and Applications. 2016. no 1. pp. 224–226.
14. Демченко И.И., Муленкова А.О. О возможности размещения перерабатывающего оборудования в забое разреза для получения сортового угля // Известия вузов. Горный журнал. 2017. №8. С. 26-32.
15. Чебан А.Ю. Селективная разработка Эльгинского угольного месторождения с применением выемочно-сортировочного комплекса // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2017. №4. С. 247-254.
16. Полярин Ю.Н. Мягкие контейнеры – транспортная тара XXI века // Склад и техника. 2005. №1. С. 10-14.
17. Чебан А.Ю. Устройство для перегрузки насыпных строительных материалов из автосамосвалов в железнодорожный транспорт // Механизация строительства. 2016. Т. 77. №2. С. 33-36.

Advanced mining complex for working out small-scale coal opencasts

Cheban A.Yu.^{1a}

¹Mining Institute the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 51 Turgenyev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

^achebanay@mail.ru

Keywords: coal, decentralized energy consumers, executive body, sorting, soft containers.

Many regions of the Far North of Russia are characterized by the presence of decentralized energy, the basis of the fuel balance of which is coal. Severe climatic conditions and longer transportation distances cause a high cost of fuel, and numerous overloads lead to coal losses from spilling and blowing. The article proposes the design of an improved mining complex for layer-by-layer mining of a coal seam, including tracked undercarriage equipment, a milling executive body, a sorting device, a coal fines storage system, a pneumatic conveying system, a packaging unit, a weighing device, and other equipment. During the operation of the mining complex, sorted coal is sorted out with the separation of small fractions, filling and packaging of soft containers for their subsequent shipment to small consumers. Transportation of coal in containers will save its quality and eliminate losses.

Автономный выемочный агрегат для разработки тонких рудных жил

Чебан А.Ю.^{1а}

¹Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН, ул. Тургенева 51, Хабаровск, Россия

^а chebanay@mail.ru

Ключевые слова: дисковые фрезы, гидроцилиндр, вакуумная система, напор.

В процессе открытой и подземной отработки рудных залежей в горном массиве могут оставаться тонкие рудные жилы, содержащие запасы ценного минерального сырья. Освоение таких запасов традиционными технологиями зачастую оказывается экономически нецелесообразным, так как вместе с рудным телом малой мощности необходимо вести выемку значительного количества вмещающих пород, что приводит к значительному разубоживанию полезного ископаемого. В статье предлагается конструкция автономного выемочного агрегата для разработки рудных жил мощностью первые десятки сантиметров с допустимыми параметрами разубоживания. Автономный выемочный агрегат является компактным, функциональным и мобильным оборудованием, обеспечивающим возможность отработки рудных жил с различными углами падения. Компоновка исполнительного органа позволяет получать выработки прямоугольного сечения, что обеспечивает высокий коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр.

Введение. В связи с усложнением горнотехнических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых ведется совершенствование технологий и горного оборудования для открытой и подземной добычи [1-4]. После отработки основной залежи в горном массиве могут оставаться тонкие рудные жилы, содержащие запасы ценного минерального сырья. Освоение таких запасов традиционными технологиями с применением буровзрывных работ и относительно крупного горного оборудования для механического рыхления и выемки зачастую оказывается экономически нецелесообразным, так как вместе с рудным телом малой мощности необходимо вести выемку значительного количества вмещающих пород, что приводит к разубоживанию полезного ископаемого [5-9]. При этом увеличиваются удельные расходы на выемку полезного ископаемого и его последующую переработку, однако наличие ранее созданной инфраструктуры горного предприятия создает благоприятные условия для доработки таких запасов.

Состояние вопроса и постановка проблемы. Для доработки запасов полезных ископаемых, содержащихся в маломощных пластах, в настоящее время применяют шнекобуровые агрегаты и комплексы глубокой разработки [10-12]. В работе [11] предлагается конструктивная схема выемочного комплекса для разработки (доработки) крутопадающих рудных тел ограниченной мощности. Недостатками вышеперечисленного оборудования являются сравнительно большое поперечное сечение получаемых данным оборудованием выработок и наличие жесткой связи в виде транспортера или стрелы для передачи напорного усилия к исполнительному органу, что ведет к необходимости создания оборудования значительной массы и габаритов.

Новый тип горного оборудования – геоход позволяет создавать большие напорные усилия на забой за счет использования приконтурного массива пород как опорного элемента для восприятия силовых нагрузок, возникающих при движении твердого тела в горном массиве, во время выполнения основных технологических операций при ведении горных

выработок [13-14]. Известные конструкции геоходов представляют собой цилиндрическую оболочку, состоящую из головной и хвостовой секций. Исполнительный модуль геохода разрабатывает забой и удерживает его от обрушения, а поступившая внутрь головной секции горная масса захватывается погрузочным модулем. Недостатком геоходов является круглое поперечное сечение выработки и ее значительный диаметр, что не позволяет эффективно применять данное горное оборудование для разработки тонких пластов полезного ископаемого.

Удаление разрыхленного полезного ископаемого из забоя может вестись различными способами, в том числе с использованием системы пневмотранспортирования [15]. Так для зачистки рудной мелочи из трещин и нервноностей поверхностей горных выработок после проведения взрывных и выемочных работ на руднике Ирокинда при разработке золотосодержащих наклонных маломощных кварцевых жил используются вакуумные установки, которые позволяют засасывать и транспортировать куски руды размером до 50мм [16]. Рудная масса транспортируется по гибкому трубопроводу на расстояние до 200...300м по горизонтали и 50...100м по вертикали.

Целью работы является создание выемочного агрегата для разработки тонких рудных жил мощностью первые десятки сантиметров с допустимыми параметрами разубоживания, конструкция оборудования должна быть компактной и мобильной для обеспечения возможности доработки запасов, как в карьерах, так и в подземных выработках.

Результаты исследований. Автором предлагается конструкция автономного выемочного агрегата для разработки тонких рудных жил, который оснащен исполнительным органом, состоящим из пары сдвоенных дисковых фрез 1 (рис.1).

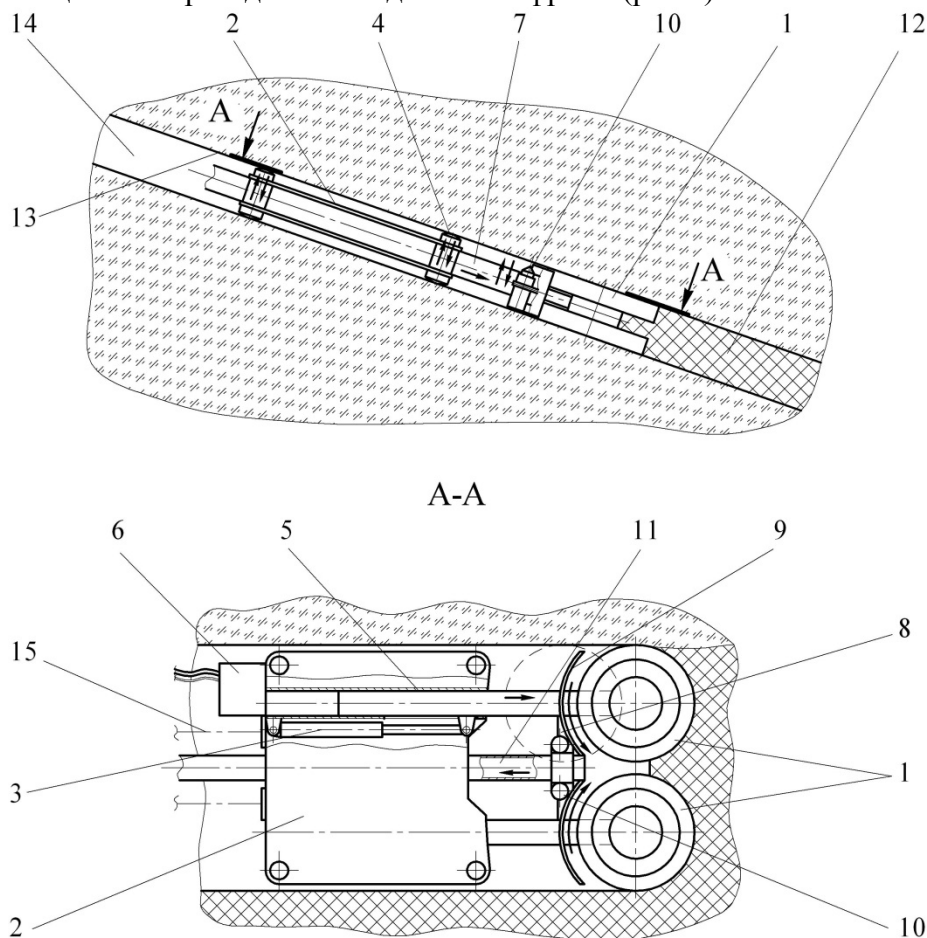


Рис.1. Схема автономного выемочного агрегата

В настоящее время дисковые фрезы нашли применение в горном производстве для нарезания щелей в массивах горных пород при добыче каменных блоков, ослабления

сезонно промерзших мягких пород перед выемкой экскаваторами, а также на некоторых угольных комбайнах [17-19]. В корпусе 2 автономного выемочного агрегата установлены два напорных гидроцилиндра 3, четыре распорных гидроцилиндра 4, направляющие 5, гидрораспределитель 6. Сдвоенные фрезы 1 установлены на толкателях 7, которые перемещаются в направляющих 5. При помощи поперечины 8 толкатели 7 образуют жесткую конструкцию, на поперечине 8 установлены изогнутые пластины 9, фиксаторы 10 и всасывающая форсунка 11 вакуумной системы транспортирования рудной массы.

Управление элементами автономного выемочного агрегата посредством гидрораспределителя 6 осуществляется дистанционно от внешнего модуля, располагающегося в карьере или подземной выработке. При отработке тонкой рудной жилы 12, сдвоенные дисковые фрезы 1 исполнительного органа вращаются в противоположных направлениях. Штоки распорных гидроцилиндров 4 выдвигаются до упора в кровлю 13, и таким образом фиксируют корпус 2 автономного выемочного агрегата в выработке 14.

Напорные гидроцилиндры 3 выдвигаются и через толкатели 7 передают усилия на забой. Разрыхленная сдвоенными дисковыми фрезами 1 рудная масса вдоль изогнутых пластин 9 подается к всасывающей форсунке 11 и вакуумной системой из забоя транспортируется на поверхность. После полного выдвижения напорных гидроцилиндров 3 фрезерование прекращается, фиксаторы 10 выдвигаются и неподвижно удерживают поперечину 8. Штоки распорных гидроцилиндров 4 частично втягиваются, фиксация корпуса 2 в выработке 14 устраняется. Штоки напорных гидроцилиндров 3 полностью втягиваются и подтягивают за собой корпус 2, после чего распорные гидроцилиндры 4 вновь выдвигаются с обеспечением фиксации корпуса 2 в выработке 14. Фиксаторы 10 поперечины 8 втягиваются, и начинается фрезерование тонкой рудной жилы 12. После отработки жилы 12 автономный выемочный агрегат извлекается из выработки 14 с помощью канатов 15 и лебедки.

Выводы. Автономный выемочный агрегат позволяет вести разработку тонких рудных жил мощностью первые десятки сантиметров с минимальным разубоживанием. Предлагаемый выемочный агрегат является компактным, функциональным и мобильным оборудованием, обеспечивающим возможность отработки рудных жил с различными углами падения, как при ведении открытых работ, так и в подземных горных выработках. Компоновка исполнительного органа позволяет получать выработки прямоугольного сечения, что обеспечивает высокий коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр, а фиксация корпуса агрегата распорными гидроцилиндрами позволяет создавать значительные напорные усилия исполнительного органа на забой.

Литература:

1. Frank U. Multi-perspective enterprise modeling: foundational concepts, prospects and future research challenges. *Software & Systems Modeling*. 2014. Vol. 13. no. 3. pp. 941-962.
2. Секисов Г.В., Соболев А.А. Рациональный способ разработки маломощных крутопадающих рудных месторождений // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012. №11. С. 38-45.
3. Чебан А.Ю. Совершенствование технологий открытой разработки месторождений с использованием карьерных комбайнов и отвалообразователей // *Записки горного института*. 2015. Т. 214. С. 23-27.
4. Гладырь А.В., Константинов А.В. Разработка алгоритма оптимальной конфигурации наблюдательной сети системы геомеханического мониторинга // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2019. Т. 6. №1. С. 71-77.
5. Чебан А.Ю. Добычный комплекс для открытой разработки месторождений твердых полезных ископаемых // *Горное оборудование и электромеханика*. 2017. №3. С. 8-11.
6. Соболев А.А. Современное состояние освоения маломасштабных золоторудных месторождений Хабаровского края // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013. № 11. С. 176-183.
7. Чебан А.Ю. Совершенствование циклично-поточных технологий ведения горных работ с применением карьерных комбайнов // *Маркшейдерия и недропользование*. 2019. №1. С. 20-22.

8. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
9. Цой Д.И., Рассказов М.И., Гладырь А.В., Терешкин А.А., Константинов А.В. Исследование влияния длиннопериодных деформационных волн на геоакустическую активность горного массива // Проблемы недропользования. 2019. №4 (23). С. 66-73.
10. Нецветаев А.Г., Григорян А.А., Пружина Д.И. Технологии безлюдной добычи угля с применением шнекобуровых машин // Горная промышленность. 2015. № 2. С. 60-63.
11. Чебан А.Ю. Способ и оборудование для открытой разработки маломасштабных крутопадающих месторождений // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. Т.15. №3. С. 18-23.
12. Чебан А.Ю. Классификация технологических схем применения карьерных комбайнов // Системы. Методы. Технологии. 2015. №2. С. 159-163.
13. Ананьев К.А., Аксенов В.В., Хорешок А.А., Ермаков А.Н. Выбор принципиальной компоновочной схемы барабанных исполнительных органов разрушения забоя для геологов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №11. С. 141-143.
14. Аксенов В.В., Ефременков А.Б., Бегляков В.Ю., Бурков П.В., Блащук М.Ю., Сапожкова А.В. Компоновочные решения машин для проведения горных выработок на основе геовинчестерной технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 251-259.
15. Чебан А.Ю. Классификация конструкций карьерных комбайнов // Недропользование XXI век. 2015. №5 (55). С. 64-69.
16. Павлов А. М., Семенов Ю. М. Применение вакуумной технологии при зачистке руды в условиях криолитозоны рудника «Ирокинда» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 11. С. 24-29.
17. Чебан А.Ю. Совершенствование техники и технологий безвзрывной разработки горных пород : моногр. / А. Ю. Чебан. - Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. 260 с.
18. Чирков А.С. Добыча и переработка строительных горных пород – М.: Изд-во МГГУ, 2005. 623с.
19. Дмитрак Ю.В., Картавый А.Н., Картавый Н.Г., Серов В.А. Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов // Горное оборудование и электромеханика. 2012. №7. С. 2-7.

Autonomous mining unit for the development of thin ore bodies

Cheban A.Yu.^{1a}

¹Mining Institute the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 51 Turgenyev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

^achebanay@mail.ru

Keywords: disk milling cutters, hydraulic cylinder, vacuum system, pressure.

In the process of open and underground mining of ore deposits in the rock mass, thin ore bodies may remain that contain reserves of valuable mineral raw materials. The development of such reserves by traditional technologies is often not economically feasible, since together with a low-power ore body, it is necessary to excavate a significant amount of the host rocks, which leads to a significant dilution of the mineral. The article proposes the design of an autonomous extraction unit for the development of ore bodies with a capacity of the first tens of centimeters with acceptable dilution parameters. The autonomous extraction unit is a compact, functional and mobile equipment that provides the possibility of mining ore bodies with different angles of incidence. The layout of the executive body allows you to get the development of a rectangular section, which provides a high coefficient of extraction of minerals from the bowels.

Асфальтобетонная смесь или асфальтоукладчик: залог получения качественного дорожного покрытия

Сидорков В.В.^{1,a}, Позынич К.П.^{1,b}, Эунап Р.А.^{1,c}

¹Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

^a sidorkov@pnu.edu.ru, ^b kpp.51@mail.ru, ^c roman@eunap.ru.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, предварительное уплотнение, асфальтоукладчик, повышение эффективности

Важным этапом строительства автомобильных дорог является укладка и уплотнение слоя асфальтобетонной смеси. Для этого вида работ используется комплект дорожной техники, состоящий из асфальтоукладчика и нескольких катков. Эффективность работы головной машины этого комплекта – асфальтоукладчика – оказывает определяющее влияние на эффективность работы всего комплекта, на качество и долговечность дорожного покрытия.

При строительстве верхних слоев дорожных покрытий наибольшее распространение получили покрытия, устраиваемые из асфальтобетонных смесей. Асфальтобетонные покрытия обладают высокими эксплуатационными свойствами, что обеспечивает их устойчивость по отношению к много цикловому силовому воздействию транспортных средств и изменению климатических условий в процессе эксплуатации.

Для строительства верхних слоев асфальтобетонных покрытий используется комплект машин, состоящий из асфальтоукладчика и нескольких дорожных катков.

Главная задача асфальтоукладчика сводится к укладке слоя асфальтобетонной смеси, его профилированию в соответствии с параметрами строящейся дороги и предварительного уплотнения слоя смеси.

Разработке конструкций и исследованию рабочих процессов уплотняющего оборудования асфальтоукладчиков посвящены работы Баловнева В.И., Кабанова В.В., Кизрякова А.Н., Ксоврели П.И., Кустарева Г.В., Либерман М.А., Маслова А.Г., Марышева Б.С., Пермькова В.Б., Прокопьева А.П., Холодова А.М., Шестопалова А.А., а также зарубежных ученых Bailly P., Böhmer P., Gallenne M.-L., Delorme J.-L., Gourdon J.-L. и др.

Несмотря на то, что асфальтоукладчик выполняет только часть операций в технологическом процессе строительства асфальтобетонных покрытий, эти операции настолько важны, что в значительной мере определяют качество покрытия и срок его службы.

Исследованиями Санкт-Петербургского филиала СоюзДорНИИ установлено, что если показатель долговечности при коэффициенте уплотнения слоя асфальтобетонной смеси 0,99 – 1,00 принять за 100%, то при уплотнении этого же слоя до коэффициента уплотнения 0,95 показатель долговечности асфальтобетонного покрытия составит всего 13%, а при коэффициенте уплотнения 0,90 – показатель долговечности составит всего 4%. Более того, например, Горелышев Н.В. на основании исследований физико-механических свойств асфальтобетона отмечал в своих работах, что "... увеличение плотности асфальтобетона на 0,01 г/см³ повышает прочность асфальтобетона при сжатии на 0,2 – 0,3 МПа..." [1]. Этим обуславливается практическая значимость и необходимость обеспечения максимально высокой степени уплотнения асфальтобетонной смеси.

Величина предварительного уплотнения, обеспечиваемая рабочими органами асфальтоукладчика, оказывает значительное влияние на энергетические затраты при

последующем уплотнении покрытия укаткой. Для получения одинакового прироста плотности при каждом последующем цикле нагружения требуется приложение большей нагрузки, чем при предыдущем цикле воздействия. Проведенные исследования с показывают, что интенсивность прироста необратимых деформаций, определяющих степень уплотнения слоя асфальтобетонной смеси, существенно снижается от одного цикла нагружения к другому. Это обусловлено повышением плотности слоя асфальтобетонной смеси, снижением ее температуры, и, как следствие, увеличением модуля деформации [2].

Высокая степень предварительного уплотнения, обеспечиваемая асфальтоукладчиком, позволяет снизить суммарную величину силового воздействия, которую необходимо реализовать на заключительных этапах уплотнения для достижения нормируемых показателей плотности покрытия.

Возможность снизить суммарную величину силового воздействия позволяет существенно уменьшить общую металлоемкость и энергоемкость процесса уплотнения асфальтобетонного покрытия укаткой. Кроме того, увеличение степени предварительного уплотнения позволяет снизить общее время нагружения слоя асфальтобетонной смеси, требуемое для обеспечения нормируемых значений плотности, что ведет к повышению производительности работ по строительству дорожного покрытия.

Следует отметить, что размер рабочего органа асфальтоукладчика, а именно – его ширина, как правило, соответствует ширине асфальтобетонного покрытия. Трамбующий брус и выравнивающая плита осуществляют уплотнение слоя асфальтобетонной смеси одновременно по всей ширине покрытия. Это позволяет получить слой асфальтобетона с равномерным распределением плотности по всей ширине и обеспечивает однородность структуры покрытия.

На процесс формирования структуры асфальтобетона при его уплотнении оказывает влияние ряд факторов: тип асфальтобетонной смеси, наличие добавок, температура смеси, условия в которых производится уплотнение, в том числе погодные-климатические, и т.д.

Существенное влияние на характер течения процесса уплотнения асфальтобетонных смесей оказывают сложные физико-механические процессы, происходящие при объединении минеральных материалов с битумом. Исследованию характера взаимодействия минеральных материалов с органическим вяжущим посвящены работы Гезенцева А.Б., Горелышева Н.В., Колбановской А.И., Королева И.В., Михайлова Н.В. и др.

Важным фактором, определяющим степень уплотнения, эксплуатационные свойства асфальтобетонного покрытия и эффективность процесса уплотнения, является температура асфальтобетонной смеси при ее уплотнении. Наличие в составе асфальтобетонной смеси битума предопределяет зависимость ее свойств от температуры. Чем выше температура смеси, тем лучше ее уплотняемость, тем менее энергонеэффективен может быть процесс ее уплотнения, тем более однородна ее структура, тем качественнее получается асфальтобетонное покрытие и тем выше его срок службы.

Плотность асфальтобетонной смеси (ее коэффициент уплотнения) определяет ряд механических характеристик покрытия, позволяющих оценить эксплуатационные свойства асфальтобетона, наиболее важным из которых является срок службы покрытия.

Обеспечение требуемой степени уплотнения асфальтобетонного покрытия является важной и, одновременно, сложной инженерно-технологической задачей, одним из элементов которой является выбор средств уплотнения и назначение режимов их работы в зависимости от условий строительства асфальтобетонного покрытия.

Степень уплотнения слоя асфальтобетонной смеси в значительной мере определяется характером воздействия на материал в процессе уплотнения. Под действием внешней нагрузки происходит взаимоперемещение частиц внутри слоя асфальтобетонной смеси. В результате имеет место процесс увеличения количества связей между частицами материала, что и проявляется в виде увеличения плотности материала, его упрочнения, повышения его усталостной долговечности. От величины нагрузки и характера ее действия зависит степень уплотнения слоя и время, необходимое для достижения нормируемой плотности.

Говоря о характере силового воздействия на асфальтобетонную смесь при ее уплотнении, следует отметить, что асфальтобетонные смеси являются упруго-вязко-пластичным материалом с ярко выраженными реологическими свойствами. На ход процесса уплотнения таких материалов определяющее влияние оказывает характер внешнего воздействия: величина и периодичность приложения нагрузки; длительность действия уплотняющих нагрузок; направление уплотняющего воздействия. Рабочие органы асфальтоукладчика осуществляют интенсивное воздействие на слой асфальтобетонной смеси и обычно доводят коэффициент уплотнения слоя до 0,8 – 0,9. Дальнейшее увеличение плотности покрытия и доведение ее до нормируемых значений является задачей комплекта дорожных катков. Рабочие органы дорожных катков – вальцы или пневматические колеса – обеспечивают силовое воздействие на слой асфальтобетонной смеси не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении. Это обеспечивает формирование сдвигоустойчивой структуры слоя, способной сопротивляться эксплуатационным нагрузкам.

Важным отличием между рабочим процессом асфальтоукладчика и рабочим процессом дорожных катков при строительстве асфальтобетонного покрытия, является различие в температурных режимах уплотнения. Асфальтобетонная смесь, подвергающаяся воздействию со стороны трамбуемого бруса асфальтоукладчика, обычно имеет более высокую температуру (140 – 160°C) в сравнении с той, при которой допускается уплотнение катками (120 – 100°C – для катков легкого типа; 100 – 80°C – для катков среднего типа; 80 – 75°C – для катков тяжелого типа).

Температура асфальтобетонной смеси в процессе ее уплотнения влияет на величину предела прочности при сжатии и на ее модуль деформации – основные характеристики асфальтобетонной смеси, влияющие на эффективность процесса уплотнения.

Снижение температуры смеси в процессе уплотнения ведет к существенному росту прочностных характеристик слоя. Так, по данным Костельова М.П. и Посадского Л.М. [3] прочность асфальтобетона на сжатие при температуре 90°C в два раза выше, чем при температуре 120°C, а при температуре 60°C – в четыре раза выше. Результаты аналогичных исследований получены Пермяковым В.Б. и Шапошниковым А.В. [4].

Следует отметить также, что в процессе уплотнения интенсивность прироста модуля деформации асфальтобетонной смеси опережает рост ее предела прочности. В связи с этим, каждому из катков комплекта соответствует относительно небольшой интервал рабочих температур, составляющий 10 – 15°C в зависимости от параметров катка, толщины слоя, типа асфальтобетонной смеси и ее температуры. Это и вынуждает на заключительной стадии уплотнения использовать не один, а несколько дорожных катков с различными параметрами силового воздействия на уплотняемый материал, разделяя весь процесс уплотнения на несколько этапов.

При работе асфальтоукладчика смесь, имея высокую температуру, требует меньшего силового воздействия для ее уплотнения. Рабочий орган асфальтоукладчика обеспечивает получение слоя асфальтобетонного покрытия с равномерно распределенной плотностью по ширине слоя. Этого невозможно достичь при уплотнении асфальтобетонных смесей исключительно дорожными катками. Вынужденные совершать многократные проходы по различным участкам покрытия, катки не могут обеспечить уплотнение смежных участков покрытия при одинаковой температуре смеси, что предопределяет неравномерность распределения плотности слоя асфальтобетонной смеси как в поперечном, так и в продольном направлениях.

Увеличение коэффициента уплотнения, обеспечиваемого рабочими органами асфальтоукладчика, ведет к снижению необходимого для достижения нормируемой плотности числа проходов катков, к уменьшению количества дорожных катков в комплекте, снижению общего времени работы машины комплекта на одной захватке и, следовательно, повышению производительности и снижению удельных показателей эффективности использования комплекта.

Исследования, проведенные с использованием методики моделирования работы комплекта машин для строительства асфальтобетонных покрытий [5], показали, что изменение коэффициента уплотнения, обеспечиваемого асфальтоукладчиком, с 0,87 до 0,91 повышает производительность комплекта в 2 раза, а изменение коэффициента уплотнения с 0,91 до 0,95 – в 4 раза (рис.1, а). Можно использовать для оценки обобщенной эффективности комплекта дорожных машин комплексный показатель, предложенный В.И.Баловневым.

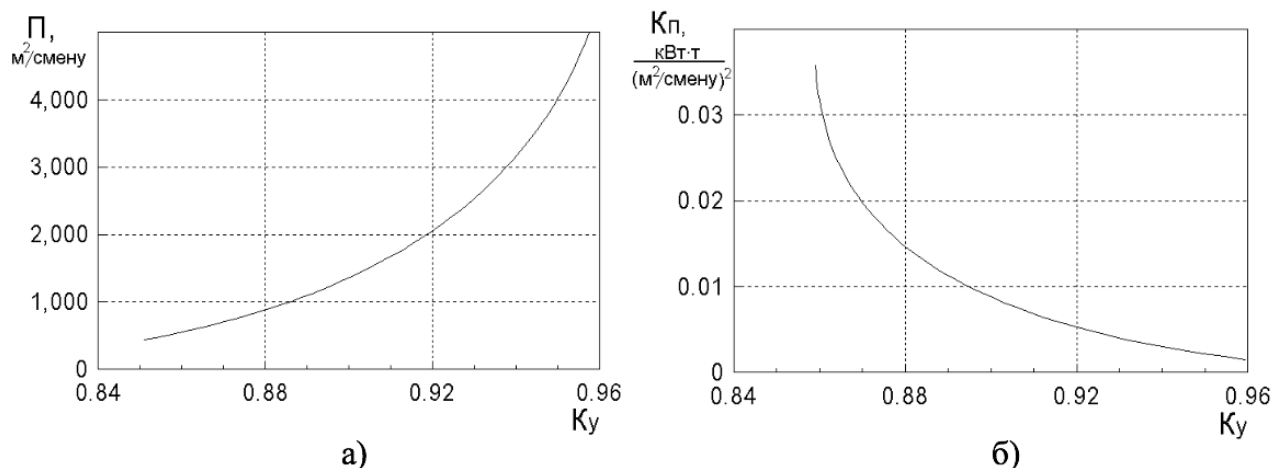


Рис. 1. Влияние степени предварительного уплотнения слоя асфальтобетонной смеси на показатели эффективности использования комплекта машин для строительства асфальтобетонных покрытий: а) – производительность; б) – комплексный показатель Баловнева В.И.

Показатель представляет собой произведение удельной металлоемкости и удельной энергоемкости комплекта, также существенно изменяется в зависимости от коэффициента уплотнения, обеспечиваемого рабочими органами асфальтоукладчика. С изменением коэффициента предварительного уплотнения с 0,87 до 0,91 комплексный показатель снижается в 3,5 раза, а при увеличении коэффициента уплотнения с 0,91 до 0,95 – в два раза (рис.1, б).

Для обеспечения высокой производительности комплекта дорожных машин, используемого при строительстве верхних слоев асфальтобетонных покрытий, и повышения эффективности его использования при условии выполнения основных требований по качеству покрытия необходимо, чтобы ведущая машина комплекта – асфальтоукладчик – обеспечивала бы получение покрытия с высоким значением коэффициента предварительного уплотнения.

Повышение степени предварительного уплотнения асфальтобетонного покрытия может быть обеспечено интенсификацией уплотняющих рабочих органов, разработкой и использованием высокоэффективных рабочих органов асфальтоукладчика. Решение этой задачи обеспечит возможность проведения процесса уплотнения в наиболее благоприятных условиях, что позволит повысить качество асфальтобетонного покрытия, его плотность и увеличить срок его службы. Кроме того, применение асфальтоукладчиков с высокоэффективными рабочими органами обеспечит высокую эффективность использования всего комплекта машин, используемого при строительстве асфальтобетонных покрытий.

Таким образом, очевидным является тот факт, что интенсификация уплотняющих рабочих органов асфальтоукладчика позволит:

- осуществлять уплотнение асфальтобетонной смеси в благоприятном интервале температур;

- получить высокую степень предварительного уплотнения слоя асфальтобетонного покрытия;
- обеспечить равномерное распределение плотности слоя асфальтобетона по всей ширине покрытия;
- снизить энергозатраты на процесс уплотнения покрытия;
- уменьшить количество дорожных катков, входящих в состав комплекта;
- повысить производительность комплекта дорожных машин, предназначенных для строительства асфальтобетонных покрытий;
- повысить экономическую эффективность комплекта дорожных машин, предназначенных для строительства асфальтобетонных покрытий.

Современные методы и технологии повышения качества возводимого асфальтобетонного покрытия демонстрируют два основных направления по интенсификации процесса уплотнения асфальтобетонных смесей:

1. Совершенствование свойств и характеристик самого материала, подвергающегося воздействию – асфальтобетонной смеси;
2. Повышение интенсивности внешнего уплотняющего воздействия на слой асфальтобетонной смеси и обеспечения контроля за параметрами режима уплотнения.

В первом направлении за последние десятилетия появилась целая гамма методов и способов использования и внесения в состав смеси различных добавок, существенно меняющих физико-механические свойства асфальтобетонной смеси и вслед за этим – меняющих эксплуатационные свойства асфальтобетонного покрытия. Постоянно ведется поиск оптимальных составов смесей, разрабатываются рекомендации для их эффективного использования в тех или иных условиях.

Развитие же второго направления идет не таким интенсивным темпом и зачастую касается больше средств управления, собственно асфальтоукладчиком, температурным режимом укладки, эксплуатационными параметрами рабочих органов. В гораздо меньшей степени предложения по увеличению интенсивности воздействия на слой уплотняемого материала направлены на изменение конструкции рабочих органов, изменению схем их взаимодействия с уплотняемой средой, реализацию нелинейных траекторий деформации и повышению степени уплотнения асфальтобетонных смесей как главного результата работы асфальтоукладчика.

Безусловно, поиск, исследование, апробация и, тем более, реализация конструктивного решения, позволяющего изменить концепцию рабочих органов асфальтоукладчика, или, по меньшей мере, обеспечить существенное повышение эффективности первичного уплотнения слоя асфальтобетонной смеси – является сложной и многогранной задачей и с конструкторской, и с технологической точек зрения. Тем не менее следует констатировать, что это направление является важным и перспективным. Оно позволит решить задачу эффективного ведения производственного процесса строительства асфальтобетонных покрытий, обеспечивая высокую производительность работ, а значит, и рост экономических показателей эффективности. Кроме того, позволит существенно снизить издержки на эксплуатационные расходы и ремонт дорожного покрытия, главным параметром которого станет долговечность, полученная за счет применения высокоэффективных способов уплотнения асфальтобетонной смеси.

Литература:

1. Горельшев Н.В. Асфальтобетон и другие битумоминеральные материалы / Н.В. Горельшев. – Можайск : Можайск-Терра, 1995. – 176 с.
2. Кондрашов Н.А. Использование модуля деформации в реологической модели уплотнения асфальтобетонной смеси при строительстве дорожных покрытий / Н.А. Кондрашов, А.А. Шестопалов // Инженерно-строительный журнал. – 2014. – № 7(51). – С. 55-65.
3. Костельов М.П. Технологические особенности и параметры уплотнения горячего асфальтобетона гладковальцовыми катками / М.П. Костельов, Л.М. Посадский // Уплотнение

земляного полотна и конструктивных слоев дорожных одежд. Труды СОЮЗДОРНИИ : – М., 1980. – С. 72-90.

4. Пермяков В.Б., Шапошников А.В. Исследование влияния температуры смеси и высоты образцов на прочность и плотность асфальтобетона // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство : Сб.мат. II Национальной научн.-практич. конф. – Омск, 2019. – С. 421-427.

5. Сидорков В.В. Моделирование технологического процесса уплотнения асфальтобетонных смесей статическими гладковальцовыми катками // Исследование и испытание строительных машин и оборудования : сб. науч. тр. / Хабар. гос. техн. ун-т. – Хабаровск, 1993. – С. 64-70.

Asphalt concrete mixture or paver: who provide pavement quality

Sidorkov V. V.^{1,b}, Pozynich K. P.^{1,b}, Eunap R. A.^{1,c}

¹Pacific National University, Tikhookanskaya Street, 136, Khabarovsk, 680035, Russian Federation

^a sidorkov@pnu.edu.ru, ^b kpp.51@mail.ru, ^c roman@eunap.ru.

Keywords: Asphalt concrete mixture, preliminarily compaction, paver, high efficiency

Pavement is one of important stage or road construction. Pavement is provided by several road rollers and paver. Exactly a paver force efficiently of whole set of machinery used for pavement at once, provide quality and durability of pavement.

УДК 656.09:000.94

Программные продукты и Интернет ресурсы для решения задач организации дорожного движения

Сидорков В.В.^{1,a}, Позынич К.П.^{1,b}, Эунап Р.А.^{1,c}

¹Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

^a sidorkov@pnu.edu.ru, ^b kpp.51@mail.ru, ^c roman@eunap.ru

Ключевые слова: организация дорожного движения, программный комплекс, функционал.

Рассмотрены вопросы применения современных систем автоматизированного проектирования для решения задач по организации дорожного движения. Приведены примеры доступного на условиях свободного использования авторского программного продукта, обеспечивающего решение простых рутинных задач по организации дорожного движения.

Проектирование дорог, даже небольших ее участков или конструктивных элементов – это сложная и многоплановая работа, требующая огромного спектра специализированных знаний и умений. Строители-«дорожники» по определению обладают такими компетенциями, знают и умеют пользоваться современными программными комплексами, которые существенно ускоряют работу по проектированию дороги, повышают качество и результативность проектных работ. Названия или торговые

марки таких программных комплексов широко известны и в большинстве своем тесно связаны с AutoCAD. Так уж сложилось, что компания Autodesk оказалась самой прозорливой, удачно уловила запрос на создание CAD систем в начале 80х годов и смогла вывести на рынок универсальный программный продукт, получивший широчайшее распространение по всему миру. Став практически нарицательным именем в машиностроительных системах проектирования, AutoCAD успешно портировался и в другие сферы деятельности, включая дорожное проектирование и строительство. Специализированная версия AutoCAD Civil 3D надежно заняла свое место на рынке программных продуктов. Наряду с ним успешно эксплуатируются в странах Евросоюза и менее известные продукты, обладающие, тем не менее, всем необходимым функционалом, и отвечающие всем требованиям проектантов. Подробный обзор некоторых из этих систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог изложен в статье Кривых И.В. и Мирза Н.С. [1], в которой авторы рассмотрели основные возможности этих систем, их отличительные особенности и тенденции их развития.

На нашем отечественном рынке программных продуктов, обеспечивающих высокий уровень и широкий функционал при проектировании автомобильных дорог, начиная от этапа изысканий и заканчивая формированием полного комплекта технической исполнительной документации, существенное место занимают программные комплексы CREDO («Кредо-Диалог»), IndorCAD («ИндорСофт»), «Топоматик Robur» («Топоматик») (рис. 1).

Однако, построить, равно как и спроектировать, дорогу – это далеко не все. Необходимо обеспечить эффективную работу этого сложного сооружения. Эффективную и, главное, безопасную эксплуатацию дороги как инфраструктурного объекта. Эта задача решается специалистами другого направления, специалистами по организации дорожного движения. И в этой области деятельности также находят себе применение современные вычислительные ресурсы, универсальные программные комплексы, узко специализированные программы и даже авторские разработки, создаваемые энтузиастами по всему миру.

Как и в любой другой сфере проектной деятельности разнообразие программных продуктов, предназначенных для подготовки и реализации мероприятий по организации дорожного движения, имеет вполне себе закономерные и общие черты. Абсолютное большинство этих программных продуктов – это коммерческие продукты. Они имеют не малую стоимость, предоставляются конечным пользователям или в виде подписки на определенный период времени, или в виде условно коробочных версий с необходимыми элементами защиты от несанкционированного копирования, клонирования и использования третьими лицами. Основная целевая аудитория потребителей этих программных продуктов – это крупные проектные, эксплуатирующие или контролирующие предприятия (органы).



Рис. 1. Логотипы компаний на официальных сайтах

Специфика и узкая направленность задач по организации дорожного движения накладывает определенные ограничения на массовое распространение этого типа программного продукта. Если, например, трехмерными моделями и визуализацией с

интересом занимаются и школьники, и дизайнеры, и инженеры, практически в массовом порядке, то вопросы организации дорожного движения интересуют радикально меньший по численности круг потребителей. Программные продукты, позволяющие реализовывать мероприятия по организации дорожного движения, являются узкоспециализированными, хотя с безусловно востребованными на рынке программного обеспечения. А это обстоятельство не способствует доступности такого программного обеспечения для небольших предприятий, так или иначе связанных с обеспечением безопасности и организацией дорожного движения, для индивидуальных пользователей и даже просто для использования в учебных целях.

Тем не менее, рынок программных средств по реализации мероприятий по организации дорожного движения, контролю за параметрами и оценке безопасности или эффективности дорожного движения, не испытывает дефицита в предложениях программных средств и других, зачастую любительских, но вполне применимых в общей практике инструментах.

Безусловно, среди лидеров по использованию остаются уже упомянутые выше программные комплексы CREDO («Кредо-Диалог»), IndorCAD («ИндорСофт»), «Топоматик Robur» («Топоматик»). И в этом нет ничего странного. Само понятие организации дорожного движения тесно связано с процессом проектирования дороги. И наоборот – осуществлять проектирование дороги без учета мероприятий по организации дорожного движения было бы странно, а в большинстве случаев и экономически бессмысленно. По окончании строительства пришлось бы реализовывать дополнительный объем работ, чтобы обеспечить требования мероприятий по организации дорожного движения.

В частности, программный продукт для проектирования автомобильных дорог I-V категорий и городских улиц «Топоматик Robur – Автомобильные дороги» обеспечивает следующий базовый функционал: обработка геодезических данных, проектирование плана, профиля и поперечников, выравнивания покрытия и оценка проектного решения. Программный комплекс ориентирован на использование, как в проектных организациях, так и в дорожно-строительных компаниях. Однако ряд функций комплекса позволяют использовать его и для организации дорожного движения, как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации введенного в строй участка дорожной сети, ее элемента или дороги в целом (рис. 2).



Рис. 2. Примеры визуализации элементов организации дорожного движения «Топоматик Robur - Автомобильные дороги»

Составной частью комплекса являются [2]:

- блок задач «Поперечный профиль», который включает в себя возможность проектирования многополосных дорог, возможность создания произвольного

поперечника с газонами, тротуарами, бордюрами и разделительными полосами и использует библиотеку типовых конструкций;

- блок задач «Автобусные остановки», который включает в себя все известные типовые схемы;

- блок задач «Обустройство», который включает в себя возможности нанесения разметки, установки знаков, ограждений и других элементов организации дорожного движения.

Аналогичным функционалом наполнены и программные продукты, выпускаемые под торговой маркой «КРЕДО». Все они объединены в единую технологическую цепочку обработки информации - от производства изысканий и проектирования до последующей эксплуатации объекта. Каждая из систем комплекса позволяет не только автоматизировать обработку информации в различных областях (инженерно-геодезические, инженерно-геологические изыскания, проектирование и другие), но и сформировать единое информационное пространство, описывающее исходное состояние территории (модели рельефа, ситуации, геологического строения) и проектные решения создаваемого объекта.

С точки зрения организации дорожного движения безусловный интерес представляют продукты под названием «КРЕДО ДОРОГИ» (текущая версия 2.4), «ОЦЕНКА ДОРОГИ» (текущая версия 2.3), «КРЕДО ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ» (текущая версия 2.4), «КРЕДО ДИСЛОКАЦИЯ» (текущая версия 1.2) [3].

Основное назначение «КРЕДО ДОРОГИ» – проектирование автомобильных дорог в условиях нового строительства, реконструкции и ремонта. Система позволяет проектировать автомобильные дороги всех технических категорий, включая городские улицы, дороги общего пользования, промышленные, подъездные, промысловые и внутрихозяйственные (рис. 3).

Для работы совместно с «КРЕДО ДОРОГИ» разработан дополнительный продукт «ОЦЕНКА ДОРОГИ». Он позволяет оценить безопасность движения по коэффициентам аварийности и определяет такие транспортно-эксплуатационные показатели автомобильной дороги, как расстояния видимости в прямом и обратном направлениях и ровность покрытия. Показатель ровности рассчитывается для эталонного автомобиля на отрезках дороги определенной длины или для заданного участка, или по всей длине трассы.

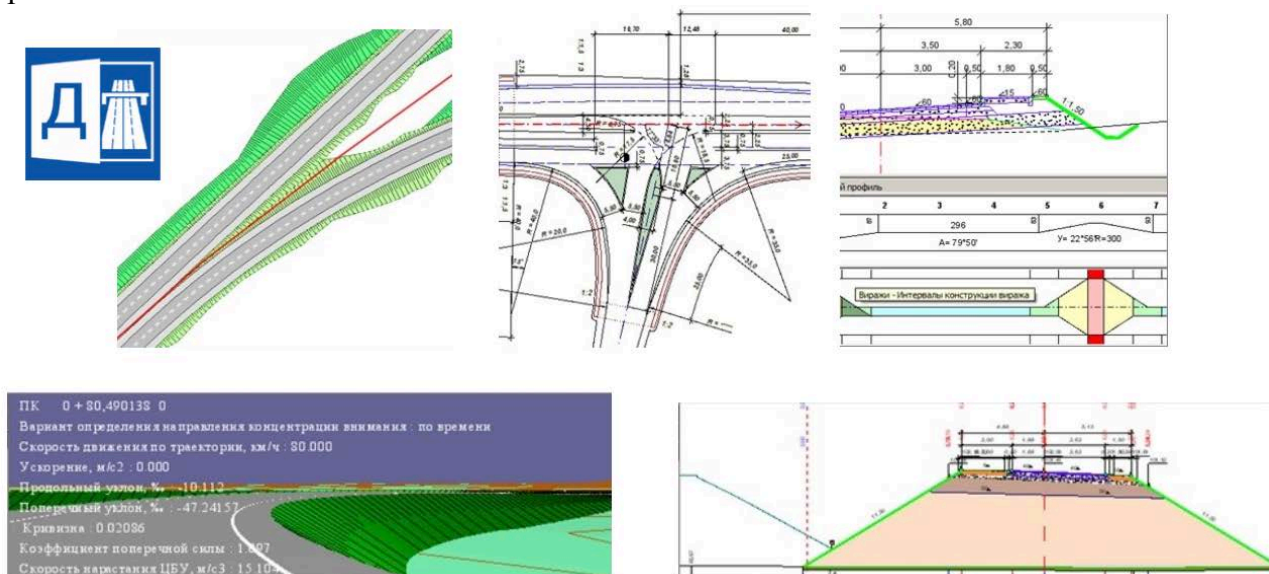


Рис. 3. Примеры визуализации элементов организации дорожного движения продукта «КРЕДО ДОРОГИ»

Продукт «КРЕДО ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ» разработан специально для осуществления проектных работ по расстановке технических средств организации

дорожного движения и выпуску необходимых чертежей и ведомостей в качестве исполнительной документации. В программе реализована возможность работать по нормам, принятым в разных странах. Именно в соответствии с выбранной методикой будут назначаться знаки и разметка (рис. 4). Программный продукт может быть установлен как самостоятельное программное обеспечение и работать автономно, что существенно расширяет его применимость и востребованность. В то же время функционал программы полностью включен в систему «КРЕДО ДОРОГИ» как отдельный модуль и доступен для использования при наличии лицензии.

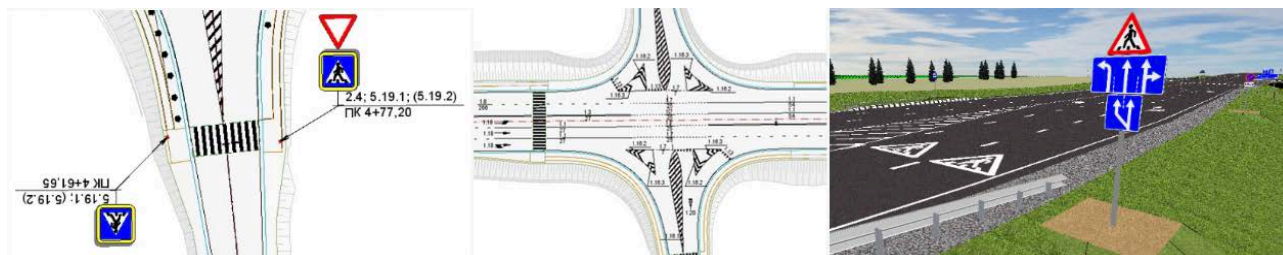


Рис. 4. Примеры визуализации элементов организации дорожного движения продукта «КРЕДО ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ»

Продукт «КРЕДО ДИСЛОКАЦИЯ» является программным обеспечением для размещения технических средств организации движения на автомобильных дорогах общего пользования. Система позволяет выполнять линейную генерацию планов автомобильной дороги, осуществлять автоматическую расстановку основных дорожных знаков, наносить основную горизонтальную разметку, элементы обустройства и оснащения дороги, предоставляет проектировщику возможность выполнять редактирование планов дислокации технических средств организации дорожного движения.

Широкий спектр задач дорожного строительства и организации дорожного движения решаются и программными продуктами Компании «ИндорСофт» [4]. Базовым продуктом комплекта является «IndorCAD/Road проектирование автомобильных дорог». Это ключевой программный продукт для сопровождения этапа проектирования объекта инфраструктуры в рамках жизненного цикла объекта. Возможности системы реализуют концепцию информационного моделирования, которая выступает в качестве общего ресурса знаний и получения информации об объекте, обеспечивая принятие оптимальных решений.

На решение задач организации дорожного движения направлены три продукта компании: «IndorRoadSigns проектирование дорожных знаков», «IndorTrafficPlan проектирование организации дорожного движения», «IndorIntensity обработка данных интенсивности» (рис. 5).

Система «IndorRoadSigns проектирование дорожных знаков» предназначена для проектирования и последующего изготовления дорожных знаков любой сложности. IndorRoadSigns обладает интуитивно-понятным графическим интерфейсом и богатой библиотекой шаблонов, позволяющей создавать дорожные знаки в соответствии с действующими стандартами.

Система «IndorIntensity обработка данных интенсивности» предназначена для обработки данных, полученных в результате проведения измерений интенсивности транспортных потоков. Реализована организация имеющихся данных в проекты по исследованию интенсивности. Проект включает в себя произвольное число пунктов учёта интенсивности, каждый из которых является узлом дорожной сети, где проводились измерения интенсивности транспортных потоков.

В системе «IndorTrafficPlan проектирование организации дорожного движения», реализованы инструменты для проектирования технических средств организации

дорожного движения: ограждений и сигнальных столбиков, дорожных знаков и указателей, разметки проезжей части и прочих средств инженерного обустройства. Для создания схемы дороги и существующего обустройства используются встроенные библиотеки объектов инженерного обустройства. В системе реализована возможность сравнения исходного состояния и проектного решения.

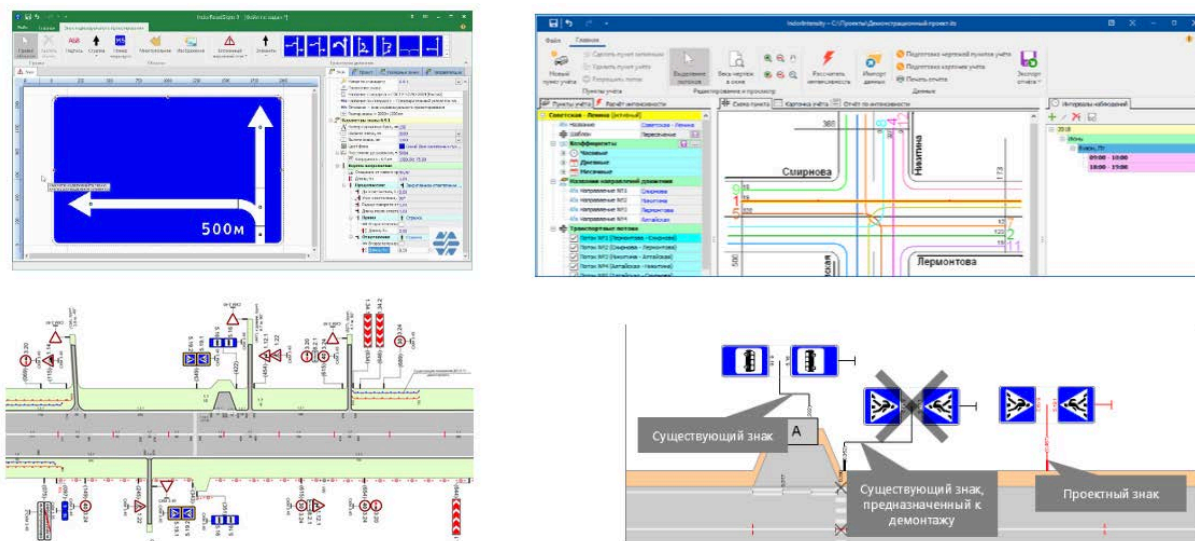


Рис. 5. Примеры визуализации элементов организации дорожного движения в продуктах компании «ИндорСофт»

Однако, при всей своей привлекательности, эффектности и эффективности, упомянутые программные комплексы являются профессиональными, мощными инструментами для работы с немалой ценой и с соответствующими требованиями к аппаратному обеспечению. Несмотря на то, что практически во всех вариантах имеются пробные, ограниченные по времени или функционалу, версии программ или предлагаются определенные скидки для образовательных заведений, использовать эти программные продукты в вузе при проведении практических занятий или курсового проектирования затруднительно. Поэтому знакомство студентов с продуктами, как правило, происходит на уровне ознакомления с описанием программ, видеоматериалами, доступными как у производителей, так и в сети Интернет или использованием специализированных учебных курсов.

Причин тому несколько, и они очевидны. Коммерческий продукт не может быть легкодоступным, а для обучения как раз и нужна доступность. Коммерческий продукт должен быть эффективным, а значит – мощным, сложным, всеобъемлющим, что является избыточным с точки зрения обучения. В рамках образовательного процесса необходимо познакомить студентов с возможностями и базовым функционалом продукта (а лучше двух, трех аналогичных), а не обучать узконаправленных специалистов по одному единственному продукту.

Этим и обусловлено наличие в свободном доступе разного рода простых вычислительных инструментов, которые могут быть использованы как элементы организации дорожного движения на «низком» или правильнее сказать – на «легком» уровне.

Примером простого, но наглядного вычислительного ресурса являются калькуляторы тормозного пути [5, 6]. Оба калькулятора (рис. 6, 7) имеют сходный внешний вид и идентичный функционал. Ввод исходных данных интуитивно понятен, прост и исключает разночтения. То же самое касается представления результатов. Оба калькулятора в дополнение к численным значениям расчетов выдают простейшую, но

очень информативную визуализацию и предоставляют краткое текстовое описание результата расчета.

Калькулятор тормозного пути

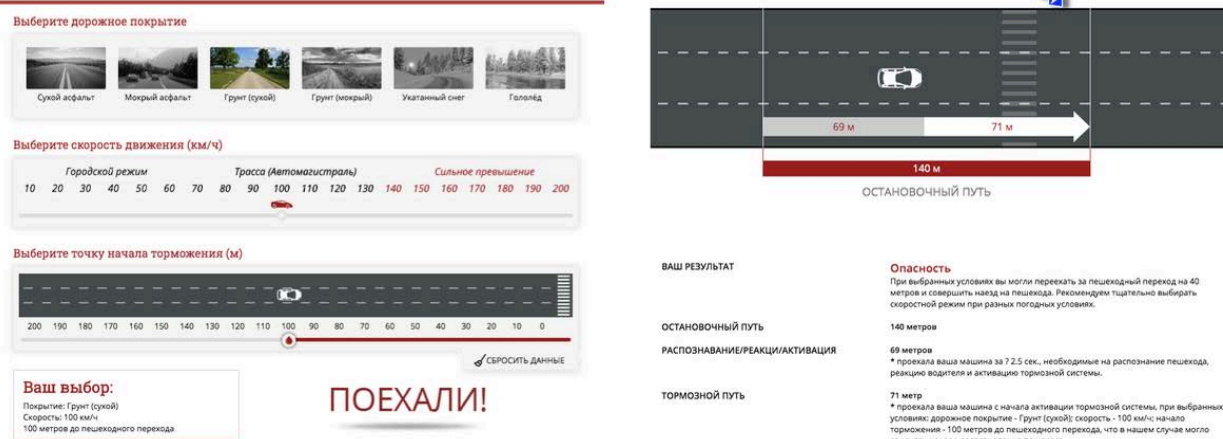


Рис. 6. Калькулятор тормозного пути (Интернет-портал <http://auto.VERcity.ru>)

Не сложно найти интересные, полезные и простые ресурсы, связанные с обеспечением организации дорожного движения, и в зарубежном сегменте сети Интернет. В качестве примера можно рассмотреть калькулятор плотности потока автомобильного транспорта [7]. Строго говоря, представленный калькулятор позволяет не просто рассчитать плотность дорожного потока, а взаимоувязывает основные характеристики транспортного потока: интенсивность потока, плотность потока и среднюю скорость. Меняя исходные данные по количеству машин, времени наблюдения или размера участка, калькулятор позволяет перерассчитать все взаимосвязанные параметры потока, включая среднюю скорость движения или даже расстояние между двумя автомобилями (рис. 8).

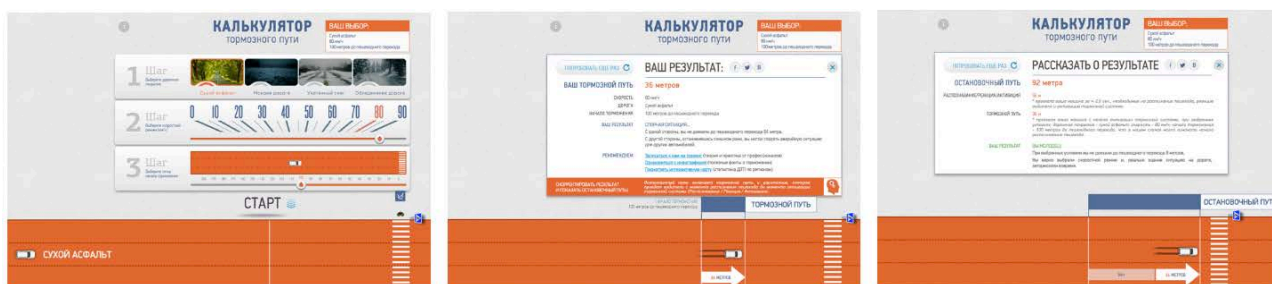


Рис. 7. Калькулятор тормозного пути (Интернет-портал <http://old.bezdtpru>)

Более того, по мере заполнения исходными данными рабочих полей калькулятора, исследователь получает возможность производить обратные расчеты параметров. Задав желаемую скорость движения машин, можно определить величину плотности потока на выбранном участке дороги. Калькулятор дополнен подробным описанием методики расчетов, с приведением формул и примеров расчета. При отсутствии даже минимальной визуализации калькулятор, тем не менее, позволяет быстро проводить достаточно большой объем вычислений, особенно если это связано с подбором параметров дорожного движения, и полностью оправдывает свое название – калькулятор.

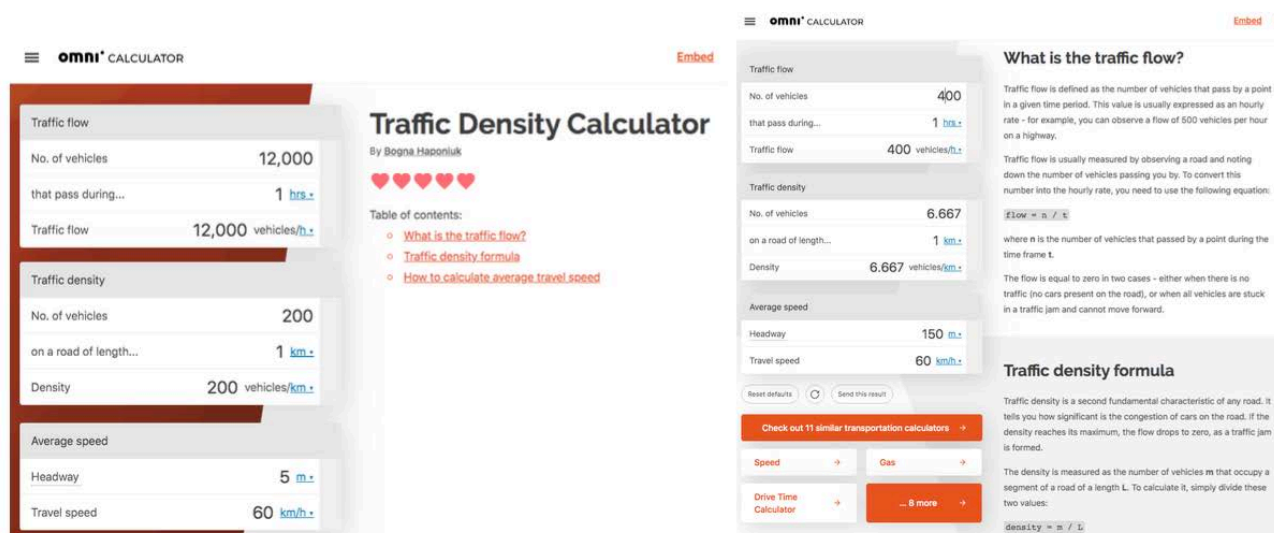


Рис. 8. Калькулятор плотности потока (Интернет-ресурс www.omnicalculator.com)

Еще одним интересным и полезным ресурсом является сетевой конструктор городских магистралей и коммуникаций, размещенный на сайте Департамента городского планирования Абу-Даби (ОАЭ) [9]. Этот ресурс позволяет достаточно быстро и наглядно разработать проект поперечного профиля городской магистрали (рис. 9).

Профиль проезжей части легко модифицируется, на схеме отображаются размеры и назначение каждой из полос, каждого из элементов поперечного профиля, включая автобусные остановки, места для парковок, велодорожки, рекреационные полосы и тротуары. Весь процесс конструирования визуализирован как в разрезе, так и при помощи вида сверху, что делает процесс конструирования очень наглядным.

Более того, конструктор позволяет одновременно с разработкой структуры проезжей части продумать или назначить состав и расположение подземных коммуникаций, если в этом есть необходимость (рис. 9).

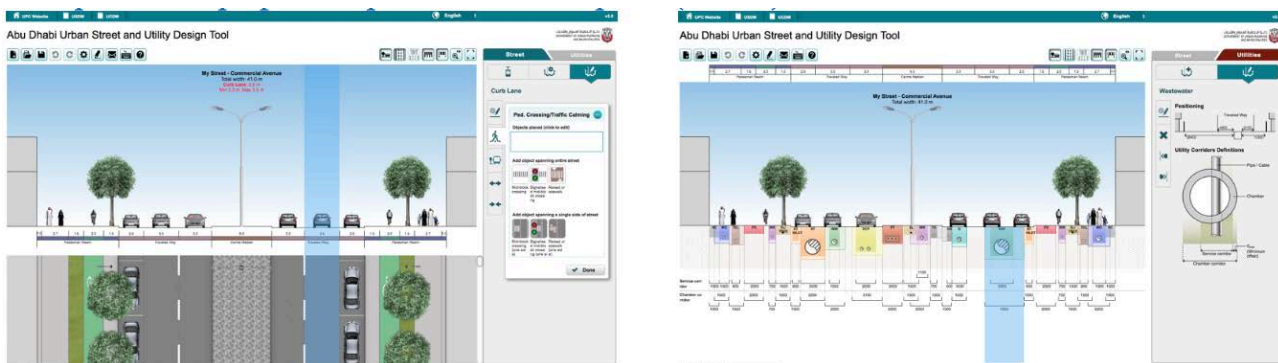


Рис. 9. Конструктор городских улиц и коммуникаций

Весь процесс конструирования также визуализирован и позволяет разместить «под дорогой» лотки для коммуникаций различного назначения, включая телефонные и телекоммуникационные кабели, силовые кабели, магистрали водоснабжения или водоотведения, другие инженерные системы и системы жизнеобеспечения города.

Интересной, простой, функциональной и эффектной оказалась разработка Корочанского Г. Е., которую он назвал «Конструктор дорожных ситуаций» [10].

Конструктор предназначен для быстрого создания схем элементов улично-дорожной сети с нанесением необходимых элементов инфраструктуры, требуемого набора и состава транспортных средств (рис. 10).

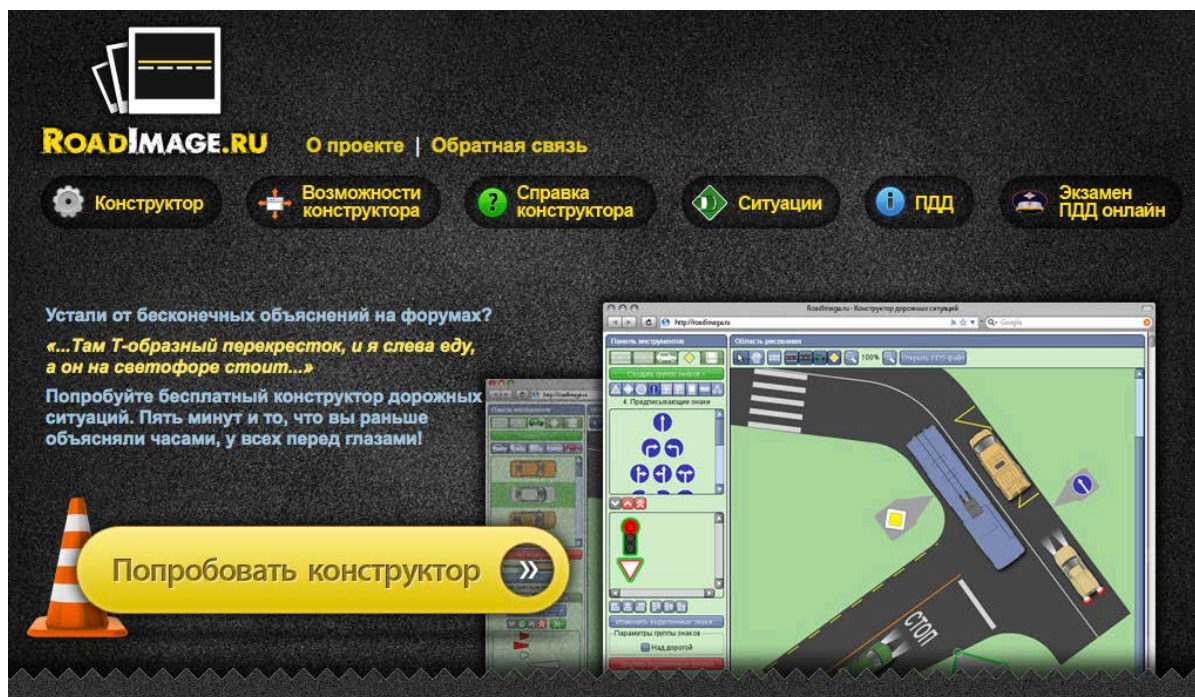


Рис. 10. Конструктор дорожных ситуаций авт. Корочанский Г.Е.

Конструктор позволяет визуализировать объекты улично-дорожной сети, оперативно составлять схемы для иллюстрации дорожно-транспортных происшествий, проектов изменения схем движения на участках дорожной сети и схем организации дорожного движения, создавать наглядные учебные материалы с типовыми ситуациями на дорогах или моделируя нестандартную ситуацию. Конструктор при всей своей видимой простоте способен помочь в решении достаточно широкого круга вопросов, связанных с безопасностью и организацией дорожного движения.

Рассмотренные в этом материале программные продукты, безусловно, не являются единственными в своем роде, однако позволяют выполнять задачи разного уровня и рассчитаны на пользователей с различной подготовкой и, главное, с различной мотивацией при решении вопросов организации дорожного движения. Объединяет все эти продукты одна простая и очевидная задача – чтобы сделать дорожное движение безопасным, нужно правильно его организовать, а для этого необходимо профессионально, с необходимым уровнем подготовки и ответственно подходить к организации дорожного движения еще на этапе проектирования.

Литература:

1. Кривых И.В., Мирза Н.С. Обзор зарубежных САПР автомобильных дорог / И.В. Кривых, Н.С. Мирза // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – №2(5). – С. 68-77.
2. URL: http://www.topomatic.ru/download/brochures/robur-road_brochure.pdf (Дата обращения 20.03.2020).
3. URL: <https://credo-dialogue.ru/produkty.html> (Дата обращения 21.03.2020).
4. URL: <https://www.indorsoft.ru/products/index.php> (Дата обращения 20.03.2020).
5. URL: <https://auto.vercity.ru/calculators/break/> (Дата обращения 28.03.2020).
6. URL: <http://old.bezdtп.ru/campaigns/pritormozi/calculator.php> (Дата обращения 28.03.2020).
7. URL: <https://www.omnicalculator.com/everyday-life/traffic-density> (Дата обращения 29.03.2020).
8. URL: <https://usdm.upc.gov.ae/USDM/> (Дата обращения 09.03.2020).
9. URL: <http://www.roadimage.ru/> (Дата обращения 05.02.2020).

Software and free web resources in case of problems resolve for road traffic control and management

Sidorkov V. V.^{1,b}, Pozynich K. P.^{1,b}, Eunap R. A.^{1,c}.

¹Pacific National University, Tikhookeanskaya Street, 136, Khabarovsk, 680035, Russian Federation

^a sidorkov@pnu.edu.ru, ^b kpp.51@mail.ru, ^c roman@eunap.ru.

Keywords: traffic control and management, software, functional

Considered questions of usage modern software and CAD systems for solving common tasks in road traffic control and management. Illustrated a number of free-ware web recourses declared simple and easy usage for low-level tasks in road traffic control and management.

УДК 625.8

Оценка эффективности вибрационного уплотнения дорожных покрытий

Шишкин Е.А.^{1a}, Коваленко А.С.¹

¹Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская 136, Хабаровск, Россия

^a004655@pnu.edu.ru

Ключевые слова: дорожное покрытие, уплотнение, дорожный каток, вибрационный валец, дебаланс, энергия, эффективность, мощность

Существующий широкий модельный ряд дорожных катков осложняет процесс выбора модели для конкретных условий производства работ. В большинстве случаев дорожник руководствуется массой при выборе модели катка. Использование данного критерия на практике приводит к некачественному уплотнению дорожного покрытия. Могут возникать зоны недоуплотнения или разрушения. В работе в качестве критерия эффективности работы катка принята удельная энергия уплотнения 1 м^2 покрытия. Удельная энергия уплотнения представляет собой работу уплотнения, совершаемую вальцом с определенной частотой. Качество уплотнения участка покрытия дорожным катком определялось интервалом между последовательными вертикальными воздействиями вальца. Описанная в работе методика позволяет находить численное значение энергии уплотнения 1 м^2 для каждого из исследуемых катков и выбирать каток с наименьшими энергетическими затратами.

Введение. Производители дорожных катков в большинстве моделей предусматривают два режима вибрационного уплотнения: с низкой частотой вибрации и с высокой частотой вибрации дебаланса [1].

При низкой частоте колебаний дебаланса амплитуда вибрации высокая. Такой режим вибрационного уплотнения соответствует минимальной рабочей скорости движения дорожного катка. Это обусловлено тем, что увеличение скорости движения катка при таком режиме колебаний приведет к неравномерному уплотнению покрытия: будут возникать зоны

с недоуплотненной смесью [2,3]. При высокой частоте колебаний дебаланса за счет изменения статического момента дебаланса амплитуда колебаний уменьшается. Такой режим вибрационного уплотнения позволяет увеличить рабочую скорость движения дорожного катка и как следствие повысить производительность уплотнения без ущерба для качества получаемого покрытия.

В настоящее время производится широкий модельный ряд дорожных катков, отличающихся шириной вальца, частотой и амплитудой вибрации [4,5,6]. В зависимости от стадии, на которой он применяется, его рабочая скорость различна [7]. Эти обстоятельства усложняют процесс выбора дорожного катка для конкретных условий производства работ.

Проведем сравнительный анализ эффективности уплотнения покрытия различными моделями дорожных катков. В качестве критерия сравнения примем удельную энергию уплотнения [8].

Теория. Рассмотрим процесс уплотнения различными дорожными катками участка покрытия небольшой протяженности. Длина временного интервала, необходимого для уплотнения этого участка, определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{L}{V_p}, \quad (1)$$

где L – протяженность уплотняемого участка покрытия, м; V_p – рабочая скорость дорожного катка, м/с.

Площадь, которую уплотнит дорожный каток за время Δt , определяется по формуле

$$S = L \cdot B, \quad (2)$$

где B – ширина вальца катка, м.

При движении катка вперед валец совершает вертикальные колебания амплитуды a_{max} с заданной частотой f . Следовательно, валец производит определенную работу по уплотнению материала. Работа уплотнения покрытия, совершенная вальцом за одно колебание дебаланса, определяется по формуле

$$A = (m + m_o)g \cdot h, \quad (3)$$

где m – масса рассматриваемого модуля катка, кг; m_o – масса дебаланса вибратора, кг; $g=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; h – перемещение вальца, м.

Валец совершает колебательное движение от крайнего верхнего положения до крайнего нижнего. Поэтому в формуле (3) перемещение вальца равно

$$h = 2a_{max}, \quad (4)$$

где a_{max} – амплитуда вертикальных колебаний вальца, м

Количество ударов, которые будут нанесены вальцом по покрытию площадью S , определяется по формуле

$$n = f \cdot \Delta t, \quad (5)$$

где f – частота колебаний дебаланса, Гц; Δt – время уплотнения вальцом покрытия площадью S .

Тогда удельная энергия уплотнения 1 м² покрытия, Дж/м², определится по формуле

$$\mathcal{E}_{y\partial} = \frac{A \cdot n}{S}, \quad (6)$$

или с учетом выражений (1), (3), (5)

$$\mathcal{E}_{y\partial} = \frac{(m + m_o)g \cdot h \cdot f}{B \cdot V_p}. \quad (7)$$

Удельную энергию уплотнения $\mathcal{E}_{y\partial}$ используем в качестве критерия эффективности уплотнения покрытия заданным дорожным катком. Очевидно, что наиболее эффективным с точки зрения энергозатрат будет считаться та модель, у которой удельная энергия уплотнения минимальна.

Условием качественного уплотнения участка покрытия дорожным катком является соблюдение интервала между последовательными вертикальными воздействиями вальца на покрытие, который по данным [9] должен быть $\Delta l = 2-4$ см. Так как частота колебаний дебаланса вальца является неизменной заводской характеристикой, соблюдение этого интервала возможно варьированием значения рабочей скорости катка. С учетом формул (1), (5) получим условие соблюдения рекомендуемого интервала между воздействиями вальца на покрытие

$$V_{pi} = \frac{L f_i}{n}, \quad (8)$$

где i – номер дорожного катка.

Условие (8) означает, что скорость дорожного катка необходимо принимать в соответствии с частотой вибрации вальца катка.

В формуле (8) число ударов будет равно

$$n = \frac{L}{\Delta l}, \quad (9)$$

где $\Delta l = 0,02-0,04$ м - интервал между последовательными вертикальными воздействиями вальца на покрытие.

С учетом (9) уравнение (8) примет вид

$$V_{pi} = f_i \Delta l. \quad (10)$$

С учетом (4), (10) уравнение (7) примет вид

$$\mathcal{E}_{ydi} = \frac{100(m + m_d)g \cdot a_{\max i}}{B_i}. \quad (11)$$

Тогда суммарная энергия уплотнения покрытия будет равна

$$\mathcal{E}_i = \mathcal{E}_{ydi} \cdot S_{\text{смен}i}, \quad (12)$$

где $S_{\text{смен}i}$ – площадь покрытия, уплотняемое i -м катком за смену, м^2 .

Мощность i -го дорожного катка, затрачиваемая в смену на уплотнение покрытия, может быть определена по формуле

$$N_i = \frac{\mathcal{E}_i}{3600 \cdot T_{\text{см}}}, \quad (13)$$

где $T_{\text{см}}$ – рабочее время смены, ч.

Выводы. Таким образом, зная конструктивные и технологические характеристики дорожных катков и вычислив энергию на уплотнения 1 м^2 для каждого из них можно выбрать каток с наименьшими энергетическими затратами.

Кроме этого вычисленное значение энергии уплотнения позволяет определить долю мощности двигателя катка, которая тратится на уплотнение покрытия, что может быть использовано при выполнении тягового расчета проектируемых моделей дорожных катков.

Литература:

1. Чабуткин Е.К., Тюремнов И.С., Попов Ю.Г. Методика расчета режима работы вибрационного катка при уплотнении горячих асфальтобетонных смесей // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. №5 (95). С. 19 – 24.
2. Беляев К.В. Снижение энергозатрат при уплотнении асфальтобетонных смесей // Дорожно-транспортный комплекс как основа рационального природопользования: материалы международной научно-технической конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения доктора технических наук, профессора К.А. Артемьева. 2005. С. 15 – 20.
3. Плоцкий Е.А. Анализ режимов уплотнения асфальтобетонных смесей вибрационными катками // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования - основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России: материалы всероссийской научно-технической конференции. 2011. С. 410 – 413.

4. Ложечко В.П. Определение закона и систем регулирования силового воздействия вибрационных катков для уплотнения асфальтобетонных смесей // Современное машиностроение. Наука и образование. 2018. №7. С. 619 – 629.
5. Xia K., Pan T. Understanding vibratory asphalt compaction by numerical simulation // International Journal of Pavement Research and Technology. 2011. Vol. 4. P. 185 – 193.
6. Yao Y., Feng Z., Chen S., Zhang Z., Zhao L., Zhao W. Design and fabrication of a road roller with double-frequency composed vibration and its compaction performance // Arabian journal for science and engineering. 2014. Vol. 39. P. 9219 – 9225.
7. Серебренников В.С. Исследование влияния скорости перемещения вибрационного катка и частоты колебаний вальца на коэффициент уплотнения асфальтобетонной смеси // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования: материалы VII всероссийской научно-практической конференции. 2012. С. 203 – 208.
8. Кусяк П.А., Пермяков В.Б. Регулирование энергоемкостью процесса уплотнения асфальтобетонных смесей // Научные труды молодых ученых, аспирантов и студентов: материалы всероссийской научно-практической конференции, посвященной дню российской науки. 2012. С. 130 – 134.
9. Тюремнов И.С. Обзор систем непрерывного контроля уплотнения грунта для вибрационных катков. Часть 3. Особенности функционирования и «интеллектуальное уплотнение» // Вестник ТОГУ. 2016. №2(41). С. 115 – 122.

Evaluating the effectiveness of road surfaces vibration compaction

Shishkin E.A.^{1a}, Kovalenko A.S.¹

¹Pacific national university, 35 Pacific st., Khabarovsk, 680035, Russian Federation

^a004655@pnu.edu.ru

Keywords: road surface, compaction, road roller, vibration drum, debalance, energy, efficiency, power

The existing wide range of road rollers complicates the process of selecting a model for specific work conditions. In most cases, the road builder is guided by the weight when choosing the roller model. Using this criterion in practice leads to the road surface poor compaction. Areas of under-compaction or destruction may occur. In this paper, the specific compaction energy of 1 m² of the coating is used as a criterion for the roller efficiency. The specific compaction energy is the compaction work performed by the roller at a certain frequency. The surface compaction quality by the road roller was determined by the interval between successive vertical impacts of the roller. The method described in this paper allows us to find the numerical value of the compaction energy of 1 m² for each of the studied rollers and choose the roller with the lowest energy costs.

УДК 621.865.8

Подбор крано-манипуляторной установки для транспортного средства с применением программного обеспечения

Калугин А.В.^{1,a}, Васильченко И.И.^{2,b}, Федоткин И.В.^{1,a}

¹Забайкальский государственный университет, ул. Александро-Заводская, 30, г. Чита, Россия

²ООО «Восточная техника», ул. Красной Звезды, 19, стр. 4, г. Чита, Россия

^amail@zabgu.ru, ^bmaster3play@gmail.com

Ключевые слова: транспортное средство, крано-манипуляторная установка, программное обеспечение, расчет нагрузок, график.

В данной работе рассматривается вопрос разработки программного комплекса по моделированию системы выбора крано-манипуляторной установки под шасси грузового транспортного средства. Для этого необходимо осуществить предварительный расчет возникающих нагрузок от веса крано-манипуляторной установки на оси транспортного средства при снаряженной и полной массах, расчет устойчивости в рабочем положении. Наличие этих этапов в работе необходимо, т.к. они являются ключевыми при разработке программного комплекса, целью которого является снижение трудоемкости специалистов и ускорение процесса расчетов и анализа возможности по монтажу крано-манипуляторной установки на грузовое шасси. Грамотно организованный с применением программного комплекса рабочий процесс специалиста, является залогом безопасного функционирования системы «транспортное средство - крано-манипуляторная установка».

С ростом объемов городского строительства, значительная доля работ в котором отводится грузоподъемным механизмам (ГПМ) и транспортным средствам (ТС) становится очевидным тот факт, что самоходные стреловые краны, а тем более стационарные краны, которые применяли на всех стройплощадках, не всегда подходят для этих работ. В настоящее время, прогресс развития стремится к сочетанию различных функций в одном объекте, например грузоподъемный механизм и грузовик. Сегодня транспортные средства, оснащенные грузоподъемным механизмом получив признание практически во всех сферах промышленного, сельскохозяйственного и строительного производства, они все больше завоевывают данный рынок. Грузоподъемными механизмами оборудован каждый пятый грузовой автомобиль, в основном бортовые машины, но есть и самосвалы. Если учесть, что более 80% строительных грузов в Западной Европе фасуется в различную тару, становится понятна популярность такого сочетания [1].

В настоящее время устойчиво применяется понятие крано-манипуляторная установка (КМУ) для обозначения грузоподъемного механизма устанавливаемого на шасси грузового автомобиля. Однако согласно [2] данный вид механизмов обозначается, как кран погрузочный гидравлический (КПГ). В дальнейшем в тексте возможно употребление обоих терминов.

При подборе КПГ основным критерием является его грузовысотная характеристика, исходя из которой определяются остальные параметры.

Главными характеристиками базового шасси при использовании на нем КПГ являются: грузоподъемность, геометрические параметры грузовой платформы, возможность установки дополнительного оборудования (дополнительных аутригеров, надрамника и т.д.).

Создание программного обеспечения позволяет решить множество проблем. Оно позволяет проводить необходимые экспертные мероприятия, связанные с рассмотрением возможности монтажа любых КПГ на различные типы автомобильных шасси и получать более точные результаты проверки совместимости в системе «транспортное средство - КМУ» в кратчайшие сроки с минимумом человеческих затрат.

В основе разработанного программного продукта лежит методика расчета, состоящая из следующих пунктов:

1. распределение нагрузок по осям транспортного средства [3];
2. определение максимальной массы перевозимого груза в зависимости от условия управляемости шасси;
3. проверка перегруза осей шасси;

4. проверка допускаемого значения максимально возможного заднего свеса кузова шасси.

Для разработки программного обеспечения использована среда Embarcadero RAD Studio xe8.

Необходимо рассмотреть каждый пункт в отдельности.

1. Распределение нагрузок на оси (проверка перегруза осей шасси).

Перед непосредственным началом расчета необходимо определить два основных положения КПП на раме автомобиля: максимально близкое к кабине и максимально удаленное от кабины, рис. 1а,б. Далее, на полученном участке, определяется наиболее рациональное место для монтажа КПП рис. 1в. За основу при выполнении расчетов был взят автомобиль марки Hyundai H120 и КМУ модели Soosan SCS335.

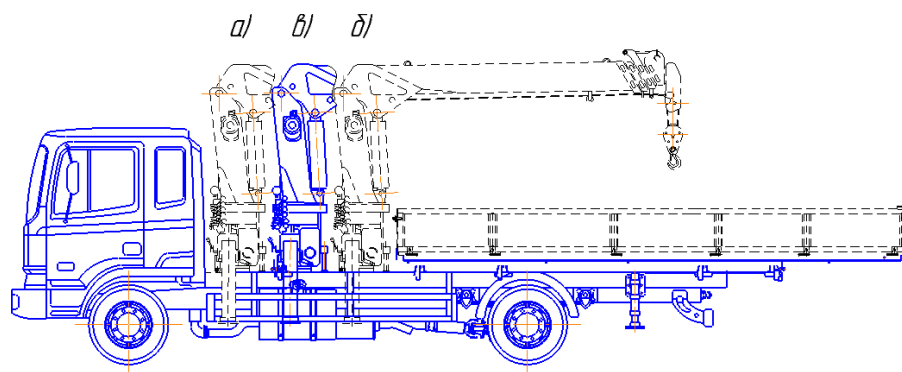


Рис. 1. Расположение КМУ на шасси

а – крайнее левое; б – крайнее правое; в – оптимальное.

Далее необходимо определить все нагрузки, действующие на шасси с установленной на него КМУ. При этом необходимо учитывать нагрузки на оси от собственной массы автомобиля, а также нагрузки от КМУ и надрамника. Для определения центра тяжести КМУ можно воспользоваться данными из формуляра КМУ, можно также применить методику [4]. Далее составляются уровни суммы моментов относительно каждой из опор и находятся реакции в них.

Расчет нагрузок на оси, выполняется согласно схемам: для транспортного положения стрелы КМУ за кабиной, см. рис. 2 и для стрелы расположенной над кабиной ТС, см. рис. 3.

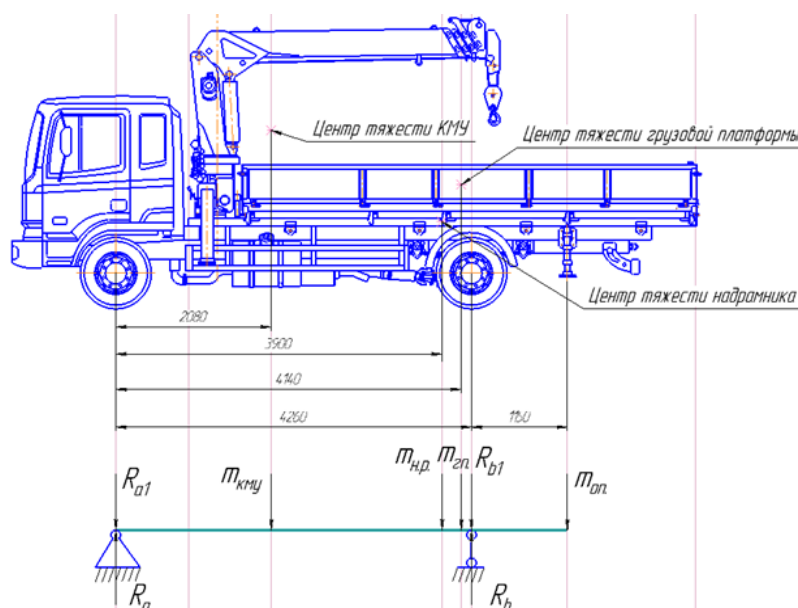


Рис. 2. Расчетная схема для определения нагрузки на оси автомобиля, когда стрела КМУ назад.

Для объективности расчетов, которые можно выполнить программным комплексом, при определении нагрузок на оси, был проведен сравнительный анализ, возможности установки на одно шасси различных КМУ с близкими рабочими характеристиками, но с разными габаритно-массовыми параметрами. Для сравнения были взяты КМУ моделей Soosan SCS335 и Unic URV – 345. Сравнительные характеристики КМУ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики КМУ

Модель	Soosan SCS335	Unic URV – 345
Количество секций	5	5
Мак грузоподъемность, т, (при вылете, м)	3,2 (2,5)	3,03 (2,5)
Длина стрелы, м	3,4 – 12,1	3,54 – 12,3
Высота подъема крюка, м	14,9	13,7
Масса КМУ, т	2,128	1,27

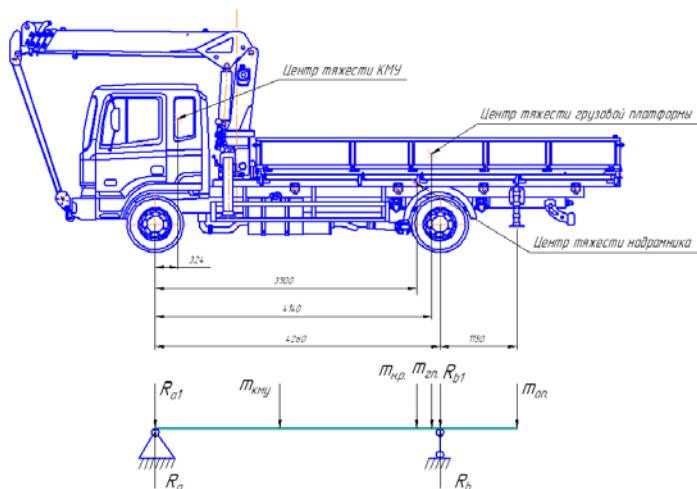


Рис. 3. Расчетная схема для определения нагрузки на оси автомобиля, когда стрела КМУ вперед

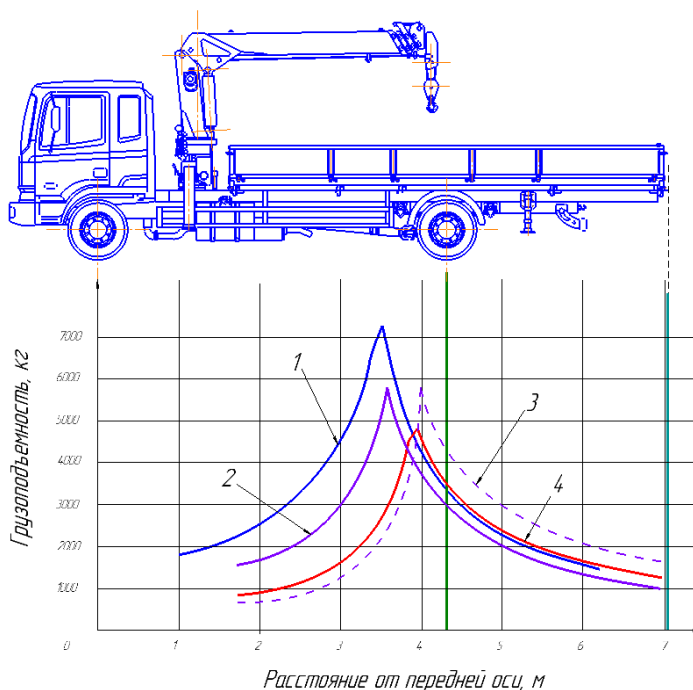


Рис. 4. Сравнительный анализ при установке двух разных моделей КМУ

1 – грузоподъемность шасси без КМУ; 2 – грузоподъемность шасси с КМУ Unic URV – 345 (стрела назад); 3 – грузоподъемность шасси с КМУ Unic URV – 345 (стрела вперед); 4 – грузоподъемность шасси с КМУ Soosan SCS335 – 345 (стрела назад)

Полученный график на рис. 4 был построен для варианта установки КМУ на расстоянии 1200 мм от передней оси до центра вращения КМУ для обоих вариантов. Сравнивая два графика грузоподъемности шасси, можно сказать, что более подходящий вариант для монтажа является КМУ фирмы Unic., т.к. график грузоподъемности шасси с данной установкой более приближен к графику грузоподъемности шасси без КМУ и наличие данного механизма не приводит к перегрузу передней оси.

По результатам сравнения а программой строятся выводы, которые в дальнейшем должны быть применены для рассмотрения того или иного варианта. Пример выводов приведен в табл. 2

Таблица 2

Основные условия проверки и их сравнение

Условие	Soosan SCS335		Unic URV – 345	
	Оценка		Оценка	
Перегруз передней оси, стрела назад	отсутствует	V	отсутствует	V
Перегруз передней оси, стрела вперед	присутствует	X	отсутствует	V
Управляемость шасси	обеспечена	V	обеспечена	V
Свес кузова	допустимый	V	допустимый	V
Возможность подъема кабины и доступность узлов	обеспечена	V	обеспечена	V

2. Определение максимальной массы перевозимого груза в зависимости от условия управляемости автомобиля.

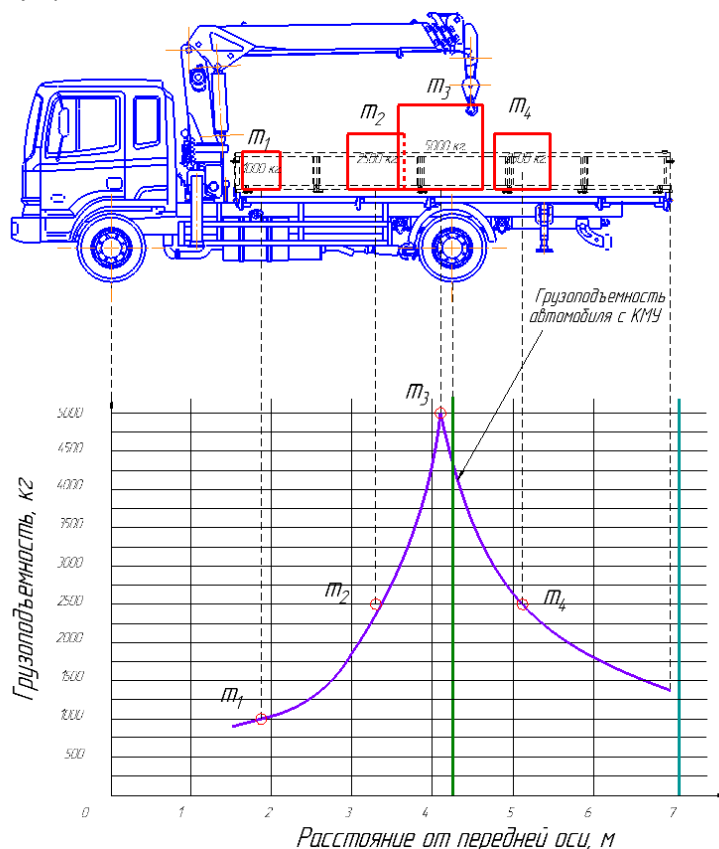


Рис. 5. График остаточной грузоподъемности шасси с установленной на нем КМУ.

При определении максимально допустимой массы перевозимого груза, главным условием будет являться условие управляемости. В рассматриваемом случае, размещение груза осуществляется над задней осью автомобиля.

Для обеспечения достаточной управляемости автомобиля необходимо что бы его передняя ось была загружена, как минимум на 33% от его полной массы.

Проверка условия управляемости проводится согласно [5].

Программа, согласно расчетам по выше описанным схемам подбирает максимальную массу груза для всех его возможных положений в кузове. В качестве примера, согласно расчета, был получен произвольный график грузоподъемности шасси с установленной КМУ, чтобы показать наглядно зависимость массы перевозимого груза от его расположения в кузове автомобиля, см. рис. 5. Максимально полезный груз массой 5000 кг, с соблюдением условия управляемости, применительно к шасси Hyundai H120, можно разместить немного впереди задней оси шасси.

3. Проверка перегруза осей автомобиля.

Перегруз оси автомобиля может привести к повышенному износу элементов подвески автомобиля, возникновению риска аварии во время движения. Проверка выполняется путем нахождения нагрузки на каждую ось автомобиля, но с учетом массы груза.

4. Допустимый задний свес кузова автомобиля.

При установке КМУ на шасси необходимо произвести смещение грузовой платформы, поэтому изменяется и размер заднего свеса. Величина заднего свеса не должна превышать для двухосного транспорта значения в 65% от базы шасси, для трех-четырёхосного транспорта не более 75% об базы шасси, согласно [5].

Вся рассмотренная выше методика занесена в программу. Расчет ведется путем ввода параметров базового автомобиля и выбранной КМУ. По полученным данным определяется соответствует или не соответствует компоновочное решение условиям проверки в целом. Исходя из этого, можно внести поправки и произвести расчет снова для получения наиболее оптимального варианта расположения КМУ на раме шасси автомобиля.

Рабочая панель программы разбита на три основных вкладки: главное меню, параметры шасси, параметры КМУ. Это сделано для удобства поиска и настройки параметров для предстоящего расчета, см. рис. 6.

Для начала расчета необходимо перейти во вторую вкладку «Параметры шасси» см. рис. 7а и начать ввод данных нужного вам ТС, затем переходим во вкладку «Параметры КМУ» см. рис. 7б, после ввода основных данных можно вернуться на первую вкладку и после этого убедившись, что все параметры введены верно, добавляются данные для построения компоновки будущего варианта в системе «шасси – КМУ» на вкладке «Главное меню».

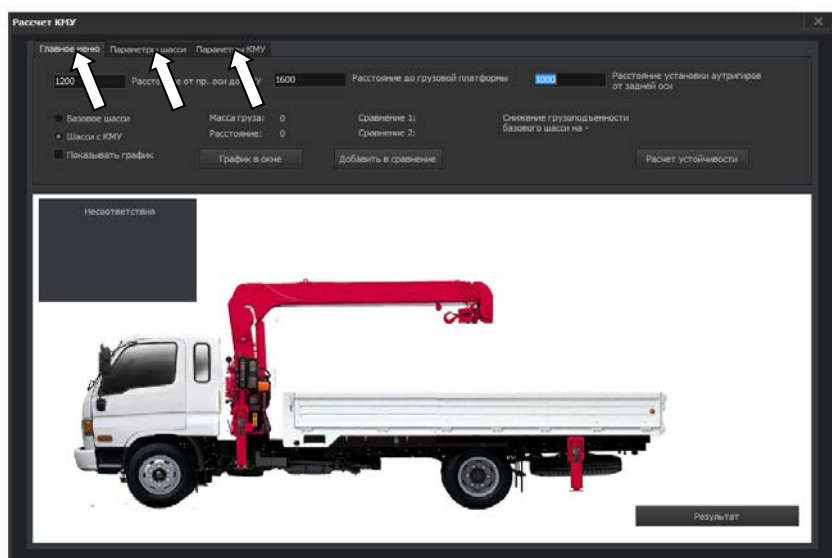


Рис. 6. Главное окно программы



Рис. 7. Окна вкладок программы:
а – вкладка «Параметры шасси»; б – вкладка «Параметры КМУ»

После ввода всех параметров и нажатия на кнопку «Рассчитать» в основном меню, построится график грузоподъемности, либо для удобства его можно вывести на отдельное окно нажатием кнопки «График в окне».

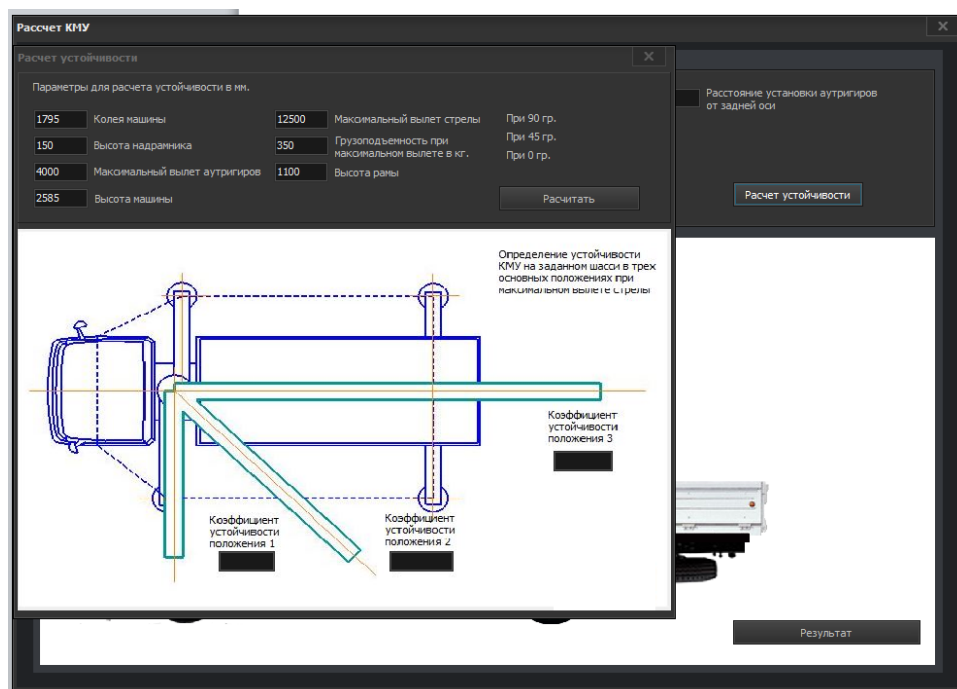


Рис. 8. Окно вкладки «Расчет устойчивости»

График представляет собой зависимость грузоподъемности от расположения груза в кузове, вертикальная ось обозначает грузоподъемность, горизонтальная ось обозначает удаленность груза в кузове относительно передней оси базовой машины.

Также на панели имеется индикатор, показывающий данные по массе груза и его расстоянию, которое находится под курсором, если навести данный на график. Еще имеются кнопки по выключению и включению графика, это сделано для удобства пользования. Можно включать вид базово шасси и шасси с установленной КМУ, для наглядности.

Еще есть возможность сравнения двух вариантов компоновки. Для этого существуют две ячейки для сохранения параметров.

После всех действий, на отдельном графике в окне будут отображаться данные варианты, где их можно будет сравнить между собой.

Как дополнение, в программе есть расчет устойчивости автомобиля. Для вызова окна расчета устойчивости необходимо ввести все параметры, указанные выше и произвести расчет грузоподъемности, после чего нажмите на кнопку «Расчет устойчивости» в главном меню программы. Далее вводятся дополнительные параметры, необходимые для расчета, и нажимается кнопка «Рассчитать», см. рис. 8.

Данный программный продукт необходим специалистам занимающимся дооборудованием ТС КМУ для более эффективного варианта подбора КМУ под имеющееся у заказчика шасси, т.к. такая последовательность экономически более актуальна. При проведении процедуры технического освидетельствования на предмет соответствия грузоподъемного механизма требованиям промышленной безопасности, данная программа будет необходима и специалистам экспертных организаций.

Литература:

1. Основные средства [Электронный ресурс]. Кому нужны эти КМУ? Обзор российского рынка кранов-манипуляторов. Режим доступа: <https://os1.ru/article/6862-obzor-rossiyskogo-rynka-kranov-manipulyatorov-komu-nujny-eti-kmu-> Загл. с экрана.
2. ГОСТ 33167-2014 Краны погрузочные гидравлические. Требования безопасности.
3. Коробейников, А.В. Расчет нагрузок на оси шасси КАМАЗ 41118 для эффективного использования крано-манипуляторной установки [Электронный ресурс] / А.В. Коробейников. - Электрон. журн. - Уфа: ИП Козлов П.Е, 2014. - Режим доступа: <http://nauka-rastudent.ru/37/3914/>
4. Александров, А.В. Сопротивление материалов /А.В. Александров, В.Д. Потапов, Б.П. Державин. - Высшая школа. - Москва: Высшая школа, 2003. - 560с.
5. Учебное пособие. М.: Просвещение, 1977. Плеханов И.П. Автомобиль: Учеб. пособие для учащихся. - М.: Просвещение, 1977. - 319 с.: илл.

Selection of a crane-manipulator installation for a vehicle using software

Kalugin A.V.^{1,a}, Vasilchenko I.I.^{2,b}, Fedotkin I.V.^{1,a}

¹Transbaikal State University, 30 Alexandro-Zavodskaya st., Chita, 672039, Russian Federation

²Limited liability company «Eastern technique», structure 4, 19 Krasnoy Zvezdi st., 672038, Russian Federation

^amail@zabgu.ru, ^bmaster3play@gmail.com

Keywords: transport mean, crane-manipulator installation, software, the calculation loads, schedule.

The issue of developing a software package for modeling the system for selecting a crane-manipulator installation under the chassis of a freight vehicle is considered in this paper. It is necessary to carry out a preliminary calculation of the arising loads from the weight of the crane-manipulator installation on the axis of the vehicle with curb and full masses, and calculate stability in the working position. The presence of these stages in the work is necessary, because they are key in the development of a software package, the purpose of which is to reduce the complexity of specialists and speed up the process of calculation and analysis of the possibility of mounting a crane-manipulator on a cargo chassis. Properly organized process of using by the specialist the software package is the key to the safe functioning of the «vehicle - crane-manipulator installation».

УДК 666.97.031.3

Использование рекуперативных теплообменников для разогрева гидравлического масла технологических машин, в условиях низких температур

Абдукундузов А.В.^{1,а} Федоров В.С.^{1,б}, Герасимов С.Н.^{1,с}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аkahor0301@gmail.com, ^бfedorov.v.s@yandex.ru, ^сsdm_gerasimov@rambler.ru

Ключевые слова: замерзание, рабочая жидкость, гидрофицированные машины, вязкость, разогрев, отработавшие газы ДВС, низкая температура.

На сегодняшний день гидравлический привод стал основным приводом, им оснащено до 90% самоходных и стационарных машин различного технологического назначения. Но, гидравлический привод в условиях низких температур является наиболее тяжело нагруженным и самым уязвимым узлом машин. Особенно нежелательное явление на работоспособность гидропривода оказывают низкие температуры в период пуска машин после длительной остановки. Низкие температуры значительно снижают ресурс гидрооборудования, и при этом увеличивается вязкость рабочей жидкости.

В статье рассматриваются один из способов подогрева гидравлического масла технологической машины, с учетом исследований С.В. Каверзина и его учеников. За основу принята технология EHR (Exhaust Heat Recovery), компании Toyota Motor Corporation. Способ отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания, позволяющий решить проблему замерзания и быстрого разогрева рабочей жидкости в гидросистеме гидрофицированных и транспортно-технологических машин.

Введение. Известно, что при низких температурах резко снижаются полезные усилия на рабочих органах гидрофицированных машин, что сказывается на их грузоподъемности и производительности. Главной причиной этого является потери давления в гидрооборудовании, трубопроводах и всасывающей гидролинии насосов. Эти потери вызываются трением жидкости о стенки трубопроводов и каналов гидрооборудования; деформацией потока жидкости, вызываемой завихрениями в местных сопротивлениях, изменением скорости и направления потока; инерцией вязкой жидкости.

Как известно, при работе без устройства разогрева рабочей жидкости, равновесный тепловой режим наступает только через 1,5-2 часа с момента пуска двигателя. При температуре окружающего воздуха ниже -25°C даже установившаяся (максимальная)

температура рабочей жидкости не достигает оптимального диапазона, то есть гидропривод эксплуатируется в течение всей смены в неблагоприятных режимах. И аналогично ухудшаются все показатели. [1]

Основная часть. Как отмечалось выше, при понижении температуры увеличивается вязкость гидравлического масла, вплоть до его замерзания. Проблему замерзания масла можно решить, основываясь на математические расчеты и исследования в области разогрева жидкости гидравлических приводов при низких температурах, выполненные доктором технических наук, профессором С.В. Каверзиным и его учениками [1, 2, 3, 4].

В работах С.В. Каверзина рассмотрены различные способы разогрева рабочих жидкостей транспортно-технологических машин, один из способов, разогрев отработавшими газами двигателя внутреннего сгорания, установленного непосредственно на технологической машине.

Конкурентное решение разработано компанией Toyota Motor Corporation, которая серийно внедрила подогрев охлаждающей жидкости выхлопными газами ДВС на свои гибридные автомобили Toyota Prius. Технология EHR (Exhaust Heat Recovery) использует выхлопные газы для нагрева теплообменника 5 (рис.1), расположенного во выпускном тракте. Через теплообменник непрерывно циркулирует охлаждающая жидкость, за счет теплообмена происходит эффективный прогрев охлаждающей жидкости ДВС, таким образом гораздо быстрее прогревается ДВС и салон автомобиля.

Принцип работы подогревателя довольно прост (рис.1), его устанавливают непосредственно в системе выпуска отработавших газов ДВС. Подогреватель состоит из корпуса 1, разделенного на два отсека, внутрь корпуса смонтирован теплообменник 5, а также заслонка 2 и система управления этой заслонкой 3, кроме того, предусмотрен механический термостат 4.

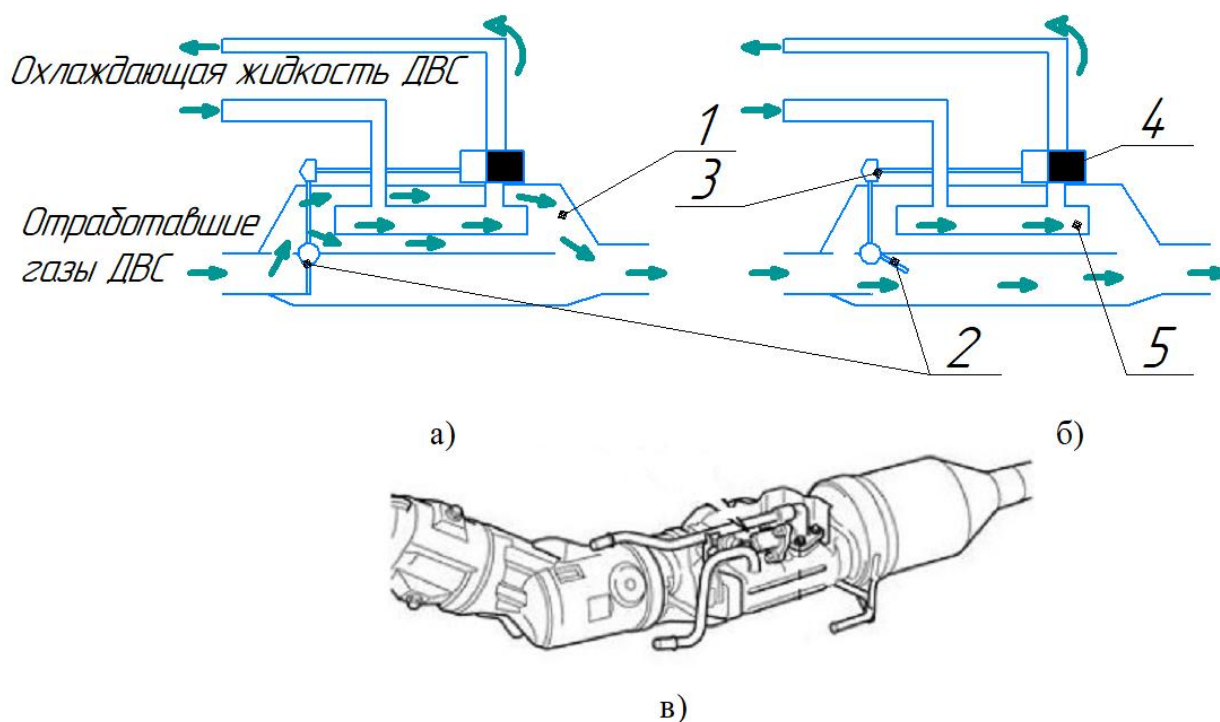


Рис. 1 – Схема работы подогревателя охлаждающей жидкости компании Toyota Motor Corporation
а) – заслонка закрыта; б) – заслонка открыта; в) – изображение подогревателя



а)



б)

Рис. 2 – Фото подогревателя охлаждающей жидкости Toyota Prius

а – вид снизу; б – вид сверху

Работает подогреватель следующим образом, в момент запуска двигателя при низких температурах окружающего воздуха, охлаждающая жидкость циркулирует внутри теплообменника, установленного в подогревателе, в этот момент заслонка закрыта, что обеспечивает подачу выхлопных газов в отсек, с теплообменником, таким образом за счет теплообмена происходит подогрев охлаждающей жидкости ДВС.

После достижения необходимой температуры охлаждающей жидкости, то есть в нагретом состоянии, срабатывает механический термостат, заслонка открывается, обеспечивая нормальный поток выхлопных газов, не перегревая теплообменник, на который в таком положении заслонки, передается лишь небольшое количество тепла.

В результате работы такого подогревателя общие показатели Toyota Prius улучшились, а именно: ускорен прогрев ДВС; повысился КПД гибридной установки; снизился расход топлива.

Теоретические исследования подогревателя фирмы Toyota Motor Corporation, не представлены в открытой публикации, однако С.В. Каверзиным выполнено большое количество экспериментов в данном направлении, с подобными типами подогревателей.

В результате экспериментальных исследований [3] на стендах, получены данные, которые позволяют оценить интенсивность разогрева рабочей жидкости в зависимости от температуры и массового расхода отработавших газов, площади теплоотдачи теплообменника и вместимости гидробака.

Температура отработавших газов (рис.3) вдоль газового тракта меняется с момента пуска двигателя внутреннего сгорания до наступления установившейся температуры на максимальных и средних оборотах двигателя. Как как следует из графиков, температура отработавших газов в первые 4-5 минут после пуска двигателя увеличивается, затем наступает равновесное тепловое состояние, которое сохраняется в течение всего эксперимента. Прежде всего стабилизируется температура после газовой турбины, так как более интенсивно разогреваются тонкостенная выхлопная труба и неметаллоемкие крепёжные детали. Затем происходит стабилизация температуры отработавших газов перед и после теплообменника.

Эксперименты показали, что установившаяся температура отработавших газов в зависимости от оборотов двигателя после газовой турбины изменяется от 210 до 270 °С. Перед теплообменником - от 160 до 240 °С, а после теплообменника от 110 до 190 °С. Таким образом, при прохождении отработавших газов через теплообменник длиной 1 м температура их уменьшается на 50 °С. Экспериментом было установлено, что между газовой турбиной и теплообменником температура снижается на 15-20 °С, на каждый метр пройденного пути. Эти данные позволяют оценить интенсивность теплообмена отработавших газов в выхлопной трубе и теплообменнике.

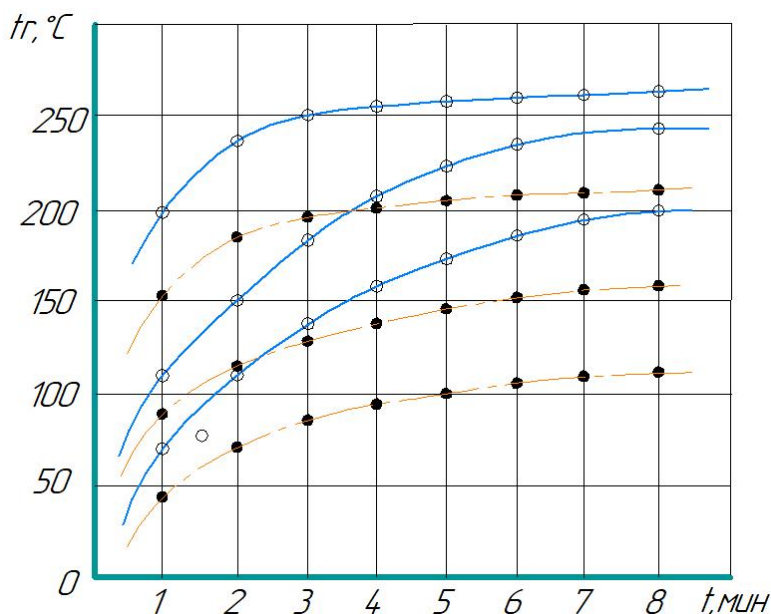


Рисунок – 3 Зависимость температуры отработавших газов при площади теплообмена 0,8 м² от времени работы и оборотов двигателя:

—●— — максимальные обороты ДВС; —○— — средние обороты ДВС;
1 – после газовой турбины; 2 – перед теплообменником; 3 – после теплообменника;

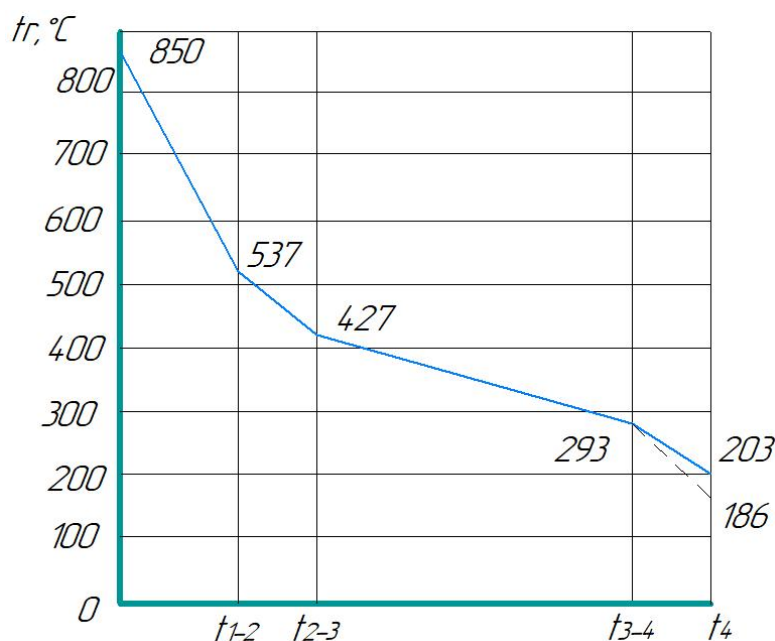


Рисунок – 4 Зависимость температуры отработавших газов от пройденного пути в устройстве разогрева гидросистемы погрузчика П-2С с дизельным двигателем Д-160.

----- экспериментальные данные; ——— расчетные данные

В двигателях внутреннего сгорания, не оборудованных газовой турбиной, температура отработавших газов значительно выше, так как не происходит принудительной вентиляции камер сгорания. Поэтому при прохождении отработавших газов по газовому тракту более высокий тепловой напор обеспечивает повышенный теплообмен с окружающей средой рисунок 4. Экспериментальная проверка в условиях эксплуатации показала, что расчётные значения (сплошная линия на рисунке 4), температуры отработавших газов перед и после теплообменника превышают опытные, (штриховая линия) на 7-9 %.

В результате экспериментальных исследований на стене для вместимости гидробака

160 л и 200 л при различной площади теплообменника (0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 квадратных метров). Определена продолжительность разогрева рабочей жидкости (рисунок 5 и 6) в зависимости от температуры окружающего воздуха. В теплообменнике площадью теплообмена 0,8 м² жидкость объемом 160 л от начальной температуры – 38 до 0 °С нагревается за 19,5 минут, а при этих же условиях жидкость объемом 200 л нагревается за 35 минут. Если исходить из того, что нормативное время подготовки машины к эксплуатации при низких температурах составляет 230 минут, то, используя полученные графики можно определить площадь теплообменника, который бы обеспечил при минимальной температуре окружающей среды – 40 °С разогрев гидросистемы за указанное время.

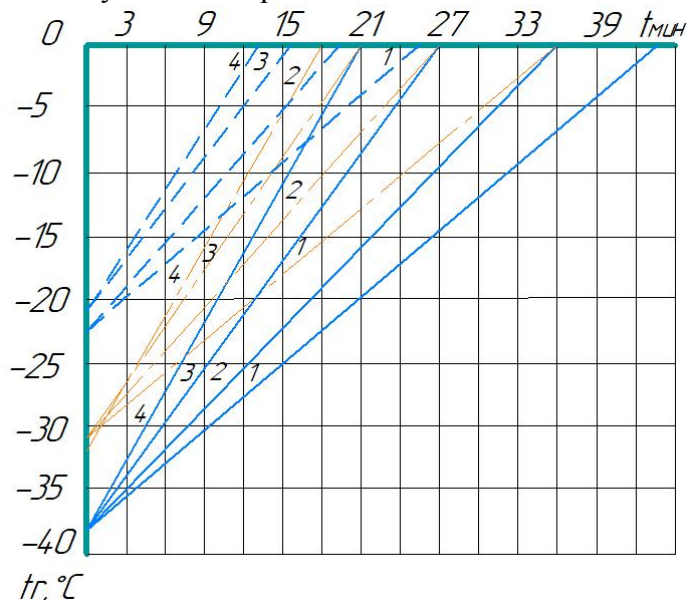


Рисунок – 5. Зависимость продолжительности разогрева рабочей жидкости от температуры окружающего воздуха и площади теплообменника (объем бака – 160 л).

Площадь теплообменника равна: 1 – м²; 2 – 0,4 м²; 3 – 0,6 м²; 4 – 0,8 м²;

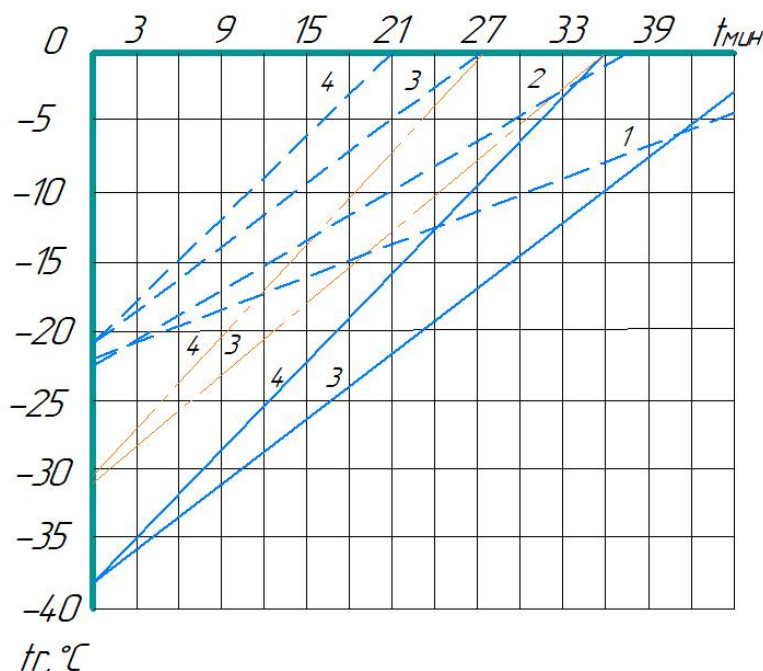


Рисунок – 6. Зависимость продолжительности разогрева рабочей жидкости от температуры окружающего воздуха и площади теплообменника (объем бака – 200 л).

Площадь теплообменника равна: 1 – м²; 2 – 0,4 м²; 3 – 0,6 м²; 4 – 0,8 м²;

Площадь теплообменника будет связано с поверхностью теплоотдачи гидробака следующим соотношением [2]:

$$F_m = (0,25 - 0,45) \cdot F_b$$

Для обеспечения разогрева рабочей жидкости при минимальной температуре окружающего воздуха и температуры отработавших газов, площадь теплообменника должна быть равной примерно в половине омываемой жидкостью поверхности гидробака.

Анализ полученных результатов показывает, что интенсивность разогрева рабочей жидкости зависит от объема масла в гидробаке, площади теплообменника, слабо зависит от температуры отработавших газов в интервале (160-240 °С) и практически не зависят (при $T_o = -20 - 40$ °С) от температуры окружающей среды.

Заключение. Использование рассмотренного типа подогревателя, возможно для подогрева гидравлического масла в гидравлических баках технологических машин, для чего необходимо замкнуть контур через дополнительный теплообменник установленный в гидравлическом баке машины, однако необходимо учесть результаты экспериментальных исследований Каверзина С.В., которые могут быть учтены при проектировании теплообменников гидрофицированных технологических машин. Достаточная для инженерных целей точность расчета подтверждает возможность применения результатов экспериментов, при проектировании устройств разогрева рабочей жидкости отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания. Система подогрева фирмы Toyota Motor Corporation устанавливаемая на автомобили марки Prius, хорошо себя зарекомендовала в условиях низких температур, позволяя обеспечить быстрый прогрев и оптимальное поддержание рабочей температуры ДВС.

Литература:

1. Каверзин С.В., Лебедев В.П., Сорокин Е.А. Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах. – Красноярск: 1997. – 240 с.
2. Каверзин С.В. Создание самоходных гидрофицированных машин для эксплуатации в условиях холодного климата. Диссертация. Красноярск 2004. Том 1. 123 с.
3. Каверзин С.В. Разработка методов и средств повышенной работоспособности и эффективности гидроприводов самоходных машин, эксплуатируемых в условиях низких температур. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Красноярск. 1989. 284 с.
4. Мельников В.Г., Каверзин С.В. Устройство для регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе // Строительные и дорожные машины. 1970. №10. С. 9-10.
5. Казимиренок А.А., Федоров В.С. Совершенствование гидропривода для условий крайнего севера. // Механика XXI веку. 2017. № 16. С. 370-373.

The use of recuperative heat exchangers for heating the hydraulic oil processing machines, in conditions of low temperatures

Abdukunduzov. A.V.^{1,a}, Fedorov V.S.^{1,b}, Gerasimov S.N.^{1,c}

¹Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^akahor0301@gmail.com, ^bfedorov.v.s@yandex.ru, ^csdm_gerasimov@rambler.ru

Keywords: freezing, working fluid, hydraulic machines, viscosity, heating, ICE exhaust gases, low temperature.

Today, the hydraulic drive has become the main drive, which provides up to 90% of self-propelled and stationary machines for various technological purposes. Hydraulic drive in low temperature conditions is the most vulnerable component of mechanical engineering. A particularly undesirable phenomenon on the operability of the hydraulic actuator provides a low temperature in the period after a long stop. This increases the viscosity of the working fluid.

The article discusses one of the methods for heating the hydraulic oil of a technological machine, taking into account the research of S.V. Kaverzin and his students. The technology adopted is EHR (Exhaust Heat Recovery, Toyota Motor Corporation). The method of exhaust gases of internal combustion engines, which allows solving the problem of freezing and rapid heating of the working fluid in the hydraulic system of hydraulic and transport-technological machines.

УДК 621.879.3

Использование нагревательных элементов для борьбы с адгезией грунта в условиях отрицательных температур

Егоров В.А.^a, Радынский Л.А., Востоков Н.В.

Братский Государственный Университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^a mf@brstu.ru

Ключевые слова: нагревательный элемент, адгезия, связный грунт, землеройные машины, напряжение сдвига, однофакторные уравнения, нагрев пластины.

Основной причиной снижения производительности землеройных машин является увеличение адгезии и трения при разработке влажных связных грунтов в условиях отрицательных температур. Данная проблема существует как в России, так и за рубежом. При разработке зимой мерзлых глинистых и мокрых грунтов, разрыхленных на куски, наполнение ковша и скорость работы экскаватора значительно меньше, чем в летних условиях. Мокрый грунт, соприкасаясь с охлажденными стенками ковша, быстро к ним примерзает, уменьшается полезный объем ковша и затрудняется выгрузка. Проведен обзорный анализ саморегулирующихся нагревательных элементов. Рассмотрены три нагревательных элемента ТМ-40, ТМ-60 и SRL 30-2, как возможные варианты для применения непосредственно на ковше экскаватора для ослабления адгезионных связей путём нагрева рабочей поверхности машины. Представлены результаты экспериментальных исследований, представлены однофакторные уравнения регрессии температуры нагрева пластины для каждого из нагревательных элементов, построены температурно-временные характеристики трёх нагревательных элементов, произведен сравнительный анализ трёх нагревательных элементов ТМ-40, ТМ-60 и SRL 30-2.

Введение. Существующие методы снижения трения и прилипания можно разделить на четыре группы [1-25]. Первый метод включает в себя создание промежуточного слоя на границе контакта, который может служить защитным экраном для молекулярного взаимодействия фаз и должен обладать адгезионным взаимодействием. Вторая группа включает в себя методы, способствующие ослаблению адгезионных связей за счет внешнего воздействия. Третий метод основан на конструктивно-технологических и механических способах. Четвертая группа - это комбинирование двух или более методов для снижения адгезии.

В данной статье рассматривается метод внешнего воздействия, инструментами которого являются нагревательные элементы в виде греющих саморегулирующихся нагревательных кабелей марок ТМ-40, ТМ-60 и SRL 30-2.

Постановка задачи. Рассмотреть метод внешнего воздействия, инструментом которого являются нагревательные элементы в виде греющих саморегулирующихся нагревательных кабелей марок ТМ-40, ТМ-60 и SRL 30-2 [13].

Метод решения задачи. Рассмотрим применение нагревательных элементов для ослабления адгезионных связей мёрзлого грунта с контактной зоной рабочей металлической поверхности.

Нагревательные кабели - специфический вид кабельных изделий, преобразующих электрическую энергию в тепловую в целях нагрева и выполняющих функцию приемника электрической энергии, а не передающей линии. Нагревательные кабели значительно отличаются от обычных кабелей и проводов, назначение которых передавать электрическую энергию с наименьшими потерями и с незначительным падением напряжения на длине линии (обычно не более 5%) [13].

Нагревательный кабель используется в виде нагревательных секций, т.е. отрезков определенной длины, причем на этой длине происходит полное падение приложенного напряжения. Следовательно, нагревательную секцию следует рассматривать как обычный приемник электрической энергии (как один из видов электрических нагревательных элементов).

Отрицательный для обычных кабелей эффект рассеяния части передаваемой энергии в виде тепла используется как полезный в нагревательных кабелях. Причем преобразование электрической энергии в тепло происходит самым оптимальным и экономичным способом. Преобразование полное, бесшумное, без использования дополнительных веществ (топлива, окислителя).

На рис. 1 представлена схема принципа работы саморегулирующихся нагревательных элементов.

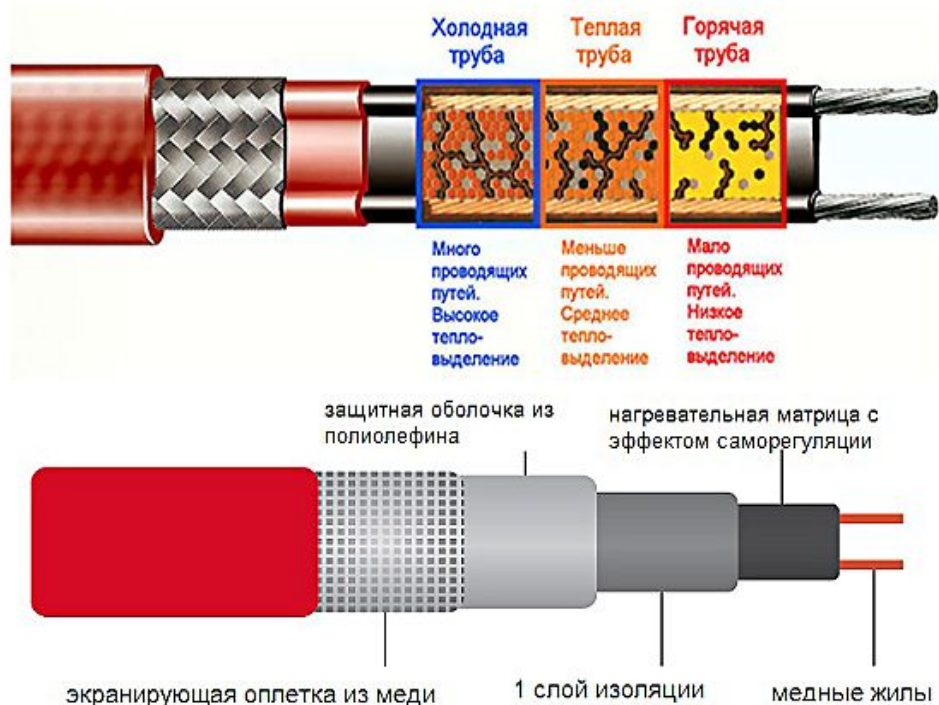


Рис. 1. Принцип саморегулирования нагрева греющих кабелей

Работа саморегулирующегося нагревательного кабеля основана на простом свойстве проводника электрического тока: при нагревании увеличивается его сопротивление, а чем выше сопротивление, тем меньше сила тока, а следовательно и затрачиваемая мощность. Участок кабеля, который находится в более холодном месте, имеет меньшее сопротивление, через нагревательную матрицу в этом участке протекает большой ток, что приводит к большему нагреву кабеля и более интенсивному обогреву трубы. Там где температура выше, сопротивление матрицы больше и ток, протекающий через неё меньше. Таким образом, при

включении саморегулирующегося кабеля у замерзающей водопроводной трубы, он включается на полную мощность, а по мере прогрева трубы, его мощность постепенно увеличивается [13].

Сам по себе греющий кабель не выключается при достижении нужной температуры обогреваемой трубы, он продолжает работать постоянно, просто с меньшей мощностью. Например, кабель используется на участке водопроводной трубы на вводе в дом в зимний период, и его задача поддерживать температуру трубы +5 градусов, чтобы предотвратить замерзание. Саморегулирующийся кабель не будет отключать обогрев при температуре +5 градусов и выше, и не будет сам включаться при падении температуры ниже +5, он будет работать постоянно, просто с разной интенсивностью.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики нагревательных элементов трёх марок: мощность нагревательного элемента, температура нагрева на открытом воздухе, напряжения питания и длина кабеля, также приведена область применения нагревательных элементов для каждой из трёх марок.

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики нагревательных элементов трёх марок (TM-40, TM-60, SRL 30-2): мощность нагревательного элемента, температура нагрева на открытом воздухе, напряжения питания и длина кабеля, также приведена область применения нагревательных элементов для каждой из трёх марок в таблице 2.

Таблица 1

Характеристики нагревательных элементов

Характеристики	Наименование греющих кабелей		
	TM-40	TM-60	SRL 30-2
Мощность, Вт/м	40	60	30
Температура нагрева на воздухе, С	95	115	85
Напряжение питания, В	220	220	220-240
Длина кабеля, м	6	6	6
Область применения			
TM-40	Обогрев бетона, в холодильной промышленности		
TM-60	Обогрев бетона, в холодильной промышленности		
SRL 30-2	Обогрев водостоков и кровли, Обогрев водопровода, Обогрев труб и трубопроводов, Обогрев резервуаров и емкостей		

Проведён анализ нагревательных кабелей марок TM-40, TM-60 и SRL 30-2 для выявления наиболее эффективного греющего элемента с максимальной температурой нагрева при продолжительности работы $t=10$ мин. В качестве имитатора рабочей поверхности был использован специальный сдвиговой стенд [14]. Эксперимент проводился в помещении, при температуре 20 град С°.

Нагрев металлической пластины с помощью нагревательного элемента проводился 10 мин, значения температуры нагрева в зависимости от времени контакта замерялись в значениях 2, 4, 6, 8 и 10 минут.

Результаты проведенного эксперимента показаны в таблице 2.

Наименование кабеля	Результаты эксперимента				
	Время нагрева пластины, мин.				
	2	4	6	8	10
Температура нагрева пластины, в зависимости от продолжительности нагрева, °С					
TM-40	15	16	17	19	20
TM-60	22	31	39	46	51
SRL 30-2	10	12	14	15	17

На рисунке 2 изображена общая температурно-временная характеристика нагревательных элементов TM-40, TM-60 и SRL 30-2.

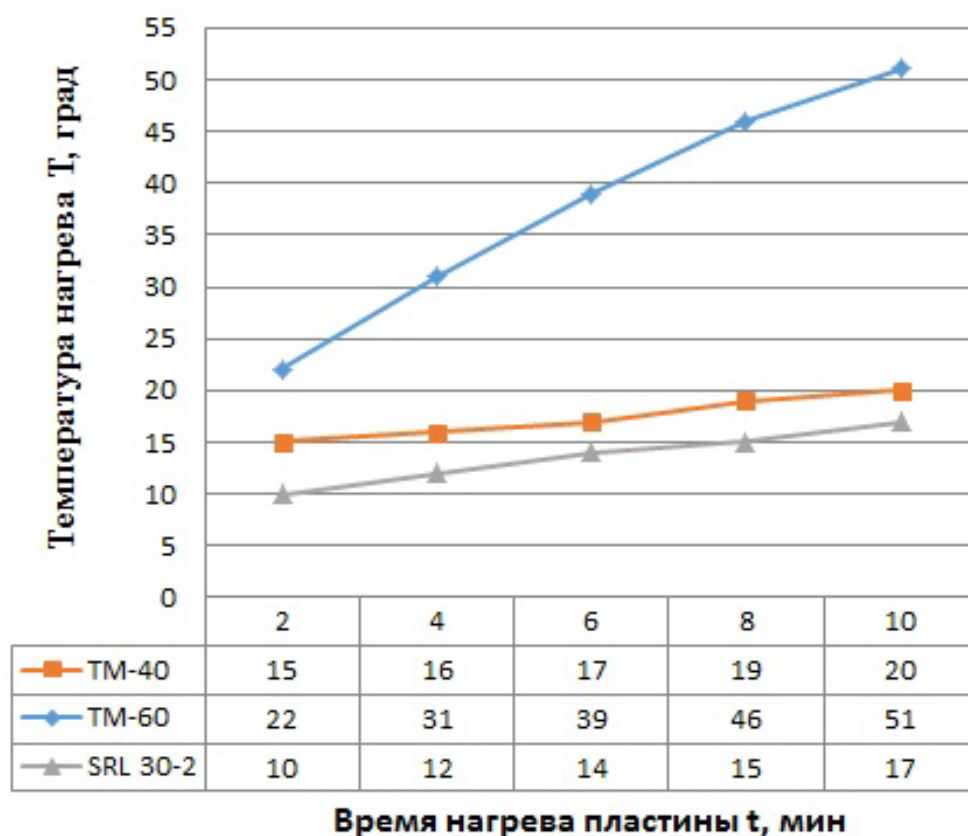


Рис. 2. Общая температурно-временная характеристика нагревательных элементов

Произведена математическая обработка результатов эксперимента.

Математическая обработка полученных результатов проводилась при помощи программы MODEL для однофакторных зависимостей. Для получения однофакторных уравнений регрессии использовалась функция

$$y = C_0 + C_1 \cdot x + C_2 \cdot x^2$$

В результате обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии для трёх марок нагревательных кабелей TM-40, TM-60 и SRL 30-2.

Полученные однофакторные уравнения показаны в таблице 3.

С помощью программы Microsoft Excel, на основе полученных однофакторных уравнений в таблице 3 получили квазиоднофакторные зависимости при фиксированном значении времени нагрева пластины.

Таблица 3

Однофакторные уравнения температуры нагрева пластины Температурно-временная характеристика нагревательных элементов при +20 град	
Наименование кабеля	Температура нагрева пластины, °С
TM - 40	$Y = 14 + 0,435714 \cdot x + 0,017857 \cdot x^2$
SRL 30-2	$Y = 8 + 1,064286 \cdot x - 0,017857 \cdot x^2$
TM-60	$Y = 14,066667 + 4,642424 \cdot x - 0,090909 \cdot x^2$

Анализ полученных результатов. Наиболее эффективную работу среди греющих кабелей показал себя нагревательный элемент марки TM-60. По результатам эксперимента, на каждом отрезке времени нагревательный элемент TM-60 показал себя эффективней греющего кабеля TM-40 в 1.5-2.6 раза. По сравнению с греющим кабелем SRL 30-2, TM-60 оказался эффективней в 2.2-3 раза.

Выводы. Результаты экспериментальных исследований влияния нагрева контактной зоны на адгезию грунтов к металлической поверхности рабочих органов машин при отрицательной температуре с помощью нагревательных элементов в качестве греющих кабелей позволяют сделать ряд выводов и практических рекомендаций. Проведен обзорный анализ по использованию саморегулирующихся нагревательных элементов в качестве борьбы с адгезией грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин. Произведена математическая обработка однофакторных зависимостей по результатам экспериментальных данных для получения уравнений регрессии. Были построены квазиоднофакторные зависимости.

Литература:

1. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А. Применение полимерных противоналипающих листов для снижения адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механики XXI века. 2010. № 9. С. 112-114.
2. Зеньков С.А., Батуро А.А., Булаев К.В., Диппель Р.А. Анализ структуры рабочего органа ковшового типа с устройством внешнего интенсифицирующего воздействия для снижения адгезии грунта // Механики XXI века. 2005. № 4. С. 49-52.
3. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties. // Journal of Terramechanics 36 (1999) P. 39-49.
4. Заднепровский Р.П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудования для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. – М.: Машиностроение, 1992. 176 с.
5. Зеньков С.А., Жидовкин В.В., Нечаев А.Н. Снижение адгезии грунтов с помощью ремонтно-восстановительных составов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 2. С. 127-131.
6. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Елохин А.В., Дэлэг Д. Перспективы применения гибких нагревательных ленточных элементов для снижения адгезии грунта к рабочим органам ковшового типа // Механики XXI века. 2009. № 8. С. 164-167.
7. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С. Эффективность гибких нагревательных элементов для борьбы с адгезией грунтов к землеройным машинам // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 1. С. 134-137.
8. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С., Банщиков М.С. Исследование влияния теплового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механики XXI века. 2013. № 12. С. 228-232.
9. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Кутимский Г.М. Использование электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Механики XXI века. 2014. № 13. С. 156-160.

10. Зеньков С.А., Диппель Р.А., Булаев К.В., Батуро А.А. Планирование эксперимента по исследованию влияния параметров теплового воздействия на сопротивление сдвигу грунта // Механики XXI века. 2005. № 4. С. 52-56.
11. Зеньков С.А., Ереско С.П. Моделирование процесса копания грунта вибрирующим ковшовым рабочим органом при отрицательной температуре // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 12. С. 44-49.
12. Зеньков С.А. Методика расчета оборудования с акустическим воздействием для снижения адгезии грунтов к ковшам экскаваторов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2006. № 2-1 (26). С. 67-72.
13. Нагревательные кабели: виды и области применения [Электронный ресурс]: информация и обучающие материалы для начинающих электриков. Режим доступа: <http://elektrik.info/main/news/117-nagrevatelnye-kabeli-vidy-i-oblasti-primeneniya.html>.
14. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Мунц В.В. Стенд для исследования влияния комбинированного воздействия на адгезию грунтов к землеройным машинам // Механики XXI века. 2007. № 6. С. 15-18.
15. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Определение производительности экскаваторов при снижении адгезии грунтов // Вестник Иркутского регионального отделения Академии наук высшей школы РФ. 2010. № 2 (17). С. 191-195.
16. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С., Кожевников А.С. Влияние жидкостного промежуточного слоя на адгезию грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Механики XXI века. 2014. № 13. С. 152-156.
17. Зеньков С.А., Товмасын Э.С. Математическая модель для определения параметров оборудования высокочастотного действия при проектировании ковшей экскаваторов // Современные проблемы теории машин. 2014. № 2. С. 41-44.
18. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Определение параметров вибрационного оборудования к ковшам экскаваторов для снижения адгезии грунтов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2009. № 4-2(89). С. 90-94.
19. Зеньков С.А., Плеханов Г.Н., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С. Оборудование для определения влияния жидкостного промежуточного слоя на адгезию грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Вестник Таджикского технического университета. 2014. Т. 2. № 26. С. 28-32.
20. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А. Снижение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи высокочастотного воздействия // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2011. Т. 2. С. 88-92.
21. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С., Кожевников А.С. Анализ применения жидкостного промежуточного слоя для снижения адгезии грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 189-195.
22. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при термоакустическом воздействии для устранения адгезии грунта к ковшу // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2008. № 2. С. 137-140.
23. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С., Балахонов Н.А. Устранение налипания грунта на рабочие органы землеройных машин с использованием пьезокерамических излучателей // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 1. С. 64-72.
24. Зеньков С.А., Булаев К.В., Батуро А.А. Планирование эксперимента для определения влияния жидкостного слоя на сопротивление сдвигу грунта по металлической поверхности при отрицательной температуре // Механики XXI века. 2006. № 5. С. 84-87.
25. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Игнатьев К.А., Кожевников А.С. Неметаллические покрытия как профилактическое средство снижения адгезии на отвальных рабочих органах землеройных машин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 2. С. 30-35.

The use of heating elements to combat soil adhesion at low temperatures

Egorov V.A.^{1a}, Radynsky L.A., Vostokov N.V.

¹Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^a mf@brstu.ru,

Keywords: heating element, adhesion, cohesive soil, earth-moving machines, shear stress, single-factor equations, plate heating.

The main reason for the decrease in the productivity of excavating machines is the increase in adhesion and friction in the development of wet cohesive soils under conditions of negative temperatures. This problem exists both in Russia and abroad. In the development of frozen clay and wet soils in winter, loosened to pieces, filling the bucket and the speed of the excavator is much less than in summer conditions. Wet soil, in contact with the cooled walls of the bucket, quickly hears to them, reduces the useful volume of the bucket and makes it difficult to unload. An overview analysis of self-regulating heating elements has been carried out. Three heating elements TM-40, TM-60 and SRL 30-2 are considered as possible variants for application directly on the excavator bucket for weakening of adhesive bonds by heating the working surface of the machine. The results of experimental studies are presented, single-factor regression equations for the plate heating temperature for each of the heating elements are presented, the temperature-time characteristics of the three heating elements are constructed, and the three heating elements TM-40, TM-60 and SRL 30-2 are.

УДК 621.879.3

Применении профилактической жидкости для снижения адгезии грунта к машинам

Егоров В.А.^{1a}, Бондалет И.С., Иванов К.Э.

¹Братский Государственный Университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^a mf@brstu.ru

Ключевые слова: адгезия, жидкостный промежуточный слой, профилактическая жидкость, грунт, напряжение сдвига, эксперимент.

В статье рассмотрено влияния профилактической жидкости «Ниогрин» на смерзание грунта с металлической поверхностью машин. Установлены регрессионные уравнения напряжения сдвига грунта от различных факторов при воздействии ниогрина. Получено подтверждение о целесообразности применения данной жидкости для снижения адгезии грунта.

Проблема налипания грунта приводит к увеличению затрат на эксплуатацию землеройных машин [1-22].

Рассмотрим воздействие профилактической жидкости на прочность примерзания грунта к металлической поверхности скольжения при изменении факторов, влияющих на адгезию грунта с металлом [3,6,11,14,18].

В процессе проведения эксперимента параметры оборудования для создания промежуточного слоя (их рациональные значения) не изменялись. В качестве промежуточного слоя использовалась профилактическая жидкость “Ниогрин”.

В результате проведенных экспериментов при варьировании основных факторов, влияющих на адгезию грунтов к металлической поверхности рабочего органа при отрицательной температуре, с дальнейшей обработкой результатов программным комплексом была получена математическая модель:

- в кодированном виде:

$$Y_{проф} = 71,46 + 7,61X_1 + 7,29X_2 + 13,93X_3 + 19,71X_4 + 15,83X_5 - \\ - 8,71X_1^2 - 3,99X_2^2 - 2,86X_3^2 - 3,1X_4^2 - 3,23X_5^2 + 1,54X_1 \cdot X_2 + \\ + 4,21X_1 \cdot X_3 + 1,44X_1 \cdot X_4 + 0,74X_1 \cdot X_5 + 4,31X_2 \cdot X_3 + 0,98X_2 \cdot X_4 + \\ + 2,1X_2 \cdot X_5 + 2,71X_3 \cdot X_4 + 4,55X_3 \cdot X_5 + 3,4X_4 \cdot X_5; \quad (1)$$

- в натуральном виде:

$$\tau_{проф} = 6227,75D + 0,34p_{II} + 2,73W - 0,85T + 0,8t - 5,4 \cdot 10^5 D^2 - 9,97p_{II}^2 - \\ - 2,86 \cdot 10^{-2} W^2 - 7,77 \cdot 10^{-3} T^2 - 8,07 \cdot 10^{-3} t^2 - 19,25D \cdot p_{II} - 100,25D \cdot W + 18D \cdot T - \\ - 9,25D \cdot t + 2,15 \cdot 10^{-2} p_{II} \cdot W - 2,45 \cdot 10^{-3} p_{II} \cdot T + 5,27 \cdot 10^{-3} p_{II} \cdot t - 1,35 \cdot 10^{-2} W \cdot T + \\ + 7,7 \cdot 10^{-3} W \cdot t - 8,5 \cdot 10^{-3} T \cdot t - 17,7. \quad (2)$$

Проведенная проверка уравнения (1) на нахождение экстремума показала, что такая точка расположена в отрицательной области отклика. Все исследуемые факторы в рассмотренном диапазоне их изменения показывают, что значение прочности смерзания возрастает. В порядке усиления адгезии они составляют ряд: D, P, t, T, W.

Квазиоднофакторные зависимости напряжения сдвига при профилактическом воздействии от внешних факторах представлены на рис. 1,2.

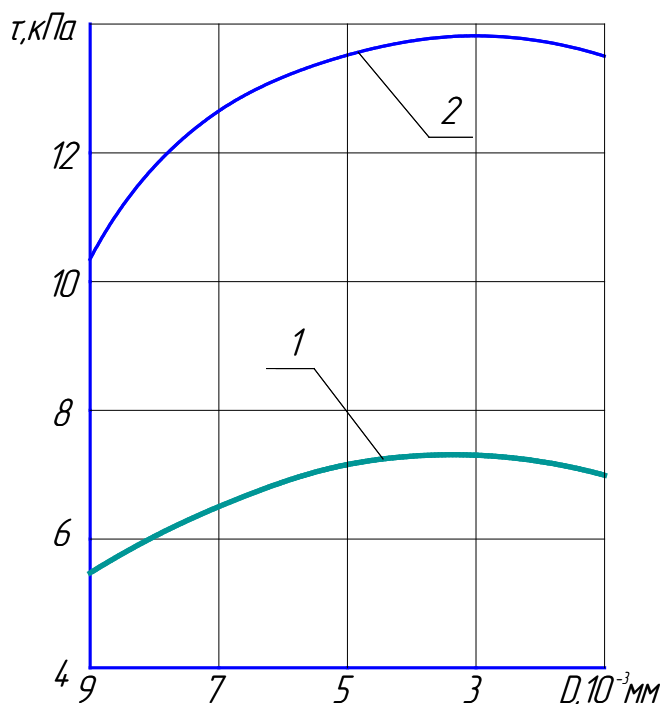


Рис.1. Зависимость напряжения сдвига грунта от его дисперсности при P=20 кПа, W=17%, T=-15°C, t=20,5 мин.

1 – при профилактическом воздействии; 2 – без воздействия.

Из рис.1. видно, что при эффективном диаметре частиц $D_э=3 \cdot 10^{-3}$ мм наблюдается максимум прочности смерзания.

Полученную зависимость влияния дисперсности грунта на прочность примерзания грунта к металлической поверхности при образовании промежуточного слоя можно описать эмпирической формулой:

$$\tau_{проф} = 67,41 + 3541,25D - 544375D^2 \quad (3)$$

где $\tau_{проф}$ – удельное сопротивление сдвигу при профилактическом воздействии, кПа; D – дисперсность грунта, мм.

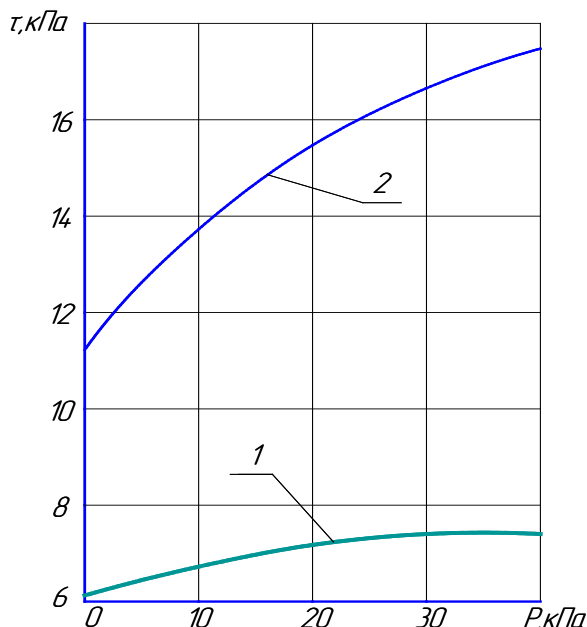


Рис. 2. Зависимость напряжения сдвига грунта от давления начального прижатия при $D=5 \cdot 10^{-3}$ мм, $W=20\%$, $T=-15^\circ\text{C}$, $t=20,5$ мин.

1 – при профилактическом воздействии; 2 – без воздействия.

С увеличением давления начального прижатия напряжение сдвига возрастает. Это объясняется увеличением истинной площади контакта грунта с поверхностью. Далее давление влияет на напряжении сдвига незначительно (рис.2). Увеличение влияния давления при профилактическом воздействии можно объяснить исчезновением под действием тепловой энергии цементационных связей льда (его таянием) и переходом связанной воды в рыхлосвязанную и свободную.

Полученную зависимость влияния давления начального прижатия на прочность примерзания грунта к металлической поверхности при образовании промежуточного слоя можно описать эмпирической формулой:

$$\tau_{проф} = 60,2 + 0,76P - 9,97 \cdot 10^{-3} P^2 \quad (4)$$

где $\tau_{проф}$ – удельное сопротивление сдвигу при профилактическом воздействии, кПа; P – давление начального прижатия, кПа.

Литература

1. Заднепровский Р.П. Теория трения скольжения. Волгоград: Офсет, 2005. 51с.
2. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties. // Journal of Terramechanics 1999, no. 36, pp. 39-49.
3. Противообледенительные жидкости. Режим доступа: <http://octafluid.com/products/pozh/>

4. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Кутимский Г.М. Использование электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Механики XXI века. 2014. № 13. С. 156-160.
5. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Определение производительности экскаваторов при снижении адгезии грунтов // Вестник Иркутского регионального отделения Академии наук высшей школы РФ. 2010. № 2 (17). С. 191-195.
6. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С., Кожевников А.С. Влияние жидкостного промежуточного слоя на адгезию грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Механики XXI века. 2014. № 13. С. 152-156.
7. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Мунц В.В. Стенд для исследования влияния комбинированного воздействия на адгезию грунтов к землеройным машинам // Механики XXI века. 2007. № 6. С. 15-18.
8. Зеньков С.А., Товмасян Э.С. Математическая модель для определения параметров оборудования высокочастотного действия при проектировании ковшей экскаваторов // Современные проблемы теории машин. 2014. № 2. С. 41-44.
9. Зеньков С.А., Батуро А.А., Булаев К.В., Диппель Р.А. Анализ структуры рабочего органа ковшового типа с устройством внешнего интенсифицирующего воздействия для снижения адгезии грунта // Механики XXI века. 2005. № 4. С. 49-52.
10. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Определение параметров вибрационного оборудования к ковшам экскаваторов для снижения адгезии грунтов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2009. № 4-2(89). С. 90-94.
11. Зеньков С.А., Плеханов Г.Н., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С. Оборудование для определения влияния жидкостного промежуточного слоя на адгезию грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Вестник Таджикского технического университета. 2014. Т. 2. № 26. С. 28-32.
12. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А. Снижение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи высокочастотного воздействия // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2011. Т. 2. С. 88-92.
13. Зеньков С.А., Жидовкин В.В., Нечаев А.Н. Снижение адгезии грунтов с помощью ремонтно-восстановительных составов // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2010. Т. 2. С. 127-131.
14. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Чубыкин А.С., Кожевников А.С. Анализ применения жидкостного промежуточного слоя для снижения адгезии грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 189-195.
15. Зеньков С.А., Курмашев Е.В. Анализ возможного повышения производительности экскаваторов при термоакустическом воздействии для устранения адгезии грунта к ковшу // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2008. № 2. С. 137-140.
16. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С., Балахонов Н.А. Устранение налипания грунта на рабочие органы землеройных машин с использованием пьезокерамических излучателей // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 1. С. 64-72.
17. Зеньков С.А., Диппель Р.А., Булаев К.В., Батуро А.А. Планирование эксперимента по исследованию влияния параметров теплового воздействия на сопротивление сдвигу грунта // Механики XXI века. 2005. № 4. С. 52-56.
18. Зеньков С.А., Булаев К.В., Батуро А.А. Планирование эксперимента для определения влияния жидкостного слоя на сопротивление сдвигу грунта по металлической поверхности при отрицательной температуре // Механики XXI века. 2006. № 5. С. 84-87.
19. Зеньков С.А., Балахонов Н.А., Игнатьев К.А., Кожевников А.С. Неметаллические покрытия как профилактическое средство снижения адгезии на отвальных рабочих органах землеройных машин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 2. С. 30-35.
20. Зеньков С.А. Методика расчета оборудования с акустическим воздействием для снижения адгезии грунтов к ковшам экскаваторов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2006. № 2-1 (26). С. 67-72.

21. Зеньков С.А., Козик А.С., Буйлов О.А., Зеньков А.С. Устранение адгезии грунтов к рабочим органам землеройных машин при помощи ультразвукового воздействия // Механики XXI века. 2011. № 10. С. 146-148.

22. Зеньков С.А., Булаев К.В., Батуро А.А., Диппель Р.А. Стенд для исследования влияния интенсифицирующего воздействия на прочность смерзания грунта с металлической поверхностью рабочего органа // Механики XXI века. 2005. № 4. С. 44-49.

The application of preventive liquid to reduce adhesion of soil to the machines

Egorov V.A.^{1a}, Bondalet I.S., Ivanov K.Ed.

¹Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^amf@brstu.ru

Keywords: adhesion, the liquid intermediate layer, anti-icing fluid, soil, shear stress, experiment.

The influence of the Niogrin prophylactic liquid on the freezing of soil with the metal surface of machines is considered. The regression equations of the dependence of the soil shear stress on various factors under the influence of this fluid are obtained. Conclusions are drawn on the advisability of using this fluid to reduce soil adhesion.

УДК 534 01

Планирование экспериментальных исследований для поиска оптимальных параметров рабочего органа.

Файзов А.Х.^{1a}, Мамаев Л. А.^{1c}, Герасимов С.Н.^{1b}, Федоров В.С.^{1d}, Фалунин В.Ф.

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^aazamat.fayzov@mail.ru, ^bsdm_gerasimov@rambler.ru, ^cpro_uch@brstu.ru, ^dfedorov.v.s@yandex.ru.

Ключевые слова: бетонный смесь, поверхностный слой, валковый рабочий орган, заглаживание, вибрация, напряжение, общее поиск качество, плотность.

Одним из основных требований, предъявляемых к железобетонным изделиям, помимо прочностных свойств, является повышение качества отделки их поверхностей. Особенно актуальны вопросы чистоты поверхности в промышленном, дорожном, аэродромном и жилищном строительстве. Возросшие требования к чистоте поверхности изделий крупнопанельного домостроения связаны с появлением на рынке широко спектра отделочных материалов нового поколения, которые представлены разнообразными шпаклевочными и финишными смесями, окрасочными, оклеивающими и гидроизолирующими материалами, которые по стоимости значительно дороже традиционных отделочных материалов, но позволяют производить отделочные работы с высоким качеством, в короткие сроки и с минимальными трудозатратами.

Нанесение таких материалов целесообразно при шероховатости отделяемой поверхности не более 0,6 мм, что соответствует заглаживанию до класса 4Ш. В противном случае, при более высоких значениях шероховатости, будет иметь место перерасход материала и, соответственно, увеличение себестоимости отделки 1 м²

поверхности. Современные гидроизолирующие красители также в большинстве случаев требуют отделки поверхности до класса 4Ш, так как пленка красителя имеет толщину не более 0,5 мм, что существенно снижает стоимость устройства гидроизоляции.

Другим важным обстоятельством является стремление заводов-изготовителей железобетона все более широко использовать для формования изделий жесткие бетонные смеси с целью экономии цемента и снижения стоимости изделий. Обработка незатвердевших поверхностей изделий, отформованных из жестких бетонных смесей, требует приложения к обрабатываемой среде значительных динамических нагрузок и далеко не всегда обеспечивает заданную чистоту поверхности при использовании существующего парка заглаживающих машин[1].

Введение. Объектом исследования, в данном случае, является процесс обработки незатвердевшей бетонной поверхности вибрационным валковым рабочим органом с поперечным вибрированием. Основным критерием, характеризующим качество обработки бетонной поверхности, является (ее шероховатость) - R_n , достигнутая в результате обработки.

Задачей оптимизации являлось максимальное достижение качества обрабатываемой поверхности при возможных комбинациях факторов, влияющих на процесс. К факторам, определяющим процесс относятся следующие:

Анализ экспериментальных исследований ранее проводившихся в данной области позволяет определить входные факторы, наиболее существенно влияющие на процесс обработки бетонной поверхности вибрационным валковым рабочим органом[2].

Однако если принять все данные факторы в качестве контролируемых, то получение исчерпывающей информации о свойствах функции отклика потребует постановки 4-и факторного эксперимента со значительным перебором входных состояний, что крайне затруднит статистическую обработку полученных результатов. С целью минимизации числа контролируемых факторов, проведем дополнительный анализ влияния каждого из них на качество обработки бетонной поверхности в отдельности.

- скорость заглаживания машины V_z (м/с);
- окружная скорость вала V_B (м/с);
- жесткость бетонной смеси J (сек);
- интенсивность колебаний вала $A \times \omega^2$ м/с².

В проведенных опытах изменялись четыре фактора. Валок устанавливался под углом к направлению движения, замешивалась бетонная смесь жесткостью J с, как наиболее используемая для формования элементов сборного железобетона на технологических линиях предприятий строительной индустрии (дорожные покрытия, панели наружных стен и т.д.); давление валкового рабочего органа на обрабатываемую поверхность $P = 1$ кПа.

Экспериментальная лабораторная установка валковой заглаживающей машины была создана с целью проверки выводов и заключений теоретических исследований, а также для проведения дополнительных исследований обработки незатвердевшей бетонной поверхности.

Общий вид станда с. вибрационным валковым рабочим органом заглаживающей машины представлен на рис.2.

Рабочий орган состоит из электропривода 1, редуктора 2, верхнего вала 3 с шнеком 6 и нижнего вала 4 с пружиной 5, крышки вала 7 и корпуса 8. Рабочий орган работает следующим образом: при включении электродвигателя 1, установки вращение передается на редуктор 2, а от редуктора 2 на нижний вал 4, с жестко закрепленной на нем пружиной 5 и верхний вал с закреплённым на нём шнеком 6, который вращаясь, сообщает волновые колебания на пружину, которая вращаясь, нижней частью своих витков перемешивает верхний слой бетонной смеси. При таком воздействии рабочего органа на обрабатываемую поверхность происходит передача энергии колебаний нижележащим слоям бетонной смеси,

при этом связи между частотами нарушаются, снижается сопротивление их сдвигу. Жесткая заглаживаемая поверхность приобретает подвижность, а зерна заполнителя и цемента получают возможность занять более устойчивое пространственное взаиморасположение, этим достигается плотная упаковка зерен заполнителя.

Преимуществом такой конструкции является высокое качество обработки жестких бетонных смесей, получение высокопрочного поверхностного слоя, наименьшая шероховатость, долговечность бетоноотделочной машины за счет снижения трения между ним и бетонной смесью, низкая энергоемкость.

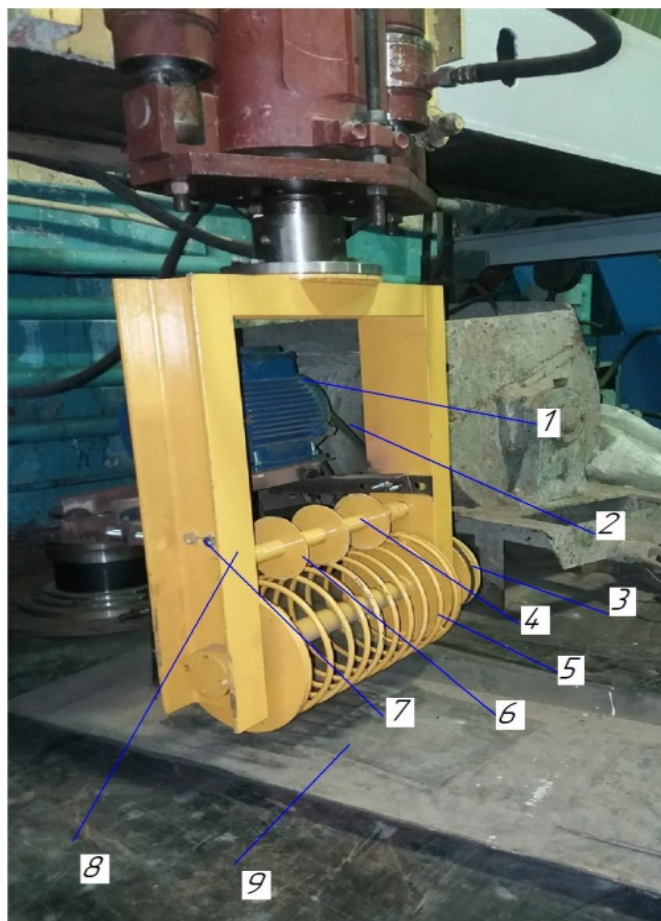


Рис.1. Вибрационный валковый рабочий орган заглаживающей машины

Пульт управления (рис.2) состоит из корпуса 1, кнопок управления 2, расположенных на его крышке, выключателя сети 3. В корпусе пульта управления установлены понижающий трансформатор и электромагнитные пускатели.



Рис.2 Пульт управления экспериментальным стендом

Таблица 1.

Уровни факторов и интервалы варьирования

Факторы	Уровни фактора			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
X_1 - скорость заглаживания машины v_3 , м/с;	0,01	0,04	0,07	0,03
X_2 - окружная скорость вала v_6 , м/с;	1,61	1,94	2,27	0,33
X_3 - жесткость бетонной смеси; Ж, сек (ω)	20	60	100	40
X_4 - интенсивность колебаний вала: $A \times \omega^2$ м/с ² ;	10000	25000	40000	15000

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта в матрице	$x_1 (v_3)$		$x_2 (v_6)$		$x_3 (ж)$		$x_4 (И)$		$R_{пл}$, мм (средний результат При4-х измерений)
	код	м/с	Код	м/с	Код	Ж (сек)	Код	Вт/м ²	
1	+1	0,07	+1	2,27	+1	100	+1	5	1,11
2	-1	0,01	+1	2,27	+1	100	+1	5	0,88
3	+1	0,07	-1	1,61	+1	100	+1	5	1,80
4	-1	0,01	-1	1,61	+1	100	+1	5	1,09
5	+1	0,07	+1	2,27	-1	20	+1	5	1,40
6	-1	0,01	+1	2,27	-1	20	+1	5	0,98
7	+1	0,07	-1	1,61	-1	20	+1	5	2,16
8	-1	0,01	-1	1,61	-1	20	+1	5	1,23
9	+1	0,07	+1	2,27	+1	100	-1	1	1,08
10	-1	0,01	+1	2,27	+1	100	-1	1	0,67
11	+1	0,07	-1	1,61	+1	100	-1	1	1,64
12	-1	0,01	-1	1,61	+1	100	-1	1	0,91
13	+1	0,07	+1	2,27	-1	20	-1	1	1,30
14	-1	0,01	+1	2,27	-1	20	-1	1	0,89
15	+1	0,07	-1	1,61	-1	20	-1	1	1,10
16	-1	0,01	-1	1,61	-1	20	-1	1	0,80
17	0	0,04	0	1,94	0	60	+1	5	0,81
18	0	0,04	0	1,94	0	60	-1	1	0,72
19	0	0,04	0	1,94	+1	100	0	3	0,60
20	0	0,04	0	1,94	-1	20	0	3	0,64
21	0	0,04	+	2,27	0	60	0	3	0,70
22	0	0,04	1	1,61	0	60	0	3	0,75
23	+1	0,07	0	1,94	0	60	0	5	0,82
24	-1	0,01	0	1,94	0	60	0	5	0,76
25	0	0,04	0	1,94	0	60	0	5	0,96

Далее была составлена матрица планирования 2^4 (табл.2) [1], согласно которой было проведено 25 опытов с четырьмя повторными измерениями шероховатости поверхности в каждом опыте. Количество повторных измерений в каждом опыте определялось по формуле при заданной предельной ошибке измерения 10%.

Для определения ошибки опыта было проведено 4 параллельных опыта в нулевой точке. Среднее арифметическое значение опыта определялось по

$$\bar{R}_{II} = \frac{\sum_{q=1}^n R_{IIq}}{n} \quad (1)$$

где n - число опытов; R_{IIq} - результат отдельного опыта.

Отклонение результата опыта от среднего арифметического можно представить как разность $R_{IIq} - \bar{R}_{II}$. Наличие отклонения свидетельствует об изменчивости значений повторных опытов.

Для измерения этой изменчивости использовалась дисперсия

$$S^2 = \frac{\sum_{q=1}^n (R_{IIq} - \bar{R}_{II})^2}{n-1} \quad (2)$$

где $(n-1)$ число степеней свободы, равное количеству опытов минус единица.

Квадратичная ошибка (стандарт) определялась как:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^n (R_{IIq} - \bar{R}_{II})^2}{n-1}} \quad (3)$$

Для отброса ошибочных опытов использовался критерий Стьюдента

$$\frac{R_{II} - \bar{R}_{II}}{S} \geq t \quad (4)$$

где t – значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы равным $(n-1) = 3$ и уровне значимости $\alpha=0,10$ [3, 4]. Опыт считался ошибочным, если значение критерия t было больше табличного значения.

Уровень значимости $\alpha=0,10$ был выбран на основе анализа экспериментальных исследований в области обработки незатвердевших бетонных смесей.

Ввиду сложности измерений, а также из-за ограничения исходных материалов для проведения эксперимента за дисперсию всего эксперимента была принята дисперсия опыта в нулевой точке.

$$S_{\{R_{II}\}}^2 = S^2 \quad (5)$$

Далее было составлено четырехфакторное уравнение регрессии (алгебраический полином 2-й степени), включающее линейные члены, члены взаимодействия факторов и квадратичные члены:

$$\begin{aligned} R_{II} = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_1^2 + b_6x_2^2 + \\ & + b_7x_3^2 + b_8x_4^2 + b_9x_1x_2 + b_{10}x_1x_3 + b_{11}x_1x_4 + \\ & + b_{12}x_2x_3 + b_{13}x_2x_4 + b_{14}x_3x_4. \end{aligned} \quad (6)$$

На основании данных, полученных экспериментальным путем, вычислялись коэффициенты регрессии b_i .

Для характеристики среднего разброса относительно линии регрессии вычислялась остаточная сумма квадратов. Затем определялась остаточная дисперсия (дисперсия адекватности):

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Delta R_{Pi}^2}{f} \quad (7)$$

где f – число степеней свободы,

$$f = N - k,$$

где N – число опытов ($N = 25$);

k – число коэффициентов в модели ($k = 14$).

Для проверки гипотезы об адекватности использовался критерий Фишера (F -критерий):

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{\{R_{II}\}}^2} \quad (8)$$

Удобство использования критерия Фишера состоит в том, что проверку гипотезы можно свести к сравнению с табличным значением [5,6].

Проверка значимости каждого коэффициента проводилась независимо. Сначала находилась дисперсия коэффициента регрессии:

$$S_{\{b_j\}}^2 = \frac{S_{\{R_{II}\}}^2}{N} \quad (9)$$

доверительный интервал

$$\Delta b_j = \pm t S_{\{b_j\}} \quad (10)$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы, с которыми определяется $S_{\{R_{II}\}}^2$, и выбранном уровне значимости $\alpha=0,10$; $S_{\{b_j\}}$ – квадратичная ошибка коэффициента регрессии

$$S_{\{b_j\}} = + \sqrt{S_{\{b_j\}}^2} \quad (11)$$

Формула для доверительного интервала выражается также в следующей эквивалентной форме:

$$\Delta b_j = \pm \frac{t S_{\{R_{II}\}}}{\sqrt{N}} \quad (12)$$

Коэффициент являлся значимым, если его абсолютная величина была больше доверительного интервала.

Заключение

Разработаны рекомендации по определению области варьирования основных параметров исследуемого рабочего органа (скорость заглаживания, окружная скорость валка, жесткость и интенсивность колебаний валка), при которых достигается обработка поверхности в пределах класса шероховатости 3Ш.

Литература:

- 1.Болотный А. В. Заглаживание бетонных поверхностей. -Л.: Стройиздат. Ленинград. отделение, 1979. - (Наука - строит. производству), 17с., ил. 6.
- 2.Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Наука, 1976. – 280 с.
- 3.Жафяров А.Ж., Жафяров Р.А. Математическая статистика. – Новосибирск: НГПУ, 2000. – 249 с.

5.Мамаев Л.А., Кашубов В.Б., Кононов А.А., Герасимов С.Н. Экспериментальные исследования в области обработки бетонных поверхностей. – Братск ГОУ ВПО «Братский государственный университет» 2006.-146с.: ил.

6.Мамаев Л.А.; Динамические процессы взаимодействия вибрационных заглаживающих машин с обрабатываемой средой.-Иркутск: Изд-во Иркутского государственного технического ун-та, 2006-114с.: ил. Изд-во Иркутского государственного технического ун-та, 2005-123с.: ил

7. Баженов Ю.М., Комар А.Г., Технология бетонных и железобетонных изделий-М.: Наука, 1984-349с.

8.Кашуба В. Б. Разработка методологических основ создания бетоноотделочных машин с дисковыми высокочастотными рабочими органами: дис. Кан. Тех. наук. 05.02.13./ Братск, 2008-205с.

9.Ситов И.С. Динамика взаимодействия бросового рабочего органа бетоноотделочной машины с обрабатываемой средой: Дис. кан. тех. наук: 05.02.13.- Братск, 2008.-197с.

10.А.Х.Файзов, Н.Н.Коголь, Л.А.Мамаев, С.Н. Герасимов// Методы и приборы для измерения шероховатости поверхности бетонных конструкций Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении: Материалы V Международной научно-практической конференции/Под ред. Ф.К.Абдразакова. – Саратов: 2017. – 223с.

11.А.Х.Файзов, Л.А.Мамаев, С.Н.Герасимов // Моделирование режимов заглаживания, обеспечивающих отсутствие микродефектов бетонной поверхности.- Системы методы технологии №4 (36),2017-87

Planning experimental studies to find the optimal parameters of the working body.

Fayzov A. H.^a, Mamaev L. A.^c, Gerasimov S. N.^b, Fedorov V.S.^d, Falunin V.F.

¹Bratsk State University, 40 Makarenko St., Bratsk, Russia

^aazamat.fayzov@mail.ru, ^cpro_uche@brts.ru, ^bsdm_gerasimov@rambler.ru, ^dfedorov.v.s@yandex.ru.

Keywords: concrete mixture, surface layer, roller working body, smoothing, vibration, stress, general search quality, density.

One of the main requirements for concrete products, in addition to strength properties, is to improve the quality of finishing their surfaces. Particularly relevant are the issues of surface cleanliness in industrial, road, airfield and housing construction. The increased requirements for cleanliness of the surface of large-panel housing construction products are associated with the appearance on the market of a wide range of finishing materials of the new generation, which are represented by a variety of putty and finishing mixtures, painting, glueing and waterproofing materials that are much more expensive than traditional finishing materials, but allow you to perform finishing works with high quality, in short terms and with the minimum labor costs.

The application of such materials is advisable when the roughness of the surface being trimmed is no more than 0.6 mm, which corresponds to smoothing down to class 4Sh. Otherwise, with higher values of roughness, there will be an overspending of the material and, accordingly, an increase in the cost of finishing 1 m² of surface. Modern waterproofing dyes also in most cases require surface finishing to class 4W, since the dye film has a thickness of no more than 0.5 mm, which significantly reduces the cost of waterproofing devices.

Another important circumstance is the desire of manufacturers of reinforced concrete to increasingly use rigid concrete mixtures for molding products in order to save cement and reduce the cost of products. Processing uncured surfaces of products molded from rigid concrete mixtures requires significant dynamic loads to be applied to the medium and does not always ensure the specified surface cleanliness when using the existing fleet of smoothing machines[1].

УДК 69.002.51

Особенности применения масляных центрифуг в гидроприводе СДМ

Плеханов Н.Г.^{1а}, Плеханов Г.Н.^{1а}

¹ Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

^а plekhanov512@yandex.ru

Ключевые слова: гидравлическое масло; гидропривод; активный привод; устройство для центрифугирования гидравлических масел; масляная центрифуга; гидросистема; загрязнённость рабочей жидкости; очистка рабочей жидкости; механические примеси.

Определяются основные причины загрязнения гидравлических масел СДМ, даётся количественная и качественная характеристика загрязняющих веществ. Рассматриваются отличительные особенности применения масляных центрифуг в гидроприводе. Формулируются основные критерии технического совершенства масляных центрифуг. Проанализированы сравнительные показатели эффективности различных типов роторов масляных центрифуг.

Одним из важных факторов, влияющих на надежность систем машин с гидравлическим приводом, является состояние рабочей жидкости. Основной причиной эксплуатационных отказов гидросистем является абразивное изнашивание вследствие недопустимого загрязнения гидравлических масел. С момента ввода системы в эксплуатацию степень ее загрязнения увеличивается вследствие износа, что провоцирует ещё большее изнашивание и лавинообразный рост числа отказов. Отказы, вызванные ускоренным износом пар трения, влекут экономические издержки на восстановление или замену отказавших узлов и агрегатов, кроме того, возникают длительные простои техники.

Основной целью работы является определение возможностей для конструктивного совершенствования существующих средств поддержания и восстановления чистоты гидравлических масел, работающих на принципе центрифугирования.

По данным справочной литературы допустимое содержание механических примесей в рабочих жидкостях не должно превышать 0,005% от общей массы, что соответствует 9 классу чистоты согласно ГОСТ 6370-83. Указанный ГОСТ регламентирует дисперсный состав загрязнений количеством твёрдых частиц шести размерных фракций в объёме $100 \pm 5 \text{ см}^3$ жидкости. Необходимо учитывать, что загрязнённость гидравлических масел возрастает при производстве на 2-4%, на этапах транспортировки на 14%, при хранении на нефтебазах на 21%. Частичное загрязнение масел возможно при выполнении заправочных операций [1]. Производители гидрооборудования дают собственные рекомендации по ограничению состава и размеров загрязняющих частиц в гидросистемах машин. В таблице 1 представлены значения тонкости фильтрации рабочих жидкостей для гидрооборудования, мкм. В таблице 2 приводятся данные загрязнённости гидравлических масел, полученные при эксплуатации гидросистем машин, а таблице 3 приводится состав загрязняющих веществ.

Таблица 1

Рекомендуемая номинальная толщина фильтрации рабочих жидкостей для гидрооборудования, мкм

Насосы и двигатели	
– шестерённые с автоматическим регулированием торцевых зазоров	25
– аксиально-поршневые и радиально-поршневые	10; 25
Гидроцилиндры	40; 63
Распределители	10; 25; 40; 63
Клапаны	
– обратные	25; 40; 63
– давления	10; 25; 40; 63
Реле давления	63

Таблица 2

Уровень загрязнённости рабочих жидкостей в гидросистемах машин

Модель машины	Гидросистема машины	Суммарная концентрация загрязнителя, %	Дисперсный состав загрязнителя, мкм, до		
			10	25	40
T-74, MT3-50	Раздельно-агрегатная навесная	0,015-0,08	72-80	15-20	3-5
T-150K	Рулевого управления	0,015-0,143	90	5	4
T-150	Трансмиссии	0,03-0,14	90	5	4
MT3-50	Раздельно-агрегатная навесная	0,2-0,18	70	25	3
MM3-555	Рулевого управления	0,02-0,2	75	23	2

Основными причинами загрязнения гидравлических масел СДМ являются:

- износ элементов гидрооборудования;
- нарушение периодичности замены гидравлических масел и фильтроэлементов;
- нарушение теплового режима эксплуатации гидрооборудования;
- возникновение неисправностей элементов гидросистемы;
- нарушение правил выполнения заправочных операций;
- нарушение чистоты гидросистемы при выполнении ремонтных работ;
- использование гидравлических масел, не соответствующих требованиям завода изготовителя;

Таблица 3

Массовая доля загрязнителей гидропривода и рабочих жидкостей (%) при размере частиц 10 – 200 мкм

Металл (сталь, латунь, бронза)	30,5 – 41
Песок	1 – 3,3
Краски, лаки	4 – 29
Резина	18 – 50,5
Прочие загрязнители	11,5 – 12,2

В значительной степени указанные причины загрязнённости масел можно устранить путем правильной организации работ при техническом обслуживании и ремонте гидропривода и использования современных очистительных устройств на этапах транспортировки, хранения и выполнения заправочных операций.

В технических средствах, обеспечивающих чистоту рабочих жидкостей гидросистем, используются три основных способа удаления механических примесей – фильтрация, центрифугирование и отстаивание. Каждый из этих способов отличается не только по степени очистки, но и по стоимости и времени процесса. Как правило, эти методы применяются совместно в определённой последовательности.

Фильтры – используются в составе гидросистем машин, на агрегатах технического обслуживания и дозаправки гидросистем (обеспечивают чистоту гидравлических масел по 9 классу, имеют относительно высокую стоимость по отношению к другим средствам).

Масляные центрифуги – используются на агрегатах технического обслуживания гидросистем машин (обеспечивают чистоту гидравлических масел по 12-14 классу, наиболее эффективно могут быть использованы для предварительной очистки масел).

Отстойники – наиболее дешёвые по относительной стоимости средства очистки масел (обеспечивают чистоту гидравлических масел по 9 классу, используются в условиях хранения масел).

Центробежной способ нашёл наибольшее применение для поддержания чистоты моторных масел в двигателях внутреннего сгорания, где он применяется совместно с фильтрацией. Масляные центрифуги, установленные перед фильтрами, используемые в данных условиях, позволяют очищать моторное масло от образующихся в нём при работе двигателя смолистых веществ, нагара и механических примесей (таблица 4) [2]. Указанные виды загрязнений образуют на внутренних стенках ротора плотный связанный слой, который не подвержен выносу (вымыванием) потоком масла.

Таблица 4

Предельный диаметр частиц, полностью осаждающихся в роторе центрифуги				
Предельный диаметр частиц, мкм,				
Данные	Алюминиевый порошок, $\Delta = 1,35\text{г} / \text{см}^3$	Кварцевая пыль, $\Delta = 1,7\text{г} / \text{см}^3$	Гидрат окиси железа, $\Delta = 2,8\text{г} / \text{см}^3$	Стерокрил, $\Delta = 0,35\text{г} / \text{см}^3$
Опытные	13,2	13,0	11,4	33,0
Расчетные	11,0	9,8	8,0	21,6
* Частицы естественных загрязняющих примесей имеют не сферическую форму, способствующую их уносу со стенок ротора, а произвольную – вплоть до пластинчатой.				
* Асфальто-смолистые частицы, имеющиеся в большом количестве в естественных загрязняющих примесях масла, прилипают к ложу ротора, а также одна к другой и создают в роторе вязкий и липкий осадок.				
Данные получены для масляной центрифуги двигателя внутреннего сгорания при частоте вращения 5000 об/мин (высота ротора 80 мм, внутренний радиус ротора 72,5 мм)				

В гидравлическом приводе в составе загрязнений смолистые вещества и лаки находятся в небольшом количестве, поэтому при осаждении на стенках ротора частиц механических примесей высока вероятность выноса осаждённых частиц, что является серьёзным препятствием для использования центробежных очистительных устройств. Образование лаков или смолистых веществ наиболее вероятно в случае ускорения окислительных процессов при нарушении теплового режима работы гидросистемы (см. рис. 1 и рис. 2) [3]. В этом случае, использование центрифуги в составе гидросистемы позволит уменьшить концентрацию подобных загрязнений в гидравлическом масле и обеспечить удержание дополнительного количества механических примесей на стенках ротора.



Рис. 1 – Лаковые отложения на золотнике – следствие низкой термической стабильности



Рис. 2 – Лаковые отложения внутри масляного бака

До настоящего времени созданием масляных центрифуг в основном занимались отдельные предприятия, не проявляющие интерес в дальнейшей их модернизации, руководствующиеся собственными техническими заданиями, производственными возможностями, имеющимися прототипами конструкций. Целенаправленное расширение области применения масляных центрифуг может быть достигнуто за счёт использования новых инженерных решений по повышению их эффективности.

При конструировании роторов масляных центрифуг и оценке их технического совершенства рекомендуется использовать основные критерии, рассмотрены работе [4]:

- уменьшение пути осаждения загрязняющих частиц;
- увеличение времени нахождения частиц в области эффективного действия центробежных сил;
- эффективное раскручивание потока;
- сохранение энергии вращательного движения ротора путем возврата кинетической энергии отводимого потока;
- предотвращение завихрения потока очищаемой жидкости;
- снижение вероятности выноса осажденных частиц загрязнений;
- сохранение или незначительное изменение эксплуатационных свойств центрифуги при накоплении загрязнений;

- снижение трудоемкости удаления загрязнений;
- снижение нагрузки на опорные подшипники;
- снижение потерь на трение в подшипниках и воздушного сопротивления ротора.

Одним из основных способов повышения эффективности центрифуг является уменьшение пути осаждения частицы в роторе [2]. Так, с уменьшением разницы $R_p - r_{p0}$ при одинаковом времени пребывания жидкости в центробежном поле увеличивается коэффициент отсева и уменьшается предельный диаметр частиц, полностью осаждающихся в роторе (рис. 3). На процесс осаждения частиц влияет и наличие турбулентности потока жидкости, вероятность которого возрастает при увеличении его скорости.

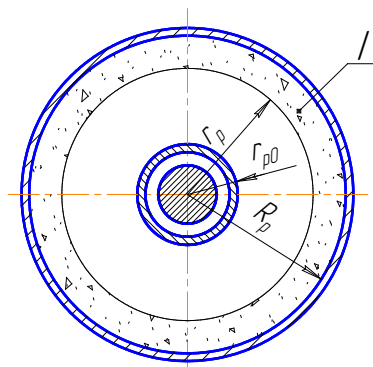


Рис. 3 – Зона осаждения частиц в роторе центрифуги: I – зона полного осаждения частиц

Для уменьшения пути осаждения частиц в роторе центрифуги целесообразно применение многокамерного ротора или ротора со спиральной камерой, а использование разгоняющих лопаток внутри ротора способствует снижению турбулентности потока (рис. 4, рис. 5).

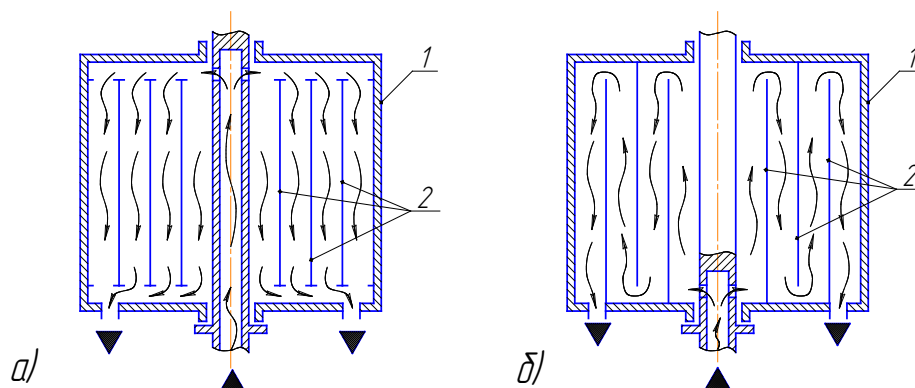


Рис. 4 – Многокамерные роторы: а – ротор с параллельными камерами; б – ротор с последовательными камерами

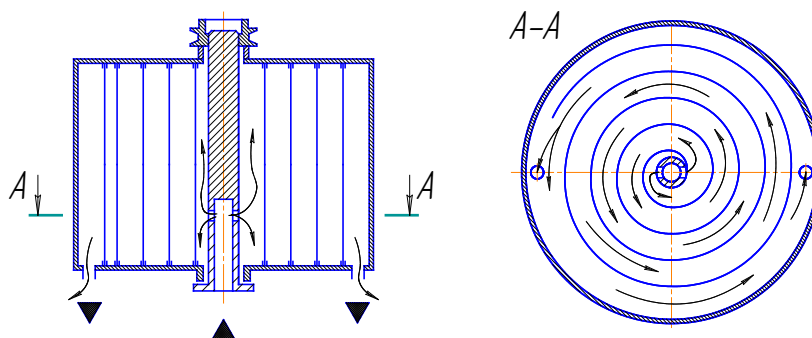
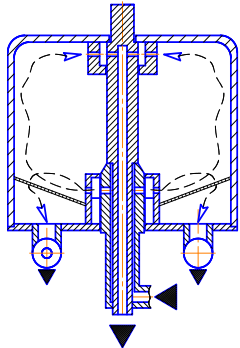
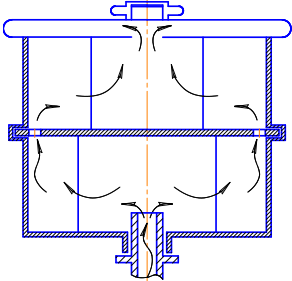
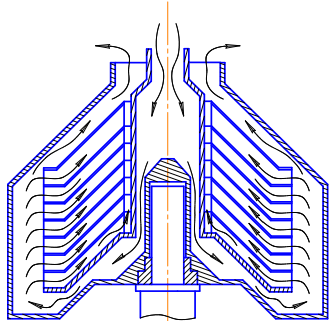
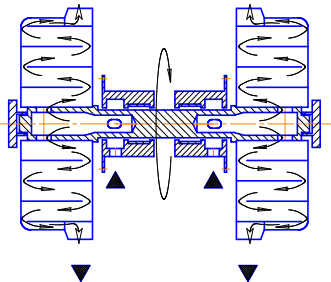
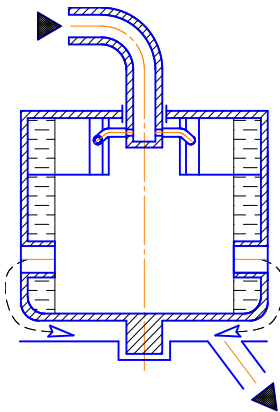
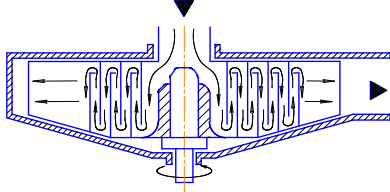


Рис. 5 – Ротор со спиральной камерой

В таблице 5 представлены наиболее распространённые и недавно запатентованные схемы роторов [4, 5, 6, 7, 8, 9].

Таблица 5

Схемы роторов масляных центрифуг		
Некоторые типы роторов масляных центрифуг		
Однокамерные	Двухкамерные	Многокамерные
		
Комбинированные	Роторы открытого типа	Роторы центрифуг с дополнительными функциями
		

Приведенные опытные, расчётные и справочные данные позволяют сделать вывод о том, что центрифуги для очистки гидравлических масел должны иметь большую эффективность по сравнению с существующими центрифугами для очистки моторных масел.

Повышение эффективности может быть достигнуто увеличением времени нахождения очищаемого масла в области действия центробежного поля (использованием многокамерных роторов со специальными вставками), использованием активного гидрореактивного привода для увеличения числа оборотов ротора, а также применением центробежных очистительных устройств с дополнительными функциями.

Литература:

1. Киселёв М.М. Топливо-смазочные материалы для строительных машин: Справочник. – М.: Стройиздат, 1988. – 271 с.: ил.
2. Григорьев М.А. Очистка топлива в автотракторных двигателях. М., «Машиностроение», 1970. 270 с.
3. Гидравлические жидкости. Принцип работы гидравлических систем. Сайт ТОСКО. <https://tosko.ru/about/poleznaya-informatsiya/gidravlicheskie-zhidkosti-printsip-raboty-gidravlicheskih-sistem.php>
4. Плеханов Н.Г., Батцэрэн Л., Плеханов Г.Н., Лханаг Д. Конструктивные особенности однокамерных и двухкамерных роторов масляных центрифуг. Механики XXI века. – 2016. – №15. – с. 418-421
5. Коновалов В.М., Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Очистка рабочих жидкостей в гидроприводах станков., М., «Машиностроение», 1976 г. 288 с.

6. Плеханов Г.Н., Герасимов С.Н., Кобзов Д.Ю. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. 2487276 Рос. Федерация. № 201210297/06; заявл. 16.03.2012; опубл. 10.07.2013.

7. Плеханов Г.Н., Калашников Л.А., Куделько С.Н., Сыздыков В.А., Протасов В.И. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. 2219388 Рос. Федерация. № 2002108222/06; заявл. 01.04.2002; опубл. 20.12.2003 Бюл. № 35 8 с.

8. Плеханов Г.Н., Коваленко А.В., Пицентий И.Н., Герасимов С.Н. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. 2285826 Рос. Федерация. № 2005103433/6; заявл. 10.02.2005; опубл. 20.10.2006 Бюл. № 29 7 с.

9. Плеханов Г.Н., Герасимов С.Н., Андриянов Д.В., Вайвада В.Ю. Устройство для очистки масла гидросистем: пат. 2435078 Рос. Федерация. № 2010104692; заявл. 10.02.2010; опубл. 27.11.2011, Бюл. №33. 6 с.

Peculiarities of oil centrifuges application in bdm hydraulic drive

Plekhanov N.G.^{1a}, Plekhanov G. N.^{1a}

¹Bratsk State University, Makarenko St. 40, Bratsk, Russia

^aplekhanov512@yandex.ru

Keywords: hydraulic oil; hydraulic actuator; active drive; the device for centrifugation of hydraulic oils; oil centrifuge; hydraulic system; impurity of working liquid; purification of working liquid; mechanical impurity.

The main causes of contamination of hydraulic oils of BRM are determined, quantitative and qualitative characteristics of pollutants are given. The distinctive features of application of oil centrifuges in hydraulic drive are considered. The main criteria of technical perfection of oil centrifuges are formulated. Comparative performance indicators of different types of oil centrifuge rotors were analyzed.

УДК 69.002.51.192:621.225.2

Совершенствование способа диагностирования гидроцилиндров воздухом

Кобзов Д.Ю.^{1,a}, Ереско С.П.^{2,b} Губанов В.Г.^{3,c}, Кобзова И.О.^{1,d}, Трофимов А.А.^{1,e}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

²Сибирский государственный университет науки и технологии им. М.Ф. Решетнёва, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31 Красноярск, Россия

³ООО НТЦ «Гидротранс», Мебельный проезд, 10а, Санкт-Петербург, Россия

^akobzov7159@mail.ru, ^beresko07@mail.ru, ^cinfo@hydrotrans.ru, ^dkobzovaio@mail.ru,

^ealex@trofimov-photo.com

Ключевые слова: воздух, диагностирование, газ, герметизирующая способность, гидроцилиндр.

Эффективность использования любой строительной машины определяется её надёжностью, наиболее важным показателем которой является отсутствие отказов. Техническое диагностирование, благодаря раннему их обнаружению, позволяет устанавливать состояние объекта в конкретный момент времени и прогнозировать, зная физическую сущность причин их возникновения, качественного изменения, количественного накопления и форм проявления, изменение его во времени с целью установления предполагаемого момента отказа и устранения причин возникновения его в процессе технического обслуживания. В настоящее время широкое распространение на дорожных и строительных машинах (ДСМ) получили гидроцилиндры двустороннего действия с односторонним штоком. Диагностирование гидроцилиндра по параметрам герметизирующей способности его уплотнительных узлов с использованием в качестве контролируемой среды обычного атмосферного воздуха имеет целый ряд преимуществ по сравнению с диагностированием с применением жидкости. Это, прежде всего: точность и достоверность диагноза вследствие более высокой проницаемости газа, нежели жидкости, низкая энергоёмкость, экономичность, экологичность и высокая культура производства работ по техническому обслуживанию и ремонту гидроцилиндров.

Введение. В настоящее время в качестве гидродвигателей возвратно-поступательного действия гидрофицированного рабочего оборудования дорожных и строительных машин (ДСМ) широко применяются гидроцилиндры двустороннего действия с односторонним штоком, содержат корпус с крышками, поршень, шток, направляющую втулку (буксу) и уплотняющие устройства герметизируемых сопряжений. Рост единичных мощностей машин подразумевает, применительно к гидроцилиндрам, повышение уровня давления рабочей жидкости, увеличение скорости перемещения штока, его хода, а также размеров гидроцилиндров и, зачастую, интенсивности использования их во времени. Негативным проявлением этого, является резкое увеличение эксплуатационных нагрузок, ухудшение условий и режима функционирования гидроцилиндров, а вслед за этим, неизбежное снижение их надёжности, важнейшим показателем которой является отсутствие отказов.

Отказ объекта возникает внезапно, но подготовка его в процессе эксплуатации происходит постепенно и носит кумулятивный характер. Техническое диагностирование, благодаря раннему их обнаружению, позволяет устанавливать состояние объекта в конкретный момент времени и прогнозировать, зная физическую сущность причин их возникновения, качественного изменения, количественного накопления и форм проявления, изменение его во времени с целью установления предполагаемого момента отказа и устранения причин возникновения его в процессе технического обслуживания. Таким образом, основной целью технического диагностирования, является поддержание эксплуатационной надёжности технического объекта для обеспечения максимальной эффективности его использования в процессе эксплуатации.

Работоспособность гидроцилиндра реализуется за счёт несущей способности его длинномерных элементов и герметизирующей его подвижных уплотнительных узлов. Понятно, что диагностирование гидроцилиндров должно проводиться не только по параметрам несущей способности, но и по параметрам герметизирующей способности сопряжений «шток – направляющая втулка» и «поршень - гильза».

Под герметизирующей способностью гидроцилиндра понимается способность его уплотнительных узлов удерживать рабочую жидкость, находящуюся под давлением в полостях гидроцилиндра, с минимальными перетечками из области высокого в область низкого давления. Согласно многочисленным исследованиям отечественных и зарубежных учёных с потерей этой способности гидроцилиндра связано около 70% всех его отказов. Информацию о герметизирующей способности принято получать путём контроля параметров негерметичности, то есть измерением наружных утечек и/или внутренних перетечек рабочей жидкости [1, 2]. При этом **актуальной остаётся задача** повышения

достоверности диагноза, которая решается, в частности, посредством замены при диагностировании рабочей жидкости на газ, на обычный атмосферный воздух с учётом большинства его характеристик.

Диагностирование с использованием в качестве контролируемой среды воздуха имеет целый ряд преимуществ по сравнению с диагностированием с применением жидкости, среди которых: точность и достоверность диагноза вследствие более высокой проницаемости газа, нежели жидкости, низкая энергоёмкость, экономичность, экологичность и высокая культура производства работ по техническому обслуживанию и ремонту гидроцилиндров [1].

Основные положения. Известная [3] запатентованная технология (Патент РФ №2139510), обеспечивающая диагностирование уплотнительных узлов гидроцилиндра в динамическом режиме, предпочтительнее метода [1] из-за целого ряда преимуществ и основана на применении переносного диагностического устройства (Рис. 1), состоящего из вентилях 1 ... 4, мановакуумметров 5, 6, газовых расходомеров 7, 8, соединительных магистралей 9, 10, выпускного 11 и впускного 12 патрубков.

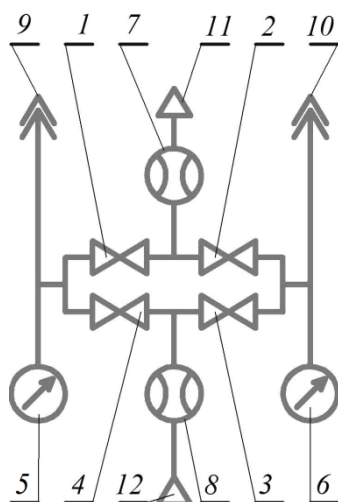


Рис. 1. Устройство для диагностирования гидроцилиндров с использованием обычного атмосферного воздуха.

Диагностирование с его использованием осуществляется в несколько этапов.

На первом этапе диагностическое устройство присоединяется к испытываемому цилиндру.

Второй этап: вентиль 2 открыт, вентили 1, 3, 4 закрыты, шток тяговым приспособлением выдвигается на длину z_i со скоростью dz_i/dt , по окончании движения измеряются: давление воздуха P_{5i} в поршневой полости (мановакуумметр 5) и объём воздуха V_{7i} , вытесненного из штоковой полости в атмосферу через патрубок 11 (расходомер 7).

Третий этап: вентиль 3 открыт, вентили 1, 2, 4, закрыты, шток неподвижен, измеряются: падение давления газа в поршневой полости за произвольное время t_i до значения давления P_{5j} (мановакуумметр 5) и объём воздуха V_{8i} , поступившего из атмосферы через патрубок 12 в штоковую полость за время t_i (расходомер 8).

Четвертый этап: вентили 2, 4 открыты, вентили 1, 3 закрыты, шток тяговым приспособлением вытягивается в крайнее положение.

Пятый этап: вентиль 1 открыт, вентили 2, 3, 4 закрыты, шток тяговым приспособлением вдвигается в корпус цилиндра на длину z_j со скоростью dz_j/dt , по окончании движения измеряются: давление воздуха P_{6i} в штоковой полости (мановакуумметр 6) и объём газа V_{7j} , вытесненного из поршневой полости в атмосферу через патрубок 11 (расходомер 7).

Шестой этап, вентиль 4 открыт, вентили 1, 2, 3 закрыты, шток неподвижен, измеряются: падение давления воздуха в штоковой полости за время t_i до значения давления

P_{6j} (мановакуумметр 6) и объём газа V_{8j} , поступившего из атмосферы через патрубок 12 в поршневую полость за время t_i (расходомер 8).

Седьмой этап: количественно оценивается объём газа, пропущенный поршневыми уплотнителями, расположенными:

- со стороны штоковой полости цилиндра:

$$V_{P1} = \frac{\pi}{4}(D_1^2 - D_2^2)z_i - \frac{\left[V_{O1} + \frac{\pi}{4}D_1^2 z_i\right]}{P_0} \times \times (P_{5j} - P_{5i}) + V_{8i} - V_{7i} \quad (1)$$

- со стороны поршневой полости цилиндра:

$$V_{P2} = \frac{\pi}{4}D_1^2 z_j - V_{7j}$$

- в динамическом режиме и статическом режиме теми же уплотнителями соответственно:

$$V'_{P1} = \frac{\left[V_{O1} + \frac{\pi}{4}D_1^2 z_i\right]}{P_0} (P_{5j} - P_{5i})$$

и

$$V'_{P2} = V_{8j}.$$

Восьмой этап: количественно оценивается объём газа, пропущенный штоковыми уплотнителями:

- в статическом режиме:

$$V'_{R2} = \frac{\left[V_{O2} + \frac{\pi}{4}(D_1^2 - D_2^2)z_j\right]}{P_0} (P_{6j} - P_{6i}) - V_{8j}.$$

- в динамическом режиме:

$$V_{R2} = V_{O2} \left\{ \frac{P_{6i} \left[V_{O2} + \frac{\pi}{4}(D_1^2 - D_2^2)z_j \right]}{P_0 V_{O2}} - 1 \right\} - \\ - V_{O1} \left\{ \frac{P_{6i} \left[V_{O1} + \frac{\pi}{4}D_1^2 z_j \right]}{P_0 V_{O1}} - \frac{P_{6i}}{P_{5i}} \right\} - \\ - \frac{\pi D_1^2}{4} z_j + V_{7j} + V_{P1} \frac{P_{6i}}{P_{5i}}$$

Здесь: P_0 - атмосферное давление; V_{O1} - не вытесняемый объём поршневой полости, m^3 ; V_{O2} - не вытесняемый объём штоковой полости; P_{5i} , P_{5j} , P_{6i} , P_{6j} , V_{7i} , V_{7j} , V_{8i} , V_{8j} - параметры, измеряемые на 1 ... 6 этапах диагностирования.

Девятый этап: количественно оцениваются удельные объёмные и массовые утечки

воздуха через диагностируемые уплотнители.

Удельная объёмная утечка газа в динамическом режиме составляет:

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны штоковой полости цилиндра

$$\Delta \bar{V}_{P1Q} = \frac{V_{P1}}{\pi D_1 z_i} \dot{z}_i ;$$

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны поршневой полости цилиндра

$$\Delta \bar{V}_{P2Q} = \frac{V_{P2}}{\pi D_1 z_j} \dot{z}_j ;$$

- для штоковых уплотнителей

$$\Delta \bar{V}_{R2Q} = \frac{V_{R2}}{\pi D_2 z_j} \dot{z}_i .$$

Удельная объёмная утечка газа в статическом режиме составляет:

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны штоковой полости

$$\Delta \bar{V}'_{P1Q} = \frac{V'_{P1}}{\pi D_1 t_i} ;$$

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны поршневой полости

$$\Delta \bar{V}'_{P2Q} = \frac{V'_{P2}}{\pi D_1 t_i} ;$$

- для штоковых уплотнителей

$$\Delta \bar{V}'_{R2Q} = \frac{V'_{R2}}{\pi D_2 t_i} .$$

Однако установление эквивалента сравнения удельных объёмных утечек газа и жидкости через одинаковые микрозазоры при диагностировании гидроцилиндров всегда вызывают затруднения [1]. Массовые удельные утечки различаются значительно меньше.

Отсюда, удельная массовая утечка газа в динамическом режиме составляет:

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны штоковой полости

$$\Delta \bar{V}_{P1M} = \Delta \bar{V}_{P1Q} \times \rho ;$$

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны поршневой полости

$$\Delta \bar{V}_{P2M} = \Delta \bar{V}_{P2Q} \times \rho ;$$

- для штоковых уплотнителей

$$\Delta \bar{V}_{R2M} = \Delta \bar{V}_{R2Q} \times \rho .$$

Удельная массовая утечка газа в статическом режиме составляет:

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны штоковой полости

$$\Delta \bar{V}'_{P1M} = \Delta \bar{V}'_{P1Q} \times \rho ;$$

- для поршневых уплотнителей, расположенных со стороны поршневой полости

$$\Delta \bar{V}'_{P2M} = \Delta \bar{V}'_{P2Q} \times \rho ;$$

- для штоковых уплотнителей

$$\Delta \bar{V}'_{R2M} = \Delta \bar{V}'_{R2Q} \times \rho ,$$

здесь: ρ - плотность воздуха.

Десятый этап: удельные утечки воздуха сопоставляются с экспериментально полученной зависимостью утечек воздуха и конкретной рабочей жидкости, на основании чего ставится диагноз о состоянии уплотнителей гидроцилиндра.

Следует отметить, что возможные резкие колебания показаний мановакуумметров 7, 8 при движении штока указывают на наличие таких повреждений уплотняемых поверхностей штока и корпуса гидроцилиндра, как царапины, вмятины и задиры. Соотнесение показателей мановакуумметров 7, 8 с расположением штока позволяет локализовать эти повреждения без разборки гидроцилиндра и своевременно отправить его в ремонт, сократив, тем самым, время на дефектовку.

К основным преимуществам данного способа можно отнести:

- достоверность диагноза в силу возможность обследования в динамическом и статическом режиме;
- возможность локализации повреждений уплотняемых поверхностей;
- простота конструкции и управления.

Кроме того, так как для большинства гидравлических жидкостей $\rho_F = 0,7 \dots 1,2 \text{ г/см}^3$, удельные массовые утечки жидкости примерно равны их удельным объёмным утечкам. Это позволяет применять единую шкалу для удельных объёмных утечек жидкости $[\text{мм}^3/(\text{м} \times \text{с})]$ и удельных массовых утечек газа $[\text{мг}/(\text{м} \times \text{с})]$.

Теоретические предпосылки метода заключаются в следующем.

При отсутствии газовыделения и натекания воздуха в поршневую полость цилиндра при выдвижении его штока (Рис. 2) изменение величины давления в поршневой полости происходит по линии 1 до значения, согласно закону Бойля - Мариотта

$$P_1 = \frac{V_{01}P_0}{\left[V_{01} + \frac{\pi}{4} D_1^2 z_i \right]}.$$

В результате газовыделения и натекания воздуха через поршневые уплотнители изменение величины давления происходит по линии 2 (Рис. 2) до значения P_{5i} . При этом в обоих случаях для точки z_i и времени замера $t_j \rightarrow 0$ справедливы равенства в соответствии с законом Менделеева - Клайперона

$$\begin{aligned} P_1 \left[V_{01} + \frac{\pi}{4} D_1^2 z_i \right] &= \frac{V_{01}P}{\mu} RT; \\ P_{5i} \left[V_{01} + \frac{\pi}{4} D_1^2 z_i \right] &= \frac{(V_{01} + V_{g1} + V_{P1})P}{\mu} RT, \end{aligned} \quad (2)$$

где: μ - масса одного моля газа; R - постоянная Ридберга; T - температура.

Отсюда, при прочих равных условиях имеем соотношение

$$\frac{P_{5i}}{P_1} = \frac{V_{01}(V_{g1} + V_{P1})}{V_{01}} = k. \quad (3)$$

Преобразовав выражение (1) получим:

$$V_{g1} + V_{P1} = V_{01}(k - 1), \quad (4)$$

здесь: V_{g1} - объём газообразования в поршневой полости.

При выдвижении штока из штоковой полости цилиндра вытесняется объём воздуха

$$V_{7i} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) z_i - V_{P1} - V_{R1}, \quad (5)$$

где: V_{R1} - объём газа, который покидает штоковую полость через штоковые уплотнители.

После окончания движения штока в точке z_i в результате натекания воздуха в поршневую полость через уплотнители в объёме

$$V'_{P1} = V_{g1} + V_{R1} \quad (6)$$

давление в ней изменяется до значения P_{5j} (Рис. 2), вследствие чего также справедливы равенства:

$$P_{5i} \left[V_{01} + \frac{\pi}{4} D_1^2 z_i \right] = \frac{(V_{01} + V_{g1} + V_{P1}) p}{\mu} RT ; \quad (7)$$

$$P_{5j} \left[V_{01} + \frac{\pi}{4} D_1^2 z_j \right] = \frac{(V_{01} + V_{g1} + V_{P1} + V'_{P1}) p}{\mu} RT .$$

По аналогии с (3) можно записать соотношение

$$\frac{P_{5j}}{P_{5i}} = \frac{V_{01} + (V_{g1} + V_{P1}) + V'_{P1}}{V_{01} + (V_{g1} + V_{P1})} = l \quad (8)$$

и после преобразования с учётом (7) и (8) имеем

$$V_{R1} = V_{01} k (l - 1) - V_{8i} , \quad (9)$$

что совместно с (5) даёт искомую величину объёма газа, поступившего в поршневую полость через поршневые уплотнители в динамическом режиме

$$V_{P1} = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) z_i - V_{01} k (l - 1) + V_{8i} - V_{7i} .$$

Выражение (6) совместно с (9) даёт искомую величину объёма воздуха, поступившего в поршневую полость цилиндра через поршневые уплотнители в статическом режиме

$$V'_{P1} = V_{01} k (l - 1) ,$$

При отсутствии газовыделения и натекания воздуха в штоковую полость цилиндра при движении его штока изменение величины давления происходит по линии 1 (Рис. 2) до значения, согласно закону Бойля - Мариотта,

$$P_2 = \frac{V_{02} P_0}{\left[V_{02} + \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) z_j \right]} .$$

В результате газовыделения и натекания воздуха через поршневые и штоковые уплотнители, изменение величины давления происходит по линии 2 (Рис. 2) до значения P_{6i} .

При этом, в обоих случаях, для точки z_j и времени замера $t_j \rightarrow 0$ справедливы равенства в соответствии с законом Менделеева - Клайперона:

$$P_2 \left[V_{02} + \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) z_j \right] = \frac{V_{02} p}{\mu} RT ;$$

$$P_{6i} \left[V_{02} + \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) z_j \right] = \frac{(V_{02} + V_{g2} + V_{P2} + V_{R2}) p}{\mu} RT . \quad (10)$$

Отсюда, при прочих равных условиях имеем соотношение

$$\frac{P_{6i}}{P_2} = \frac{V_{02} + (V_{g2} + V_{P2} + V_{R2})}{V_{02}} = m , \quad (11)$$

и, преобразовав последнее, получили

$$V_{g2} + V_{P2} + V_{R2} = V_{02} (m - 1) . \quad (12)$$

Здесь V_{g2} - объём газовыделения в штоковой полости; V_{P2} - объём воздуха, натекающего в штоковую полость через поршневые уплотнители.

При движении штока, из поршневой полости вытесняется объём воздуха

$$V_{7j} = \frac{\pi}{4} D_1^2 z_j - V_{P2} . \quad (13)$$

После окончания движения штока в точке z_j в результате натекания воздуха в штоковую полость через поршневые уплотнители в объёме

$$V'_{P2} = V_{8j} , \quad (14)$$

а, также поступления воздуха в объёме V'_{R2} через штоковые уплотнители, давление в ней изменяется до величины P_{6j} (Рис. 2). В данном случае справедливы равенства:

$$P_{6i} \left[V_{02} + \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) z_j \right] = \frac{(V_{02} + V_{P2} + V_{g2} + V_{R2}) \rho}{\mu} RT ; \quad (15)$$

$$P_{6j} \left[V_{02} + \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) z_j \right] = \frac{\left(V_{02} + V_{P2} + V_{g2} + V_{R2} + V'_{P2} + V'_{R2} \right) \rho}{\mu} RT .$$

По аналогии с (11) получим

$$\frac{P_{6j}}{P_{6i}} = \frac{V_{02} + V_{g2} + V_{P2} + V_{R2} + V'_{P2} + V'_{R2}}{V_{02} + V_{g2} + V_{P2} + V_{R2}} = n .$$

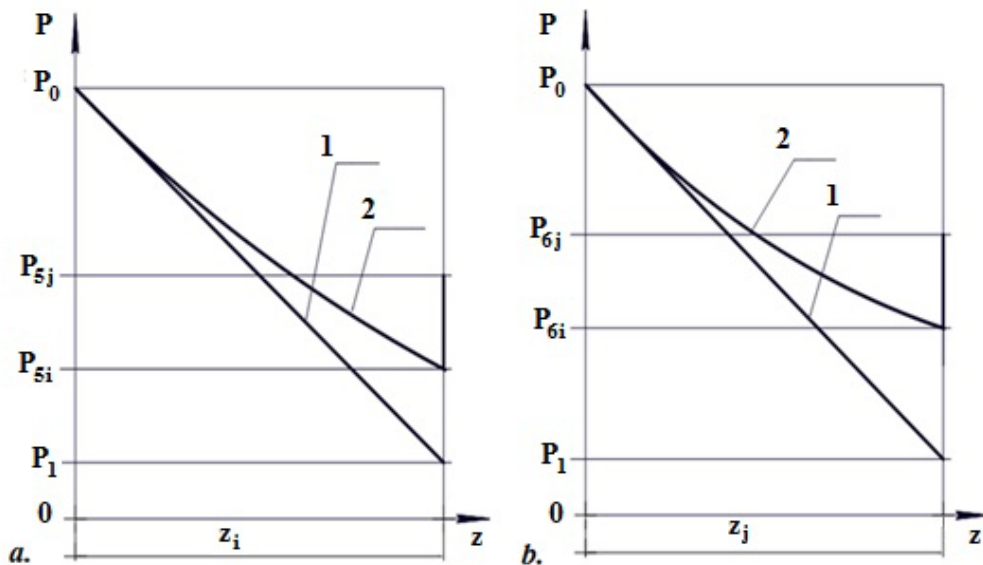


Рис. 2. Изменение давления в поршневой (а) и штоковой (b) полостях гидроцилиндра: 1 - при отсутствии газовыделения и натекания воздуха; 2 - при наличии газовыделения и натекания воздуха.

Отсюда, после преобразования, с учётом (12) и (14), получаем искомую величину объёма воздуха, поступившего в штоковую полость через штоковые уплотнители в статическом режиме

$$V'_{R2} = V_{02} m(n-1) - V_{8j} .$$

Принимая во внимание, что газовыделение в обоих случаях пропорционально давлению воздуха в полостях гидроцилиндра, при прочих равных условиях, можно применить соотношение

$$\frac{V_{g1}}{V_{g2}} \approx \frac{P_{5i}}{P_{6i}} = q .$$

Тогда, с учётом выражений (4) и (13) получаем исходную величину объёма воздуха, поступившего в штоковую полость через штоковые уплотнители в динамическом режиме

$$V_{R2} = V_{02}(m-1) - \frac{\pi}{4} D_1^2 z_j - \frac{1}{q} V_{01}(k-1) + \frac{1}{q} V_{P1} + V_{7j}.$$

Применительно к вышесказанному, следует учесть то, что параметры V_{P1} и V'_{P1} характеризуют состояние поршневых уплотнителей со стороны штоковой полости, в которой давление на 2-3 этапа диагностирования выше, чем в поршневой полости. Для оценки технического состояния поршневых уплотнителей, расположенных со стороны поршневой полости, необходимо использовать величины V_{P2} , V'_{P2} и выражения (13) и (14).

К рекомендациям по использованию данного метода можно отнести следующее: реальные газы с хорошим приближением подчиняются объединённому закону газового состояния Менделеева - Клайперона при значениях давления и температуры вблизи 100 кПа и 273° К.

Кроме того, в реальных условиях, при диагностировании гидроцилиндров с применением данного способа, необходимо учесть ряд факторов, оказывающих влияние на точность оценки утечки воздуха.

К ним можно отнести газопроницаемость элементов гидроцилиндров, газоотделение их поверхности, газовыделение остаточной гидравлической жидкости. Проявление двух первых возможно только при довольно высоких температурах, последний эффект, так называемое «холодное кипение», появляется при давлениях воздуха ниже атмосферного.

Удаление остаточной гидравлической жидкости, в том числе остаточной пленки с рабочих поверхностей и полостей гидроцилиндра, в условиях ремонта гидроцилиндров вызывает определённые трудности.

Влияние остаточной рабочей жидкости в гидроцилиндре при диагностировании воздухом проявляется в следующем:

- при давлении воздуха в полости гидроцилиндра 0,015 МПа и ниже утечка воздуха через уплотнитель прекращается, поскольку остаточная пленка рабочей жидкости не выдавливается из микроканалов и герметизирует их;
- при испытательных давлениях ниже атмосферного, выделившийся из остаточной пленки воздух может влиять на качество оценки герметичности уплотнительных узлов гидроцилиндра, снижая достоверность диагноза

Вследствие того, что величина микронеровностей поверхности внутренних полостей гидроцилиндра и рабочей поверхности его штока, как самых больших по площади элементов, довольно низка (шероховатость данных поверхностей лежит в пределах 0,160 ... 0,320 мкм), то объём жидкости в пленке, удержанной этими поверхностями, будет незначителен. В данном случае необходимо учитывать объём воздуха, находящийся в не удаленном объёме рабочей жидкости при демонтаже и подготовке гидроцилиндра к диагностированию.

В объёме остаточной жидкости воздух содержится в растворенном виде. В соответствии с законом Генри величина объёма растворенного в жидкости воздуха при атмосферном давлении определяется из соотношения

$$V_{Pg} = k_P v,$$

где: V_{Pg} - объём воздуха, находящийся в масле в виде дисперсии при атмосферном давлении, отнесенный к нормальным условиям; v - объём масла, содержащего воздух; k_P - коэффициент растворимости, зависящий от свойств масла и температуры и характеризующийся эмпирическим выражением

$$k_P = 0,451 - \gamma \frac{0,416 \times 10^{-4}}{1 + \beta(T - T_0)}.$$

где: γ - плотность рабочей жидкости при исходной температуре; β - коэффициент объёмного

расширения масла; T - температура внутренней поверхности корпуса гидроцилиндра; $T_0 = 273^\circ K$.

При падении давления от атмосферного (P_a) до вакуумметрического (P_B) из жидкости выделится часть растворенного воздуха объёмом V_p :

$$V'_{pg} = k_P v - k_P v \frac{P_B}{P_a}.$$

или, с учётом выражений (2-4), (6), (10-12) и (13):

$$V_{g1} = k_P V_{m1} - k_P V_{m1} \frac{P_{5i}}{P_0};$$

$$V_{g2} = k_P V_{m2} - k_P V_{m1} \frac{P_{6i}}{P_0}.$$

где: V_{m1} - объём не удаленной жидкости из поршневой полости; V_{m2} - объём не удаленной жидкости из штоковой полости.

В зависимости от конструктивных параметров гидроцилиндра перед проведением диагностирования задаются начальные условия:

- соотношение ходов поршня для гидроцилиндра с односторонним штоком при его выдвижении z_i и при его вдвигении z_j равно:

$$z_i = z_j \varphi^{-1};$$

- соотношение скоростей движения штока в том и другом случаях равно:

$$\dot{z}_i = \dot{z}_j \varphi^{-1},$$

где: φ - параметр гидроцилиндра.

При этом скорость dz/dt_j выбирается из условия, что давление в полостях цилиндра не должно превышать 0,09 ... 0,1 МПа, при котором возможно «захлопывание» уплотнителя. Перемещение z_j выбирается произвольно в зависимости от интересующего участка уплотняемой поверхности.

Однако у описанной технологии есть существенный недостаток, а именно, недостаточная точность определения утечек воздуха, в частности, его удельных массовых утечек в статическом и динамическом режимах при колебаниях его плотности из-за изменения влажности, температуры и высоты расположения испытываемого гидроцилиндра от уровня мирового океана, что снижает достоверность результатов испытания.

Для его исключения предлагается устройство, представленное на рисунке 1 дополнительно снабдить барометром 13, влагомером (психрометром) 14 и термометрами 15, 16 для контроля соответственно: давления, влажности и температуры воздуха в месте проведения диагностирования гидроцилиндра (Рис. 3).

Переменная плотность воздуха ρ с учётом его влажности и температуры, а также с учётом высоты расположения испытываемого гидроцилиндра от уровня мирового океана рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{B}{R_B T} - 0,0013 \psi \frac{P_n}{T}.$$

В ней: B – барометрическое давление, определяется по показаниям барометра в кПа; P_n – давление насыщенного пара в кПа; T – абсолютная температура определяется по показаниям термометра в $^\circ K$; R_B – универсальная газовая постоянная, равная 8,314 Дж/К·моль; ψ – относительная влажность по данным психрометра.

Следует отметить, что возможные резкие колебания показаний мановакуумметров 7, 8 при движении штока указывают на наличие таких повреждений уплотняемых поверхностей штока и корпуса гидроцилиндра, как царапины, вмятины и задиры. Соотнесение показателей

мановакуумметров 7, 8 с расположением штока позволяет локализовать эти повреждения без разборки гидроцилиндра и своевременно отправить его в ремонт, сократив, тем самым, время на дефектовку.

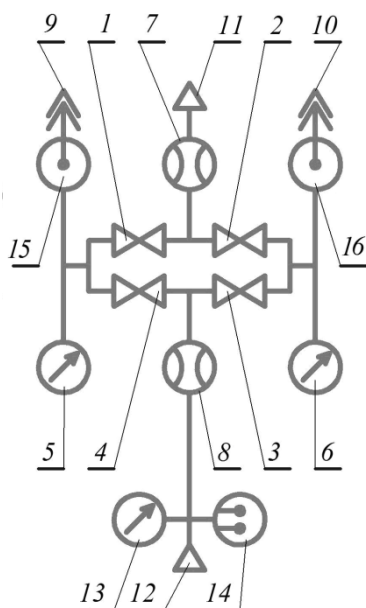


Рис. 3. Принципиальная схема усовершенствованного устройства для диагностирования гидроцилиндров обычным атмосферным воздухом.

Кроме того, так как для большинства гидравлических жидкостей $\rho_F = 0,7 \dots 1,2 \text{ г/см}^3$, удельные массовые утечки жидкости примерно равны их удельным объёмным утечкам. Это позволяет применять единую шкалу для удельных объёмных утечек жидкости $[\text{мм}^3/(\text{м} \times \text{с})]$ и удельных массовых утечек газа $[\text{мг}/(\text{м} \times \text{с})]$.

К рекомендациям по использованию данного метода можно отнести следующее: реальные газы с хорошим приближением подчиняются объединённому закону газового состояния Менделеева - Клайперона при значениях давления и температуры вблизи 100 кПа и 273° K.

Кроме того, в реальных условиях, при диагностировании гидроцилиндров с применением данного способа, необходимо учесть ряд факторов, оказывающих влияние на точность оценки утечки воздуха.

К ним можно отнести газопроницаемость элементов гидроцилиндров, газоотделение их поверхности, газовыделение остаточной гидравлической жидкости. Проявление двух первых возможно только при довольно высоких температурах, последний эффект, так называемое «холодное кипение», появляется при давлениях воздуха ниже атмосферного. Удаление остаточной гидравлической жидкости, в том числе остаточной плёнки с рабочих поверхностей и полостей гидроцилиндра, в условиях ремонта гидроцилиндров вызывает определённые трудности.

Влияние остаточной рабочей жидкости в гидроцилиндре при диагностировании воздухом проявляется в следующем:

- при давлении воздуха в полости гидроцилиндра 0,015 МПа и ниже утечка воздуха через уплотнитель прекращается, поскольку остаточная плёнка рабочей жидкости не выдавливается из микроканалов и герметизирует их;
- при испытательных давлениях ниже атмосферного, выделившийся из остаточной плёнки воздух может влиять на качество оценки герметичности уплотнительных узлов гидроцилиндра, снижая достоверность диагноза.

Вследствие того, что величина микронеровностей поверхности внутренних полостей гидроцилиндра и рабочей поверхности его штока, как самых больших по площади элементов, довольно низка (шероховатость данных поверхностей лежит в пределах 0,160 ...

0,320 мкм), то объём жидкости в плёнке, удержанной этими поверхностями, будет незначителен. В данном случае необходимо учитывать объём воздуха, находящийся в не удаленном объёме рабочей жидкости при демонтаже и подготовке гидроцилиндра к диагностированию.

Заключение. Метод диагностирования гидроцилиндра по параметрам герметичности его уплотнительных узлов с использованием воздуха обеспечивает: высокую точность диагностирования из-за незначительной зависимости вязкости воздуха от температуры и его высокой проницаемости; достоверность диагноза в динамическом режиме для цилиндров, работающих циклически, и в статическом режиме для цилиндров поддержки, возможность локализации повреждений уплотняемых поверхностей; низкую потребляемую мощность, так как перепад давлений создаётся движением штока и перекрытием полости; безопасность (пожаробезопасность); простоту конструкции и управления диагностическим средством; исключение потерь рабочей жидкости; экологичность и экономичность процесса диагностирования.

Однако, диагностирование гидроцилиндров по параметрам герметизирующей и несущей [3, 4] способности в комплексе позволяет распознать и описать его техническое состояние в текущий момент времени по всему спектру накопленных повреждений.

Литература:

1. Ереско С.П. Исследование влияния нагрузочного режима одноковшовых экскаваторов на надёжность гидроцилиндров рабочего оборудования и их уплотнительных устройств: Дисс. ... к.т.н./ЛИСИ, Л., 1981.-260 с.
2. Sullivan J.A. Troubleshooting hydraulic system. – Machine Design, 1981, May, p. 81-83.
3. Кобзов Д.Ю., Ереско С.П., Трофимов А.А., Кулаков А.Ю., Жмуров В.В. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Часть 5. Техническое диагностирование. / Братск. гос. ун-т. – Братск, 2011. – 119 с., ил., библи. 130 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ РАН 21.07.2011, №360-B2011.
4. Кобзов Д.Ю., Лапшин В.Л., Тарасов В.А., Жмуров В.В. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Часть 3. Несущая способность. / Братск 2010.-88 с. ил.: Библиогр.-93 назв.-Рус.-Деп. в ВИНТИ 27.01.2011, №27-B2011.

Improving the diagnostic method hydraulic cylinders by air

Kobzov D.Yu.^{1,a}, Eresko S.P.^{2,b}, Gubanov V.G.^{3,c}, Kobzova I.O.^{1,d}, Trofimov A.A.^{1,e}

¹ Bratsk state university, 40 Makarenko st, Bratsk, Russia

² Siberian state university of science and technology named M. F. Reshetnev, 31 «Krasnoyarsk worker» ave, Krasnoyarsk, Russia

³ STC «Hydrotrans», 10a Mebelnyi proezd, Saint-Petersburg, Russia

^a kobzov7159@mail.ru, ^b eresko07@mail.ru, ^c info@hydrotrans.ru, ^d kobzovaio@mail.ru,

^e alex@trofimov-photo.com

Keywords: air, diagnostics, gas, sealing capacity, hydraulic cylinder.

The efficiency of using any construction machine is determined by its reliability, the most important indicator of which is the absence of failures. Technical diagnostics, thanks to their early detection, allows you to establish the state of the object at a specific time and predict, knowing the physical nature of the causes of their occurrence, qualitative changes, quantitative accumulation and forms of manifestation, its change in time in order to establish the expected moment of failure

and eliminate the causes of its occurrence during maintenance. Currently, two-way hydraulic cylinders with a one-way rod are widely used on road and building construction vehicles (RBCM). Diagnostics of a hydraulic cylinder based on the parameters of the sealing capacity of its sealing units using ordinary atmospheric air as a controlled medium has a number of advantages compared to diagnostics using a liquid. These are, first of all: accuracy and reliability of the diagnosis due to the higher permeability of gas than liquid, low energy consumption, efficiency, environmental friendliness and high culture of work on maintenance and repair of hydraulic cylinders.

УДК 666.97.033

Преимущества автоматизации технологического процесса формирования поверхностей строительных изделий высокого качества

Мамаев Л.А.^a, Герасимов С.Н.^b, Федоров В.С.^c, Герасимов С.В.^d,
Портнягина А.В.^e

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

pro_uch@brstu.ru^a, sdm_gerasimov@rambler.ru^b, fedorov_v_s@yandex.ru^c, portnyagina_1408@mail.ru^e

Ключевые слова: автоматизация и механизация процессов, железобетонные изделия, управление процессами.

В статье раскрыты преимущества применения автоматизации технологического процесса формирования поверхностей строительных изделий высокого качества. Накопленный опыт работы передовых предприятий стройиндустрии и многочисленные разработки проектно-конструкторских и научно-исследовательских организаций являются основой для перехода к полной автоматизации производства сборных железобетонных конструкций нового поколения, к созданию заводов-автоматов, выполняющих весь цикл изготовления (от приема сырья до отправки продукции потребителю). Техническое перевооружение обеспечивает значительное улучшение деятельности заводов сборного железобетона, но не создает условий для непосредственного перерастания. Автоматизация технологического процесса производства железобетона требует использование автоматизированных средств для контроля качественных характеристик железобетонных изделий, информация от которых может использоваться в целях оптимального управления производством. В целях обеспечения развития производства железобетонных изделий и конструкций путем усовершенствования существующих и изыскания новых, улучшенных способов производства сборных железобетонных изделий, необходимо применение роботизации, компьютеризации и электроники.

Широкое применение в строительстве получили сборные железобетонные изделия и конструкции, изготовленные на заводах и доставляемые на объекты строительства в готовом виде.

Прогресс производства сборного железобетона до сих пор проходил в основном в направлении частичной механизации и автоматизации отдельных строительных процессов, экономии цемента путем введения разных добавок, совершенствования дозирования и приготовления бетонных смесей, энергосбережения за счет улучшения тепловых агрегатов и режимов тепловлажностной обработки [1].

Эффективность управления производством в современных условиях в значительной мере определяется наличием методов и технических средств управления качеством продукции на всех стадиях технологического процесса. Задачи управления качеством продукции, оптимизации технологических процессов решаются на базе комплексной автоматизации производства, широкого внедрения систем и средств автоматизации. Одним из основных условий успешного решения задач автоматизации производства является обеспечение систем автоматического управления технологическими средствами оперативного автоматического контроля параметров-характеристик автоматизированных технологических процессов, таких как физических, химических и других величин, информация о которых необходима для обеспечения оптимального управления тем или иным процессом. Степень обеспеченности технологического процесса такими средствами наряду с уровнем механизации автоматизированного производства (процесса, передела) и достигаемые технико-экономические эффекты являются определяющими, а зачастую, и лимитирующими при оценке возможности и целесообразности организации автоматизированного управления, создания конкретных систем автоматизации в производстве сборного железобетона.

Автоматизация технологического процесса производства железобетона требует использования автоматизированных средств для контроля основных возмущающих воздействий и качественных характеристик железобетонных изделий, информация от которых может использоваться в целях оптимального управления производством [2].

Железобетонные изделия проходят процесс формования. Процесс формования-важнейший технологический передел, определяющий производительность всех линий. Задача контроля качества формования на базе формовочных машин- обеспечение требуемой плотности и качества отформованных изделий (плит перекрытий, дорожных плит, стеновых панелей и др.).

Операции, связанные с формованием железобетонных изделий, являются наиболее сложными, трудоемкими и вследствие наличия значительных вибраций- наиболее вредными для здоровья операторов и рабочих. Поэтому повышение производительности данного технологического передела является важнейшей задачей совершенствования технологического процесса в целом.

Полная автоматизация данного технологического передела базируется на обеспеченности его контрольно-измерительной аппаратурой, позволяющей определить комплекс технологических параметров процесса формования, таких, как качество зачистки и смазки форм, точность сборки форм, равномерность распределения бетонной смеси по форме, степень уплотнения бетонной смеси, качество затирки наружной поверхности и т. п.

Процесс тепловлажностной обработки обеспечивает ускоренное твердение отформованных бетонных изделий в специальных теплоагрегатах [3]. Основная цель автоматического контроля и управления этим процессом заключается в соблюдении заданных режимов твердения бетона при минимальном расходе энергоресурсов.

Эффективность автоматизации тепловой обработки во многом определяется выбором регулируемого параметра, характеризующего ход процесса ускоренного твердения бетона.

Большинство существующих систем автоматического контроля и управления процессами тепловой обработки железобетонных изделий предназначено для регулирования процесса твердения (а также его контроля) по температуре теплоносителя (в объеме тепловой установки - камера-автоклав) или конденсата, отводящегося из отсеков термоформ, кассет или других установок, где прогрев бетона осуществляется без непосредственного контакта теплоносителя с бетоном [4].

Для контроля температуры при тепловлажностной обработке железобетонных изделий применяются в основном стандартные преобразователи и вторичные приборы, начиная от простейших промышленных стеклянных термометров до автоматических многоточечных мостов и потенциометров.

В качестве вторичных приборов в комплекте с термопреобразователями сопротивления могут применяться, кроме электронных мостов, логометры различных типов, в основном используемые для дистанционного контроля.

Практически автоматизация процесса тепловлажностной обработки изделий для установок периодического действия сводится к автоматическому программному регулированию температуры той или иной среды.

Для этого внедряют системы автоматизации тепловой обработки, использующие электронно-вычислительную технику, в том числе микро - и мини - ЭВМ, микропроцессорные контроллеры и т. П [5].

Дальнейшее совершенствование систем автоматического контроля и управления тепловой обработкой железобетонных изделий должно осуществляться в направлении оптимизации режимов на основе применения систем и средств электронно-вычислительной техники и аппаратуры физического, в первую очередь неразрушающего контроля в рамках общецеховых и общезаводских систем АСУ ТП и АСУП.

Совершенствование действующего производства сборного железобетона с целью повышения уровня механизации и автоматизации отдельных технологических процессов, устранение отдельных «узких мест» нужно проводить одновременно с созданием принципиально нового высокоавтоматизированного производства [6].

В целях обеспечения развития производства железобетонных изделий и конструкций путем усовершенствования существующих и изыскания новых, улучшенных способов производства сборных железобетонных изделий, необходимо применение роботизации, компьютеризации и электроники.

Основная цель автоматизации производственных процессов - это обеспечение экономии сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, сокращение ручных операций, улучшение условий труда, повышение производительности при управлении агрегатами, процессами и производством в целом, то есть повышение технико-экономических показателей технологического передела предприятий промышленности строительных материалов, изделий и конструкций.

Литература

1. Бушуев С.Д, Михайлов В.С. Автоматика и автоматизация производственных процессов // Учебник для вузов. Москва: высш. шк., 1990 - 256 с.: ил.
2. Гордон А.Э, Никулин Л.И, Тихонов А. Ф. Автоматизация контроля качества изделий из бетона и железобетона. - Москва: Стройиздат. 1991 - 300 с: ил.
3. Ковальчук Д.В. Разработка топологического метода моделирования и оптимизации параметров виброзаглаживающих систем : диссертация кандидата технических наук : 05.13.01.- Братск, 2001.- 128 с.: ил.
4. Кононов А.А. Определение рациональных параметров и режимов работы вибрационного валкового рабочего органа для обработки бетонных поверхностей: диссертация кандидата технических наук : 05.05.04. - Братск, 2001. - 195 с. : ил.
5. Кашуба В.Б. Разработка методологических основ создания бетоноотделочных машин с дисковыми высокочастотными рабочими органами : диссертация кандидата технических наук : 05.02.13 / Кашуба Владимир Богданович;.- Братск, 2008.- 205 с. : ил.
6. Ситов И.С. Динамика взаимодействия брусового рабочего органа бетоноотделочной машины с обрабатываемой средой : диссертация кандидата технических наук : 05.02.13 / Ситов Илья Сергеевич; - Братск, 2008. - 197 с. : ил.

Advantages of the automation of the technological process of forming surfaces of high-quality building products

Mamaev L.A., Gerasimov S.N., Fedorov V.S., Gerasimov S.V., Portnyagina A.V.

Bratsk State University, Makarenko 40 st., Bratsk, 665709, Russian Federation

pro_uche@brstu.ru, sdm_gerasimov@rambler.ru, fedorov.vs@yandex.ru, portnyagina_1408@mail.ru.

Keywords: automation and mechanization of processes, reinforced concrete products, process control.

The article reveals the advantages of using automation of the technological process of forming surfaces of high-quality building products. The accumulated experience of leading construction industry enterprises and the numerous developments of design and scientific research organizations are the basis for the transition to the full automation of the production of prefabricated reinforced concrete structures of the new generation, to the creation of automatic plants that perform the entire manufacturing cycle (from raw materials reception to shipping products to the consumer) . Technical re-equipment provides a significant improvement in the activities of precast factories, but does not create conditions for direct overgrowth. Automation of the reinforced concrete manufacturing process requires the use of automated tools to control the quality characteristics of reinforced concrete products, information from which can be used for optimal production management. In order to ensure the development of the production of reinforced concrete products and structures by improving existing and finding new, improved methods for the production of precast concrete products, it is necessary to use robotics, computerization and electronics.

УДК 69.002.51.192:621.225.2

Разгрузка гидроцилиндра от эксцентрично приложенного продольного сжимающего усилия

Кобзов Д.Ю.^{1,a}, Губанов В.Г.^{2,b}, Жмуров В.В.^{1,c}, Кобзова И.О.^{1,d}

¹ Братский государственный университет, ул. Макренко 40, Братск, Россия

² ООО НТЦ «Гидротранс», Мебельный проезд, 10а, Санкт-Петербург, Россия

^a kobzov7159@mail.ru, ^b info@hydrotrans.ru, ^c vladimir_zhmyrov@mail.ru, ^d kobzovaio@mail.ru

Ключевые слова: гидроцилиндр, нагрузка, напряжения, проушина, эксцентриситет.

В настоящее время широкое распространение на дорожных и строительных машинах (ДСМ) получили гидроцилиндры двустороннего действия с односторонним штоком. Тенденция к росту единичных мощностей машин, применительно к гидроцилиндрам привода их рабочего оборудования, неразрывно связана с увеличением диаметральных размеров, повышением уровня давления рабочей жидкости гидросистем, увеличением скорости перемещения штока и его хода, а, следовательно, линейных размеров

гидроцилиндров, а также ростом интенсивности использования их во времени. Негативным проявлением этого является ухудшение условий и режима функционирования, а также резкое увеличение эксплуатационных нагрузок, в том числе, изгибающего момента от эксцентрично приложенного в опорах гидроцилиндра продольного сжимающего усилия. Всё перечисленное в комплексе неизбежно ведёт к снижению их надёжности.

Введение. Многозвенное рабочее оборудование современных гидрофицированных дорожных и строительных машин (ДСМ) приводится в движение гидроцилиндрами двустороннего действия с односторонним штоком, функционирование которых сопровождается их сложным плоскопараллельным перемещением в пространстве.

В процессе работы до приложения продольного сжимающего усилия от действия толкающего усилия на рабочем оборудовании ДСМ гидроцилиндр имеет прогиб, определяемый как сумма прогиба в результате несоосности его основных элементов (штока и гильзы), обусловленного наличием зазоров в его сопряжениях «поршень – гильза» и «шток – направляющая втулка», прогиба в результате наличия возможного начального (технологического) искривления его элементов (штока и корпуса), регламентируемого технологическим допуском на прямолинейность изготовления длинномерных деталей, а также прогиба от действия поперечных сил – весов этих элементов. После приложения продольного сжимающего усилия, то есть при подаче под давлением жидкости в поршневую полость гидроцилиндра, полная его деформация в вертикальной продольной плоскости увеличивается.

Эта деформация, будучи плечом приложения к гидроцилиндру продольного сжимающего усилия, приводит к возрастанию изгибающего момента, вызывающего критические напряжения и деформации у штока гидроцилиндра, что впоследствии к потере гидроцилиндром работоспособности.

По мере изнашивания трущихся элементов гидроцилиндра, приводящего опять-таки к увеличению его деформации и действующих нагрузок, условия функционирования гидроцилиндра ухудшаются с большей интенсивностью, следствием чего является снижение его надёжности и ресурса работоспособности, как по герметизирующей, так и по несущей способностям.

Несущая способность, описываемая напряженно-деформированным состоянием продольно-поперечно нагруженного гидроцилиндра, аналитически выражается двумя уравнениями [1]:

$$\sigma_i(x) = \frac{P}{F(x)} + \frac{M_Q(x)}{W(x)} + \frac{M_R(x)}{W(x)} + \frac{P_S \cdot e(x)}{W(x)} + \frac{P_S \cdot y_T(x)}{W(x)}; \quad (1)$$

$$y_T(x) = y_\alpha(x) + y_\beta(x) + y_\gamma(x) + y_\delta(x) + y_\varepsilon(x) + y_R(x) + y_Q(x) + y_P(x). \quad (2)$$

В уравнении (1) первое слагаемое даёт величину нормального напряжения от действия продольного сжимающего нагрузки P_S , второе – величину наибольших напряжений сжатия, вызванные действием поперечной нагрузки $M_Q(x)$ от веса гидроцилиндра, третье слагаемое – величину напряжений сжатия вследствие силового поворота элементов в опорах гидроцилиндра, четвертое и пятое – то же, вызванные дополнительным изгибом гидроцилиндра от действия продольного сжимающего усилия P_S при наличии e него полного прогиба $y_T(x)$ и эксцентриситета $e(x)$ его приложения в опорах гидроцилиндра [2-4].

В уравнении (2): $y_\alpha(x)$ – прогиб гидроцилиндра вследствие наличия зазоров в уплотняемых сопряжениях; $y_\beta(x)$ – то же в результате возможного начального искривления его длинномерных элементов; $y_\gamma(x)$ – то же вследствие эксплуатационного искривления его

штока; $y_\delta(x)$ – то же в результате радиальной деформации под давлением его корпуса; $y_\varepsilon(x)$ – то же из-за упругой деформации элементов направляющих «поршень – гильза» «шток – втулка» гидроцилиндра; $y_Q(x)$ – то же вследствие его поперечного нагружения, от действия веса гидроцилиндра; $y_R(x)$ – то же в результате наличия силового поворота в его опорных элементах; $y_P(x)$ – то же вследствие его продольного нагружения [1].

По некоторым данным [4] доля слагаемого $\frac{P_S \cdot e(x)}{W(x)}$ записи (1) в величине напряжений $\sigma_i(x)$ достигает 45% в зависимости от типоразмера гидроцилиндра. Отсюда следует, что разработка научно обоснованных рекомендаций по снижению эксцентриситета приложения в опорах гидроцилиндра продольного сжимающего усилия P_S представляется **актуальной задачей**, целью которой в итоге является его разгрузка.

Конструктивно снижение эксцентриситета в опорах гидроцилиндра в зависимости от его назначения, вида нагрузок, режима работы ДСМ может быть достигнуто следующими методами [4]: смещением оси проушины на величину эксцентриситета (А.с. СССР №1465640), заменой проушины на цапфу (А.с. СССР №1807255) либо изменением собственно конструкции привода (Патенты РФ №2059766, №2208095 и №2440465). Для реализации конкретного из перечисленных методов необходимо достоверное описание и исследование эксцентриситета приложения в опорах гидроцилиндра продольного сжимающего усилия.

Основные положения. Как следует из работы [4] значительная роль в возникновении и последующем эксплуатационном приращении деформации $u_T(x)$ и напряжений $\sigma_i(x)$ в гидроцилиндре принадлежит эксцентрично приложенному в опорах А и В продольному сжимающему усилию P_S (Рис. 1). Отсюда, установление величины полного эксцентриситета $e_{A,B}$ позволяет количественно более полно охарактеризовать действующие нагрузки и начальное напряжённо-деформированное состояние гидроцилиндра и его несущих элементов.

Статический эксцентриситет e_{A,B_S} , возникающий в момент, когда гидроцилиндр только начинает развивать толкающее усилие P_S без относительного поворота опорных элементов 1 и 2 (Рис. 2), может быть получен из формулы

$$\begin{aligned} e_{A,B_S} &= D_0(\sin\kappa)/2 = D_0\sin(\mu + \xi)/2 = \\ &= D_0\sin[\arctg k_f + \arctg(R_{A,B_S}/P_S)]/2. \end{aligned} \quad (3)$$

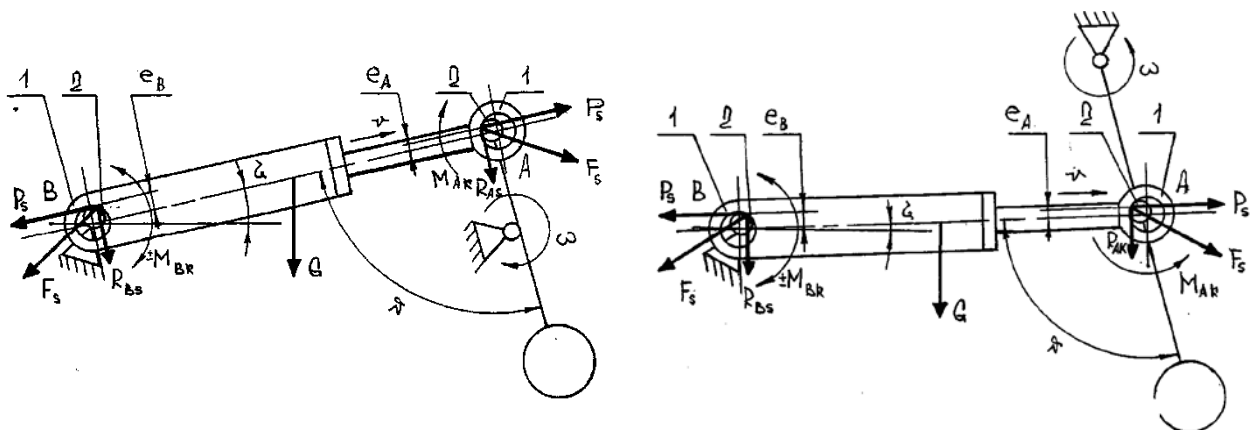


Рис. 1 – Расчётная схема гидрофицированного привода рукояти одноковшового экскаватора: с обратной лопатой (слева) и прямой лопатой (справа).

При выводе этой зависимости полагалось, что проушина 1 гидроцилиндра в момент начала выдвижения штока надвигается на ещё неподвижную ось 2 звена гидрофицированного привода рабочего оборудования, переноса в результате скольжения изначальное место взаимоконтакта из точки O_3 в O_4 . Последняя точка характеризуется совмещением результирующей F_S , равной

$$F_S = \sqrt{R_{A,Bs}^2 + P_s^2}, \quad (4)$$

с границей конуса трения с углом при вершине $\mu = \arctg k_f$ для коэффициента трения k_f , когда движущая гидроцилиндр по опоре 2 тангенциальная составляющая F^T уравнивается силой сопротивления F_T , после чего начинается силовое перемещение рабочего органа.

В том случае, когда ось 2 с центром O_2 , имеющая возможность поворота относительно проушины 1, вращается со скоростью ω_2 против часовой стрелки (Рис. 3), например, в случае привода рукояти одноковшового экскаватора прямая лопата (Рис. 1), происходит её перекачивание по внутренней поверхности проушины 1 из точки O_4 – места их прежнего контакта – со скоростью ω_1 относительно центра O_1 до точки O_5 . В ней тангенциальная составляющая F^T уравнивается силой F_T сопротивления движению, появляющейся в результате сцепления опорных элементов 1 и 2 при повороте

$$F^T = F_T = F^N k_r = F^N \operatorname{tg} \nu, \quad (5)$$

где: k_r – коэффициент сцепления опорных элементов; F^N – нормальная составляющая результирующей силы F_S .

Здесь равенство либо превышение величиной изменения угла ϑ поворота звена рабочего органа относительно оси гидроцилиндра значения углового перемещения $(\iota - \kappa)$ места контакта элементов 1 и 2 опор из точки O_4 в точку O_5 сопровождается нарушением условия сцепления этих элементов, в результате чего последний начинает проскальзывать по опорной поверхности первого.

После подстановки в выражение (3) граничного условия $(\iota - \kappa)$ отсутствия проскальзывания, можно окончательно представить (Рис. 3) максимальный эксцентриситет e_{A,B_k} для этого случая зависимостью

$$\begin{aligned} e_{A,B_k} &= D_0 (\sin \iota) / 2 = D_0 [\sin(\nu + \xi)] / 2 = \\ &= D_0 \{ \sin [\arctg k_r + \arctg (R_{A,Bs} / P_s)] \} / 2. \end{aligned} \quad (5)$$

В том случае, когда изменение угла ϑ меньше углового пути $(\iota - \kappa)$ точка O_6 взаимоконтакта элементов 1 и 2 будет находиться между начальной точкой O_4 и предельной O_5 . Здесь максимальный эксцентриситет $e_{A,B}$ принимает конкретное промежуточное значение (Рис. 2, 3)

$$\begin{aligned} e_{A,B} &= D_0 [\sin(\kappa + \vartheta)] / 2 = D_0 [\sin(\mu + \xi + \vartheta)] / 2 = \\ &= D_0 \{ \sin [\arctg k_r + \arctg (R_{A,Bs} / P_s) + \vartheta] \} / 2. \end{aligned} \quad (6)$$

Естественно, это рассуждение корректно только при равенстве диаметров опорных элементов гидроцилиндра и ведомого им звена, что практически имеет место в силу малости зазоров в опорных, как правило, сферических подшипниках.

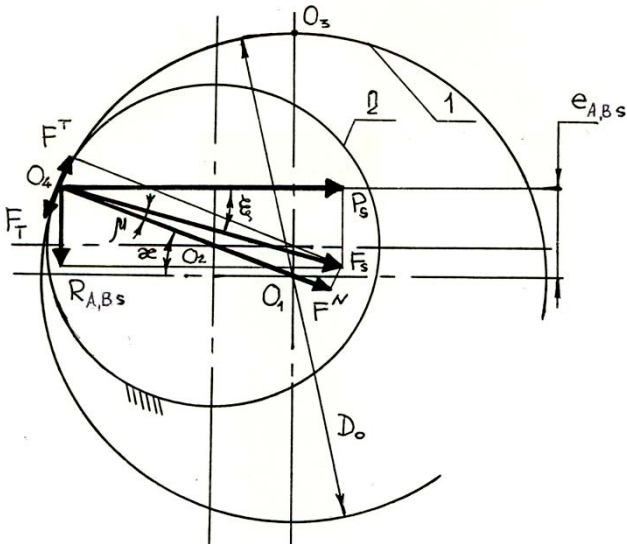


Рис. 2 – Механизм образования статического эксцентриситета e_{A,B_S} в проушине гидроцилиндра.

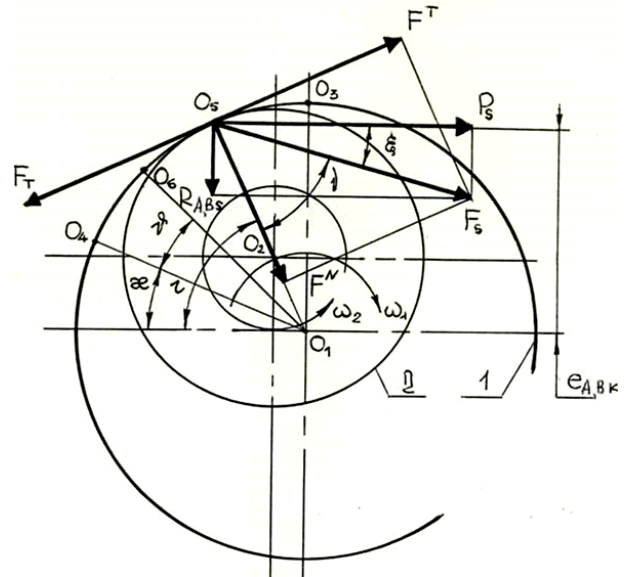


Рис. 3 – Механизм образования кинематического эксцентриситета e_{A,B_k} в проушине гидроцилиндра при повороте опорной оси против часовой стрелки.

Когда же ось 2 вращается по часовой стрелке, например, при движении рукояти одноковшового экскаватора обратная лопата (Рис. 1), происходит её перекатывание по внутренней поверхности проушины 1 из точки O_4 прежнего контакта до точки O_7 (Рис. 4), характеризующейся равновесием сил F^T и F_T с соблюдением условия (4) и выполнения равенства (5). Здесь максимальный эксцентриситет e_{A,B_k} имеет вид

$$\begin{aligned} e_{A,B_k} &= -D_0(\sin\eta)/2 = -D_0[\sin(\nu - \xi)]/2 = \\ &= -D_0\{\sin[\arctg k_r - \arctg(R_{A,B_S}/P_S)]\}/2. \end{aligned} \quad (7)$$

По аналогии с предыдущим выражением последняя зависимость справедлива, когда изменение угла ϑ (Рис. 1) поворота ведомого звена рабочего оборудования равно либо превышает значение углового перемещения $(\eta + \kappa)$ места контакта опор 1 и 2 из точки O_4 в точку O_7 . В том случае, когда это условие не выполняется промежуточная точка O_8 их контакта будет находиться между начальной O_4 и предельной O_7 . Здесь максимальный эксцентриситет $e_{A,B}$ также имеет промежуточное значение (Рис. 2, 4)

$$\begin{aligned} e_{A,B} &= D_0[\sin(\kappa - \vartheta)]/2 = D_0[\sin(\mu + \xi - \vartheta)]/2 = \\ &= D_0\{\sin[\arctg k_r + \arctg(R_{A,B_S}/P_S) - \vartheta]\}/2. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, в начальный момент движения штока место контакта опорных элементов 1 и 2 (Рис. 2) смещается из точки O_3 в точку O_4 с образованием статического эксцентриситета e_{A,B_S} , описываемого выражением (2). Затем при последующем движении, сопровождающемся поворотом приводимого гидроцилиндром звена рабочего оборудования и их опорных элементов друг относительно друга (Рис. 1), место их контакта из точки O_4 смещается в точку O_5 (Рис. 3) либо в точку O_7 (Рис. 4) соответственно с возможностью останова в точках O_6 или O_8 и образованием эксцентриситета e_{A,B_k} с конкретным значением, определённым формулами (5) и (7) или (6) и (8). Изменение статического эксцентриситета e_{A,B_S} до полного $e_{A,B}$ происходит на величину кинематического эксцентриситета e_{A,B_k} , равного в общем случае (Рис. 3, 4)

$$e_{A,B_k} = e_{A,B} - e_{A,B_S}, \quad (9)$$

а после подстановки и преобразования конкретно для каждого из упомянутых случаев соответственно составляющего:

- вращение опорного элемента 2 против часовой стрелки относительно гидроцилиндра 1 при $\vartheta \geq (1 - \kappa) = (v - \mu) = (\arctg k_r - \arctg k_f)$ (Рис. 3)

$$\begin{aligned} e_{A,Bk} &= D_0 \sin[(v - \mu)/2] \cos[(v + \mu + 2\xi)/2] = \\ &= D_0 \sin[(\arctg k_r - \arctg k_f)/2] \times \\ &\times \cos\left\{[\arctg k_r + \arctg k_f + 2\arctg(R_{A,Bs}/P_s)]/2\right\}; \end{aligned} \quad (10)$$

- то же при $\vartheta < (1 - \kappa) = (v - \mu) = (\arctg k_r - \arctg k_f)$ (Рис.3)

$$\begin{aligned} e_{A,Bk} &= D_0 \sin(\vartheta/2) \cos\{[2(\mu + \xi) + \vartheta]/2\} = \\ &= D_0 \sin(\vartheta/2) \cos[\arctg k_f + \arctg(R_{A,Bs}/P_s) + \vartheta/2]; \end{aligned} \quad (11)$$

- вращение опорного элемента 2 по часовой стрелке относительно гидроцилиндра 1 при $\vartheta \geq (\eta + \kappa) = (v + \mu) = (\arctg k_r + \arctg k_f)$ (Рис. 4)

$$\begin{aligned} e_{A,Bk} &= -D_0 \sin[(v + \mu)/2] \cos[(v - \mu - 2\xi)/2] = \\ &= -D_0 \sin[(\arctg k_r + \arctg k_f)/2] \times \\ &\times \cos\left\{[\arctg k_r - \arctg k_f - 2\arctg(R_{A,Bs}/P_s)]/2\right\}; \end{aligned} \quad (12)$$

- то же при $\vartheta < (\eta + \kappa) = (v + \mu) = (\arctg k_r + \arctg k_f)$ (Рис.4)

$$\begin{aligned} e_{A,Bk} &= -D_0 \sin(\vartheta/2) \cos\{[2(\mu + \xi) - \vartheta]/2\} = \\ &= -D_0 \sin(\vartheta/2) \cos[\arctg k_f + \arctg(R_{A,Bs}/P_s) - \vartheta/2]; \end{aligned} \quad (13)$$

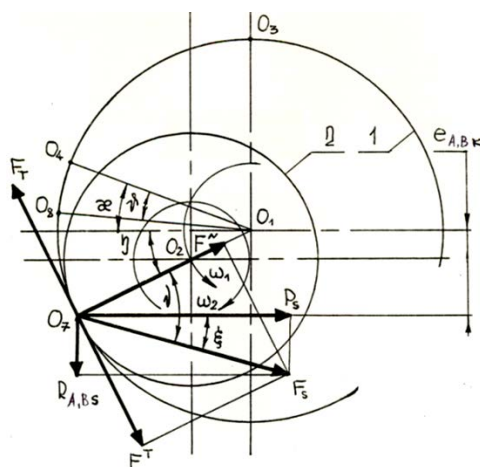


Рис. 4 – Образование кинематического эксцентриситета $e_{A,Bk}$ в проушине гидроцилиндра при повороте опорной оси по часовой стрелке.

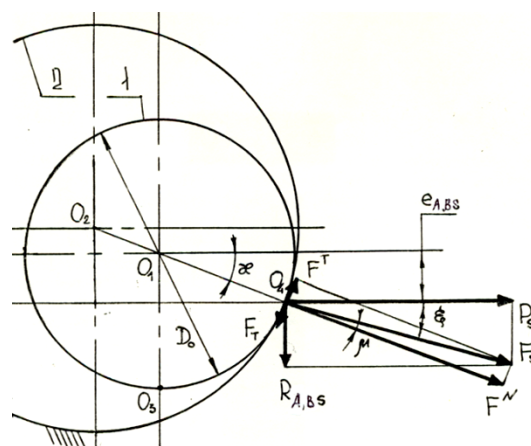


Рис. 5– Образование статического эксцентриситета $e_{A,Bs}$ на цапфе гидроцилиндра.

Здесь следует помнить, что при выводе выражений (5)-(8) и (10)-(13) для расчётных схем (Рис. 2-4) изначально принято, что элементы гидроцилиндра, соединяющие опоры А и В (Рис. 1), располагаются слева относительно рассматриваемой опоры.

Примечательно, что полученные выше зависимости оценок эксцентриситета справедливы при постоянстве направления взаимоповорота опорных элементов. В том же случае, когда по мере выдвижения штока происходит смена направления вращения опорных элементов, что может иметь место в опоре В (Рис. 1) при переходе гидроцилиндром «мёртвой» точки, ими следует оперировать одновременно согласно соответствующим расчётным схемам (Рис. 2-4).

Так, в связи с тем, что в большинстве конструкций гидрофицированного привода рабочего оборудования ДСМ угол ϑ больше угла $(\eta + \kappa)$, то есть

$$\vartheta(\eta + \kappa) = (v + \mu) = (\arctg k_r + \arctg k_f), \quad (14)$$

и тем более – угла $(1 - \kappa)$, равного

$$\vartheta(1 - \kappa) = (v - \mu) = (\arctg k_r - \arctg k_f), \quad (15)$$

описание и исследование кинематического эксцентриситета e_{A,B_k} можно проводить с помощью зависимостей (10) и (12), учитывая, что по достижении точек O_5 и O_7 (Рис. 3, 4) в них при дальнейшей работе привода происходит силовое проскальзывание контактируемых элементов.

Отметим, что всё вышеизложенное относится к процессу образования эксцентриситета в опорах гидроцилиндра традиционного исполнения с проушинами на штоке и корпусе. В случае нетрадиционного исполнения, когда элементов крепления гидроцилиндра представляют собой цапфы на корпусе и проушина на штоке или наиболее перспективного с обеими цапфами, и когда реакции $R_{A,B_s} > 0$, при оценке эксцентриситета следует использовать следующие зависимости:

- для статического эксцентриситета (Рис. 5)

$$\begin{aligned} e_{A,B_s} &= -D_0(\sin \kappa)/2 = -D_0 \sin(\mu + \xi)/2 = \\ &= -D_0 \sin[\arctg k_f + \arctg(R_{A,B_s}/P_s)]/2; \end{aligned} \quad (16)$$

- для полного кинематического эксцентриситета при вращении гидроцилиндра 1 относительно его опоры 2 против часовой стрелки (Рис. 6) при $\vartheta \geq (1 - \kappa) = (v - \mu) = (\arctg k_r - \arctg k_f)$,

$$\begin{aligned} e_{A,B_k} &= -D_0 \sin[(v - \mu)/2] \cos[(v + \mu + 2\xi)/2] = \\ &= -D_0 \sin[(\arctg k_r + \arctg k_f)/2] \times \\ &\times \cos\{\arctg k_r - \arctg k_f - 2\arctg(R_{A,B_s}/P_s)\}/2; \end{aligned} \quad (17)$$

- то же для промежуточного кинематического эксцентриситета (Рис. 6) при $\vartheta(1 - \kappa) = (v - \mu) = (\arctg k_r - \arctg k_f)$

$$\begin{aligned} e_{A,B_k} &= -D_0 \sin(\vartheta/2) \cos\{[2(\mu + \xi) + \vartheta]/2\} = \\ &= -D_0 \sin(\vartheta/2) \cos[\arctg k_f + \arctg(R_{A,B_s}/P_s) + \vartheta/2]; \end{aligned} \quad (18)$$

- для полного кинематического эксцентриситета при вращении гидроцилиндра 1 относительно его опоры 2 по часовой стрелке (Рис. 7) при $\vartheta \geq (\eta + \kappa) = (v + \mu) = (\arctg k_r + \arctg k_f)$

$$\begin{aligned} e_{A,B_k} &= D_0 \sin[(v + \mu)/2] \cos[(v - \mu - 2\xi)/2] = \\ &= D_0 \sin[(\arctg k_r + \arctg k_f)/2] \times \\ &\times \cos\{\arctg k_r - \arctg k_f - 2\arctg(R_{A,B_s}/P_s)\}/2; \end{aligned} \quad (19)$$

- то же для промежуточного кинематического эксцентриситета (Рис. 7) при $\vartheta(\eta + \kappa) = (v + \mu) = (\arctg k_r + \arctg k_f)$

$$\begin{aligned} e_{A,B_k} &= D_0 \sin(\vartheta/2) \cos\{[2(\mu + \xi) - \vartheta]/2\} = \\ &= D_0 \sin(\vartheta/2) \cos[\arctg k_f + \arctg(R_{A,B_s}/P_s) - \vartheta/2]; \end{aligned} \quad (20)$$

- для максимального эксцентриситета при вращении гидроцилиндра 1 относительно опоры 2 против часовой стрелки (Рис. 6) при $\vartheta(1 - \kappa) = (v - \mu) = (\arctg k_r - \arctg k_f)$

$$\begin{aligned} e_{A,B} &= -D_0(\sin \mu)/2 = -D_0[\sin(v + \xi)]/2 = \\ &= -D_0\{\sin[\arctg k_r + \arctg(R_{A,B_s}/P_s)]\}/2; \end{aligned} \quad (21)$$

- то же при вращении по часовой стрелке (Рис. 7) при $\vartheta(\eta + \kappa) = (v + \mu) = (\arctg k_r + \arctg k_f)$

$$e_{A,B} = D_0(\sin \eta)/2 = D_0[\sin(v - \xi)]/2 =$$

$$= D_0 \{ \sin [\arctg k_r - \arctg (R_{A,BS} / P_s)] \} / 2. \quad (22)$$

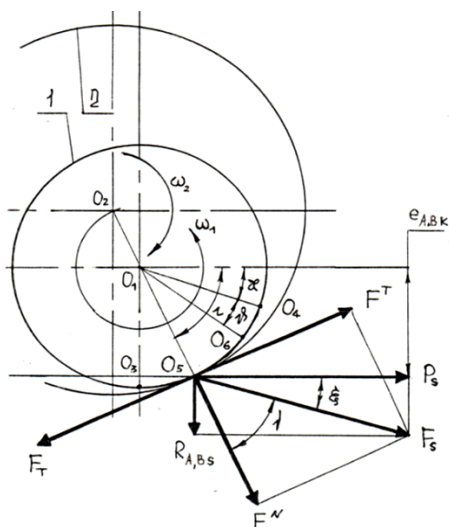


Рис. 6 – Образование кинематического эксцентриситета $e_{A,Bk}$ на цапфе гидроцилиндра при его повороте против часовой стрелки.

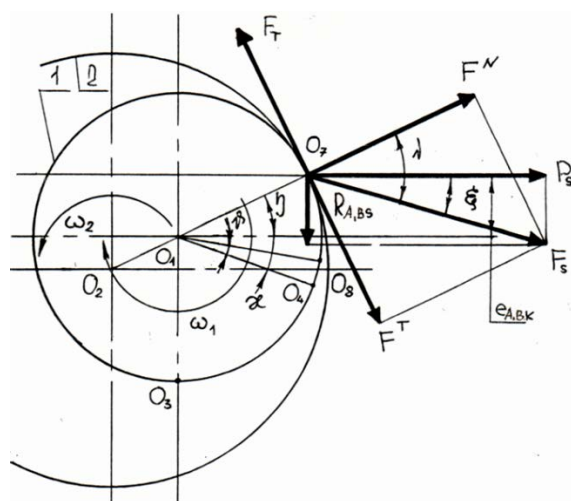


Рис. 7 – Образование кинематического эксцентриситета $e_{A,Bk}$ на цапфе гидроцилиндра при его повороте по часовой стрелке.

Для аналогичного случая крепления гидроцилиндра при $R_{A,BS} < 0$, а именно $R_{AS} < 0$, что возможно при установке цапфы на корпусе (гильзе) гидроцилиндра вблизи направляющей втулки, расчёт соответствующего эксцентриситета в опоре А необходимо проводить по уже известным зависимостям (7), (8) и (10)-(13), полагая в рисунках 2-4 ось 2 опоры штока осью его цапфы.

При этом надо помнить, что текущий эксцентриситет $e_{A,Bk}$, определённый из выражений (11), (13), (18) и (20) не должен превышать максимальный $e_{A,Bk}$, исчисленный соответственно по формулам (10), (12), (17) и (19). Другими словами, последние равенства являются качественным мерилем достоверности их в целом.

Кроме этого, очевидно, что величина эксцентриситета $e_{A,B}$ является функцией угла Θ наклона гидроцилиндра к поверхности тяготения и величины z текущего положения его штока, которыми можно пренебречь лишь при условии, что отношение $R_{A,BS} / P_s$ бесконечно мало.

Анализ вышеприведённых положений аналитического описания эксцентричного нагружения гидроцилиндра продольным сжимающим усилием позволил к уже известным методам конструктивного снижения негативного влияния эксцентриситета на надёжность и работоспособность гидроцилиндра добавить ещё один, а именно, метод, предполагающий изменение внутренней поверхности проушины (Рис. 8).

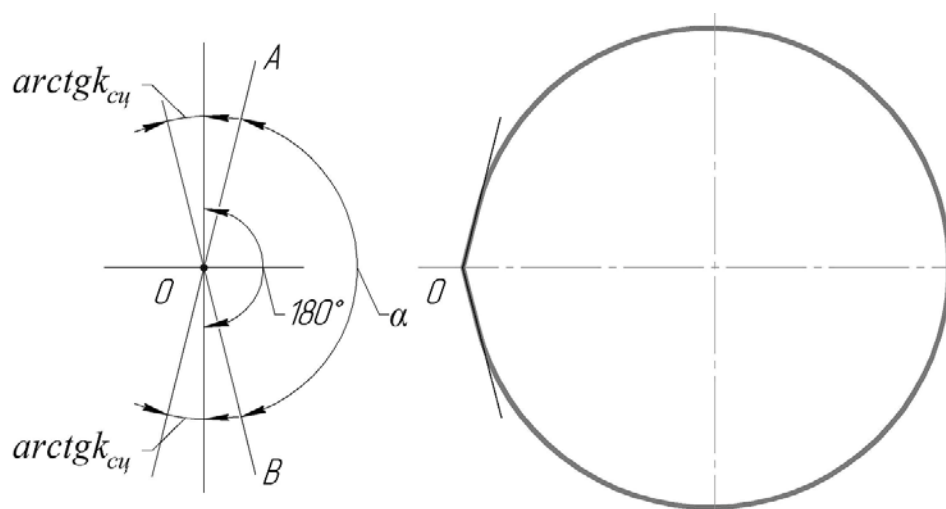


Рис. 8 – Принципиальная схема внутренней поверхности проушины модернизированного гидроцилиндра по Патенту РФ №2262024.

Ожидаемый эффект достигается тем, что в гидроциindre, который кроме всего прочего содержит проушины штока и корпуса (гильзы), внутренняя поверхность проушин, выполненная по окружности имеет тупой угол α с вершиной, лежащей на продольной оси гидроцилиндра, направленной к его центру тяжести, и равный

$$\alpha = 180^\circ - 2(\arctg k_{сц}), \quad (23)$$

где $k_{сц}$ – максимальный коэффициент сцепления опорных элементов в проушине.

При отсутствии подачи рабочей жидкости в полости гидроцилиндра его проушины контактируют с опорными элементами в их верхних точках (Рис. 9). При подаче рабочей жидкости в поршневую полость гидроцилиндра его шток под действием давления жидкости выдвигается из корпуса (гильзы), увеличивая общую длину гидроцилиндра, который проушинами надвигается на опоры (опорные пальцы) и фиксирует их наклонными поверхностями тупого угла, уменьшая статический эксцентриситет e_{A,B_5} вплоть до нуля, то есть $e_{A,B_5} = 0$. Дальнейшее выдвижение штока из корпуса сопровождается движением рабочего оборудования ДСМ, вследствие чего происходит поворот проушин относительно элементов опор, при этом наклонные поверхности тупого угла α продолжают фиксировать элементы опорных пальцев, обеспечивая их проскальзывание и исключая появление кинематически обусловленного эксцентриситета e_{A,B_k} , то есть $e_{A,B_k} = 0$. В итоге полный эксцентриситет $e_{A,B}$ также равен нулю, что обеспечивает разгрузку гидроцилиндра от эксцентрично приложенного продольного сжимающего усилия и в итоге повышает его надёжность и обеспечивает работоспособность.

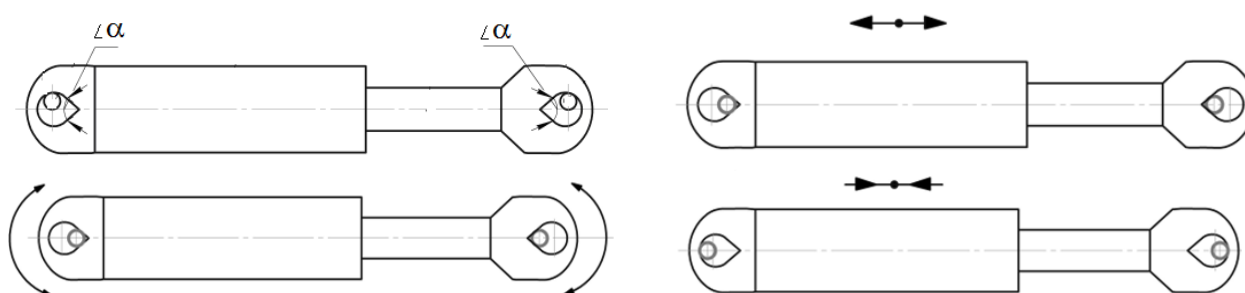


Рис.9 – Принципиальная схема модернизированного гидроцилиндра по Патенту РФ №2262024 и порядок его работы: в состоянии покоя, при выдвижении штока, при возможном повороте элементов рабочего оборудования ДСМ и при обратном ходе штока.

При подаче рабочей жидкости в штоковую полость гидроцилиндр работает на растяжение, что не требует компенсации эксцентричного приложения растягивающей нагрузки (Рис. 9).

Заключение. Таким образом, использование на практике модернизированного гидроцилиндра с проушинами по Патенту РФ №2262024 способствует исключению ранее действующих на него значительных нагрузок, обусловленных наличием в опорных проушинах корпуса и штока гидроцилиндра эксцентриситета приложения продольного сжимающего усилия, что повышает его надёжность и обеспечивает работоспособность.

Литература:

1. Кобзов Д.Ю., Лапшин В.Л., Тарасов В.А., Жмуров В.В. Гидроцилиндры дорожных и строительных машин. Часть 3. Несущая способность. // Братск. гос. ун-т. – Братск, 2011. – 88 с., ил., библиогр. 93 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ РАН 27.01.2011, № 27-B2011.
2. Марутов В.А., Павловский С.А. Гидроцилиндры. – М.: Машиностроение, 1966. – 171 с.
3. Gerhard Schmausser, Klaus J.Pittner. Zur berechnung schlanrek arbeitszylinder // Ölhydraulik und Pneumatik, Deutschland, 35 (1991), Nr.10. С. 767-775.
4. Кобзов Д.Ю., Жмуров В.В. Гидроцилиндры одноковшовых гидрофицированных машин. // Братск. гос. ун-т. – Братск, 2010. – 105 с., ил., библиогр. 80 назв. – Рус. – Деп. в ВИНТИ 17.05.2010, №288-B2010.

Unloading hydrocylinder from an eccentrically applied longitudinal compressive force

Kobzov D.Yu.^{1,a}, Gubanov V.G.^{2,b}, Zhmurov V.V.^{1,c}, Kobzova I.O.^{1,d}

¹ Bratsk state university, 40 Makarenko st, Bratsk, Russian Federation

² STC «Hydrotrans», 10a Mebelnii proezd, Sankt-Peterburg, Russian Federation

^a kobzov7159@mail.ru, ^b info@hydrotrans.ru, ^c vladimir_zhmyrov@mail.ru, ^d kobzovaio@mail.ru

Keywords: hydrocylinder, load, stress, ear, eccentricity.

Currently, two-way hydrocylinders with one-way stock have become widespread on road and building construction machines (RBCM). The tendency to increase the single capacity of the machines, in relation to the hydrocylinders of their working equipment, is inextricably linked with an increase in diametric sizes, an increase in the pressure level of the working liquid of hydro systems, an increase in the speed of movement of the rod and its course, and, consequently, the linear size of hydrocylinders, as well as the increase in the intensity of their use over time. A negative manifestation of this is the deterioration of conditions and mode of operation, as well as a sharp increase in operational loads, including bending the moment from the eccentricly applied in the supports of the longitudinal compressing force. All of the above in the complex inevitably leads to a decrease in their reliability.

Применение гибкого ленточного нагревательного элемента для снижения намерзания грунта

Зеньков С.А.^{1,а}, Дрюпин П.Ю.^{1,б}, Сухоневич Д.А.^{1,с}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аmf@brstu.ru, ^б760bf@mail.ru, ^сdiman38rus@inbox.ru

Ключевые слова: гибкий нагревательный элемент, адгезия, связный грунт, напряжение сдвига

В статье рассмотрен ленточный нагревательный элемент – лента углеродная нагревательная гибкая (ЛУНГ), представлены ее технические характеристики и представлены результаты экспериментальных исследований нагрева имитатора ковша при положительной и отрицательной температуре окружающей среды, построены температурно-временные характеристики ленты ЛУНГ. Произведены исследования по воздействию нагрева имитатора ковша лентой ЛУНГ на усилие сдвига грунта.

Гибкие нагреватели идеально подходят там, где требуется термоэлемент со сложной геометрией, малой массой, минимальной толщиной и возможностями изгиба в различных плоскостях. Эти обогреватели имеют широкий спектр применения в промышленности, машиностроении, военном приборостроении и там, где нужна стабильность температуры в заданном диапазоне, надёжность, минимальное поперечное сечение, устойчивость к износу, оптимальные стоимостные характеристики и где гибкость имеет решающее значение [1-12].

В качестве нагревательного элемента использовалась лента углеродная нагревательная гибкая (ЛУНГ), предназначенная для подогрева трубопроводов, технологического оборудования с плоскими поверхностями и сложной геометрической формы, а также для установки в электронагревательных изделиях в качестве нагревательного элемента. Лента ЛУНГ (рис.1) содержит нагревательный элемент, изготовленный из волокнистого углеродного материала, электроизолирующий чехол из стеклоткани, дублированный слоем силиконового материала. Низкотемпературные выводы, соединённые с нагревательным элементом, выполнены медным проводом в термостойкой изоляции и служат для подключения питающего напряжения к ленте. Нагревательный элемент и концевые заделки герметизированы для защиты от воздействия внешней среды [8].

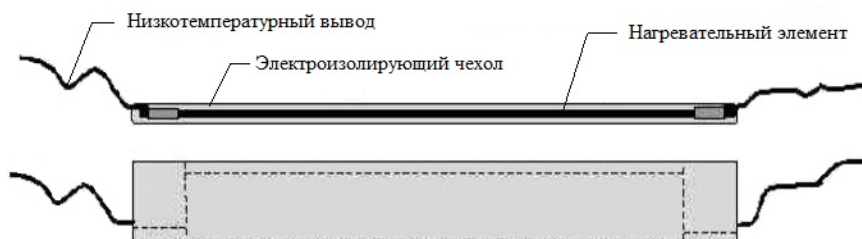


Рис. 1. Лента углеродная нагревательная гибкая (ЛУНГ)

В таблице 1 представлены технические характеристики ленты ЛУНГ.

Таблица 1

Технические характеристик ЛУНГ

Номинальная мощность, Вт	750
Удельная мощность, Вт/м	150
Номинальное напряжение питания, В	220
Температура поверхности, °С	250
Длина, мм	5000
Ширина, мм	60
Толщина активной части, мм	Не более 1
Толщина в зоне контактов, мм	Не более 4

Произведен нагрев имитатора рабочего органа лентой ЛУНГ при температуре окружающей среды +20 град. и -15 град., нагрев металлической пластины продолжался 10 мин. Значения температуры поверхности показаны в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость нагрева имитатора ковша от продолжительности нагрева

	Температура нагрева ленты, в зависимости от продолжительности нагрева, °С									
Продолжительность нагрева, мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
При температуре окр. среды t=+20 °С	23	27	32	38	41	46	49	53	58	60
При температуре окр. среды t=-15 °С	7	12	17	21	26	29	32	35	37	40

Произведена математическая обработка полученных данных при помощи программы MODEL, для однофакторных зависимостей. Для получения уравнений регрессии использовалась функция $y = C_0 + C_1 \cdot x + C_2 \cdot x^2$.

Полученные однофакторные уравнения регрессии:

- При температуре окр. среды, t= +20 °С: $y = 17,4333 + 5,2833 \cdot x - 0,0985 \cdot x^2$;

- При температуре окр. среды, t= -15 °С: $y = 1,4167 + 5,7492 \cdot x - 0,1932 \cdot x^2$;

На рисунке 2 представлена температурно-временная характеристика нагрева имитатора ковша лентой ЛУНГ, выполненная в программе Microsoft Excel.

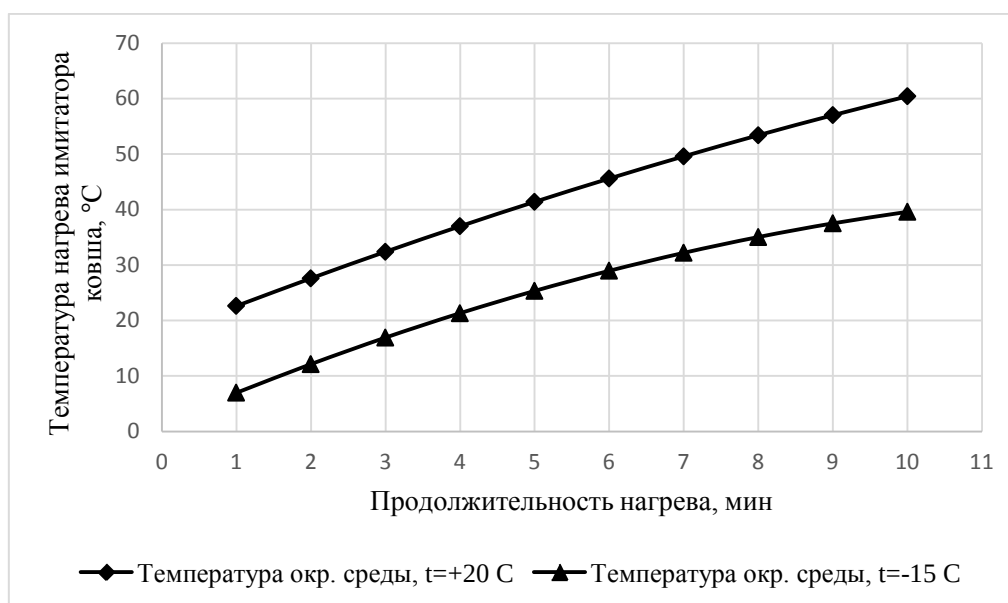


Рис. 2. Зависимость нагрева имитатора ковша от продолжительности нагрева

На специальном сдвиговом стенде [9,10] был проведен эксперимент по определению усилия сдвига при нагревании поверхности контакта лентой ЛУНГ. Испытания проводились при постоянных параметрах: температура окружающей среды (-15 °С), продолжительности контакта грунта с металлом (10,5 мин), весовая влажность грунта (12,5%), дисперсность грунта ($7 \cdot 10^{-3}$ мм). Переменными параметрами являлись номинальное давление на грунт и продолжительность нагрева. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты измерения усилия сдвига при номинальном давлении на грунт 10 кПа

Продолжительность нагрева, мин	Результаты замеров			Среднее усилие с тепловым воздействием, кг
	1-ый замер	2-ой замер	3-ий замер	
Номинальное давление на грунт 10 кПа				
Без нагрева	36,2	42,5	40,1	39,6
3	10,2	11,7	11,3	11,1
5	9,9	10,3	10,7	10,3
7	9,2	8,8	6,1	8,3
Номинальное давление на грунт 20 кПа				
Без нагрева	60,3	57,4	59,2	58,9
3	20,7	22,1	19,7	20,8
5	14,2	14,5	13,7	14,1
7	13,8	13,1	13,4	13,4
Номинальное давление на грунт 30 кПа				
Без нагрева	102,5	130,8	112,3	115,2
3	28,0	29,2	30,3	29,2
5	19,5	19,2	18,8	19,2
7	17,1	16,7	16,2	16,7

В программе Microsoft Excel построенные зависимости усилия сдвига от номинального давления на грунт (рис. 3, а) и усилия сдвига от продолжительности нагрева имитатора ковша (рис. 3, б).

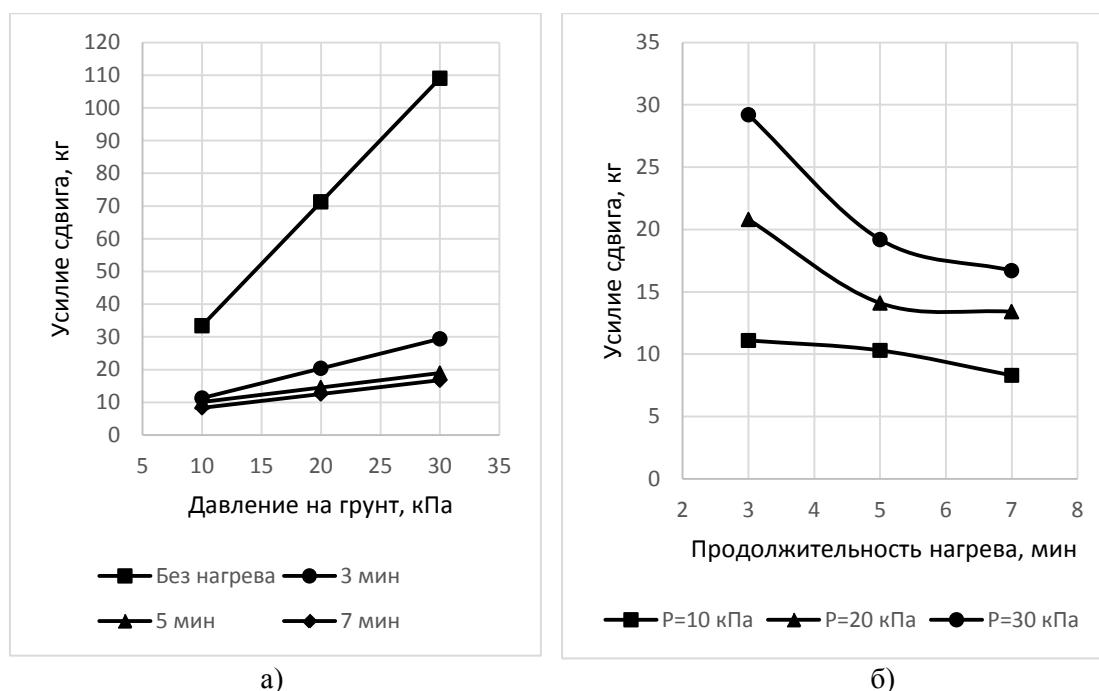


Рис. 3. Графики зависимостей, при применении ленты ЛУНГ:

а – Зависимость усилия сдвига от номинального давления на грунт; б – Зависимость усилия сдвига от продолжительности нагрева имитатора ковша

Заключение. На основе полученных экспериментальных данных, можно сделать вывод, что при использовании нагревательной ленты ЛУНГ, усилие сдвига уменьшается в 2,8...6,9 раза. Максимальное снижение усилия сдвига зафиксировано при номинальном давлении на грунт 30 кПа и продолжительности нагрева 7 мин. Оно уменьшилось на 85,5%.

Литература:

1. Заднепровский Р.П. Рабочие органы землеройных и мелиоративных машин и оборудования для разработки грунтов и материалов повышенной влажности. – М.: Машиностроение, 1992. 176 с.
2. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Кутимский Г.М. Использование электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Механики XXI века. 2014. № 13. С. 156-160.
3. Зеньков С.А., Жидовкин В.В., Ничаев А.Н., Курмашев Е.В. Применение оборудования теплового воздействия для снижения адгезии грунтов // Механики XXI века. 2010. № 9. С. 129-132.
4. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С. Эффективность гибких нагревательных элементов для борьбы с адгезией грунтов к землеройным машинам // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2013. Т. 1. С. 134-137.
5. Зеньков С.А., Батуро А.А. Комбинированное устройство снижения адгезии грунта к ковшу экскаватора // Механики XXI века. 2007. № 6. С. 76-78.
6. Зеньков С.А., Игнатьев К.А., Филонов А.С., Банщиков М.С. Исследование влияния теплового воздействия на адгезию грунтов к рабочим органам землеройных машин // Механики XXI века. 2013. № 12. С. 228-232.
7. Зеньков С.А., Курмашев Е.В., Елохин А.В., Дэлэг Д. Перспективы применения гибких нагревательных ленточных элементов для снижения адгезии грунта к рабочим органам ковшового типа // Механики XXI века. 2009. № 8. С. 164-167.
8. Лента углеродная нагревательная гибкая: технические характеристики и предназначение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elkadm.ru/?page=4.html>
9. Зеньков С.А., Кобзов Д.Ю., Курмашев Е.В. Стенд сдвиговый // патент на изобретение RUS 2460989 28.09.2010.
10. Баловнев В.И., Бакатин Ю.П., Зеньков С.А., Журавчук С.В. Сдвиговой стенд // патент на изобретение RUS 1310696 12.12.1985.
11. Rajaram G., Erbach D.C. Effect of wetting and drying on soil physical properties. // Journal of Terramechanics 36 (1999) P. 39-49.
12. Зеньков С.А., Кожевников А.С., Баев А.О., Дрюпин П.Ю. Определение мест установки электронагревательных гибких ленточных элементов для борьбы с намерзанием грунта к металлическим поверхностям рабочих органов землеройных машин // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 195-202.

The use of a flexible tape heating element to reduce soil freezing

Zenkov S.A.^{1,a}, Dryupin P.Yu.^{1,b}, Suhonevich D.A.^{1,c}

¹Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation

^amf@brstu.ru, ^b760bf@mail.ru, ^cdiman38rus@inbox.ru

Keywords: flexible heating element, adhesion, cohesive soil, shear stress

The article considers a tape heating element - carbon flexible heating tape (LUNG), presents its technical characteristics and presents the results of experimental studies of heating a ladle simulator at positive and negative ambient temperatures, and builds the temperature-time characteristics of the LUNG tape. Studies were carried out on the effect of heating a bucket simulator with a LUNG tape on the force of soil disruption.

УДК 621.92

Материалы для технологического армирования нежестких деталей

Богущий В. Б.

Севастопольский государственный университет, Университетская 33, Севастополь, Россия
bogutskivb@yandex.ru

Ключевые слова: нежесткие детали, точность механической обработки, технологическое армирование, обратимые твердеющие вещества, намагничивающие тела.

В статье отмечено, что при финишной механической обработке монолитных высокоточных деталей с тонкостенными элементами, как правило, возникают вибрации, снижающие точностные характеристики их конструктивных элементов и качество обработанной поверхности. Показано, что одним из эффективных технологических приёмов гашения вибраций и как результат, обеспечения требуемого качества финишной обработки является применение технологического армирования. Выполнен обзор и анализ технологических веществ, применяемых для технологического армирования, сформулированы требования к ним. Даны рекомендации по выбору технологических веществ для фиксации тонкостенных элементов высокоточных деталей при их механической обработке.

Введение. В связи с повышением требований к точности обработки многие конструкции изделий (ответственные узлы космической, авиационной, нефтегазовой и др. техники) проектируют таким образом, чтобы монолитные компоненты (детали) преобладали над сборными. Цельные детали обладают улучшенными параметрами качества, надежности и, достаточно часто, требуют меньшего времени на их изготовление. Изготовление таких деталей, как правило, связано с механической обработкой их тонкостенных элементов (см. рис. 1). Значительной проблемой при финишной обработке тонкостенных элементов деталей является возникновение вибраций, которые снижают качество обработанной поверхности. [1-6].



Рис. 1. Детали с тонкостенными элементами конструкции.

Одним из эффективных технологических приёмов гашения вибраций и как результат, обеспечения требуемого качества финишной обработки является применение технологического армирования.

Современное состояние применения средств технологического армирования. Технологическое армирование – это повышение жесткости конструкций изделий другими материалами. С помощью технологического армирования временно, на период обработки нежестких деталей, усиливают их конструкции, фиксируют положение заготовки, а также перераспределяют припуски, закрепляют заготовки и повышают виброустойчивость компонентов технологической системы. Основано технологическое армирование на адгезионных связях веществ или сцеплении намагничивающих тел с поверхностями обрабатываемых деталей и оснастки.

Прочность армирования оценивается по удельной силе отрыва q или сдвига τ , направленной по нормали или касательной к соприкасающимся поверхностям:

$$q \geq \frac{N}{S_D} \text{ и } \tau \geq \frac{P_z}{S_D}$$

где N и P_z – критические внешние нагрузки, соответственно нормальные и касательные к поверхностям соединения; S_D – площадь поверхности соединения.

Практически, прочность технологического армирования должна удовлетворять условию

$$N \leq k_z q S_D$$

где k_z – коэффициент запаса прочности, принимаемый в пределах $k_z = 1,5 \dots 3$.

Прочность армированных связей нарушается и ослабевает вследствие усадки, растворения веществ, вызванных действием вибрации, механических нагрузок, температуры, химических реакций, а также электрических и магнитных полей [7-10 и др.].

Широко применяют технологическое армирование для создания постоянных базовых элементов на нежестких деталях с переменным сечением. Сначала детали устанавливают в кассете для равномерного распределения припусков, а затем армируют в виде прямоугольных брикетов. По окончании обработки брикеты растворяют в горячей воде. Такой способ армирования применяют в турбостроении при производстве лопаток. Нежесткие детали армируют для выполнения высоконагруженного протягивания, фрезерования, шлифования, полирования, точения, а также гибки тонкостенных труб круглого и прямоугольного сечения. При этом образуется главным образом объемный контакт детали с технологической оснасткой.

Технологическое армирование деталей на основе адгезионных связей веществ производят самотвердеющими обратимыми и необратимыми веществами.

К необратимым самотвердеющим веществам относят высоковязкие замазки эпокксидные смолы, полимерные материалы, стиракрилл, жидкое стекло, цементы, клеевые пленки. Эти вещества при комнатной температуре превращаются из жидкого в твердое состояние, образуя адгезионно-когезионную связь. Перед армированием для лучшей заполняемости снижают вязкость веществ медленно протекающим во времени конвенционным нагревом.

Нежесткие детали высокой точности весьма ограниченно армируют необратимыми веществами, потому что их удаление вибрацией, разломом, механическим и высокотемпературным воздействием приводит к нарушению форм деталей после механической обработки.

Подобные недостатки отсутствуют либо проявляются незначительно при армировании деталей самотвердеющими обратимыми веществами и намагничивающими телами. Среди них в производстве наиболее распространены: сплав Вуда, карбамид, ксилит, полиэтиленгликоль и твердые намагничивающие тела различной геометрической формы.

В качестве самотвердеющих обратимых веществ чаще всего используют [10-15 и др.]:

- сплав Вуда. Температура плавления сплава 68°C. Расплавляют и удаляют армирующий слой погружением детали в горячую воду при температуре 65...70° С. Сплав обратим для 3...5-кратного армирования, после чего он теряет адгезионно-когезионные свойства;

- карбамид. Расплавляется при 132,7° С, (при нагревании выше температуры плавления разлагается) хорошо растворяется в воде, особенно в горячей. Для уменьшения хрупкости затвердевшей фазы в него добавляют 4% калиевой селитры или 8...10% поливинилового спирта;

- полиэтиленгликоль. Расплавляется при 80...90°C, температура кристаллизации 48...53° С, при армировании деталей кристаллизуется за 8...10 ч, растворяется в воде;

- ксилит. Для армирования ксилит расплавляют в течение 3...4 ч при 110...120° С, а выплавляют из обработанной детали нагревая в термошкафу до 92...94°C в течении 1,5...2 часов;

– Rigidax[®] (торговая марка Paramelt) – термопластичный материал [16]. Расплавляется при 93...121°C в специальной машине, которая обеспечивает перемешивание материала. Температура застывания 22...25° С, при армировании деталей скорость застывания 1,5...3 часа, удаляется с обработанной детали выплавкой в термошкафу в течение 1...1,5 часов при 110...120°C с последующей мойкой специальным растворителем. Для сохранения первоначальных свойств, при каждом повторном применении необходимо добавлять 30% свежего материала.

Технологический процесс армирования включает ряд последовательно выполняемых операций. Первая – приготовление армирующего вещества (размол, сушка, взвешивание и перемешивание компонентов). Вторая – придание жидкотекучести веществу, например расплавлением или растворением. Одновременно с приготовлением рецептуры производят ориентирование, установку и подогрев деталей в заданном положении. Третья операция – направленное заполнение и фиксирование элементов детали веществом определенного объема. Продолжительность цикла заполнения согласовывается со временем сохранения жидкого состояния вещества. В зависимости от формы детали ее армируют заливкой армирующей среды либо погружением в среду. По окончании кристаллизации вещества образуются его прочные адгезионные связи с поверхностью детали. Заключительная операция – удаление затвердевшего вещества из детали путем его растворения, расплавления или выжигания с последующей промывкой, протиркой и сушкой детали.

Армирование намагниченными телами заключается в образовании между ними, их частицами и стенками детали сил трения скольжения, взаимного притяжения либо отталкивания, в результате чего увеличиваются площадь поперечного сечения, момент его инерции и устойчивость конструкции. В качестве намагничивающих тел (порошки, шарики, призмы, штифты и т. д.) для технологического армирования применяют ложементы из сталей 10, 15, 20, по форме геометрически подобные негативной форме армируемого элемента детали. Так же, для решения этой задачи, предлагается использовать ферромагнитные жидкости, которые под действием магнитного поля мгновенно твердеют, закрепляя деталь, а при его снятии возвращаются в первоначальное жидкое состояние. Метод не получил широкого распространения, что связано со значительной стоимостью самих ферромагнитных жидкостей [17-20].

При армировании твердыми намагничивающими телами их закладывают в полости детали, затем намагничивают. Заканчивают процесс размагничиванием и удалением тел их обработанной детали. Технологические возможности этого способа ограничены размерами намагничивающих тел, которые не должны превышать высоту армированного элемента, подлежащего обработке. В противном случае режущий инструмент, например фреза, соприкасаясь с намагничивающими телами, быстро затупляется, вызывая уменьшение прочности армированного соединения и ухудшение качества обработки.

При технологическом армировании нежестких деталей к армирующим средам предъявляются следующие требования:

1. Малая усадка и ползучесть, равномерная прочность адгезионных и сцепляющих связей, обеспечивающих машинную обработку нежестких деталей с применением прогрессивных режимов резания.
2. Низкая плотность и высокая жидкотекучесть, позволяющие свободно армировать труднодоступные элементы деталей без коробления.
3. Возможность направленного локального армирования деталей.
4. Высокая скорость обратимости состояний веществ без применения громоздких вспомогательных устройств и сильных тепловых, электрических и магнитных полей.
5. Отсутствие химического взаимодействия с поверхностью и структурой деталей, инструмента и оборудования.
6. Полное снятие после обработки деталей армирующего вещества без изменения геометрической формы деталей и напряженного состояния материала.
7. Нетоксичность при расплавлении, растворении, отвердении армировании деталей.

8. Высокая стойкость к влаге и СОТС.

9. Низкая стоимость и недефицитность.

Анализ экспериментальных данных и изучение производственного опыта ряда предприятий [1, 2, 5, 6, 11 и др.] позволил, с некоторым приближением, сравнить ряд характеристик армирующих сред (табл. 1).

Таблица 1.

Сравнение характеристик свойств технологических армирующих сред.

Характеристики свойств армирующих сред	Обратимые вещества				Намагничивающие тела		
	Сплав Вуда.	Полиэтилен-гликоль	Ксилит	Карбамид	Шарики Ø 0,11 мм	Штифты Ø 0,5 мм	Призмы трехгранные 1×1×1 мм
Сопротивление сдвигу τ , Н/мм ² .	0,35	0,20	0,45	0,35	0,02	0,04	0,04
Удельная сила отрыва q , Н/мм ² .	0,06	0,08	0,05	0,10	0,002	0,005	0,006
Время отверждения, час.	0,15	10	4,0	0,2...0,5	0,01...0,05		
Токсичность	Да	Нет	Нет	Да	Нет		
Заполняемость	0,95..1,0	1,0	1,0	1,0	0,7...0,85		
Оборудование	Печи, ванны, сушильные шкафы				Магнитные плиты		
Время армирования детали ($S=1 \text{ м}^2$, $H=15 \text{ мм}$), час.	0,5	7,5	8,0	0,8	0,3	0,35	0,35

Из табл. 1 видно, что наибольшими сопротивлениями сдвигу обладают обратимые вещества, наименьшими – намагничивающие тела и, наоборот, намагничивающие тела превосходят обратимые вещества по времени перехода из исходного в армирующее состояние.

Кроме того, применение намагничивающих тел исключает температурные деформации детали и промывочно-сушильные операции, не требует вспомогательного оборудования и не загрязняет атмосферу в цехе.

Выводы:

Среди намагничивающих тел оптимальными по силовой характеристике являются штифты и призмы, изготовленные методом высадки или рубки из малоуглеродистой проволоки (сталь 10 или сталь 20).

К наиболее дешевым, недефицитным и легковесным обратимым веществам следует отнести карбамид. Он быстрорастворим в воде, не требует специального оборудования для расплавления и удаления с обработанных деталей, а выделение аммиака при расплавлении – устраняется вытяжной вентиляцией.

Литература:

1. Campbell F.C. Manufacturing Technology for Aerospace Structural Materials. Elsevier Ltd, 2006. 603 p.
2. Zhilyaev A.S., Kugultinov S.D., Efremov S.M. Problems of ensuring accuracy in the manufacture of large-sized thin-walled parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 537. P. 1-5. DOI: 10.1088/1757-899X/537/3/032069.
3. Гаврюшин С.С., Жаргалова А.Д., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И. Метод определения условий механической обработки тонкостенных деталей. // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 11. С. 53-60.
4. Gang L. Study on deformation of titanium thin-walled part in milling process // Journal of Materials Processing Technology. 2009. Vol. 209. P 2788-2793.
5. Maximov Y. Theory and practice of technology for machining non-rigid smooth shafts // Key Engineering Materials. 2011. Vol. 496. P. 168-175. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.496.168.
6. Внуков Ю.Н. Гермашев А.И., Мозговой В.Ф. и др. Применение технологических сред при фрезеровании тонкостенных деталей: моногр. – Запорожье: ЗНТУ. 2016. 187 с.

7. Izamshah R.A.R., John P.T., Ding S. Deflection prediction on machining thin-walled monolithic aerospace Component// Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2011. Vol. 3. No. 1. P. 23-44.
8. Thin Wall Machining. [Электр. ресурс], <https://www.makino.com/resources/content-library/article/archive/thin-wall-machining/171>. Дата обращения: 24.12.2019.
9. Kuzmin V.A., Korobko E.V., Roizman V.P., Novikova Z.A. et al. Adhesion peculiarities at the contact of MRF with solid state in gradient magnetic field // Journal of Physics: Conference Series. 2013. Vol. 412. P. 1-8. DOI: 10.1088/1742-6596/412/1/012021.
10. Подпоркин В.Г. Обработка нежестких деталей. М.: Машгиз, 1959. 208 с.
11. Warnecke H.J., Schraft R.D., Fischer G.E. Assembly of non-rigid parts, problems and solutions// CIRP Annals. 1987. Vol. 36. Iss. 1. P. 5-7.
12. Sung-Hoon Ahn P.K. Wright reference free part encapsulation (RFPE): An investigation of material properties and the role of RFPE in a taxonomy of fixturing systems// Journal of Manufacturing Systems. 2002. Vol. 21. Iss.2. P.101-110.
13. Окунев В.С. Повышение точности взаимного расположения поверхностей нежестких деталей при их изготовлении // Вестник Московского авиационного института. 2016. Вып. 23. №. 2. С. 138-148
14. Shamsuddin K.A., Ab-Kadir A.R., Osman M.H. A comparison of milling cutting path strategies for thin-walled aluminium alloys fabrication//The International Journal of Engineering and Science. 2013. Vol. 2. Iss. 3. P. 1-8.
15. Zhang X., Ma J.W., Jia Z.Y., Song D. Machining parameter optimization for aviation aluminium-alloy thin-walled parts in high-speed milling// International Journal of Machining and Machinability of Materials. 2018. Vol.20. No.2. P. 180-192. DOI: 10.1504/IJMMM.2018.090546.
16. Rigidax® Thermoplastic Encapsulant [Электр. ресурс], <https://www.internationalwaxesrigidax.com/index.html>. Дата обращения: 20.12.2019.
17. Scherer C. Figueiredo Neto A.M. Ferrofluids: properties and applications// Brazilian Journal of Physics. 2005. Vol. 35. No. 3A. P. 718-727.
18. Popplewell J. Technological applications of ferrofluids// Physics in Technology. 2002. Vol. 15 (3). P. 150-165. DOI: 10.1088/0305-4624/15/3/I04.
19. Boldyrev A.A., Boldyrev A.I., Fedonin O.N. Increasing the capabilities of machining attachments by means of ferromagnetic liquids// MATEC Web Conf. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017). 2017. Vol.129. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712901035>.
20. Magnetic fluids and applications. Handbook. Ed. by B.M. Berkovsky and V. Bashtovoy. Begell House Inc. 1996. 831 p.

Materials for technological reinforcement of non-rigid details.

Bogutsky V. B.

Sevastopol State University, University st., 33, Sevastopol, 222053, Russian Federation
bogutskivb@yandex.ru

Keywords: non-rigid details, precision of mechanical treatment, process reinforcement, reversible hardening agents, magnetizing bodies.

In the article notes that during finishing machining of monolithic high-precision parts with thin-walled elements, as a rule, vibrations occur that reduce the accuracy characteristics of their structural elements and the quality of the processed surface. It is shown that one of the effective technological methods of damping vibrations and, as a result, ensuring the required quality of finishing processing is the use of technological reinforcement. Is carried a review and analysis of the technological substances used for technological reinforcement and formulated the requirements for them. Are given the recommendations on the choice of technological substances for fixing thin-walled elements of high-precision parts during their machining.

УДК 621.22-546:621.225

Метод определения перемещения исполнительного органа гидродвигателей

Лемешко М. А.^a

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ. г. Шахты ,
Ростовская обл., ул.Шевченко, 147

^alem-mikhail@ya.ru

Ключевые слова: гидропривод, гидродвигатели, исполнительный орган, измерение перемещений, расходомер

В статье расуриты сведения об относительно новом методе измерения степени выдвигения штока гидроцилиндра и скорости выдвигения штока, а также частоты вращения и числа оборотов гидродвигателя вращательного действия. Метод основан на измерение расхода, объема перемещённой гидрожидкости и скорости её движения. Приведено краткое описание примеров реализации такого метода на устройствах для измерения степени выдвиги штока гидроцилиндра и на устройствах для измерения частоты вращения вала гидромотора. В конкретных машинах с гидроприводом эти измерения могут характеризовать перемещения исполнительного органа машины, как поступательные так и вращательные. Приведены схемы гидропривода для таких измерительных устройств. Показано влияние неплотностей в гидродвигателях, приведено уравнение для учёта этих неплотностей. Предварительные испытания показали значение отклонений в показаниях исследуемого метода, которые составили 5-8%.

Современные машинные системы, как правило, высоко автоматизированы, снабжены приспособлениями и другими устройствами, облегчающими или ускоряющими выполнение той или иной операции. Часто при это необходимы измерения, в том числе измерения перемещений исполнительного органа или рабочего звена. Широко в машиностроении используется гидропривод и его особенности и достоинства известны. В гидроприводе в высокоорганизованных машинных системах также необходимы измерения, в том числе, измерение перемещения исполнительного органа. Для выполнения измерительных операций известны различные датчики и преобразователи перемещений в цифровой или аналоговый сигнал. Сигналы с датчиков или цифровая картина перемещений выводиться на вторичные приборы или используются в системах автоматизированного управления, или используется для контроля выполняемой операции исполнительным органом. Таким образом, очевидна актуальность исследований и создания новых методов и устройств для определения перемещений исполнительного органа в гидроприводе.

Известные устройства для измерения перемещений исполнительного органа, совершающего поступательные или вращательные движения. В многообразии типов преобразователей и измерительных датчиков наибольшее распространение получили следующие типы датчиков: емкостные, индуктивные, реостатные, ультразвуковые, оптические и др. [1]. Эти устройства и преобразователи, как правило, имеют корпус, измерительный блок, блок для регистрации или индикации результатов измерений и относятся к автономным измерительным устройствам.

В гидравлических системах с силовыми гидроцилиндрами часто решается задача определения величины выдвиги штока гидроцилиндра на заданную величину. Часто необходим контроль за перемещением, когда исполнительный орган станка или машины должен совершать определенное поступательное движение с контролем за текущим

перемещением инструмента или рабочего органа. Для такого управления гидроприводом используются измерительные устройства - датчики линейных перемещений, устанавливаемые параллельно гидроцилиндру.

Известны измерительные устройства для определения степени выдвижки штока гидроцилиндра с бесконтактным преобразователем его перемещений. Например, измерительный домкрат горной машины для передвижки конвейера [2]. Особенностью такого измерительного домкрата является то, что измеритель перемещения выполнен в защитном корпусе гидравлического домкрата, имеющего защитный корпус. По существу это измеритель, вмонтированный в силовой гидроцилиндр и имеющий с ним общий защитный корпус.

Недостатком такого типа измерительных гидравлических двигателей является их относительная сложность конструкции. Однако такой подход размещения преобразователя перемещения в приводе является интересным вектором развития измерительных систем, в случае, когда необходимо защищать от внешнего воздействия и сам измеритель, и привод; в данном случае силовой гидроцилиндр с устройством для измерения степени выдвижки его штока. Для работы измерителя вышеприведённом примере требуется подведение к гидроцилиндру напряжения питания, что в некоторых условиях, например, в горных машинах, в некоторой степени снижает безопасность ведения работ.

Нами разработан новый метод определения величины выдвижки штока гидроцилиндра, в котором используется измерительный и регистрирующий блоки. Сущность метода заключается в измерении расхода через гидролинию, подводимую к штоковой полости гидроцилиндра. Изменение объема в поршневой полости гидроцилиндра характеризует степень перемещения штока гидроцилиндра и связанного с ним исполнительного органа, а скорость изменения объема гидрожидкости, перемещаемой через сечение трубопровода в единицу времени характеризует скорость движения штока гидроцилиндра или скорость поступательного движения исполнительного органа. В качестве примера применения метода рассмотрим устройство для измерения степени выдвижки штока гидроцилиндра (Рис. 1).

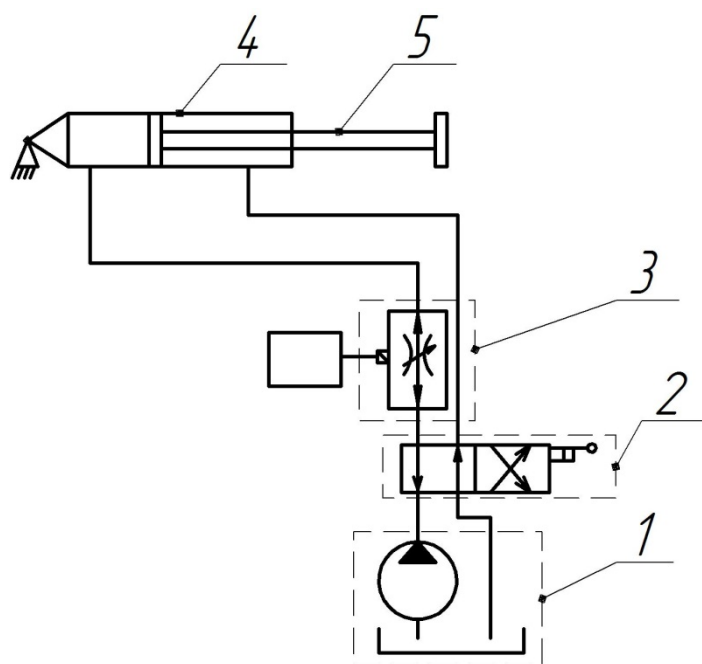


Рис.1. Гидропривод с измерительным расходомером: 1 - масляная станция, 2-золотник управления реверсом гидроцилиндра, 3- реверсивный расходомер, 4- корпус гидроцилиндра, 5 -шток

Измерительным блоком в таком устройстве является расходомер с электрическим выходом, а регистрирующим блоком является стрелочный или цифровой измеритель с аналоговым входом, к которому подключён выход расходомера [3].

Перемещение и степень выдвижки штока гидроцилиндра вычисляется по выражению

$\Delta l = \frac{kV_i}{\pi D^2}$, где Δl - степень выдвижки, V_i - объем гидрожидкости в гидроцилиндре, k - коэффициент гидropотерь, D - диаметр поршня.

При этом потери в гидроцилиндре, учитываются коэффициентом k . Потери при выдвижке штока, компенсируются потерями при его задвижке. Поэтому точность измерений выдвижки штока гидроцилиндра относительно высока и при опытах показала (давление 5 МПа) ошибку 5-8 %.

Аналогичное устройство для измерения частоты вращения гидромотора приведено на рис.2. Устройство обеспечивает измерение как частоты вращения, включая его измерение по времени, так и число оборотов за заданный промежуток времени.

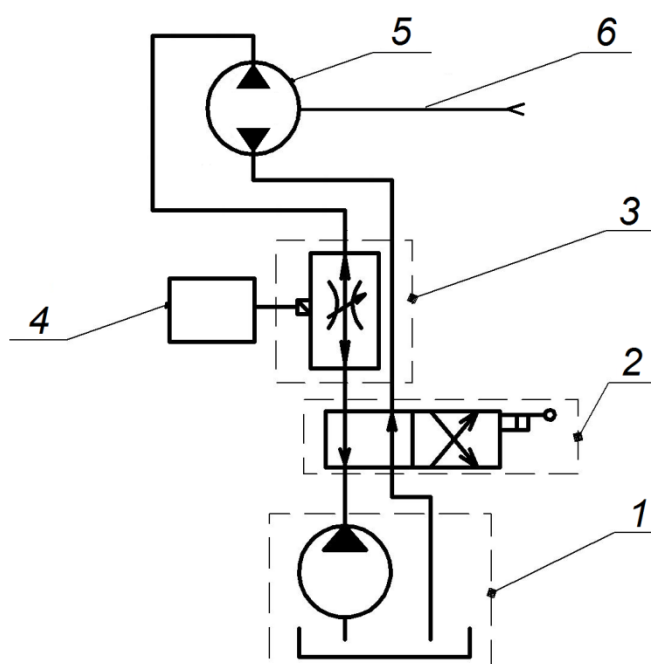


Рис. 2. Схема гидропривода с измерительным расходомером: 1 - маслостанция, 2-золотник управления реверсом гидромотора, 3- реверсивный расходомер, 4- электронный измеритель расхода, реверсивный гидромотор, 6-исполнительный орган (буровая штанга)

Выводы.

1.Предложенный метод измерений обладает рядом достоинств. И прежде всего относительно большой информативностью и простотой.

2. Метод относительно просто может быть интегрирован в автоматизированные системы управления в машиностроении, в станкостроении, в различных машинах и станках с гидроприводом.

Литература

1. Гордин Е.М. Е.М. Основы автоматики и вычислительной техники. / Гордин, Ю.Ш. Митник, В.А. Тарлинский. Москва «Машиностроение», -1978. - 303 с.
2. . Патент РФ №2268237. Домкрат передвижки забойного конвейера с бесконтактным преобразователем перемещения. Оpubл. 20.01.2006, Бюл.2
3. Патент № 193602 (06.11.2019) Устройство для определения величины выдвижки штока гидроцилиндра. Опубликовано:06.11.2019.Бюл. № 31

Method for determining the movement of the executive hydraulic engine parts

Lemeshko M. A.

Institute of service and entrepreneurship (branch) of DSTU. Shakhty, Rostov region, s. Shevchenko, 147

lem-mikhail@ya.ru

Keywords: hydraulic drive, hydraulic motors, Executive body, displacement measurement, flow meter

The article provides information about a relatively new method for measuring the degree of movement of the hydraulic cylinder rod and the speed of movement of the rod, as well as the speed and number of revolutions of the hydraulic motor of rotational action. The method is based on measuring the flow rate, volume of the displaced fluid, and speed of its movement. A brief description of examples of implementation of this method on devices for measuring the degree of movement of the hydraulic cylinder rod and on devices for measuring the speed of rotation of the hydraulic motor shaft is given. In specific machines with hydraulic drive, these measurements can characterize the movement of the Executive body of the machine, both translational and rotational. Hydraulic drive schemes for such measuring devices are given. The influence of leaks in hydraulic engines is shown, and an equation is given for accounting for these leaks. Preliminary tests showed the value of deviations in the readings of the test method, which amounted to 5-8%.

УДК 621.92

Влияние температуры в зоне контакта на глубину дефектного слоя при шлифовании резьбы ходовых винтов качения

Богущий В. Б.^a, Шрон Л. Б.^b, Кривцов А. Н.^c

Севастопольский государственный университет, Университетская 33, Севастополь, Россия

^aboгутskivb@yandex.ru, ^bshronlb@mail.ru, ^c2203@yandex.ru

Ключевые слова: ходовой винт качения, шлифование резьбы, дефектный слой, температурное поле, бесприжоговая обработка, критерии для выбора режимов.

В статье показано, что интенсивность съема металла при финишной обработке высокоточных деталей, как правило, ограничивается стойкостью профиля круга и качеством поверхностного слоя, определяемого главным образом допускаемой глубиной дефектного слоя. Установлено, что глубина дефектного слоя определяется глубиной прогрева металла до температуры структурных превращений, а, следовательно, необходимо знать закономерности распределения температуры в поверхностном слое резьбы в зависимости от режимов и условий шлифования. Выполнен анализ путей уменьшения плотности теплового потока от перехода к переходу и предложено удалять припуск с одинаковой интенсивностью съема металла на всех переходах. Показано, что в настоящее время отсутствуют общие аналитические зависимости для расчета плотности теплового потока при шлифовании резьбы винтов качения с учетом неравномерности глубины резания и длины дуги контакта по профилю круга, а имеющиеся могут быть использованы только в узком диапазоне радиусов профиля резьбы и режимов обработки. Отмечается, что известные критерии выбора режимов бесприжоговой обработки не

позволяют априорно определять область режимов и условий бесприжогового шлифования в зависимости от свойств обрабатываемого материала.

Введение. Интенсивность съема металла при шлифовании резьбы ходовых винтов качения ограничивается стойкостью профиля круга и качеством поверхностного слоя, определяемого главным образом допускаемой глубиной дефектного слоя. Для достижения минимального времени на операцию режимы обработки на каждом переходе должны быть такими, чтобы глубина дефектного слоя равнялась величине оставшегося припуска [1-4 и др.]. Поэтому для построения оптимального по производительности цикла операции шлифования необходимо знать влияние технологических факторов процесса шлифования на глубину дефектного слоя.

Изложение основного материала. Фундаментальными исследованиями отечественных и зарубежных ученых [1, 5-10 и др.] установлено, что главной причиной появления шлифовочных дефектов являются интенсивные тепловые процессы, происходящие в зоне контакта круга с заготовкой. Производственный опыт и работы [10-12] показывают, что при шлифовании резьбы ходовых винтов качения из стали 8ХФ в поверхностном слое появляются дефекты в виде структурных изменений обрабатываемого металла. Глубина дефектного слоя определяется глубиной прогрева металла до температуры структурных превращений. Поэтому для ее нахождения необходимо знать закономерности распределения температуры в поверхностном слое резьбы в зависимости от режимов и условий шлифования. Исследования [1, 6, 8, 13-15] показывают, что температурное поле в поверхностном слое определяется плотностью теплового потока q , поступающего в заготовку из зоны резания, и временем его воздействия τ и зависимости от геометрической формы шлифуемой поверхности. Величины q и τ являются функциями режимов и условий обработки

$$q = k \frac{N}{f} \quad \text{и} \quad \tau = \frac{L}{V},$$

где N – мощность шлифования; F – площадь пятна контакта; k – доля тепла, поступающего в заготовку; L – длина дуги контакта; V – окружная скорость заготовки.

На основе связи между температурой в поверхностном слое и величинами q и τ , можно определить зависимость глубины проникновения температуры структурных превращений от режимов и условий шлифования. Большинство исследований посвящено наиболее распространенным случаям плоского и круглого шлифования.

Исследованию температурных полей и глубины дефектных слоев при шлифовании резьбы полукруглого профиля посвящено несколько работ [2, 3, 16, 17]. Методы расчета температуры в поверхностном слое при шлифовании резьбы полукруглого профиля представлены в табл. 1.

Зависимость $T_n = f(P_z, V_k, t, \alpha)$, установленная в работе [16], позволяет осуществить расчет температуры поверхности резьбы и не предназначена для определения температуры металла в поверхностном слое. Поэтому использовать её для определения глубины дефектного слоя нельзя.

В работе [18] сделано допущение о незначительном влиянии формы профиля резьбы на температурное поле в поверхностном слое. Это позволило для описания температурного поля воспользоваться решением дифференциального уравнения теплопроводности для плоского полосового источника тепла [19, 20, и др.]. Значения интеграла (безразмерной температуры) просчитаны в широком диапазоне изменения основных параметров и приведены в работе [13], что позволяет определить температуру поверхностного слоя. В связи с тем, что данное решение не учитывает влияние радиуса профиля резьбы на величину температуры в поверхностном слое, авторы рекомендуют применять его для небольших значений глубины x от поверхности резьбы. Используемая в работе [3] формула для расчета

температуры не позволяет получить аналитическую зависимость глубины дефектного слоя от безразмерных температуры и полуширины источника тепла, построенных Д.Г. Евсеевым [1], предложена зависимость глубины зоны структурных изменений металла от параметров теплового потока:

$$h_d = \alpha(q - q_0)\tau^\beta, \quad (1)$$

где q_0 – плотность теплового потока, при которой начинают происходить структурные превращения в металле заготовки; α и β – коэффициенты, зависящие от условий шлифования.

Из формулы (1) при условии $h_{di} = \sum_{i+1}^n t_{i+1}$ авторами получено изменение плотности теплового потока на переходах операции:

$$q_{i+1} = q_i - \frac{\tau^{-\beta}}{\alpha} t_{i+1}, \quad (2)$$

где $q_i = k \frac{N_i}{F_i}$ – плотность теплового потока на i -м переходе.

На основании анализа путей уменьшения плотности теплового потока от перехода к переходу в соответствии с формулой (2) авторами предложено простое решение: удалять припуск с одинаковой интенсивностью съема металла на всех переходах, и разработана методика определения глубины резания на каждом переходе. При получении этих результатов сделан ряд допущений:

1) влияние формы профиля резьбы на температуру принято незначительным;
2) в качестве расчетного значения плотности теплового потока принято среднее по площадке контакта, в то время как максимальное значение плотности (по впадине резьбы) в 1,4 раза больше среднего [16];

3) время действия теплового источника $\tau = \frac{2h}{V}$ на всех переходах принято одинаковым, однако в условиях шлифования резьбы значение τ на первых переходах операции почти в 2 раза больше, чем на последних;

4) влияние времени действия источника тепла на величину q_0 не учитывается, тогда как в работах [1, 2] установлено, что оно существенно.

По этим причинам разработка предельного по производительности цикла операции резьбошлифования по методике, разработанной в работе [3], может привести к значительным погрешностям и поэтому должна осуществляться другими методами.

В работе [17] предложено описание температурного поля при шлифовании резьбы с учетом формы её профиля. При этом за основу, так же как и в работе [3], принято описание температурного поля плоского полосового источника, а влияние профиля резьбы учитывается коэффициентом $\frac{r}{r+x}$. С уменьшением радиуса профиля резьбы при прочих

равных условиях температура на глубине x от поверхности снижается, и уменьшается глубина проникновения температура структурных превращений. Это объясняется уменьшением плотности теплового потока за счет увеличения площади сечения, расположенного на расстоянии x от поверхности. Однако использовать предложенную формулу для разработки цикла операции резьбошлифования нельзя, т. к. она не позволяет получить аналитическую зависимость глубины дефектного слоя от параметров теплового потока.

Таблица 1

Методы расчета температурного поля при шлифовании резьбы полукруглого профиля.

	Источник			
	Мубаракшин Р.М. [16]	Ларшин В.П. [3]	Ханжин Н.Н. и др. [17]	Русавский Ю.П. [2]
Тепловая схема шлифования				
Формула для расчета температуры	$T_n = f(P_z, V_k, t, \alpha)$	$\theta = \int_{z-H}^{z+H} \exp(-\xi) \times K_0(\sqrt{X^2 + \xi^2}) d\xi;$	$\theta = \frac{r}{r+x} \int_{z-H}^{z+H} \exp(-\xi) \times K_0(\sqrt{X^2 + \xi^2}) d\xi;$	$T = \frac{q(r+x)}{2\lambda} \times E_i\left(\frac{x^2}{4a\tau}\right);$
Достоинство метода	Определение T_n для любой точки профиля резьбы.	Возможность использования табулированных значений θ и определять среднюю температуру поверхности по профилю.	Учитывает форму профиля резьбы, и возможность использовать табулированные значения θ	Учитывает влияние r резьбы и возможность получить зависимость $h_d = f(V_k, V_u, t)$
Недостатки метода	Не позволяет определить температуру T_n и получить зависимость $h_d = f(V_k, V_u, t)$	Не позволяет учитывать влияние r резьбы и получить зависимость $h_d = f(V_k, V_u, t)$	Не позволяет получить зависимость $h_d = f(V_k, V_u, t)$	Применима для определенного диапазона r , и режимов обработки.
Область применения	Определение T_n и выбор V_k, V_u и t в зависимости от допустимой температуры поверхности	Определение температуры в поверхностном слое на малых глубинах	Определение температуры в поверхностном слое резьбы	Определение температуры в поверхностном слое резьбы и h_d в зависимости от V_k, V_u и t .
Обозначения: T_n – температура поверхности резьбы; θ – безразмерная температура, $\theta = \frac{T\pi\lambda V_k}{2qa}$; T – температура металла на расстоянии x от поверхности; $\xi = \frac{V_k(z-z')}{2a}$; $z = z' - V_k\tau$ – размерная координата в направлении вектора скорости источника тепла, (в зоне контакта $0 \leq z \leq h$), м; z' – дополнительная переменная, м; τ – время, определяющее координату z в квазиустановившемся температурном процессе, с.; h_d – глубина дефектного слоя; P_z – сила резания; V_k – скорость круга; t – глубина резания; V_u – окружная скорость заготовки; q – плотность теплового потока; q_e – интенсивность линейного источника тепла; τ – время действия теплового источника; λ, a – коэффициенты тепло- и температуропроводности металла; K_0 – функция Бесселя второго рода нулевого порядка; X – безразмерная координата ($X = \frac{V_k x}{2a}$, $H = \frac{V_k h}{2a}$, $Z = \frac{V_k z}{2a}$); h – полуширина теплового источника; E_i – интегральная показательная функция.				

В работе [2] получена формула для определения температуры металла на глубине x от шлифуемой поверхности, учитывающая радиус профиля резьбы r . Однако пользоваться данной формулой можно только в определенном диапазоне радиусов профиля резьбы и глубин от поверхности, т. к. при $r \rightarrow \infty$, т. е. при обработке плоских поверхностей, и при $r \rightarrow 0$, температура $T \rightarrow \infty$, а такого быть не может. Диапазон радиусов r и глубин x от поверхности,

в котором предложенная формула имеет приемлемую точность, в работе [2] не определены. Путем математических преобразований автором из формулы для расчета температуры получена зависимость глубины дефектного слоя от параметров теплового потока:

$$h_d = 0,344\sqrt{W} \sqrt{\frac{a \cdot r}{\lambda \cdot T_m}}, \quad (3)$$

где T_m – температура структурных превращений в обрабатываемом металле;

$$W = q \cdot \tau.$$

Зависимость (3) применима только в определенном диапазоне радиусов профиля резьбы и режимов обработки, т. к.:

- 1) при $r \rightarrow \infty$ $h \rightarrow \infty$, а такого быть не может;
- 2) при любом даже минимальном значении W появляется дефектный слой, хотя такое может произойти лишь при $T > T_m$ или при $q > q_0$ [1];
- 3) при $h_d = 0$ формула не позволяет определить режимы бесприжогового шлифования.

Область использования формулы (1.3) автором не указана. В связи с тем, что при шлифовании резьбы особое внимание уделяется обеспечению бесприжоговой обработки ($h_d = 0$), то зависимость (3) для распределения припуска на последних переходах операции использовать нельзя.

Таким образом, формулы для расчета температурного поля при шлифовании резьбы полукруглого профиля, предложенные в работах [3, 17 и др.], не позволяют получить аналитическую зависимость глубины дефектного слоя от параметров теплового потока и радиуса профиля резьбы. Формула, полученная в работе [2], может быть использована для расчета температуры в поверхностном слое только в определенном диапазоне радиусов профиля резьбы и глубин от поверхности. Область применения этой формулы и её точность автором не определены. Известные зависимости глубины дефектного слоя от режимов шлифования (параметров теплового потока) не учитывают формулу обрабатываемой поверхности и поэтому применимы лишь при плоском и круглом шлифовании. Зависимость (3) учитывает форму профиля резьбы, но может быть использована только в определенной области радиусов профиля резьбы и режимов обработки. При распределении припуска между последними переходами операции резьбошлифования зависимость (3) применять нельзя.

Приведенные формулы для расчета температуры в поверхностном слое и толщины зоны структурных превращений позволяют производить оценку влияния параметров теплового потока на теплонпряженность процесса шлифования. Увеличение плотности теплового потока и времени его воздействия приводят к повышению температуры в поверхностном слое и увеличению глубины дефектного слоя. Однако мнения авторов о степени влияния q и τ на глубину дефектного слоя не совпадают. По данным работы [21] глубина дефектного слоя прямо пропорциональна плотности теплового потока и времени его воздействия, т. е. прямо пропорциональна количеству тепла, поступающему через единицу площади пятна контакта, а по данным работы [2] – прямо пропорциональна $\sqrt{q \cdot \tau}$. Мнения о степени влияния радиуса профиля резьбы на тепловое состояние поверхностного слоя также не совпадают. В работах [21, 22] влияние радиуса не учитывается. В работе [17] авторы считают, что радиус профиля резьбы оказывает влияние на глубинные температуры и не влияет на температуру поверхности, а в работе [2] зависимость температуры в поверхностном слое резьбы принимается прямо пропорциональной радиусу профиля, а зависимость глубины дефектного слоя – прямо пропорциональной $\sqrt{r}$.

Плотность теплового потока и время его действия на поверхность заготовки зависят от режимов и условий шлифования: глубины резания t и окружной скорости заготовки V_u , скорости круга V_k и его характеристики, свойств СОТС и способа её подачи в зону обработки. Исследованию влияния этих факторов на мощность шлифования, и, следовательно, и на плотность теплового потока, посвящено много работ [3, 22, 22-25, и др.],

результаты которых позволяют выразить влияние рассматриваемых факторов с помощью следующей зависимости:

$$q = C_q t^x V_u^y V_k^z$$

где C_q – коэффициент, характеризующий совокупное влияние свойств материала заготовки, круга, СОТС и способа ее подачи в зону резания.

Неравномерность глубины резания и длины дуги контакта по профилю круга обуславливает переменность плотности теплового потока и времени его воздействия по профилю резьбы. Исследованию характеру изменения плотности теплового потока по профилю резьбы посвящена работа [16]. Полученные в ней результаты могут быть использованы лишь на операции чистового шлифования при симметричном расположении припуска по профилю круга. На практике на одной из боковых сторон профиля круга из-за погрешностей шага резьбы и неточности установки круга в канавку резьбы удаляемый слой металла больше, чем на другой. Это может привести к дефектам на поверхности резьбы.

При шлифовании резьбы ходовых винтов качения малый припуск на чистовые операции и особенности поведения заготовок в процессе обработки (осевые и радиальные деформации) обуславливают необходимость в предотвращении дефектов в поверхностном слое уже на предварительных операциях. В ряде работ, посвященных исследованию процесса шлифования, предложены критерии для выбора режимов бесприжоговой обработки: максимально допустимая глубина резания, скорость бесприжогового шлифования, удельная мощность, величина бесприжоговой подачи [8, 26-30 и др.].

Перечисленные критерии применимы в конкретных условиях производства. При изменении режимов и условий обработки значение критерия бесприжогового шлифования изменяются. В связи с этим разрабатываются такие характеристики, которые не зависели бы от режимов и условий шлифования и были единственными для каждого обрабатываемого материала.

В работах [3, 13, 32] в качестве такого критерия предложена величина плотности теплового потока q_0 , при которой начинают происходить структурные превращения в шлифуемом металле. Зная зависимость плотности теплового потока, поступающего в заготовку из зоны резания, от режимов, можно найти область режимов бесприжогового шлифования. Однако исследования, проведенные в работах [7, 8, 14, 19, 33, 34 и др.], показали, что зависимость температуры поверхности от параметров теплового потока имеет следующий вид:

$$T_n = C_t q \sqrt{\tau},$$

где C_t – коэффициент, зависящий от теплофизических свойств материала заготовки.

Известно, что структурные превращения в металле начинают происходить при его нагреве до определенной температуры T_c . С учетом этого преобразуем приведенную выше формулу:

$$q_0 = \frac{T_c}{C_t \sqrt{\tau}}$$

Отсюда следует, что предложенный критерий q_0 зависит от времени действия теплового источника, т. е. от глубины резания и окружной скорости заготовки. Поэтому данным критерием можно пользоваться в конкретных условиях шлифования.

В работах [2, 21-23] в качестве технологического параметра, определяющего глубину зоны структурных превращений, принята удельная поверхностная энергия шлифования W , равная количеству тепла, поступающему в заготовку через единицу площади поверхности за время действия источника тепла, т. е. $W = q \cdot \tau$. Данный параметр не учитывает скорость отвода тепла вглубь заготовки. Поэтому его можно применять только при не изменяющихся условиях обработки.

Выводы:

Проведенный анализ показывает, что интенсивность съема металла при шлифовании резьбы ходовых винтов качения ограничивается допускаемой глубиной дефектного слоя, которая определяется глубиной прогрева металла до температуры структурных превращений. Имеющиеся зависимости для расчета температур в поверхностном слое резьбы не позволяют получить аналитическую зависимость глубины дефектного слоя от параметров теплового потока и радиуса профиля резьбы, или могут быть использованы только в узком диапазоне радиусов профиля резьбы и режимов обработки.

Зависимости для расчета плотности теплового потока при шлифовании резьбы с учетом неравномерности глубины резания и длины дуги контакта по профилю круга отсутствуют, а известные критерии выбора режимов бесприжоговой обработки не позволяют априорно определять область режимов и условий бесприжогового шлифования в зависимости от свойств обрабатываемого материала, и применимы в конкретных условиях обработки.

Литература:

21. Евсеев Д.Г. Формирование свойств поверхностных слоев при абразивной обработке. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1975. 127 с.
22. Русавский Ю.П. Исследование тепловых явлений при резьбошлифовании и разработка технологических предпосылок для управления качеством поверхностного слоя резьбы ходовых винтов. Дисс. канд. техн. наук. Одесса, 1983. 216 с.
23. Ларшин В.П., Дьячкова Е.А., Ларшина А.В. Бесприжоговое шлифование резьбы ходовых винтов // Труды Одесского политехнического университета. 2008. № 1. С. 81-85.
24. Malkin S., Guo C. Grinding technology. Theory and applications of machining with abrasives. Industrial press Publ.. 2008. 372 p.
25. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974. 320 с.
26. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 175 с.
27. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М.: Машиностроение, 1974. 280 с.
28. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. М.: Машиностроение, 1981. 279 с.
29. Jackson M.J., Davim J.P. Machining with abrasives. Springer Publ.. 2011. 432 p.
30. Русавский Ю.П., Соболева Н.В., Шкапенюк М.Б. Технология производства шариковых передач винт-гайка качения. М.: Машиностроение, 1985. 128 с.
31. Акимов В.Л., Шпотаковский Д.Ф., Орлова В.А. Шлифование ходовых винтов пар качения. //Абразивы. 1974. №2. С. 23-26.
32. Якимов А.В., Ларшин В.П., Русавский Ю.П. Оптимальное распределение припуска шлифования резьбы ходовых винтов.// Сб. Прогрессивная технология формообразования и контроля резьбы. Тула, 1980. С. 10-11.
33. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. М.: Машиностроение, 1978. 167 с.
34. Marinescu I.D., Rowe W.B., Dimitrov B., Inasaki I. Tribology of abrasive machining processes. Cover Art Publ.. 2012. 600 p.
35. Сизый Ю.А., Фесенко А.В., Любимый Ю.Н. Накопление тепла в поверхностном слое детали в цикле врезного шлифования // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. Вып. 7 (61). Т.1. С. 61–63.
36. Мубаракшин Р.М. Исследование процесса и разработка методов повышения качества и производительности профильного шлифования. Дисс. канд. техн. наук. Одесса, 1978. 239 с.
37. Ханжин Н.Н., Потемкин В.И., Самусев В.Г. Температурное поле при шлифовании резьбы полукруглого профиля. // Сб. Управление качеством в механосборочном производстве. Пермь: изд-во ППИ, 1973. С. 88-91.
38. Abbas A. A general algorithm for profiling and dressing of complicated shape grinding wheel // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2004. Vol. 20(4). P. 313-327 DOI: 10.1016/j.rcim.2003.11.003.
39. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М.: Наука, 1964. 487с.

40. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967, 600с.
41. Якимов А.В., Паршаков А.Н., Свирщев В.И., Ларшин В.П. Управление процессом шлифования. Киев: Техника, 1983. 184с.
42. Сипайлов В.А., Рахматулин Г.Г., Якимов А.В., Ханжин Н.Н. Расчет температур при резбошлифовании // Повышение надежности и долговечности машин: сб. науч. трудов. 1969. № 40. Пермь: ППИ. С. 64–74.
43. Сизый Ю.А., Сталинский Д.В., Пирогов А.Ю. Теплофизика резания единичным абразивным зерном. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий 2008. Vol. 1. С. 79-89. DOI: 10.0000/cyberleninka.ru/article/n/teplofizika-rezaniya-edinichnym-abrazivnym-zernom.
44. Киселев Е.С., Ковальногов В.Н. Теплофизический анализ концентрированных операций шлифования. Ульяновск: УлГТУ, 2002. 139 с.
45. Ortega N., Bravo H., Pombo I, Sánchez J.A. Vidal G. Thermal analysis of creep feed grinding // Procedia Engineering. 2015 Vol. 132. P. 1061-1068.
46. Калинин Е.П. Теория и практика управления производительностью шлифования без прижогов с учетом затупления инструмента. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. 358 с.
47. Богуцкий В.Б., Шрон Л.Б., Новосёлов Ю.К. Особенности управления качеством при шлифовании поверхностей, расположенных под углом к оси детали // Вестник современных технологий. 2018. № 1 (9). С. 18-24.
48. Новоселов Ю.К., Богуцкий В.Б. Оценка степени влияния отдельных режимов резания на показатели процесса шлифования.// Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2019. Т. 5. № 3. С. 69-76.
49. Rowe Brian W. Principles of modern grinding technology. Applied Science Publ. 2009. 421 p.
50. Bell A., Jin T., Stephenson D.J. Burn threshold prediction for high efficiency deep grinding // International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2011. Vol. 51(6). P. 433-438. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2011.01.006.
51. Якимов А.В., Ларшин В.П., Русавский Ю.П. Оптимальное распределение припуска шлифования резьбы ходовых винтов. // В сб.: Прогрессивная технология формообразования и контроля резьбы. Тула, 1980. С. 10-11.
52. Dyakonov A.A., Shmidt I.V. Thermal physics mathematical modeling of cycle cylindrical grinding with radial feed // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. «WCECS 2015». 2015. P. 880-883.
53. Редько С.Г. Процессы теплообразования при шлифовании металлов. Саратов: изд-во СГУ, 1967. 215с.
54. Natarajan A., Palaniradja K., Soundararajan V. Heat generation and heat transfer in cylindrical grinding process - A numerical study // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2007. Vol. 34(5). P. 474-482. DOI: 10.1007/s00170-006-0619-y.

Influence of temperature in the contact zone on the depth of the defective layer when grinding the threads of the rolling screws

Bogutsky V. B.^a, SHron L. B.,^b, Krivcov A. N.^c

Sevastopol State University, University st., 33, Sevastopol, 222053, Russian Federation

^abogutskivb@yandex.ru, ^bshronlb@mail.ru, ^c2203@yandex.ru

Keywords: rolling lead screw, thread grinding, defective layer, temperature field, non-burnishing treatment, criteria for selecting conditions.

In the article shows, that the intensity of metal removal when finishing high-precision parts, as a rule, is limited by the stability of the circle profile and the quality of the surface layer, determined mainly by the permissible depth of the defective layer. It is established that the depth of the defective layer is determined by the depth of heating of the metal to the temperature of structural transformations, and, therefore, it is necessary to know the laws of temperature distribution in the surface layer of the thread, depending on the modes and conditions of grinding. Completed the analysis of ways to reduce the heat flux density from transition to transition is

performed and it is proposed to remove the allowance with the same intensity of metal removal at all transitions. It is shown that at present no General analytical expressions for calculating the heat flux in grinding thread rolling screws taking into account the uneven depth of cut and length of arc of contact on the profile of the circle as available can be used only in a narrow range of radii of the thread profile and modes of treatment. It is noted that the known criteria for selecting non-burnishing treatment modes do not allow a priori to determine the area of modes and conditions of non-burnishing grinding depending on the properties of the processed material.

УДК 62-50

Обзор существующих методов контроля теплоэнергетических характеристик бытовых холодильников

Шуринова Д. А.^{1,a}, Коваленко А. Н.^{2,b}, Суворов А. Г.^{2,c}, Мурыгин А. В.^{4,d}

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнёва, пр. Красноярский рабочий 31, Красноярск, Россия

² ОАО КЗХ «БИРЮСА» Красноярский завод холодильников, пр. Красноярский рабочий 29, Красноярск, Россия

^a dasha.shurinova@yandex.ru, ^b snowcap@mail.ru, ^c suvorov-ag@yandex.ru, ^d avm514@mail.ru

Ключевые слова: холодильник, приёмо-сдаточные испытания, диагностика, теплоэнергетические характеристики.

В статье раскрыты способы проведения приёмо-сдаточных испытаний холодильных аппаратов, применяемые крупнейшими в мире производителями холодильной техники. Описаны преимущества и недостатки каждого из существующих методов, аргументирован выбор наиболее удобной методики проверки соответствия стандарту. Также в работе представлены требования, которым должны соответствовать холодильники при прохождении испытаний, указаны диапазоны значений параметров, в которые обязательно должны входить получаемые при испытаниях характеристики. По закону производитель обязан обеспечить соответствие параметров заданным значениям, при этом методику проверки производитель в праве выбирать самостоятельно. Данный тип испытания проходят все модели и все экземпляры без исключения, в отличие от остальных видов испытаний. Для прохождения приёмо-сдаточных испытаний прибор не входит в установившийся режим, на соответствие стандарту проверяется температура в холодильном и морозильном отделениях и теплоэнергетические характеристики прибора.

Данная статья посвящена рассмотрению существующих методов контроля бытовых холодильников на соответствие параметрам, указанным в ГОСТ 16317-87[1]. Также в статье будут описаны способы реализации методов контроля на современных заводах-изготовителях холодильников, отмечены особенности, связанные с реализацией этих методов, сделана их сравнительная оценка и определены цели, достижение которых обеспечит создание новой, прогрессивной методики контроля теплоэнергетических параметров бытовых холодильников.

Выпускаемое заводом изделие должно соответствовать установленным законом нормам и требованиям к качеству процесса охлаждения и холодильному агрегату в соответствии с ГОСТ 16317-87 [2]. В этом стандарте приведены значения температур для одно- и двухкамерных холодильников. Приведены значения расхода электроэнергии в зависимости от объема холодильника. Описан порядок измерения этих параметров,

требования к режиму работы холодильника. В соответствии с этим стандартом, приёмосдаточные испытания должен проходить каждый холодильник. Он проверяется на соответствие образцу-эталону и должен соответствовать следующему перечню требований:

А) Температура в холодильном отделении прибора в зависимости от класса холодильника (приложение 1) должна соответствовать значениям, указанным в следующей таблице:

Таблица 1.

Значения минимальных температур соответствия прибора нормам.

Обозначения класса холодильников	Значения температуры окружающей среды при эксплуатации	Температура в холодильной камере	Средняя температура в холодильной камере, не выше
SN	От 10 до 32	$-1 \leq T_1, T_2, T_3 \leq 10$	5
N	" 16 " 32	$-1 \leq T_1, T_2, T_3 \leq 10$	5
ST	" 18 " 38	$0 \leq T_1, T_2, T_3 \leq 12$	7
T	" 18 " 43	$0 \leq T_1, T_2, T_3 \leq 12$	7

Температура в НТО не должна быть выше, чем -6°C , -12°C или -18°C в зависимости от типа прибора, в НТК (низкотемпературной камере) и МК (морозильной камере) не выше -18°C . В холодильной камере ни в одной из трёх точек не должна выходить за пределы, указанные в таблице 1. Компрессионные холодильники в установившемся режиме должны работать циклично с КРВ (коэффициентом рабочего времени) не более 0.9.

Б) Проверка на прилегание уплотнителя к двери. Уплотнитель двери холодильного прибора при закрытой двери должен прилегать к корпусу шкафа по всему периметру. [1]

В) Регламентирована сила, которую необходимо приложить к дверце прибора для его открытия: 5-70 Н, также должна быть предусмотрена возможность открывания двери изнутри с приложением такой же по величине силы. [1]

Г) Проверка наличия освещения в холодильниках и холодильных камерах холодильников-морозильников общим (брутто) объёмом более 100 дм^3 . Осветительный элемент должен включаться по открытию и выключаться по закрытию прибора.

Д) Расход электроэнергии за день и удельная масса холодильного оборудования климатического исполнения УХЛ 4.2 класса N должна соответствовать следующим параметрам:

Для компрессионных однокамерных холодильников без НТО:

Таблица 2.

Значения удельного суточного расхода электроэнергии для компрессорных однокамерных холодильников без НТО.

Наименование параметра	Значения параметров для холодильников общим объёмом, дм		
	140	180	220
Удельный суточный расход электроэнергии, $10 \text{ кВт} \cdot \text{ч/дм}$, не более	0,42	0,38	0,32
Удельная масса, $10 \text{ кг/(дм}^3 \cdot \text{лет)}$, не более: Рекомендуемая 0,22		0,20	0,18

Для компрессионных однокамерных холодильников с НТО и с температурой хранения замороженных продуктов не выше -12 (Для холодильников с температурой хранения замороженных продуктов не выше минус 18°C норму удельного расхода электроэнергии увеличивают в 1,2 раза.):

Таблица 3.

Значения удельного суточного расхода электроэнергии для компрессорных однокамерных холодильников с НТО.

Наименование параметра	Значения параметров для холодильников общим объемом, дм								
	120	140	180	200	220	240	260	280	300 и св.
Удельный суточный расход электроэнергии, 10 кВт·ч/дм ³ , не более	0,52	0,49	0,43	0,39	0,35	0,33	0,32	0,30	0,28
Удельная масса, 10 кг/(дм ³ ·лет), не более: рекомендуемая	0,29	0,26	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16

Для компрессионных двухкамерных холодильников с температурой хранения замороженных продуктов не выше минус 18 °С:

Таблица 4.

Значения удельного суточного расхода электроэнергии для компрессорных двухкамерных холодильников.

Наименование параметра	Значения параметров для холодильников общим объемом, дм			
	до 250	300	350	св.350
Удельный суточный расход электроэнергии, 10 кВт·ч/дм ³ , не более	0,36	0,34	0,32	0,30
Удельная масса, 10 кг/(дм ³ ·лет), не более: рекомендуемая	0,22	0,20	0,19	0,18

Обязательные для исполнения требования к проверке холодильников:

- температура окружающего воздуха от 16 до 32 °С;
- относительная влажность воздуха от 45 до 75%;
- напряжение электрической сети (220±4,4) В; (кроме экземпляров, предназначенных для экспорта);
- частота (50±1) Гц.

Методы испытаний на соответствие электроприборов заданным параметрам, обеспечивающих безопасность их применения, приведены в ГОСТ 14087. В этом стандарте описаны требования к испытаниям параметров продукции, таких как сопротивление заземления контроль тока утечки, метод определения вероятности возникновения пожара.

Значение достигаемой температуры приведены в стандарте для холодильника, работающего в установившемся режиме, который наступает через значительный промежуток времени после включения холодильника. Расход электроэнергии приведен в стандарте для холодильника, проработавшего 24 часа в установившемся режиме. При окружающей

температуре 28-32 градуса, установившийся режим может наступить через 1,5-2,5 часов работы холодильника. Так как такт выпуска холодильников с конвейера составляет 15-25 секунд, ни один крупный завод-изготовитель не имеет ресурсов для контроля теплоэнергетических параметров каждого холодильника, работающего в установившемся режиме. Тем не менее, в соответствии со стандартом, каждый холодильник должен пройти процедуру контроля, гарантирующую достижение параметров в соответствии с ГОСТ 16317-87. В п 4.2 этого же стандарта, допускается контроль теплоэнергетических параметров холодильников выполнять по методике завода изготовителя. Таким образом, каждый завод разрабатывает свою сокращенную методику контроля. Методика завода рассчитана на короткое время работы холодильника, без достижения установившегося режима, но при этом она гарантирует достижение гостовских значений при установившемся режиме работы холодильника. Далее будут рассмотрены 3 способа контроля теплоэнергетических параметров при серийном выпуске бытовых холодильников.

1-й способ.



а)



б)

Рис. 1. Испытательная станция стационарная.

Холодильники загружают партией по 20-30 штук на отдельные конвейеры-накопители. На накопителе холодильник остается неподвижным в течение всего времени испытаний. Время испытания зависит от модели холодильника, обычно оно лежит в пределах 20-40 минут. Контролер-испытатель подходит к каждому холодильнику и

подключает его к эл. сети напряжением 220 вольт через розетку, подключенную к коммутируемому ваттметру или отдельному электросчетчику. В каждый холодильник контролер закладывает датчики температуры. Информация о температурах и расходе электроэнергии каждого холодильника поступает на контрольный пункт - рабочее место контролера. По окончании заданного времени контролер сравнивает теплоэнергетические параметры холодильника с табличными значениями, приведенными в методике испытаний, составленной для каждой модели холодильника в зависимости от окружающей температуры. Заполняет бланки о браке для холодильников, имеющих отклонение от табличных параметров, снова проходит вдоль накопителя и отключает холодильники от электропитания, вынимает датчики температуры, прикрепляет акты о браке к соответствующим экземплярам продукции и перезагружает накопитель следующей партией.

Недостатком такого способа контроля теплоэнергетических параметров является необходимость наличия большого количества конвейеров - накопителей и, как следствие, больших производственных площадей, отведенных под испытание продукции. Большой штат контролеров-испытателей необходим из-за большой трудоемкости проведения испытаний.

2-ой способ.



Рис. 2. Испытательная станция конвейерная.



Рис. 3. Контролёр с пирометром, определяющим температуру в холодильной камере.

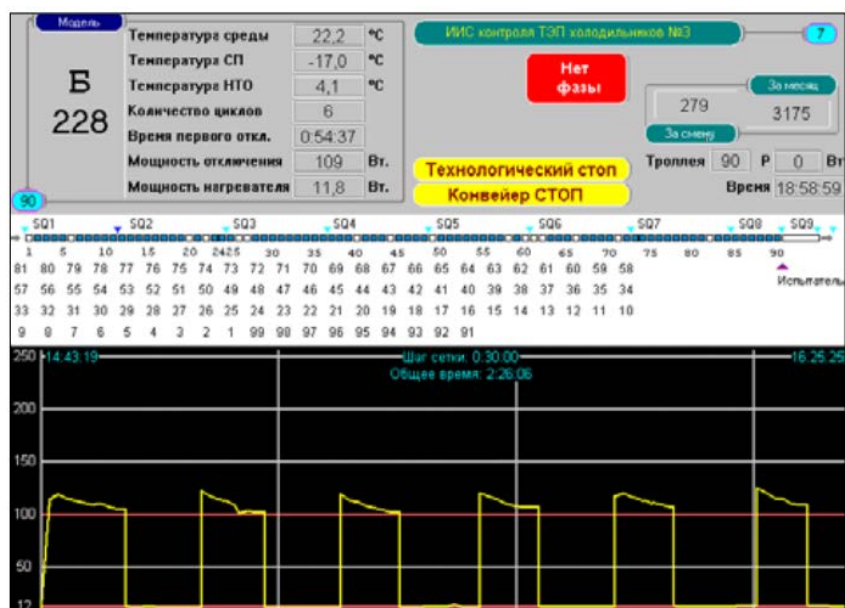


Рис. 4. График изменения теплоэнергетических параметров холодильника.

Холодильники испытывают в движении по конвейеру испытательной станции, скорость которого равна скорости производственного конвейера. В начале конвейера испытательной станции контролер-испытатель подключает холодильники к электросети через розетки, движущиеся со скоростью конвейера. Конструкция подвижных розеток особая. Благодаря такой конструкции информационно-измерительный комплекс испытательной станции на движущемся конвейере производит постоянное измерение потребляемой мощности каждого холодильника. [3] Холодильник движется по конвейеру испытательной станции в течение 25 минут, в соответствии с методикой испытаний. На выходе конвейера второй контролер открывает дверь холодильника и производит измерение температуры внутреннего шкафа в определенном месте с помощью пирометра. Затем контролер отключает шнур питания холодильника от розетки. Информационно измерительный комплекс:

- определяет модель изделия с помощью установленного на конвейере штрих-кодového сканера;
- измеряет температуру окружающего воздуха;
- обрабатывает график потребляемой мощности компрессора и показания пирометра в соответствии с методикой испытаний и выводит на монитор заключение о годности продукции. При обнаружении брака на принтер выводится распечатка параметров холодильника с отметкой отклонений от заданных методикой.

При реализации контроля теплоэнергетических параметров холодильников вторым способом, по отношению к первому, требуется в 3-4 раза меньшая производственная площадь и всего два контролера-испытателя. Причем контролёры работают, оставаясь на одном месте, их труд становится менее напряженным.

3-й способ.

Методика испытаний рассчитана на 9 минут. Холодильники испытывают в движении по конвейеру испытательной станции, скорость которого равна скорости производственного конвейера. Подключение холодильника к электросети, измерение мощности и отсоединение шнура питания от розетки, происходит так же, как во втором способе контроля. Вместо открывания двери и контроля температуры охлаждения внутри холодильника, контролируется нагрев конденсатора холодильного агрегата, расположенного на задней стенке холодильника. Измерение окружающей температуры и температуры конденсатора производятся тепловизором. Информационно измерительный комплекс испытательной станции получает данные по температуре конденсатора, потребляемой электрической мощности компрессора, окружающей температуре и модели холодильника, производит

сравнение измеренных параметров с заданными в соответствии с методикой испытаний. Заключение о годности холодильника выводится на дисплей контролера, при браке, для идентификации холодильника, распечатка параметров выводится на принтер. Контролер закрепляет распечатку на корпусе холодильника. Забракованный холодильник поступает на ремонтный участок

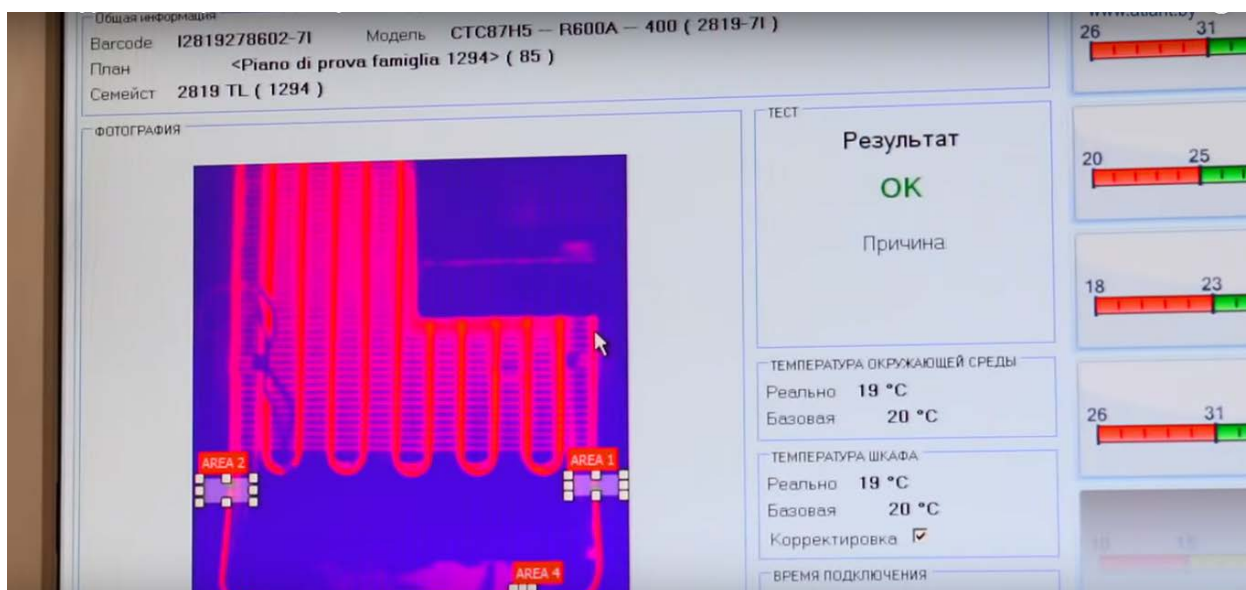


Рис. 4. Проверка температуры конденсатора тепловизором.

Для 3-го способа контроля теплоэнергетических параметров холодильника очень критично отклонение от времени испытания даже на 20 секунд, потому что температура конденсатора быстро изменяется и не соответствует данным методики. Поэтому после конвейера испытательной станции нужно иметь конвейер-накопитель, на который холодильники перегружаются после 9-ти минутных испытаний при остановке производственного конвейера. Поэтому необходимая для испытаний производственная площадь незначительно меньше по сравнению с предыдущим методом испытаний. Труд контролера облегчен максимально. Контролер следит за работой оборудования, не производит ни одного измерения, вручную производит только подключение холодильника к электросети. Это самый прогрессивный способ контроля на сегодняшний день, несмотря на присущие ему ограничения

Для всех способов контроля есть общее требование - перед контролем теплоэнергетических параметров холодильника, температура его корпуса и компрессора должны быть равны окружающей температуре. Это требование трудно выполнить при срочном изготовлении дефицитных моделей, потому что после заполнения корпуса и двери холодильника теплоизоляционной пеной, её температура составляет более 50 градусов. Если такой корпус холодильника сразу, минуя накопитель, подать на сборочный конвейер, то через 1,5 часа он поступит на испытательную станцию с повышенной температурой внутри.

Таким образом, идеальным можно считать способ контроля, соответствующий последнему, но допускающий отклонения по времени испытаний и начальной температуре внутреннего шкафа холодильника. Разработке информационно измерительного комплекса и методике испытаний для такого способа контроля теплоэнергетических характеристик холодильников при приёмо-сдаточных испытаниях будут посвящены следующие работы.

Приложение 1.

По способности работать при максимальных температурах окружающей среды холодильные приборы подразделяют на классы:

холодильники:

SN, N - не выше 32 °C;

ST - не выше 38 °С;
Т - не выше 43 °С;
морозильники и холодильники-морозильники:
N - не выше 32 °С;
Т - не выше 43 °С.

Литература:

1. ГОСТ 16317-87 Приборы холодильные электрические бытовые. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3)
2. ГОСТ 14087 – 88 . Электроприборы бытовые. Общие технические требования
3. Электронный ресурс: URL: <https://atlant.by/about/> (дата обращения: 10.03.2020).

Overview of existing methods for monitoring the heat and power characteristics of household refrigerators.

Shurinova D. A. ^{1,a}, Kovalenko A. N. ^{2,b}, Suvorov A. G. ^{2,c}, Myrugin A. V. ^{4,d}

¹ Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, 31 Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, Russia

² «BIRYUSA» Krasnoyarsk Refrigerator Plant, 29 Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, Russia^a
dasha.shurinova@yandex.ru, ^b snowcap@mail.ru, ^c suvorov-ag@yandex.ru, ^d avm514@mail.ru

Keywords: refrigerator, acceptance tests, diagnostics, heat and power characteristics.

The article discloses methods for testing of refrigeration equipment. The advantages and disadvantages of each of the existing methods are described, the choice of the most convenient methodology for checking compliance with the standard is argued. The given ranges of parameter values, which must necessarily correspond to the characteristics obtained during testing. According to the law, the manufacturer is obliged to ensure that the parameters meet the specified values, while the manufacturer chooses the verification methodology on his own. Unlike other types of tests. In order to conduct tests under test conditions conducted in accordance with accepted standards, the temperature in the refrigerator and freezer compartments and the heat and power characteristics of the device are checked in accordance with the standard.

УДК 62-50

**Онлайн диагностика состояния производственных линий на базе
промышленных контроллеров**

Шуринова Д. А. ^{1,a}, Коваленко А. Н. ^{2,b}, Суворов А. Г. ^{2,c}, Мурыгин А. В. ^{1,d}

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнёва, пр. Красноярский рабочий 31, Красноярск, Россия

² ОАО КЗХ «БИРЮСА» Красноярский завод холодильников, пр. Красноярский рабочий 29, Красноярск, Россия

^a dasha.shurinova@yandex.ru, ^b snowcap@mail.ru, ^c suvorov-ag@yandex.ru,

^d avm514@mail.ru

Ключевые слова: диагностика, анализ, сбор данных, увеличение производительности, SCADA система.

В статье раскрыты результаты анализа полученных данных о производительности промышленного предприятия по производству холодильников. Также описаны способы сбора данных для составления существующей статистики, способы их обработки, передачи, составление графиков по полученным данным. Приведён анализ существующей системы производства и описаны пути повышения производительности. Приведена количественная сравнительная характеристика производительности различных единиц оборудования. Указана проблема недостаточной производительности существующих линий и приведено решение данной проблемы посредством оптимизации рабочего процесса. Также приведены статистические материалы по производительности отдельных единиц оборудования и их сравнение с производительностью их аналогов, выполняющих подобные функции в прошлом десятилетии. Для некоторых процессов приведены графики мощности, характеризующие энергетические параметры существующих систем и единиц оборудования.

При запуске на «ОАО Красноярском заводе холодильников «Бирюса» в производство нового модельного ряда холодильников (600мм.) на производстве начинает ощущаться острая нехватка рабочих площадей и мощностей технологических линий, так как предыдущий модельный ряд (570 мм.) продолжает производиться. Данная ситуация вызывает острую необходимость в увеличении производительности труда рабочих на участках и технологических линиях.

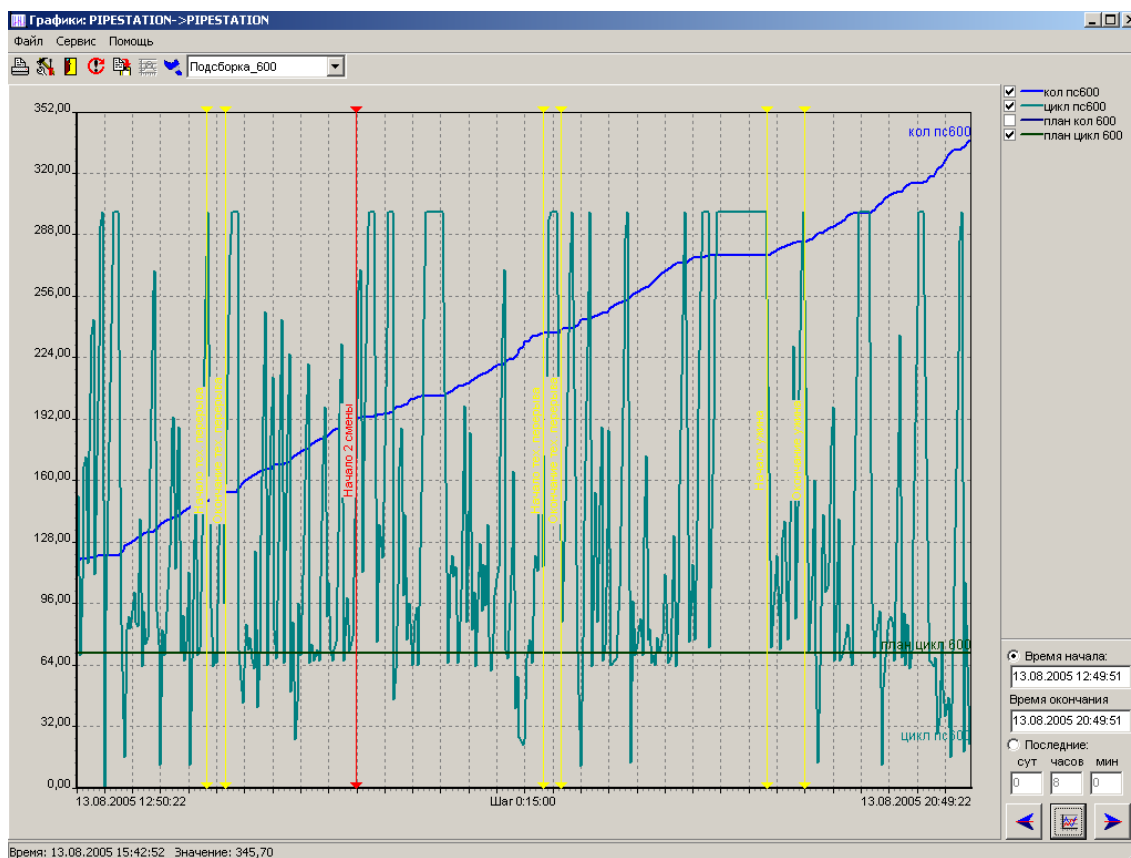


Рис. 1. Работа не оптимизированного процесса. (2005 г.)

Для оптимизации рабочего процесса необходимо составить статистику по загрузке технологических линий оборудования, характеризуемую коэффициентом рабочего времени (КРВ). То есть проанализировать, как долго оборудование находилось в работе за сутки и

посменно, как оно работает в течение смены, месяца.[1] Для проведения точного анализа необходимо было выделить признаки работы производственной линии. Производство холодильного оборудования относится к конвейерному производству, характерными чертами которого является разделение рабочего пространства на технологические линии и участки, способные работать как в последовательном режиме, так и параллельном. У каждой сборочной линии есть условные «вход», на котором потребляется комплектация, и «выход», на котором получают детали, под сборки и готовая продукция. Признаком нахождения линии в рабочем режиме является наличие на выходе линии готовой продукции, индикатором выпуска продукции ставим дискретный датчик [2], считывающий количество выходных изделий. Количество выпускаемой продукции при помощи контроллера и SCADA [3] системы попадает в общую базу данных (БД).

Строим график количества произведённых холодильников от времени (Рис.1), сбрасываем счётчик изделий каждый раз в начале смены, получая, таким образом, первичные данные о производственных мощностях без привязки к номенклатуре производимой продукции. (Рис.1). Интервал сбора данных для графиков - 60 сек.

При помощи программы в контроллере [4] мы можем наблюдать за временем, проходящим между изделиями (от среза до среза входных импульсов), назовём это тактом линии. Чем меньше такт, тем выше производительность линии.

Полученная характеристика работы линии говорит о сильной неритмичности работы. Очень много простоев (пики до 300 секунд). Плановый такт (черный график) очень далек от реального такта (зеленый график).

ВРЕМЯ	ОПИСАНИЕ МАРКЕРА
15.08.2005 12:57:55	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:55:56	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 12:54:15	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:50:21	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 12:50:10	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:47:06	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 12:44:10	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:42:07	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 12:41:56	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:37:37	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 12:37:01	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:30:24	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 12:29:30	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:05:50	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 12:05:46	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 12:00:58	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 11:58:51	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 11:56:49	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 11:55:55	Останов на подборке 600мм
15.08.2005 11:51:28	Работа на подборке 600мм
15.08.2005 11:50:20	Останов на подборке 600мм

Рис. 2. Временная характеристика работы производства.

За простой считаем состояние, когда на выходе не наблюдается изделий в течение времени более, чем 300 сек., реализуем это при помощи анализа счётчика в контроллере. По этим данным строим диаграмму времени работы.

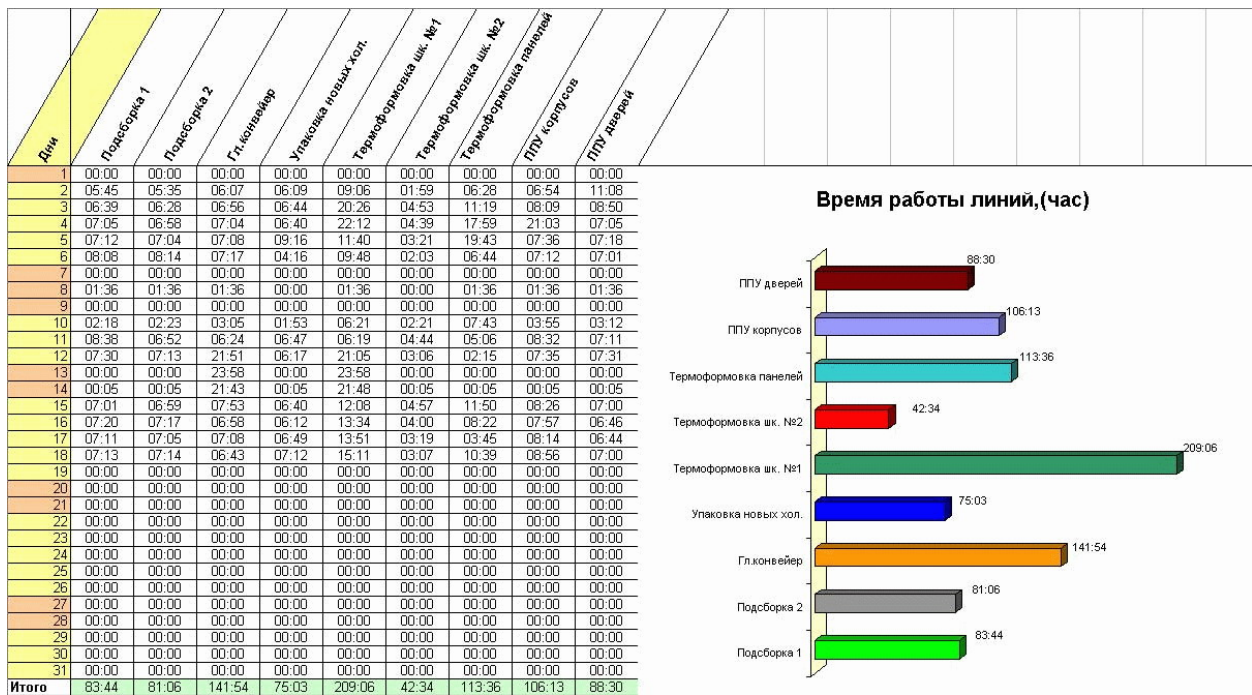


Рис. 3. Анализ рабочего времени технологических участков.

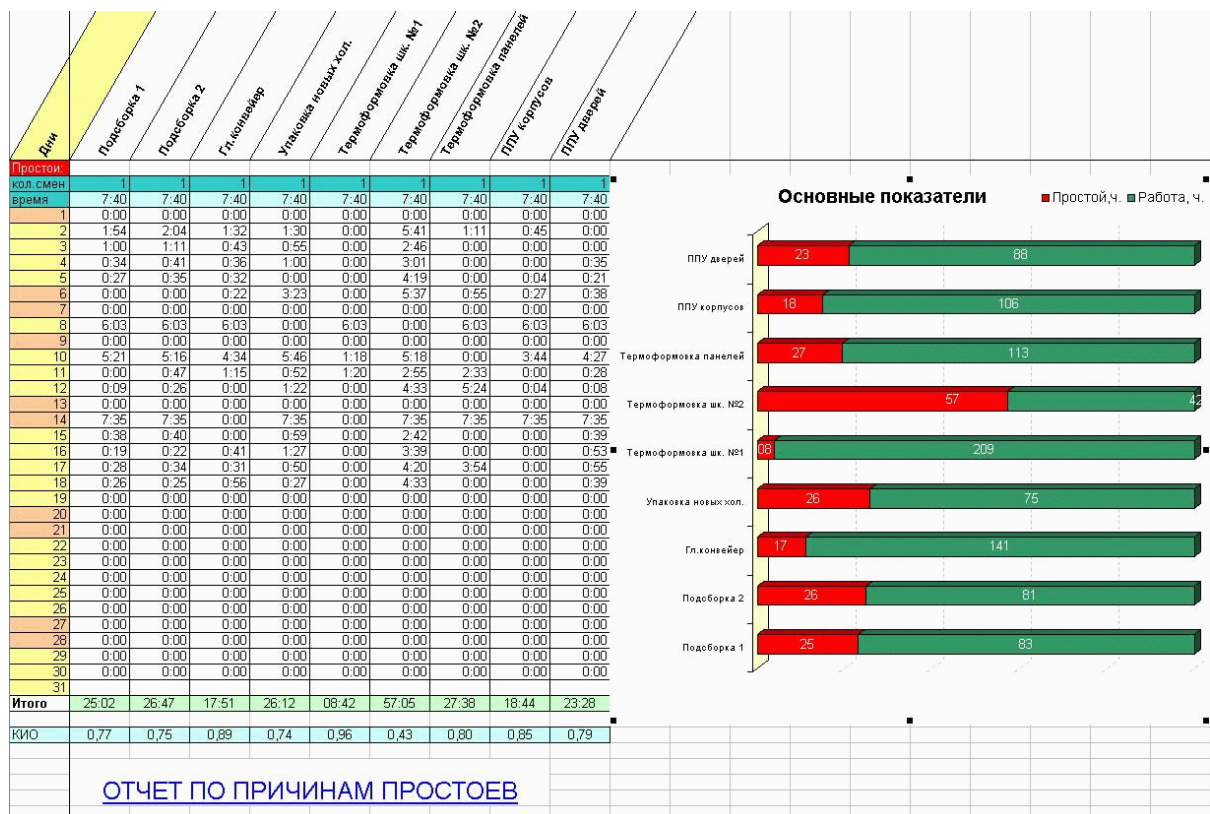


Рис.4. Соотношения полезного времени ко времени простоя.

Выработаем признак простоя технологической линии: останов линии — нет выходной продукции более 5 минут. По полученным данным можно рассчитать время простоя и работы линии за сутки.

При внедрении проявились следующие проблемы и определены меры по их решению:

- 1) Дребезг дискретного входа (ложное срабатывание). Может проявляться по следующим причинам: плохой контакт, человеческий фактор (создание ложного срабатывания рукой или прохождение перед датчиком рабочего персонала).

Для решения данной проблемы было применено следующее решение: создание программного фильтра дребезга на 20 мс., исключающего плохой

контакт, добавление программного анализа времени длительности входного сигнала, определяемого временем прохождения реального изделия перед датчиком. Добавочно в программе учитываем признак движения конвейера, без него данные, получаемые с прибора, не учитываются.

- 2) При выходе датчика из строя следует незамедлительно отправить сигнал в ремонтный отдел для оперативной замены. Для повышения надёжности системы возможен вариант с дублированием датчика.

Анализ времени простоя позволяет рассчитать коэффициент загрузки оборудования в течении смены/суток/недели/месяца. Для достижения максимальной производительности необходимо сократить нерабочее время (простои).

Руководство компании, классифицировало все простои по следующим категориям и ответственным подразделениям:

- служба механика;
- служба энергетика;
- служба Автоматизации;
- служба технологов;
- подготовка производства;
- сбыт;
- комплектация;
- кадры;
- организация труда;
- материально техническое снабжение;
- досрочное выполнение планового задания;
- технологическая переналадка;
- прочие проблемы,

Ответственными по категориям являются руководители подразделений и служб. Каждодневный разбор ситуации позволил выделить наиболее существенные причины простоев и методы их сокращения. Таким образом, на подсорке изделий, там, где операции выполняются оператором вручную, удалось наладить ритмичность работы линии и даже сократить одну параллельную нитку подсорки (на графиках зелёным показан такт линии) (Рис. 5).

После принятия мер по сокращению простоев разброс по такту линии заметно уменьшился, как и количество простоев (пики в 300 сек.).

Чёрный график показывает плановый такт (цикл) на смену. Чтобы успеть сделать плановое задание средний такт линии должен стремиться к плановому. Синий график показывает реальное количество сделанных изделий. Розовый это идеальный план (сколько нужно сделать на текущий момент). В конце линии установили табло, на которое вывели текущие счетчики изделий и плановое задание. Так как линий подсорки было две, проявился эффект соревнования.

Идеальный план автоматически рассчитывается исходя из планового задания производства на смену с учетом технологических остановок и обедов на стороне сервера БД, так как плановые показатели и график работы линий в БД уже присутствуют. Расчетные значения записываются в контроллер, который выводит данные на табло подсорки. Полученные системой данные по оперативности сборочного процесса вывели на рабочие места руководителей производства при помощи SCADA системы.

Имеется возможность административно настраивать фильтр дребезга по каждой из линий и при необходимости просматривать историю работы в виде графиков. Это даёт возможность оперативно контролировать ситуацию.

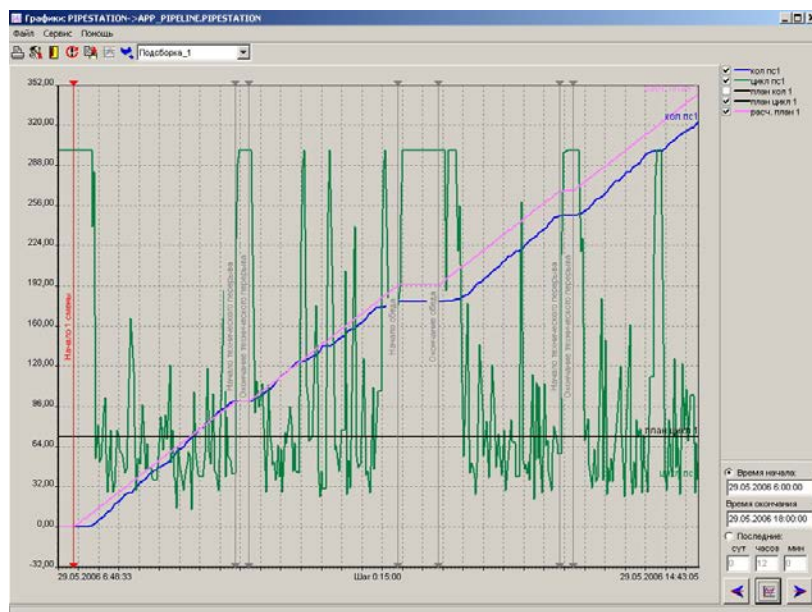


Рис. 5. Работа линии подсорки. (2006 г.)

По графику идеального плана (розовый) и реально графику сделанных изделий (синий) На Рис. 5 можно увидеть реальную производительность линии, даже при большом количестве простоев. Если наклон синего графика круче розового — у нас есть резерв производительности, даже при отсутствии простоев. Если простоев нет и угол синего графика меньше розового — мы никогда не достигнем заданного плана (есть необходимость в оптимизации технологии). В идеальном варианте графики должны совпасть.

Такт линии 2006 г. был в 2 раза больше такта линии 2017 г., что означает, что её производительность была ниже в 2 раза.

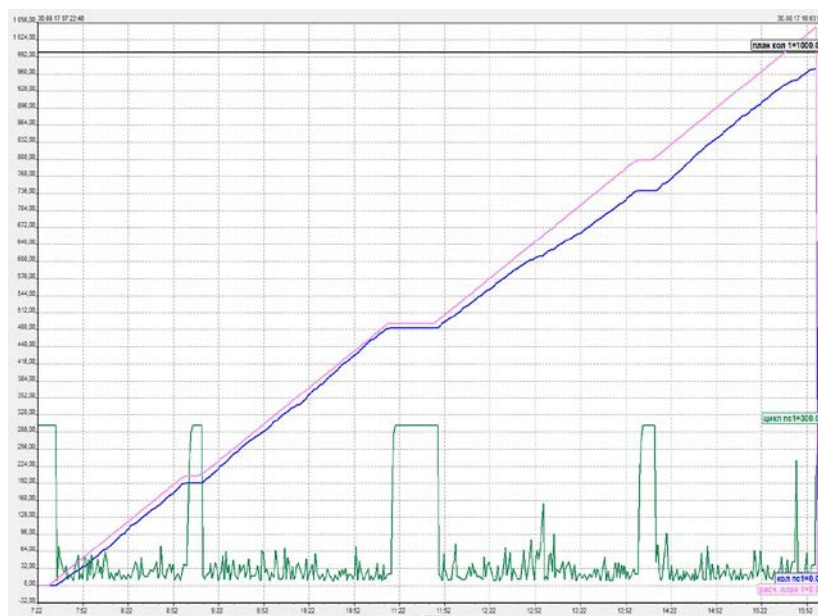


Рис. 6. Работы линии подсорки после оптимизации. (2017 г.)

Достижения на текущем этапе:

- минимизация простоев и соревновательный процесс повысили производительность линии;
- анализ графиков позволил выявить недостатки организации работ в существующей системе поставки комплектации, а также выявить возможность убрать параллельную линию подсорки, что и было успешно реализовано.

На Рис. 7 представлен экран состояния производства, где красным цветом показаны линии в простое, а зеленым в рабочем состоянии.

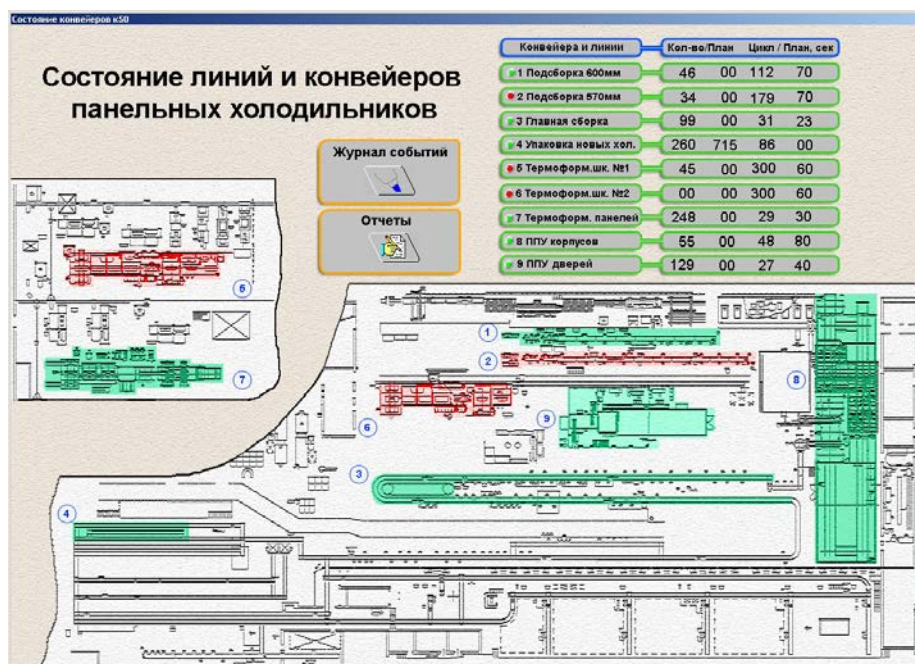


Рис. 7. Производственная статистика, выведенная руководителей. (2006 г.)

Экран настройки содержит параметры простоя и фильтры дребезга для каждой технологической линии. Рис 8.



Рис. 8. Настройка интервала простоя и фильтра дребезга. (2006 г.)

Далее рассмотрим вариант технологической линии с применением ручного труда в сравнении с автоматизированной производственной линией. Оранжевый график на Рис. 9 отображает потребление электроэнергии данной линией (информация поступает на аналоговый вход контроллера).



Рис.9. Работа автоматической линии формовки панелей с измерением потребляемой мощности. (2009 г.)

Итальянская линия термоформирования корпуса является автоматической и обслуживается одним оператором, поэтому перерывы на обед и паузы в работе по причине человеческого фактора стремятся к нулю. Линия работает ритмично (зеленый график такта (рис.8) практически не меняется) и делает план производства с тактом 57-63 секунд за полсмены. Перерывы в работе данной линии обусловлены технологической переналадкой на другой тип продукции, что может составлять от 40 минут до 2 часов. В современных линиях этот интервал сокращен до 20 мин.

Данные линии необходимо эксплуатировать в три смены, чтобы избежать потерь времени на прогрев. Так на графике видно как в начале смены линия прогревалась около 2.5 часов. В реальности этот промежуток можно сократить до 30-40 минут. Это чистые потери электроэнергии и времени работы оборудования, которые выявила диагностика работы. На новых линиях, таких как KIEFEL [5] (запущена в 2017 г.) (Рис. 10), переналадка не превышает 30 минут. Они работают в 2-3 смены.

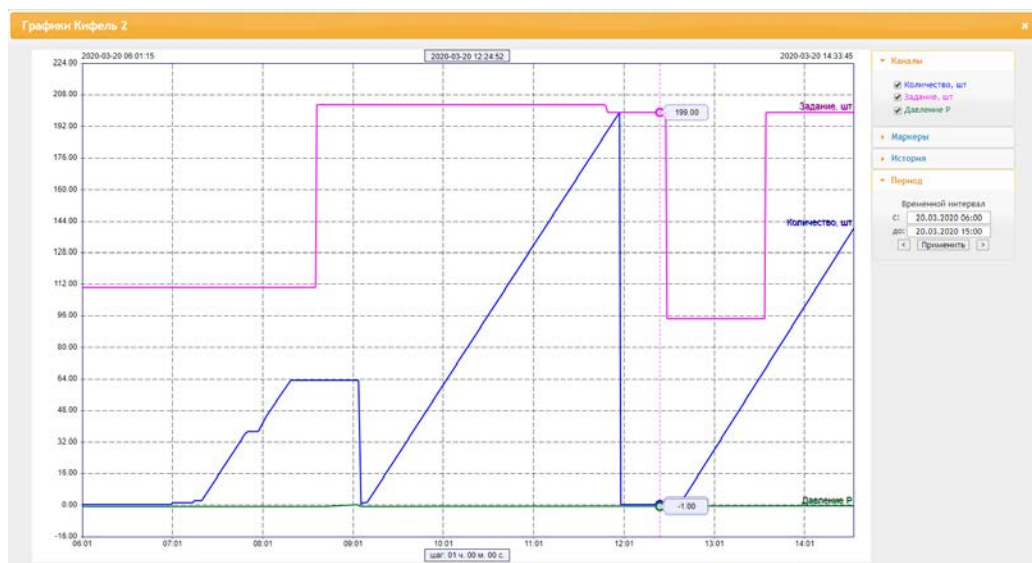


Рис.10. Работа автоматической вакуум-формовочной линии немецкой фирмы KIEFEL. (2017 г.)

Результаты:

— Выявлены потери электроэнергии при частом разогреве линии, поэтому необходима круглосуточная загрузка с целью минимизации потерь;

- Технологическую оснастку требуется располагать вблизи линии, для сокращения времени переналадки;
- В целях увеличения производительности и минимизации потерь существует необходимость в замене существующих единиц оборудования новыми, более современными.

Литература:

- 1) Григорьев А. А., Шкалаберда Л. И., «Теория производства и реалии рыночной экономики» С 3-23.
- 2) Лазерный датчик sensotec, руководство по эксплуатации серии BGS_HL.
- 3) KASCAD development team. SCADA – система KASCAD. Руководство пользователя Чебоксары. 2003. С 5-214.
- 4) Руководство пользователя ПЛК 110. ОВЕН.
- 5) KIEFEL thermoforming technologies. Manual for the thermoforming line. 2017.

**Online diagnostics of the state of production lines based on
industrial controllers**

Shurinova D. A. ^{1,a}, Kovalenko A. N. ^{2,b}, Suvorov A. G. ^{2,c}, Myrugin A. V. ^{4,d}

¹ Siberian State University of Science and Technology named after M.F. Reshetnev, 31 Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, Russia

² «BIRYUSA» Krasnoyarsk Refrigerator Plant, 29 Krasnoyarsky Rabochy Ave., Krasnoyarsk, Russia^a

^b dasha.shurinova@yandex.ru, ^c snowcap@mail.ru, ^c suvorov-ag@yandex.ru,

^d avm514@mail.ru

Keywords: diagnostics, analysis, data collection, performance increase, SCADA system.

The article discloses the results and the analysis of the obtained data on the productivity of an industrial enterprise manufacturing refrigerators. Also methods of data collection for compiling existing statistics are described, methods for their processing, transmission, scheduling of the received data. The analysis of the existing production system is given and ways to increase productivity are described. A quantitative comparative characteristic of the performance of various pieces of equipment is given. The problem of insufficient productivity of existing lines is indicated and a solution to this problem by optimizing the workflow is given. Statistical materials on the performance of individual pieces of equipment and their comparison with the performance of their analogues performing similar functions in the past decade are also given. For some processes, power graphs are given that characterize the energy parameters of existing systems and units of equipment.

УДК 67.05

**Механизация процессов технологического обслуживания
электролизеров**

Коновалов Ю.И. ^a, Грохотова А.А. ^b, Банщикова Н.С. ^c

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, г. Братск Россия

^a10p4888@mail.ru, ^bnastya-grokhotova2013@yandex.ru, ^cnadeec1989@mail.ru

Ключевые слова: технологическое оборудование, обслуживание, приспособления, электролизер

На алюминиевом производстве по технологии Содерберга с самообжигающимися анодами, технологическое обслуживание электролизера, является важным и трудоемким процессом. Он включает в себя перечень операций: разрушение корки электролита вокруг анода, подтягивание к борту кусков корки, замешивание электролита для выделения угольной пены, последующее её снятие, оплескивание боковых поверхностей анода электролитом для предохранения его от окисления и загрузкой очередной порции глинозема на вновь образовавшуюся корку электролита. Во время выполнения этих операций электролизнику приходится справляться с высоким температурным фоном, исходящим от электролита, а также, для соблюдения техники безопасности, использовать защитную спецодежду, которая накладывает дополнительные неудобства при выполнении работ. Особо остро эта проблема возникает в летний период и многие не выдерживают подобных условий и увольняются. Из-за чего на производстве образуется дефицит рабочих кадров. В связи с этим, требуется решить производственную задачу по обеспечению мероприятий механизации технологических процессов.

Для выполнения некоторых операций обработки электролизера используется специализированное оборудование. По количеству операций, выполняемых одной машиной, их можно подразделить на: многооперационные и целевого назначения; по принципу перемещения: на рельсовые и автономного перемещения; по принципу, приводящему их в действие, - на пневматические, электрические и с использованием двигателей внутреннего сгорания. Выбор тех или других конструкций машин обусловлен типом электролизеров.

Электролизеры средней мощности с боковым и верхним токопроводом, как правило, обслуживаются пневматическими машинами целевого назначения (рис.1).

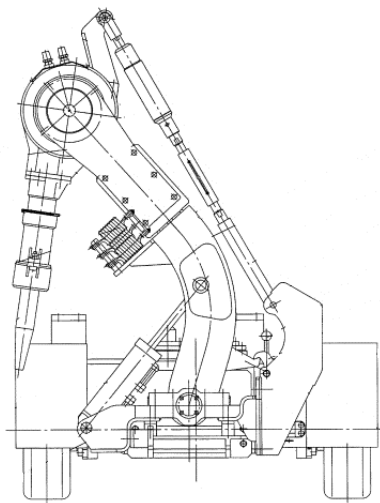


Рис. 1. Машина пробивки электролита

Перемещение машины осуществляется пневмодвигателем, работающим на сжатом воздухе, который подводится по гибкому резиновому шлангу от корпусной сети. Механизм для разрушения корки электролита представляет собой пневмомолот ударного действия, приводимый в движение также сжатым воздухом [2].

Так же для выполнения некоторых операций используется Напольно-рельсовая машина (МНР) [1], применение подобной машины позволяет повысить технико-экономические показатели, улучшает условия выполнения работ и безопасность труда, за счет уменьшения времени пребывания рабочих в зоне с вредными воздействиями на организм человека, сокращает численность операторов для обслуживания алюминиевых электролизёров.

Известна машина для пробивки корки электролита МПК-5У, серийно выпускаемая Бузулукским заводом тяжелого машиностроения им. В.В. Куйбышева. Конструкторское решение рабочего органа данной машины вызывает значительные технологические трудности при обработке электролизеров для получения алюминия.

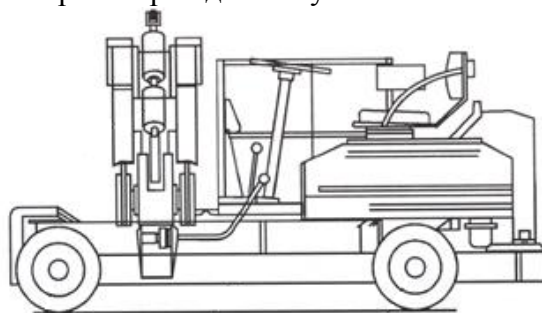


Рис.2. МПК-5У

Машина для пробивки корки электролита МПК-5У (рис.2) спроектирована на базе самоходного шасси Т-16М и представляет собой четырехколесную самоходную тележку, на которой установлен механический ударник (рабочий орган пробивки корки), подвешенный на стреле, которая жестко крепится к редуктору. Многозвенный механизм, образованный редуктором, стрелой, механизмом пробивки корки, кронштейном стопора, рамой и механизмом отклонения пики, предназначен для перемещения механизма пробивки гидроцилиндром. Гидроцилиндр закреплен на раме и обеспечивает подъем, опускание и фиксацию рабочего органа пробивки корки в любом из его промежуточных положений посредством гидросистемы машины. Между гидропружинными амортизаторами установлен воздушный компенсатор, соединенный шлангом с полостью рабочего органа пробивки корки [3].

Важным моментом, для обслуживания алюминиевых электролизеров, является доставка технологического сырья к этим металлургическим агрегатам [4]. Для загрузки глинозема в ванны, в конструкции которых не предусмотрены бункера для глинозема, применяются передвижные бункера для загрузки глинозема, передвигающиеся на стандартных электрокарах (рис.3).

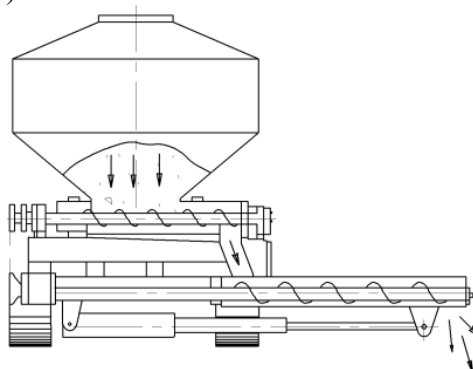


Рис.3. Передвижной бункер засыпки глинозема

Остальные операции по технологическому обслуживанию выполняются рабочими вручную с помощью лома, скребков и лопаток, что включает в себя определенное количество недостатков во время выполнения операций, так как мало того, что работа сама по себе тяжелая так и в соответствии с регламентом, рабочий каждые 10 мин должен отдыхать, чтобы избежать перегрева. Еще одним недостатком является износ инструментов для работы, во время операции подтягивания корки к борту и замешивание электролита скребком, а для снятия угольной пены лопатка. Так же пробитие корки не всегда выполняется с помощью оборудования, иногда рабочие выполняют эту операцию сами с помощью лома. Для увеличения сроков эксплуатации инструмента предусматривается его изготовление из жаропрочных материалов, но это стоит дороже и при рабочей температуре электролита в

1000 °C и из-за того что он налипает на инструмент его приходится отбивать, что так же занимает время и портит инструмент.

Для решения проблемы износа инструмента можно использовать жаропрочные, коррозионностойкие и ударопрочные материалы, но себестоимость таких инструментов будет слишком дорогой.

Чтобы решить данные проблемы один из кардинальных способов это замена действующих электролизеров, что в свою очередь имеет очевидные финансовые проблемы:

- замена действующих электролизеров с анодом Содерберга на современные агрегаты требует значительных затрат. Так, по данным компании VAW (Германия), замена электролизеров второй очереди НКАЗа потребует около 750 млн.\$, или около 3750 \$/т годовой производительности, а для реконструкции всех электролизеров с анодом Содерберга, установленных на заводах России, необходимо более 11 млрд. \$.

- санитарные норма на выбросов вредных веществ в атмосферу в России в ряде случаев даже более жесткие, чем в некоторых европейских странах. К сожалению, непосредственное измерение количество ингредиентов, выбрасываемых в атмосферу, невозможно. Методики же определения выбросов крайне несовершенны, что занижает фактические данные [5, 6]. Поэтому плата за выбросы вредных веществ в атмосферу столь незначительна, что не стимулирует замену устаревших конструкций электролизеров.

Возможное решение проблемы заключается в проектировании навесного оборудования под вилочные погрузчики, которые получили широкое распространение на производстве. Но надо учитывать технические требования для данного оборудования. Параметры окружающей среды: режим работы – круглосуточный, круглогодичный с учетом времени на проверку и техническое обслуживание; оборудование должно обеспечивать непрерывную работу при окружающей температуре от -45 °C до +80 °C, при влажности воздуха до 86%, а также в условиях постоянного электромагнитного излучения до 200 Гс, содержание пыли в воздухе рабочей зоны (суммарно) до 4,1 мг/м³. Рабочий орган должен быть устойчив к деформации при условиях работы с высокой температурой расплава (порядка 1000 °C).

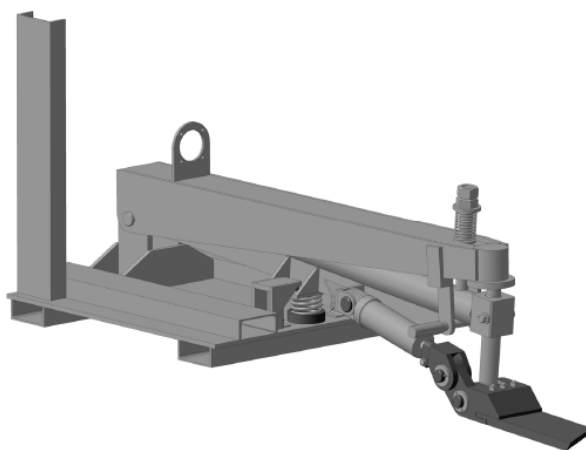


Рис.4. Оборудование для технологического обслуживания

Предлагаемое оборудование (рис.4) будет выполнять комплекс следующих операций: пробитие корки электролита, последующее подтягивание её к борту футеровки, замешивание электролита для выделения угольной пены. Соответственно для привода данного приспособления выбрана гидравлическая система, так как она может питаться непосредственно от гидросистемы вилочного погрузчика. Для выполнения операции пробития корки электролита было принято решение использовать принцип действия МПК, но при этом использовать иной пробивающий элемент и подвижное рабочее звено, для выполнения последующих операций. Для непрерывного и плавного пробития корки электролита по ходу движения погрузчика было принято решение выбрать профиль режущего элемента в виде лопатки с углом реза по ходу движения вдоль электролизера. Для

изменения положения ножа решено использовать поворотное звено в виде колена, которое в свою очередь будет приводиться в движение с помощью гидроцилиндра. Таким образом, лопатка имеет ось поворота 90° для подтягивания корки электролита к борту. Но для приведения в действие пробивного элемента принято решение использовать вибровозбудитель работающий от гидромотора, который будет устанавливаться на штангу, установленную на ту же ось что и ось направляющей. На конце штанги устанавливается баек, который будет ударяться об торец оси рабочего элемента, создавая вибрацию. Для возвращения в обратное положение и регулировки частоты колебаний лучше использовать опорную пружину под направляющую и регулируемую пружину от оси над штангой. Изменение натяжения пружины производится путём затягивания либо растягивания гайки. Регулировка частоты колебаний необходима для выполнения операции замешивания, путём поворота лопатки под небольшим углом относительно горизонта и последующих опусканием её в электролит. Так как для приведения в действие механизмов используется гидросистема вилочного погрузчика, а дополнительный выходной питатель только один, то для управления используется система гидрораспределителя. Таким образом, это приспособление способно быстро выполнять часть операции по технологическому обслуживанию электролизной ванны всего одним рабочим, без больших трудозатрат.

Литература:

1. Янко Э.А. Производство алюминия // Пособие для мастеров и рабочих цехов Электролиза алюминиевых заводов. С.Птб.: Издательство С.Петербургского Университета. 2007. С. 303.
2. Троицкий И.А., Железнов В.А.. Металлургия алюминия. М.: "Металлургия". 1984. С. 277-280.
3. Рабочий орган машины для пробивки корки электролизера: пат. 2596550 Рос. Федерация. № 2015112276/02; заявл. 03.04.2015; опубл.10.09.2016, Бюл. №25.
4. Машина для транспортировки и загрузки сыпучих материалов: пат. 729285 Рос. Федерация. № 2456371/22-02; заявл. 25.02.77; опубл.24.04.80, Бюл. №15.
5. Гавлевский Г.В. Экология и утилизация отходов в производстве алюминия. 2-е изд./ Гавлевский Г.В., Кулагин Н.М., Минцис М.Я. – М.: Флинта: Наука, 2005.-268 с.
6. Галевский Г.В. Металлургия алюминия. Электролизеры с анодом Содерберга и их модернизация / Галевский Г.В., Минцис М.Я., Сиразутдинов Г.А. – М.: Флинта: Наука, 2008. – 238 с.

Mechanization of technological service processes electrolyzers

Konovalov Yu.I.^a, Grokhotova A.A.^b, Bانشchikova N.S.^c

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russian Federation

^a10p4888@mail.ru, ^bnastya-grokhotova2013@yandex.ru, ^cnadeec1989@mail.ru

Keywords: technological equipment, service, devices, electrolyzer

In aluminum production using Soderberg technology with self-baking anodes, the maintenance of an electrolyzer is an important and time-consuming process. It includes a list of operations: destroying the electrolyte crust around the anode, pulling pieces of crust to the board, kneading the electrolyte to separate carbon foam, removing it later, sealing the side surfaces of the anode with electrolyte to protect it from oxidation and loading another portion of alumina onto the newly formed electrolyte crust . During these operations, the electrolytic cell has to cope with the high temperature background emanating from the electrolyte, and also, to comply with safety precautions, use protective clothing, which imposes additional inconvenience when performing work. This problem is especially acute in the summer and many do not withstand such conditions and quit. Because of what, a shortage of workers is formed in production. In this regard, it is required to solve the production problem of ensuring measures of mechanization of technological processes.

УДК 621.9

Исследование состава засаленного слоя алмазного шлифовального круга в поперечном разрезе

Попов В.Ю.^{1,а}, Янюшкин А.С.^{2,б}, Барсукова Е.А.^{3,в}, Звядинцева С.Ю.^{1,г}

¹Братский государственный университет, ул.Макаренко 40, Братск, Россия

²Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

³Братский промышленный техникум, ул.Погодаева 13/15, Братск, Россия

^аslapopov@gmail.com, ^бyanyushkinas@mail.ru, ^вlgaran2304@mail.ru, ^гklyovo1@mail.ru

Ключевые слова: Р6М5, быстрорежущая сталь, металлорежущий инструмент, качество поверхности, алмазный шлифовальный круг, комбинированная электроалмазная обработка.

В статье приведены данные о спектральном анализе химического состава режущей поверхности алмазного шлифовального круга на металлической связке АСб 80/63 М1 100% в поперечном разрезе. Спектры получены с внешнего края образца круга, с отчётливо видимыми алмазными зёрнами, как без засаленного слоя, так и с ним. Одним из основных этапов рентгеноструктурных исследований поверхностей алмазных шлифовальных кругов после комбинированной электроалмазной обработки быстрорежущих, высокоуглеродистых сталей является анализ результатов исследования засаленного слоя в поперечном разрезе. Показано, что именно они могут качественно дополнять информацию об обработке быстрорежущих сталей без подключения электрохимических процессов как способствующую возникновению не только диффузии на контактирующих во время алмазного резания поверхностях, но и адгезионному схватыванию разнородных материалов, участвующих в этой обработке. Сделан вывод, по специфике образования засаленного слоя при шлифовании быстрорежущих, высокоуглеродистых сталей.

Проведёнными ранее исследованиями было установлено [1-6], что в результате шлифования алмазными кругами на металлической связке инструментальных материалов происходит ухудшение режущих свойств шлифовального круга в результате засаливания. Было выявлено, что засаленный слой имеет сложную механо-химическую природу и состоит из:

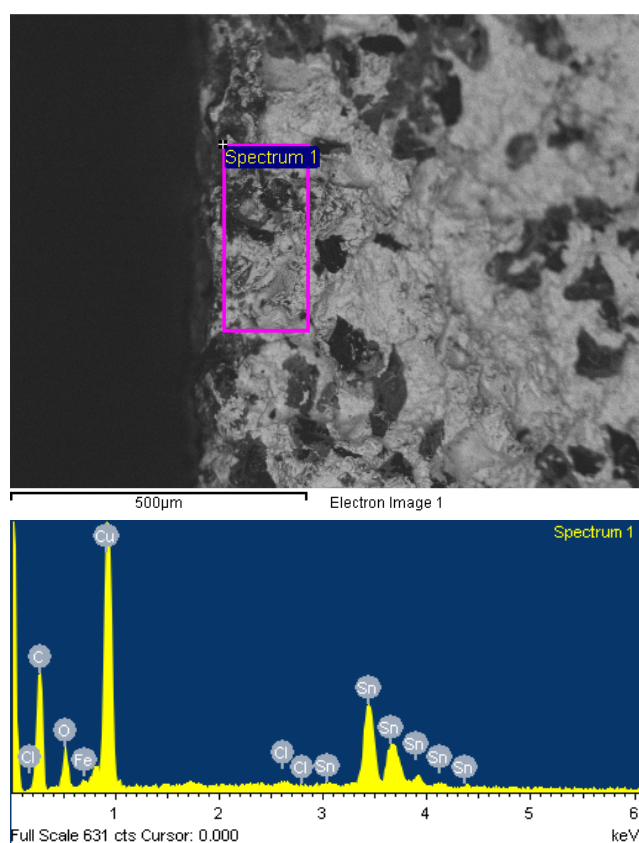
- компонентов обрабатываемого материала, в данном случае быстрорежущая сталь, марки Р6М5;
- связки алмазного шлифовального круга, в данном случае металлическая связка на основе меди и олова;
- внешней среды, например, электролита, участвующего в процессе шлифования;
- вторичных соединений, образовавшихся в результате адгезионно-диффузионных явлений и химических реакций в процессе шлифования.

Было доказано [7-9], что в первую очередь, такая реакция металлов при шлифовании вызывается высоким давлением в зоне резания и ван-дер-ваальсовыми силами притяжения, действующие при расстояниях между твердыми объектами (т.е. атомами этих металлов) меньше $\sim 100 \text{ \AA}$ ($\sim 0,01 \text{ мкм}$).

Сама химическая природа схватываемых при резании металлов не позволяет в полной мере использовать все преимущества алмазной обработки. Приходится вводить в

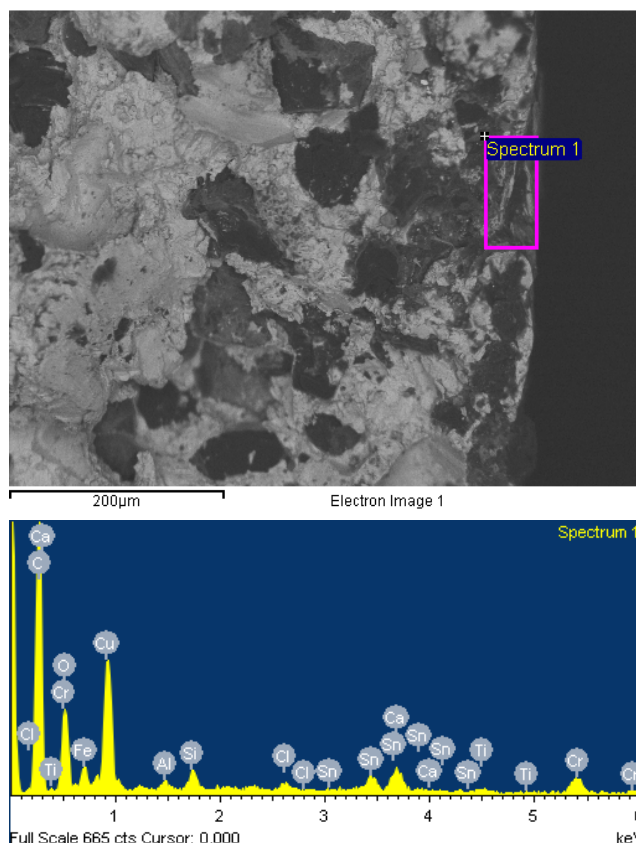
технологический процесс дополнительную операцию по правке шлифовального круга, что также влияет и на экономическую составляющую. Поэтому многие современные авторы [10-13] просто не рекомендуют шлифовать, обрабатывать высокоуглеродистые материалы алмазным инструментом – он засаливается, на обрабатываемой поверхности появляются дефекты, это экономически невыгодно.

Как было сказано выше, нам в полной мере удалось решить эти проблемы путём создания специальных условий, подобрав рациональные режимы комбинированной электроалмазной обработки. Были получены и проанализированы данные о спектральном анализе химического состава режущей поверхности алмазного шлифовального круга на металлической связке AC6 80/63 M1 100% не только самой режущей поверхности [1, 2, 5, 6], но и в поперечном разрезе тоже.



Element	Weight%	Atomic%
C K	32.69	61.75
O K	11.03	15.65
F K	4.62	5.52
Si K	0.44	0.36
Cl K	0.39	0.25
Ti K	0.51	0.24
Cu K	39.88	14.24
Sn L	10.44	2.00
Totals	100.00	

Рис. 1. Спектральный анализ химического состава режущей поверхности в поперечном разрезе круга AC6 80/63 M1 100%. Спектр получен с внешнего края образца, с алмазными зёрнами, без засаленного слоя



Element	Weight%	Atomic%
C K	44.53	65.47
O K	22.13	24.43
Al K	0.40	0.26
Si K	0.88	0.55
Cl K	0.36	0.18
Ca K	1.15	0.51
Ti K	0.32	0.12
Cr K	2.11	0.72
Fe K	7.60	2.40
Cu K	17.88	4.97
Sn L	2.64	0.39
Totals	100.00	

Рис. 2. Спектральный анализ химического состава режущей поверхности в поперечном разрезе круга AC6 80/63 M1 100%. Спектр получен с внешнего края образца, с алмазными зёрнами, с засаленным слоем

Анализ показал, что образец круга без засаленного слоя характеризуется отсутствием в составе его спектра железа Fe (см. рис. 1). С другой стороны, в составе образца круга с засаленным слоем (см. рис. 2) в большом количестве присутствуют элементы основных компонентов быстрорежущей стали – Fe, Mn, Cr и в незначительном – Si, Ni, P.

Во-первых, это отлично согласуется с химическим составом БРС, тщательно изученный многими авторитетными исследователями [14-18]: Fe(80%), W(6,1%), Mo(5,0%), Cr(4,4%), V(2,5%), C(0,87%); процент остальных элементов, входящих в состав быстрорежущей стали, а именно Si(0,5%), Mn(0,3%), Ni(0,3%), P и S (по 0,03%) незначителен. Во-вторых, это свидетельствует о том, что эти элементы без изменений диффундировали с поверхности затачиваемых пластин быстрорежущей стали на режущую поверхность шлифовального круга.

Мы допускаем вероятность некоторой, небольшой погрешности в результатах спектрального анализа химического состава. Связано это с тем, что встроенная база, в которой записаны готовые данные о стандартах для всех элементов растровой электронной микроскопии, постоянно обновляется до их актуального состояния (таблица 1). Поэтому самое незначительное количество элемента Ca (см. рис. 2) из всех проанализированных в составе засаленного слоя нам идентифицировать не удалось.

Таблица 1

Данные о стандартах для спектров с рисунков 1 и 2

Элемент	Дата обновления базы элемента
C	23-июн-2014 03:09 PM
O	1-июн-1999 12:00 AM
Si	1-июн-1999 12:00 AM
Cr	1-июн-1999 12:00 AM
Mn	1-июн-1999 12:00 AM
Fe	20-мар-2015 12:57 PM

Литература:

1. Янюшкин А.С., Медведева О.И., Попов В.Ю. Влияние процесса засаливания на эффективность алмазного шлифования // В сборнике: Научоёмкие технологии на современном этапе развития машиностроения. Материалы VIII Международной научно-технической конференции. 2016. С. 267–269.
2. Попов В.Ю., Янюшкин А.С. Рентгеноструктурное исследование поверхности алмазного круга после обработки стали Р6М5 // В сборнике: Высокие технологии в машиностроении Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию кафедры "Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты". 2012. С. 4–6.
3. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Хлыстов А.Н. О разрушении алмазных зерен при шлифовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 4. – С. 16–23.
4. Yanyushkin A., Popov V., Rychkov D. Application of protective coatings in combined electric diamond grinding // В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2018. С. 01027.
5. Янюшкин А.С., Попов В.Ю. Исследование режущих свойств алмазного инструмента на металлической связке // В сборнике: Инновации в машиностроении. Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции. 2017. С. 132–139.
6. Попов В.Ю. Повышение качества изделий из инструментальных сталей при электроалмазном шлифовании: дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2002. 159 с.
7. Medvedeva O., Popov V., Yanyushkin A. Energy calculation of contact surface adhesion at interaction in different media // В сборнике: Materials Today: Proceedings. 2019. С. 26–30.
8. Янюшкин А.С., Лосев А.Б., Якимов С.А., Попов В.Ю. Роль температуры при затачивании инструментов алмазными кругами на металлической связке // Металлургия и машиностроение: ежеквартальный специализированный информационный бюллетень. 2006. № 1. С. 49–53.
9. Hossam Halfa. Thermodynamic Calculation for Silicon Modified AISI M2 High Speed Tool Steel // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2013. 1. 257–270.
10. Ioan D. Marinescu, Mike P. Hitchiner, Eckart Uhlmann, W. Brian Rowe, Ichiro Inasaki. Handbook of Machining with Grinding Wheels / Second Edition, CRC Press, 2016. 724 p.

11. Robert I. King, Robert S. Hahn. Handbook of Modern Grinding Technology / Springer Science & Business Media, 2012. 360 p.
12. Rowe W.B. Principles of Modern Grinding Technology / Second Edition, Elsevier Inc, 2014. 480 p.
13. Zhu Z., Dhokia V.G., Nassehi A., Newman S.T. A review of hybrid manufacturing processes – state of the art and future perspectives // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2013. V. 26(7). pp. 596–615.
14. He Mu, Shan & Liang Cao, Chuan & Lin Zhang, Xiang & Xiang, Zha & Mao, Xiu. The Impact of Grinding on Surface Integrity of Powder-Metallurgy High-Speed Steel (S390) // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – V. 442. – pp. 52–57.
15. Ma Liping, Liang Zhiqiang, Wang Xibin, Zhao Wenxiang, Jiao Li, Liu Zhibing. Influence of pulsed magnetic treatment on microstructures and mechanical properties of M42 high speed steel tool // Acta Metall. – 2015. – V. 51(3). – pp. 307–314.
16. Chaus A.S. Structural and phase changes in carbides of the high-speed steel upon heat treatment // The Physics of Metals and Metallography. – 2016. – V. 117(7). – pp. 684–692.
17. Serap Gümüş, Hakan Atapek S., Seyda Polat, Ersoy Erisir, Alkan A. Microstructural Characterization of Carbides in a Cast High-Speed Steel Using Different Metallographic Techniques // Praktische Metallographie. – 2012. – V. 49(12). – pp. 767–781.
18. Zhou Xuefeng, Liu Di, Zhu Wang-long, Fang Feng, Tu Yi-you, Jiang Jian-qing. Morphology, microstructure and decomposition behavior of M2C carbides in high speed steel // Journal of Iron and Steel Research. – 2017. – V. 24(1). – pp. 43–49.
19. Попов В.Ю., Шкуратова А.П., Хлыстов А.Н., Бондин А.В., Мирошниченко Н.А. 3D моделирование процесса комбинированной электроалмазной обработки // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т. 1. С. 201–207.
20. Rychkov D.A., Yanyushkin A.S., Popov V.Y. Specificity of cutting tool wear in processing of polymer composite materials // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2019. № 9783319956299. С. 1219–1224.

The study of the composition of the greasy layer of the diamond grinding wheel in cross section

Popov V.Y.^{1,a}, Yanyushkin A.S.^{2,b}, Barsukova E.A.^{3,c}, Zvyadintseva S.Y.^{1,d}

¹Bratsk State University, Makarenko, 40, Bratsk, Russia

²Chuvash State University, Moskovskii, 15, Cheboksary, Russia

³Bratsk Industrial College, Pogodaeva, 13/15, Bratsk, Russia

^aslapopov@gmail.com, ^byanyushkinas@mail.ru, ^clgaran2304@mail.ru, ^dklyovo1@mail.ru

Ключевые слова: P6M5, high speed steels, metal cutting tool, surface quality, metal bond diamond wheels, combined electric diamond grinding.

The article presents data on a spectral analysis of the chemical composition of the cutting surface of a diamond grinding wheel on a metal bond AC6 80/63 M1 100% in cross section. Spectra were obtained from the outer edge of the circle sample, with clearly visible diamond grains, both without a greasy layer and with it. One of the main stages of X-ray structural studies of the surfaces of diamond grinding wheels after the combined electro-diamond grinding of high-speed, high-carbon steels is the analysis of the results of the study of the greasy layer in the transverse section. It is shown that they can qualitatively supplement the information on the processing of high-speed steels without connecting electrochemical processes as contributing to the emergence of not only diffusion on surfaces in contact during diamond cutting, but also adhesive adhesion of dissimilar materials involved in this processing. A conclusion is drawn on the specifics of the formation of a greasy layer during grinding of high-speed, high-carbon steels.

УДК 621-62

Повышение точности и производительности кольцераскатных автоматов

Колпаков В.Н.^{1,a}, Бахтурин Е.А.^{1,b}¹Вологодский государственный университет, ул. Ленина, 15, Вологда, Россия^avalery.kolpakov-vn2016@yandex.ru, ^bbakhturinea@vogu35.ru

Ключевые слова: кольцераскатной автомат, гидропривод, раскатник, гидромотор, гидроцилиндр, траверса, точность, торможение, распределитель, гидрозамок.

В статье проведен анализ недостатков в работе кольцераскатных автоматов и предложены технические решения по их устранению. Внесены изменения в гидропривод позиционирования раскатника в осевом направлении, а именно: в схему введены распределитель с механическим управлением от кулачка и гидрозамок, благодаря которым осуществляется плавное торможение раскатника перед контактом установочного винта с жестким упором, а также предотвращается отход раскатника назад в процессе раскатки. Установлен гидромотор для вращения раскатника вместо электромеханического привода и регулятор расхода, обеспечивающий бесступенчатое регулирование скорости. В приводе подачи траверсы введен распределитель с механическим управлением от кулачка, позволяющий обеспечить требуемый закон торможения с быстрого подвода на рабочую подачу и за счет этого уменьшить недоход инструмента. Также добавлен гидрозамок, который устраняет дрейф исходного положения траверсы. Проведенные испытания показали, что применение модернизированного привода позволяет повысить значительно ресурс раскатника, точность расположения оси дорожки качения кольца подшипника и производительность автомата.

Одним из основных направлений повышения качества подшипников качения является изготовление заготовок колец методомковки с последующей холодной раскаткой [1]. Применение полнопрофильной холодной раскатки колец позволяет практически без съема металла получить профиль, близкий по конфигурации к профилю готового кольца, что обеспечивает повышение коэффициента использования материала, уменьшение трудоемкости и одновременно увеличение ресурса готового подшипника [2, 3].

В настоящее время раскатка осуществляется на специальных кольцераскатных автоматах 4К-046Б. Они оснащены гидравлическим приводом подачи и позиционирования раскатника. Вместе с тем, привод вращения раскатника выполнен электромеханическим, который не обеспечивает требуемый крутящий момент и не позволяет регулировать частоту вращения раскатника, что необходимо при изменении его диаметра. В результате снижается стойкость раскатника и не обеспечивается необходимое качество обрабатываемой поверхности. Не обеспечивается необходимая точность расположения желоба и канавок под уплотнения в осевом направлении. Это объясняется тем, что остановка раскатника при позиционировании происходит по жесткому упору установочного винта в подпятник без предварительного торможения, что приводит к повышенному износу подпятника, возникновению “отскоков” назад и, как следствие, к снижению точности позиционирования. Во время обработки кольца одна из полостей гидроцилиндра (штоковая) соединена с насосом и находится под высоким давлением, а вторая полость (поршневая) соединена со сливом, то есть в ней давление практически отсутствует. Это приводит к тому, что раскатник под действием осевых сил, возникающих в процессе раскатки, может отходить назад. Кроме того, наблюдается дрейф исходного верхнего положения раскатника, что осложняет настройку автоматического цикла. Имеет место большое непроизводительное время движения раскатника до контакта его с заготовкой на скорости рабочей подачи, что уменьшает производительность автомата. В базовом автомате пневмогидравлический

аккумулятор постоянно подключен к напорной линии насоса, поэтому при выключении электродвигателя насосного агрегата происходит непроизводительная разгрузка аккумулятора и вращение вала насоса, отрицательно сказывающееся на его дальнейшей работе.

В связи с этим предлагается внести изменения в привод автомата. Схема модернизированной части гидропривода приведена на рисунке.

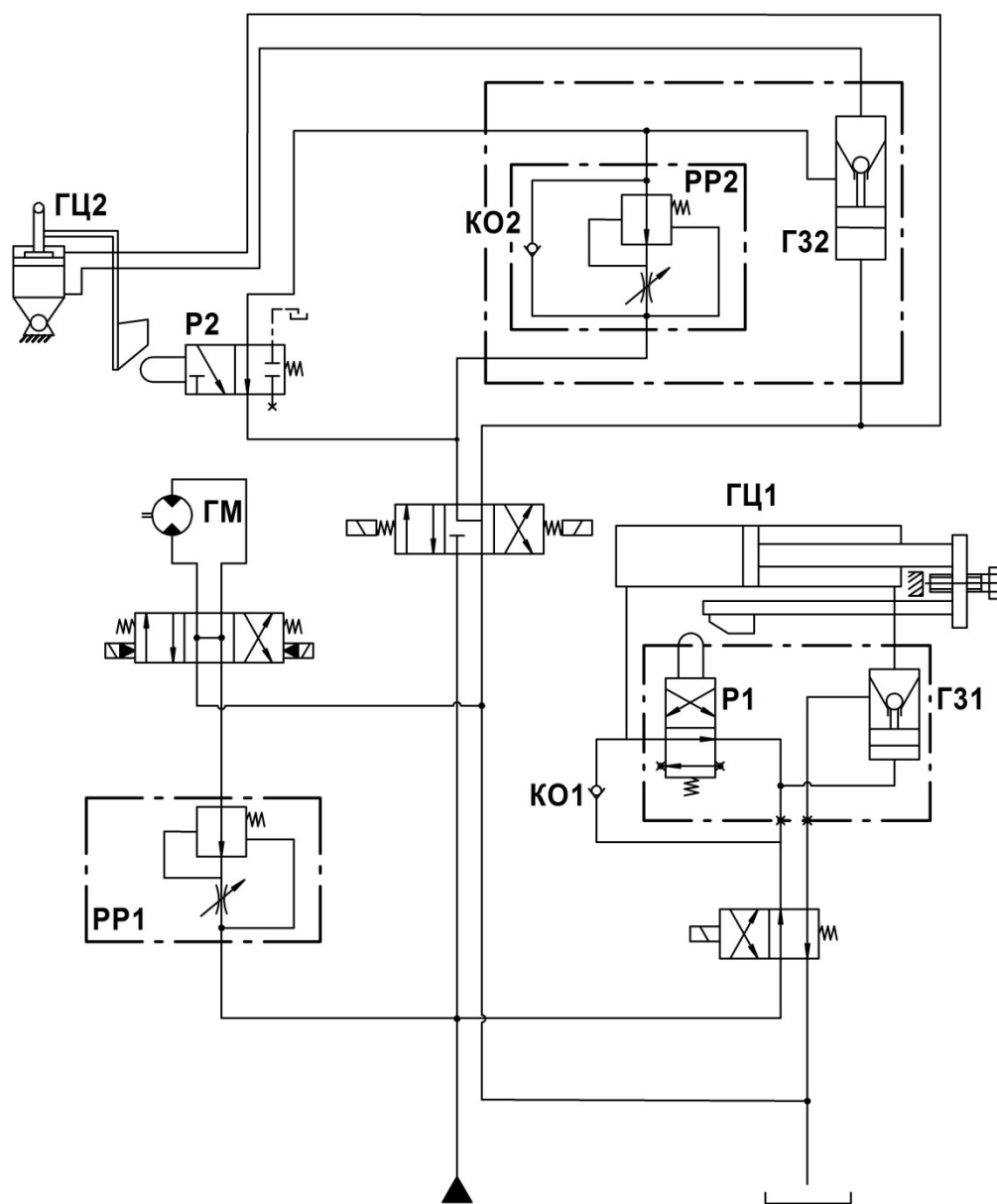


Рис.1 Принципиальная схема гидропривода.

Модернизация заключается в следующем:

1. Для осуществления вращения раскатника установлен гидромотор ГМ (см. рис.1) с устройством бесступенчатого регулирования скорости в виде регулятора расхода PP1. Это позволяет создать необходимый крутящий момент для раскатников диаметром более 45 мм и регулировать скорость вращения при изменении диаметра раскатника.

2. Для повышения точности позиционирования раскатника в осевом направлении в схему введены распределитель Р1 с механическим управлением, гидрозамок ГЗ1 и обратный клапан КО1.

3. Предусмотрено плавное торможение траверсы перед контактом раскатника с кольцом с помощью распределителя Р2 с механическим управлением.

4. Для обеспечения надежного и точного позиционирования траверсы с раскатником в верхнем исходном положении в схему введен гидрозамок ГЗ2.

5. Предусмотрено отключение гидроаккумулятора при выключении насоса, что предотвратит его непроизводительную разгрузку и отрицательное влияние на работу насоса.

Гидропривод вращения раскатника. При включении вращения вала автомата поток жидкости от насоса поступает в рабочую линию гидромотора, который приводит во вращение раскатник. Из сливной линии гидромотора жидкость вытесняется в бак через регулятор расхода РР, который служит для бесступенчатого регулирования скорости вращения раскатника. При выключении вращения раскатника линии гидромотора соединяются с баком.

Гидропривод осевого позиционирования раскатника. При включении электромагнита распределителя РЗ, управляющего реверсом вращения раскатника, жидкость от насоса поступает в штоковую полость гидроцилиндра ГЦ1 через гидрозамок ГЗ1, а поршневая полость соединяется через распределитель Р1 с баком. При этом линия управления гидрозамка ГЗ1 соединяется со сливом.

В конце хода кулачок К1 нажимает на ролик золотника распределителя Р1 и перемещает его вниз (по схеме). При этом проходное сечение распределителя плавно уменьшается, сопротивление потоку жидкости, вытесняемой из гидроцилиндра, возрастает и скорость движения поршня и жестко соединенной с ним бабки раскатника уменьшается, после чего упорный винт медленно подходит к подпятнику.

Гидрозамок при отсутствии сигнала управления пропускает жидкость только в одном направлении (в гидроцилиндр) и запирает штоковую полость, не позволяя поршню отходить назад. При выключении электромагнита распределителя РЗ происходит отвод раскатника в исходное положение, при этом в линии управления гидрозамка создается высокое давление, которое открывает гидрозамок.

Механизм торможения траверсы. При быстром опускании траверсы жидкость из нижней полости гидроцилиндра ГЦ2 свободно вытесняется в бак через распределитель Р2. В конце хода кулачок, расположенный на траверсе, воздействует своей рабочей поверхностью на ролик распределителя и перемещает его золотник вправо (по схеме). При этом рабочая дросселирующая щель распределителя уменьшается, сопротивление потоку жидкости возрастает и траверса замедляет скорость. Необходимый закон торможения обеспечивается соответствующим профилированием золотника на основе динамического расчета [4]. Когда рабочая щель распределителя закроется полностью, поток жидкости будет проходить только через регулятор расхода РР, идет рабочая подача.

Позиционирование траверсы в исходном положении. При подъеме траверсы жидкость от насоса поступает в нижнюю полость гидроцилиндра через обратный клапан КО2 и гидрозамок ГЗ2. В положении “стоп” линия управления гидрозамка соединяется со сливом и гидрозамок закрывается, исключая дрейф исходного положения раскатника.

Управление работой пневмогидравлического аккумулятора.

При выключении насоса выключается электромагнит, в результате чего переключается распределитель и заглушит полость аккумулятора, предотвратив, таким образом, его непроизводительную разгрузку и отрицательное влияние на работу насоса. При включении насоса электромагнит включается и аккумулятор подключается к гидросистеме.

Испытания модернизированного привода были проведены на ЗАО “Вологодский подшипниковый завод”. Произведена раскатка колец подшипника 6309 ZZ.01 и 6412.01.

Испытания показали, что все устройства работоспособны и выполняют свои функции в соответствии с предъявляемыми требованиями. Частота вращения раскатника регулируется бесступенчато в диапазоне от 0 до 1400 1/мин. Обеспечено плавное торможение траверсы после быстрого подвода на рабочую подачу. Траверса надежно позиционируется в верхнем исходном положении, поэтому отсутствует сбой в срабатывании конечного выключателя. Стойкость раскатника возросла с 300 до 4000 шт. обрабатываемых колец. Точность позиционирования раскатника в осевом направлении в процессе обработки составила $\pm 0,01$ мм, точность положения оси дорожки качения в процессе раскатки составила $\pm 0,036$ мм.

Литература:

1. Мищенко, К.С. Раскатка колец подшипников, как эффективная технология подшипникового производства / К.С.Мищенко, А.В.Королев // Развитие науки и техники: механизм выбора и реализации приоритетов: Материалы Международной научно-технической конференции. – Омск, 2017. – с. 134 – 136.
2. Никифоров, А.А. Повышение эффективности технологии изготовления тонкостенных колец подшипников с применением точной холодной раскатки / А.А.Никифоров // Автореферат дис. канд. техн. наук. – Саратов: СГТУ, 2006. – 15 с.: ил. – Библиогр.: с. 14-15 (11 назв.).
3. Ondin, J. Simulations of rotary forging of ringshaped billets with plastcine / J. Ondin, Y. Ravalard Proc. // 2-nd Int. Conf. Rotary Metalwork Process. – Stradford Upon – Avon: Kempston, 1982. – p. 125-135.
4. Колпаков, В.Н. Исследование гидроустройства с автоматическим регулятором для управления торможением гидрофицированных механизмов / В.Н.Колпаков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы двенадцатой Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГУ, 2017. – с. 120-123.

Improving accuracy and reliability of colcerascate machines

Kolpakov V.N.^{1,a}, Bakhturin E.A.^{1,b}

¹ Vologda State University, 15 Lenin Str., Vologda, Russia

^a valery.kolpakov-vn2016@yandex.ru, ^b bakhturinea@vogu35.ru

Keywords: automatic circuit breaker, hydraulic drive, rolling stock, hydraulic motor, hydraulic cylinder, cross-arm, accuracy, braking, distributor, hydraulic lock.

The article analyzed the shortcomings in the operation of the colcerascate machines and proposed technical solutions for their elimination. Changes have been made to the hydraulic drive for positioning the rolling stock in the axial direction, namely, the circuit includes a distributor with mechanical control from the cam and hydraulic locks, thanks to which smooth braking of the rolling stock before contact of the setting screw with the rigid stop is carried out, as well as prevention of rolling stock withdrawal back during rolling. Hydraulic motor is installed for rotation of rolling machine instead of electromechanical drive and flow rate regulator providing stepless speed control. Cross-arm feed drive incorporates mechanical control distributor from cam to provide required braking law with fast feed to working feed to reduce tool underflow. A hydraulic lock has also been added that eliminates the drift of the original position of the crossarm. The conducted tests showed that the use of the modernized drive allows to increase significantly the life of the rolling machine, the accuracy of the axis of the race of the bearing and the efficiency of the machine.

УДК 621.9.02

Композитные материалы в изделиях определенной формы и их прочностные характеристики

Буштрук А. А.^{1,a}, Буштрук Т. Н.^{2,b}

¹Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, Московское шоссе 34, Самара, Россия

²Самарский университет путей сообщения, ул. Свободы 2В, Самара, Россия

^abushtruk@yandex.ru; ^bbtnsam@mail.ru

Ключевые слова: ракетостроение, композитные материалы, прочностные характеристики, моделирование.

При проектировании ракетно-космических комплексов с использованием композиционных материалов определяющее значение имеют характеристики прочности, надежности и массы. Эти характеристики должны подтверждаться в экстремальных условиях эксплуатации изделия. Сочетание материала с оптимальными свойствами и формой изделия дает прогнозируемые параметры устройства. Моделирование прочностных характеристик изделия с заданными массогабаритными параметрами имеет актуальное значение при разработке конструкций космического назначения. Проведено исследование на определение прочностных оптимальных свойств и напряжений на изделиях формы шар и тороид при использовании специализированного программного обеспечения. В расчетах используется подход, основанный на безмоментной теории оболочек.

Прочностные характеристики конструктивных элементов (топливные баки, баки с окислителем т. п.) должны подтверждаться в экстремальных условиях эксплуатации изделия. На этапе проектирования ракетных установок при применении высокотехнологичных материалов определяющее значение имеет исследование характеристик прочности, надежности и массы. Сочетание материала с оптимальными свойствами и формой изделия дает прогнозируемые параметры устройства, применяемого в ракетной установке. Моделирование прочностных характеристик изделия с заданными массогабаритными параметрами имеет актуальное значение при разработке конструкций космического назначения. В работе проводится исследование прочностных характеристик изделий формы шар и тороид. Эти изделия являются важными конструктивными элементами ракетной установки; в форме шара выполнен бак окислителя и в форме тороида – бак горючего.

Для проведения исследований по прочностным характеристикам изделий соответствующей формы применяется безмоментная теория оболочек. Это упрощенный вариант общей теории, в котором пренебрегают влиянием изгибающих и крутящих моментов, а также поперечных сил на напряженно-деформированное состояние. На современном этапе ракетостроения в узлах специального назначения широко используются высокотехнологичные материалы, в частности полимерные композиционные материалы (ПКМ) [1 - 4].

Композиционный материал – это материал, состоящий из двух и более компонентов (фаз) взаимно не растворимых друг в друге. Одна из фаз является матрицей (связующим), а другая армирующим элементом (включением). Армирующие элементы предназначены для восприятия основной нагрузки, поэтому их располагают по направлению действия силы. Лучше всего армирующие элементы работают при растяжении. Для того, чтобы включения работали и на сжатие необходимо, чтобы материал был пропитан связующим. Матрица предназначена для обеспечения совместной работы армирующих элементов, их склейки, а

также для защиты армирующих элементов от внешнего воздействия (температуры, влаги и т.п.). Применение композиционного материала дает возможность улучшить массогабаритные параметры и обеспечить требуемые прочностные характеристики. В качестве примера, можно привести современный обтекатель ракеты «Протон-М»; сложная сотовая пятислойная углепластиковая конструкция со специальным теплозащитным покрытием (ТЗП), весит на 25% меньше традиционного дюралевого.

Одним из самых многочисленных и разнообразных видов композитных материалов являются полимерные композитные материалы. В таких материалах матрицей служит полимерный материал. От материала матрицы значительно зависят свойства композита: прочность, тепло и влагостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, метод получения изделия. Полимеры в качестве матрицы используют либо в чистом виде (порошки, гранулы, листы, пленки), либо в виде связующих.

В качестве армирующих элементов используют множество различных веществ.

Стекланные волокна получают из расплавленной стекломассы путем вытягивания струи на выходе из фильер до диаметра 5–20 мм. При изготовлении композитных элементов конструкций стекланные волокна используются в виде первичных нитей, ровингов (т.е. прядей нескрученных нитей), кручёных нитей и тканей на их основе. Достоинствами стекланных волокон являются высокая прочность при растяжении и сжатии, сравнительно низкая стоимость исходных материалов и процесса изготовления, хорошая совместимость с полимерными матрицами и технологичность. Недостатки связаны с низким модулем упругости и сравнительно низкой теплостойкостью.

Углеродные волокна получают путем температурного и механического воздействия на исходные органические волокна, приводящего к их карбонизации, графитизации и совершенствованию структуры [2].

В качестве армирующих элементов композитных материалов углеродные волокна применяются в виде жгутов, лент и тканей. Основными достоинствами углеродных волокон являются их более высокая по сравнению со стекланными волокнами жёсткость и высокая теплостойкость. Так, механические характеристики углеродных волокон сохраняются неизменными при повышении температуры до 750°C. Кроме того, эти волокна характеризуются отрицательным температурным коэффициентом линейного расширения, что в совокупности с положительным коэффициентом у матрицы позволяет синтезировать конструкции, сохраняющие свои размеры при температурном воздействии.

Борные волокна получают путем осаждения бора на нагреваемую вольфрамовую нить диаметром 12–16 мкм. Борные волокна обладают высокой чувствительностью к концентраторам напряжений, чем объясняется их большая прочность при сжатии, нежели при растяжении. Борные волокна хорошо совмещаются как с полимерной, так и с металлической матрицей. Их основными достоинствами являются высокая жёсткость и прочность при сжатии. К недостаткам можно отнести высокую стоимость, хрупкость и связанную с ней низкую технологичность, большую толщину элементарного слоя, определяемую диаметром волокон.

Органические волокна получают из концентрированного раствора полимера путем формования через фильеры. При достаточно высоком модуле упругости и большом предельном удлинении (до 2%) органические волокна обладают высокой ударной вязкостью и малой чувствительностью к повреждениям. Последнее свойство позволяет сохранять до 90% прочности волокон при получении тканевых полуфабрикатов. Органические волокна хорошо воспринимают растягивающую нагрузку. При сжатии композиты на основе органических волокон значительно уступают стеклопластикам. Рассматриваемые волокна обладают хорошей технологичностью, однако совмещаются с полимерными связующими хуже, чем стекланные.

Для получения композитных деталей форм вращения используют намотку волокна. Сущность метода состоит в равномерной и послойной намотке пучка волокон, пропитанного связующим, на оправку, имеющую форму будущего изделия, с последующим отверждением

связующего и извлечением оправки. Так получают различные пустотелые изделия, имеющие форму тел вращения, трубы, бочки, цистерны, емкости и тому подобное [1].

Варьируя состав матрицы и армирующего элемента можно достичь необходимых свойств материала. В связи с этим многие композитные материалы превосходят по своим механическим свойствам многие металлы и сплавы и, в то же время, они легче, поэтому использование ПКМ при производстве космической и авиационной техники позволяет сэкономить от 5% до 30% веса летательного аппарата. Все эти параметры, свойства, вид материала, способ его формирования, форма изделия закладываются в программное обеспечение (ПО).

Расчет прочности металлических конструкций проверяется по четвертой теории прочности – теории октаэдрических касательных напряжений (критерий фон Мизеса [1 - 3]). Согласно данной теории прочности напряженное состояние детали в точке считается безопасным, если октаэдрическое касательное напряжение не превышает допустимого для данного материала значения, которое не зависит от типа напряженного состояния и может быть найдено из опыта, то есть:

$$\tau_{\text{окт}} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma]$$

$$\eta = \frac{[\sigma]}{\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}}.$$

Распределение конечных элементов баков формы шар и тороид показаны на рис.1.

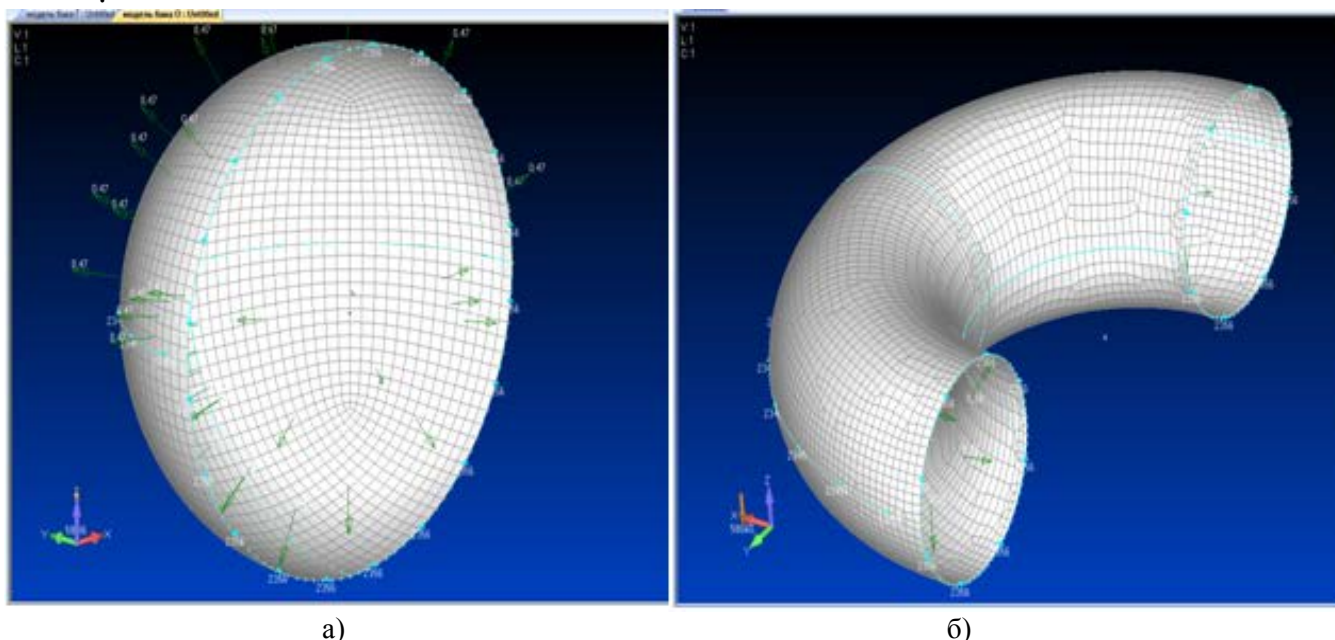


Рис. 1 Конечные элементы модели бака окислителя – а) и бака горючего – б) с заданными нагрузками и закреплениями в ПО Nastran

Прочность композитной конструкции проверяется по критерию Цая-Бу [1, 3]. Критерий имеет вид:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{33}\sigma_3^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 = 1, \quad (1)$$

где

$$F_1 = \frac{1}{\sigma_{1B}^+} + \frac{1}{\sigma_{1B}^-}, F_2 = \frac{1}{\sigma_{2B}^+} + \frac{1}{\sigma_{2B}^-}, F_{11} = \frac{1}{\sigma_{1B}^+\sigma_{1B}^-}, F_{22} = \frac{1}{\sigma_{2B}^+\sigma_{2B}^-}, F_{33} = \frac{1}{\sigma_{12B}^2}, F_{12} = -\frac{F_{11}}{2} -$$

множители, состоящие из напряжений материала.

Для получения композитных деталей форм вращения используют намотку волокна. Сущность метода состоит в равномерной и послойной намотке пучка волокон, пропитанного связующим, на оправку, имеющую форму будущего изделия, с последующим отверждением связующего и извлечением оправки. Так получают различные пустотелые изделия, имеющие форму тел вращения, трубы, бочки, цистерны, емкости и тому подобное [1]. Используем эти параметры и нагрузки из предыдущих расчётов для создания модели композитных топливных баков с помощью ПО Nastran. На рис. 2 показано распределение напряжений бака окислителя в форме шара и топливного бака в форме тороида

В безмоментной теории оболочек пренебрегают влиянием изгибающих и крутящих моментов, а также поперечных сил на напряженно-деформированное состояние при исследовании изделий заданной формы. Для того чтобы существовало безмоментное напряженное состояние, необходимы следующие условия. 1. Оболочка должна иметь форму плавно изменяющейся непрерывной поверхности с постоянной или плавно меняющейся толщиной. Резкое изменение указанных величин создает разницу в деформациях и вызывает изгиб. В местах резкого изменения геометрии оболочки (скачка) величины перемещений, определяемых по безмоментной теории, терпят разрыв. 2. Нагрузка на оболочку должна быть плавной и непрерывной. Безмоментная оболочка не может работать на сосредоточенную силу, перпендикулярную ее поверхности. 3. Закрепление краев оболочки должно быть таким, чтобы ее край мог свободно перемещаться по нормали. Углы поворота и нормальные перемещения на краях оболочки не должны быть стеснены. 4. Силы, приложенные к краю оболочки, должны лежать в касательной плоскости.

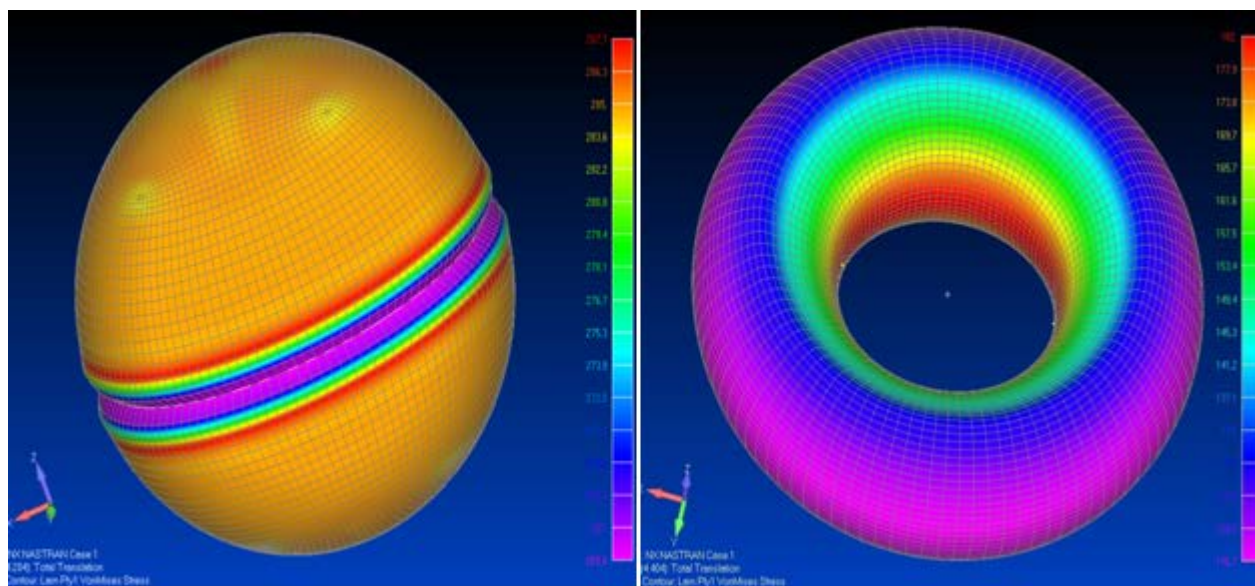


Рис. 2. Эквивалентные напряжения в лейнерах бака окислителя и топливного бака

Наиболее выгодным для работы оболочки является безмоментное состояние. К нему и стремятся, придавая оболочке соответствующую форму и закрепляя ее надлежащим образом. Безмоментная теория – это аппарат, который в одних случаях дает строгое описание, в других – достаточно хорошее приближенное описание напряженно-деформированного состояния оболочек. В ряде случаев безмоментная теория неприменима.

Эта теория применяется для расчёта на прочность изделий ракетно-космической техники. Согласно данной теории прочностные напряженные состояния детали в точке считается безопасным, если октаэдрическое касательное напряжение не превышает допустимого для данного материала значения, которое не зависит от типа напряженного состояния и может быть найдено из любого опыта. Формирование напряжений в виде последовательностей пригодно для моделирования распределения нагрузок по профилю изделия. Здесь целесообразно применить аппарат, разработанный Буштруком А. Д. для квазистационарных временных рядов [6 – 8]. Для измерительно-вычислительной системы используются участки последовательностей на равных интервалах. Эти последовательности пропускаются через полосовые фильтры с определенными свойствами, через блоки задержки τ_1 τ_2 , затем вычисляются взаимные корреляционные функции [6 – 8]. В качестве модели предсказания берется функциональный оператор типа фильтр-Заде (выражения записаны для сдвига τ право, что не теряет общности подхода):

$$R_{z_1y}(\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_1} a_{2i-1} \int_0^{t-\tau_1} \int_0^t h_{2i-1}(\theta) h_{\theta_2}(\mu_1) m_{1,2i-1}(\tau_1 - \mu_1 + \theta) d\theta d\mu_1 + R_{z_1y}(\tau_1), \quad (2)$$

$$R_{z_2y}(\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \int_0^{t-\tau_2} \int_0^t h_{2i}(\theta) h_{\theta_2}(\mu_2) m_{2,2i}(\tau_2 - \mu_2 + \theta) d\theta d\mu_2 + R_{z_2y}(\tau_2), \quad (3)$$

где l_1 и l_2 - число нечетных и четных членов в модели фильтра Заде, $m_{1,2i-1}(\pm \tau)$ и $m_{2,2i}(\pm \tau)$ - автокорреляционные моменты, образованные безынерционными элементами с характеристиками вида $f_{2i-1} = x^{2i-1}$ и $f_{2i} = x^{2i}$. Уравнения (2) и (3) записаны с учетом квазистационарности выбранного ряда исследуемого объекта. Для преобразования интегралов (2) и (3) используется теорема Бореля о свертке. Методика вычисления подобных интегралов приведена в [6, 8]. Используя фильтрующее свойство δ -функции и свойство эрмитовой симметрии [7] $K_i(\omega) = K_i(-\omega)$ и $\Psi_i(\omega) = \Psi_i(-\omega)$, ($i = 1, n$), для модулей комплексных коэффициентов передачи и фазовых характеристик линейных звеньев в структуре фильтра Заде [6, 7], получим

$$R_{z_1y}(\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_1} a_{2i-1} \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^i(\omega_0) K_{2i-1}(\omega_0) \cos(\omega_0 \tau_1 - \Psi_{2i-1}(\omega_0)) + R_{z_1y}(\tau_1), \quad (4)$$

$$R_{z_2y}(\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^i(2\omega_0) \cos(2\omega_0 \tau_2 - \Psi_{2i}(2\omega_0)) + R_{z_2y}(\tau_2), \quad (5)$$

где $S_{1,2i-1}(\omega; t) = \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^i(\omega)$, $S_{2,2i}(\omega; t) = \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^i(\omega)$; $S_{1,2i-1}^i(\omega)$ и $S_{2,2i}^i(\omega)$ - нормированные относительно дисперсий спектральные плотности входного сигнала соответствующих размерностей. Корреляционные моменты и спектральные плотности входного сигнала связаны между собой соотношениями, подробно рассмотренными в [6 - 8]. Здесь дан формализованный подход. Блок-схема системы для определения оценок $\hat{S}_{1,2i-1}(\omega, t)$ и $\hat{S}_{2,2i}(\omega, t)$ дана в [6]. После определения оценок спектральных плотностей соответствующей размерности входного сигнала $x(t)$ можно получить из (4) и (5) частотно-временные коэффициенты или критерии, которые являются функциями частоты ω_0 и временного сдвига τ (метод Буштрука А. Д.). Частотно-временные критерии – это логарифмические функции и их разности от информационных параметров $b_i(\omega_i)$, а также знакопеременные функции

$$\begin{aligned}\hat{L}_k^{(0)} &= \hat{L}_k^{(0)}(\omega^{(m)}, \pm \tau_k), \hat{L}_k^{(-\pi/2)} = \hat{L}_k^{(-\pi/2)}(\omega^{(m)}, \pm \tau_k); \hat{L}_k^{(\pi/2)} = \hat{L}_k^{(\pi/2)}(2\omega^{(m)}, \pm \tau), \\ \text{sign} \hat{b}_k^{(0)} &= \text{sign} \hat{b}_k^{(0)}(2\omega^{(m)}, \pm \tau_k), \text{sign} \hat{b}_k^{(\pi/2)} = \text{sign} \hat{b}_k^{(\pi/2)}(2\omega^{(m)}, \pm \tau_k), \\ \text{sign} \hat{b}_k^{(0)} &= \text{sign} \hat{b}_k^{(0)}(\omega^{(m)}, \pm \tau_k), \text{sign} \hat{b}_k^{(-\pi/2)} = \text{sign} \hat{b}_k^{(-\pi/2)}(\omega^{(m)}, \pm \tau_k)\end{aligned}$$

где $k \div \overline{1, n}$, $\hat{L}_k^{(\cdot)} = 20 \lg |b_k^{(\cdot)}(d\omega^{(m)}, \tau)|$, $d \div 1, 2$.

При использовании метода и алгоритмов [6, 8] могут быть получены модели рядов обнаруженных напряжений в изделиях для их дальнейшего использования в исследованиях. Полученная (идентифицированная) передаточная функция формирующего фильтра [6, 7] дает будущие значения ряда, т.е. прогноз [10]. По полученным прогнозным значениям ряда характеристических параметров исследуемого технологического образца можно определить изменение прочностных свойств, а также других показателей. Процедуры моделирования (идентификации) приближают исследователя-проектировщика к реальным производственным условиям [8, 9]. Адаптация измерительно-вычислительной процедуры обеспечит достоверность полученной модели [9]. Полученные модели можно использовать при проведении исследований по изменению прочностных характеристик различных материалов и форм изделия в изменяющихся условиях эксплуатации.

Литература

1. Васильев В.В. Композиционный материал [Текст] Справочник/ В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин и др. Машиностроение, 1990, 512с.
2. Бушуев Ю.Г. Углерод – углеродные композиционные материалыб справочник – М: Металлургия, 1994 – 138с.
3. Зиновьев П.А. Предельные возможности многослойных композитных структур [Текст] Механика твердого тела. 1994.
4. Васильев В.В. Механика конструкция из композиционных материалов. Машиностроение, 1998. 272с.
5. Геллер Л.Е. Справочник по композиционным материалам [Текст]/ под редакции Геллера М.М. – М:Машиностроение, 1988. 584с.
6. Буштрук Т. Н., Буштрук А. Д. Методы идентификации объектов и процессов. М-во тр-та РФ; Самарская гос. акад. путей сообщ. Самара : СамГАПС. 2005. 150 с.
7. Буштрук А.Д., Буштрук Т.Н. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов.// Автоматика и телемеханика.- 2005.- № 2. -С. 46 -
8. .Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н., Фазлыев И. И. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с разрешением противоречия между точностью и быстродействием // А и Т. 2011. № 7. С. 147-158.
9. Буштрук Т. Н., Засов В. А. Перспективные направления моделирования и идентификации динамических систем : монография / Самара : СамГУПС. 2019. 158 с.
10. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1. Пер. с англ. М. : Мир, 1974.

Composite materials in products of a certain shape and strength characteristics

Bushtruk A. A.^{1,a}, Bushtruk T. N.^{2,b}

¹Samara National Research University, Moskovskoe high road 34, Samara, Russian Federation

²Samara state transport university, st. Svoboda 2B, Samara, Russian

Federation ^abushtruk@yandex.ru; ^bbtnsam@mail.ru

In the design of space rocket complexes the characteristics of strength, reliability and weight have decisive importance. These characteristics must be confirmed in extreme conditions of

use of the product. The combination of material with optimal properties and product shape gives the predicted device parameters of reliability and viability. Modeling of the strength characteristics of a product with specified mass and size parameters is of actual importance in the development of space-based structures. A study was conducted to determine the optimal strength properties and stresses on products of the ball and toroid shape using specialized software. The calculations use an approach based on the membrane theory of shells theory.

Keywords: rocket engineering, composite materials, strength characteristics, modeling

УДК 621.9

Устройство для управления электроалмазным шлифованием с целью стабилизации режущих свойств абразивного инструмента

Сурьев А. А.

Братский государственный университет, ул.Макаренко 40, Братск, Россия
suryv@mail.ru

Ключевые слова: шлифование, управление, электроалмазная обработка, качество поверхностного слоя детали.

В статье представляется метод и принципиальная электрическая схема для управления процессом электрохимической правки абразивного инструмента на металлической связке.

Предлагаемый метод правки позволяет в автоматическом режиме восстанавливать режущую способность абразивного круга, что приводит к значительному повышению качественных показателей обработанной поверхности.

В современном машиностроении для повышения качества обработки труднообрабатываемых материалов, а также для обеспечения долговечности и износостойкости изготавливаемых деталей машин используются новые технологические методы обработки. Они основаны на комбинировании механического, электрохимического, электроэрозионного методов обработки. Комбинирование этих методов обработки расширяет возможности технологического воздействия на обрабатываемый материал. Однако, несмотря на высокий потенциал технологических возможностей комбинированных методов обработки не всегда удается получить качество детали, отвечающее требованиям. Это объясняется тем, что оценка и прогнозирование качества поверхности при комбинированном технологическом воздействии, осуществляется в отрыве от реальных условий.

Таким образом, разработка схемы управления процессом комбинированного электроалмазного шлифования, позволяющей достигать заданного качества поверхности, является актуальным.

Сущность процесса электроалмазного шлифования состоит в сочетании электрохимического (анодного) растворения обрабатываемого металла, обуславливающего высокую производительность, с алмазным шлифованием, дающим высокое качество и точность шлифования.

Разработанный способ электроалмазного шлифования, позволяет производить непрерывную электрохимическую правку абразивных кругов на токопроводящей связке, а также одновременно управлять этим процессом, что позволяет значительно снизить

удельный расход круга, повысить производительность и улучшить качество обработанной поверхности по основным параметрам.

Суть способа: с помощью программного обеспечения [1, 2] определяется требуемая плотность тока правки, в зависимости от условий работы, характеристик круга и обрабатываемого материала. Предварительно устанавливается зазор между кругом и правящим электродом (катодом) равный 0,1 мм и катод жестко фиксируется. Правка осуществляется за счет электрохимического растворения засаленного слоя и, при необходимости обновления абразивных зерен, связки круга. В этом случае круг работает в режиме самозатачивания.

На Рис. 1 показана схема управления процессом правки круга электрохимическим методом. От блока управления 1 к катоду 2 и кругу 4 подключен источник постоянного тока с рабочим напряжением $U=4...8В$. В межэлектродный зазор подается токопроводящая СОТС. В результате чего электрическая цепь замыкается, и в зазоре протекают электрохимические реакции.

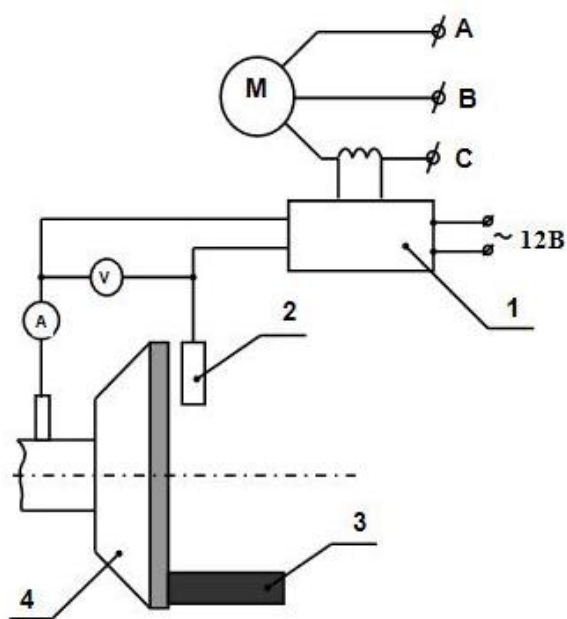


Рис. 1 Схема управления процессом правки круга электрохимическим методом :
1 – Блок управления; 2 – Катод; 3 – Деталь; 4 – Круг

Электрическая схема блока управления позволяет автоматически стабилизировать заданную величину тока в цепи правки и при необходимости изменить ее в зависимости от условий резания.

На Рис. 2 показана принципиальная электрическая схема блока управления для непрерывной правки круга. Резистором R_1 выставляется требуемое напряжение в электрической цепи, чтобы сила тока соответствовала требуемой плотности тока правки. К одной из фаз привода главного движения с помощью шунта подключается управляющая схема.

В начальный момент работы резистором R_4 выставляется сопротивление, при котором напряжение в управляющей цепи будет меньше, чем требуется для работы оптопары К249КН1, в этом случае контактор K_1 будет разомкнут и в цепи правки сила тока имеет оптимальную величину.

Из-за засаливания рабочей поверхности круга или износа абразивных зерен, круг теряет свою работоспособность и, как следствие, мощность резания возрастает, в результате чего повышается сила тока на фазах электропривода. Напряжение в управляющей цепи достигает критического значения, в этот момент срабатывает оптопара, замыкая контактор K_1 . В результате сила тока в цепи правки достигает максимального значения, а процесс

электрохимического растворения протекает более интенсивно, режущие свойства круга стабилизируются. При восстановлении режущей способности круга, мощность резания снижается, оптопара отключается, и процесс периодически повторяется.

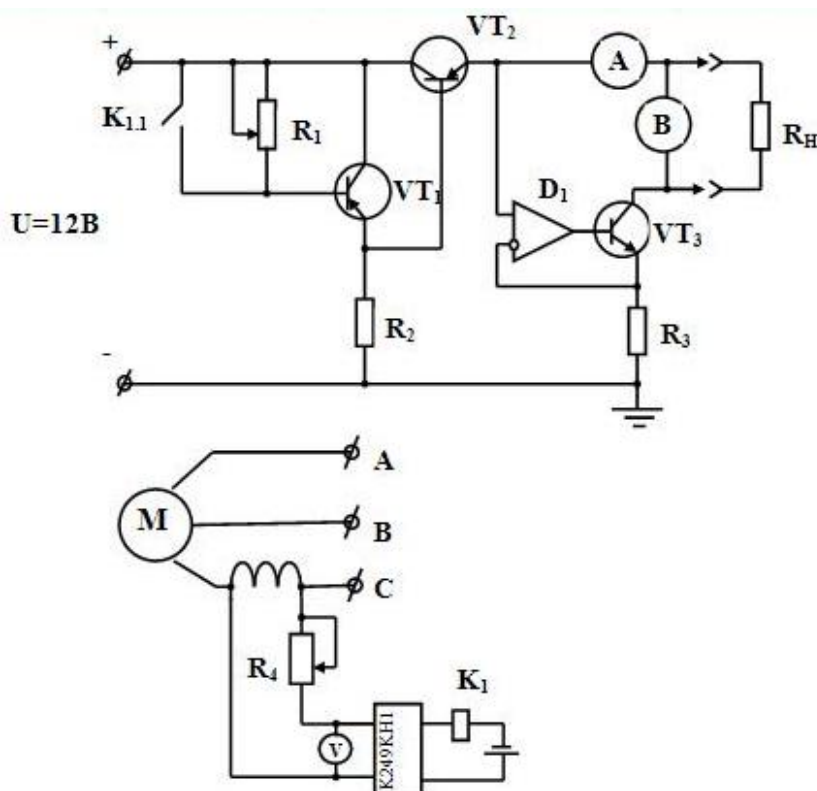


Рис. 2 Принципиальная электрическая схема блока управления для непрерывной правки круга

В реальных условиях резания за R_H принято сопротивление в межэлектродном зазоре, величина которого непрерывно изменяется в процессе работы из-за изменения температуры, химического состава СОТС, величины зазора и др., в результате чего изменяется сила тока в цепи правки. Стабилизация осуществляется за счет обратной связи. При изменении сопротивления нагрузки дифференциальный усилитель D_1 меняет сопротивление в цепи и при постоянном напряжении сила тока остается неизменной.

Таким образом, данное устройство позволяет стабильно поддерживать высокие режущие свойства на протяжении всей операции при минимальном удельном расходе круга, значительно повысить производительность за счет того, что процесс обработки не прерывается из-за необходимости правки круга.

Литература:

1. Свидет. об офиц. Регистр. программы для ЭВМ. №2004611425 (РФ). Расчет напряжения и плотности тока правки в электрической цепи при комбинированном шлифовании (Electrode v.1.0)/ А.С. Янюшкин, А.А. Сурьев, Е.А. Слепенко; Зарегистр. Роспатент 07.06.2004.
2. Попов В.Ю. Исследование коэффициента режущей способности алмазных шлифовальных кругов при обработке инструментальных сталей методом двойного травления/ В.Ю. Попов, А.С. Янюшкин, А.А. Сурьев, В.В. Янпольский// Наука. Техника. Инновации Региональная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Тез. докл. в 5-ти частях. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2001. Часть 3. С. 43-45.

Device for electronic grinding control in order to stabilize the cutting properties of the abrasive tool

Suryev A.A.

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russian Federation

suryv@mail.ru

Keywords: grinding, control, electro-diamond processing, the quality of the surface layer of the part.

The article presents the method and circuit diagram for controlling the process of electrochemical dressing of an abrasive tool on a metal bond.

The proposed dressing method allows you to automatically restore the cutting ability of the abrasive wheel, which leads to a significant increase in the quality indicators of the machined surface.

УДК 620.178.162.2

Обзор причин интенсивного износа гребня колесной пары и способов его уменьшения

Шалыгин М. Г.^{1,а}, Ващишина А. П.^{1,а}

¹Брянский государственный технический университет, Брянская область, город Брянск, бульвар 50 лет Октября, дом 7

^аtts-dm@yandex.ru

Ключевые слова: гребень, рельс, износ, смазочный материал, деформации, колесная пара.

В статье рассматривается проблема износа гребня колеса поезда и условия, влияющие на процесс деформации материала деталей колесной пары. Рассмотрены факторы, влияющие на износ. Показано, что ресурс гребней зависит от характера и скорости протекания химических и физических процессов. Отмечено, что в очаге разрушения гребня выявлено повышенное содержание углерода, кислорода и кремния. Установлено, что основным способом уменьшения износа является смазывание гребня с целью уменьшения коэффициента трения.

Введение. На электроподвижных составах промышленного железнодорожного транспорта применяют бандажные колеса с дисковыми центрами, на удлиненную ступицу которых насаживается зубчатое колесо. Колесная пара тяговых вагонов состоит из оси, литых колесных центров с бандажами, закрепленными бандажными кольцами, цельнокатаных зубчатых колес. Элементы колесной пары работают при разных условиях и требуют определенного процесса изготовления для обеспечения необходимых условий долговечности и высокой надежности [1]. Анализ статистических данных показал, что основными причинами отбраковки колесных пар тягового подвижного состава являются износ и подрез гребня, а также возникновение остроконечного наката. В качестве решения этой проблемы на железных дорогах разработан комплекс мер, действие которых заключается в устранении вредных факторов (коэффициент трения, твердость материала колеса и рельса, размеры и формы пятен контакта) и условий (внешние условия окружающей среды – температура, влажность и т.д.), влияющих на износ гребня колеса вагона и боковых граней наружных рельсов [2].

Теория. На криволинейных участках железнодорожных путей возникают проблемы, связанные с износом рельсов. Одной из них является износ между гребнем колеса и внешним рельсом кривой при отсутствии смазки. При вхождении в поворот возникают боковые микроперемещения колеса по поверхности рельса (площадь их контакта определяется деформацией материала в соприкасающихся областях под воздействием нагрузки), что приводит к высоким ударным нагрузкам колеса, и в результате к быстрому изнашиванию материала. Эти факторы будут влиять на контактное сопротивление и локальные температуры, которые возникают при фрикционном трении, и на величину переноса материала между трущимися поверхностями [3]. Этот эффект возникает на внутреннем рельсе криволинейного участка. Предполагается, что при самых легких нагрузках микроповерхности касаются небольших участков и по мере увеличения нагрузки эти области увеличиваются в размерах. Некоторые неровности приближаются и соприкасаются, образуя новые области контакта. Это значит, что повышение нагрузки увеличивает области контакта трущихся поверхностей и распределение областей осуществляется по размерам площадей

взаимодействия. Используя эту модель, авторами были выведены зависимости между приложенной нагрузкой и площадью контакта [4].

$$\left. \begin{aligned} A &= B \left(\frac{P}{C} \right)^{\left(\frac{2}{1+p} \right)} \\ G &= D \left(\frac{P}{C} \right)^{\left(\frac{1+m}{1+p} \right)} \end{aligned} \right\}$$

где $B = \frac{1}{2}Mb$, $C = [M/(1+p)]c$, и $D = [M/(1+m)]d$; A – площадь неровностей; P – нагрузка, переносимая контактом; C – проводимость контакта; p – коэффициент деформации; m – коэффициент сопротивления сужения.

В процессе скольжения у поверхностей возникают силы трения, между которыми наблюдается межмолекулярное взаимодействие (это будет включать меньшие области контакта). Деформация контактируемых областей может показаться упругой на основе измерений контактного сопротивления, а трение между рассматриваемыми поверхностями будет определяться пластической деформацией неровностей.

Ограниченные данные измерений контактного сопротивления согласуются с моделью, в которой количество и средний размер контактных областей увеличиваются с нагрузкой [5],[6].

Воробьев А.А. и Котова В.В. в статье [7] отмечают, что частицы износа представляют собой чешуйки или пластины разной толщины. Они характерны для нормальных условий износа [8]. Для образования частиц износа необходимо, чтобы сталь достигла своего предельного деформационного состояния, которое ускоряется под действием поверхностно-активной среды [9]. При образовании и отслоении от металла частиц износа на них происходит адсорбция активных элементов окружающей среды внутрь трещин с высокими скоростями, и данный процесс приводит к дальнейшему процессу пластической деформации стали. Таким образом, влажная окружающая среда, содержащая различные смазки и загрязнения оказывает негативное влияние на усталостную прочность поверхности катания колеса вследствие адсорбционного и коррозионного эффектов.

В статье [10] автор отмечает, что изнашивание и ресурс гребней рельсов в основном зависит от характера и скорости протекания химических и физических процессов, которые происходят в поверхностных слоях металла.

В работе [11] говорится о возникновении силы трения между колесом и рельсом при движении поезда, вследствие чего совершается работа, основная часть которой переходит во внутреннюю энергию, что приводит к повышению температуры трущихся поверхностей, и достигает своего максимума в месте основного контакта. Также имеет место процесс адгезионного изнашивания (он зависит от шероховатости поверхностей, твердости материала, нагруженности зоны контакта).

В статье [12] говорится, что изнашивание колесной пары может происходить из-за механического взаимодействия и развития усталостного разрушения трущихся поверхностей при истирании, а разрушение материала вследствие зацепления неровностей поверхностей при трении. Зарождение усталостной трещины носит местный характер и возникает в местах, где приходится максимум напряжения на выбранный участок. Максимум напряжений возникает из-за неметаллических включений, неровностей поверхности и резких переходов между сечениями. В работах [13.] были установлены наиболее опасные области зарождения усталостного разрушения (рис. 1), в число которых входит гребень бандажа.

Данный процесс можно описать следующим образом: сначала, под действием периодических ударных нагрузок, возникающих при входе состава в поворот железнодорожного пути, вблизи поверхности образуется участок из веера микротрещин.

Затем, они подрастают вдоль плоскостей максимальных скалывающих напряжений, как в сторону поверхности, так и в глубину гребня. В тот момент, когда трещина достигает своего максимального размера происходит доламывание металла по поверхности и внутрь материала и откол материала от гребня. Авторами в очаге разрушения были обнаружены неметаллические включения. Анализ их химического состава выявил повышенное содержание углерода, кислорода и кремния. Из полученных результатов сделан вывод, что разрушение связано с наличием в структуре силикатов или шлаковых образований. [14].



Рис. 1. Выделены места усталостного разрушения бандажей, которые могут послужить началом усталостного изнашивания.

Раньше отцепки вагонов были связаны с дефектами контактно-усталостного происхождения и дефектами рельсовых стыков [15]. В настоящее время причиной отцепок является боковой износ гребня колеса. В среднем, как показано в работе изымалось от 10000 рельсов до 50000 рельсов в год. При выходе из строя колеса поезда повлечет за собой отказ в работе целого вагона, при этом увеличится время их ремонта в железнодорожном депо. Интенсивному износу гребня способствуют образующиеся накаты. При движении поезда происходит сильное взаимодействие материала колеса и материала рельса, в результате чего оба материала смещаются и способствуют разрыву металла и образованию сетки трещин на поверхности. В этом случае требуется обточка гребня [16]. Колесные пары подлежат обточке при незначительной величине проката поверхности катания [17]. Средняя интенсивность износа колеса по тонкому гребню составляет 0,5 мм на 10 тыс. км пробега (что в два раза больше установленной нормы - 4 мм на 160 тыс. км). Поступление вагонов в текущий ремонт связано с 35% - 40% из-за неисправности колесных пар [18]. Отказы в пути сопровождаются ухудшением условий работы подвижного состава – высоким уровнем интенсификации бокового износа гребней колес, подрезов и наката гребней. В связи с износом гребней стали отбраковывать 50% колес. А износ самого гребня на 50% увеличивает расход энергии на тягу на 30% [19].

Kik W. и Moelle D. [20] обнаружили, что хорошее соответствие между экспериментальными данными и результатами моделирования износа может быть достигнуто, только если использовать высокую твердость фланца колеса (т.к. твердость влияет на объем материала при деформации). Твердость разных зон колеса и коэффициент трения указываются при моделировании - чем больше твердость материалов, тем меньше износ поверхностей. Из стандарта [21] известно, что для новых колес твердость по периметру составляет не более 20 HB (8%).

Сравнение имеющихся данных об износе колес с закаленной поверхностью в определенных условиях экспериментальной круговой дорожки позволило оценить коэффициенты легкого и сильного износа, коэффициент трения. Момент трения зависит от размеров пятника, подпятника, наличия/отсутствия перевалки кузова, положения скользунов, коэффициента трения, величина которого зависит от трибологических параметров материала

контактных поверхностей; значение может меняться от 0,25 до 0,4. Появление дополнительных сил трения значительно увеличивают момент сил сопротивления при вхождении поезда в поворот железнодорожного пути [22]. Для колес были установлены следующие значения параметров абразивного износа:

- коэффициент трения протектора колеса составляет 0,25;
- коэффициент трения для фланца колеса составляет 0,28.

Таким образом, используя различный материал при изготовлении конструктивных частей системы колесной пары, можно обеспечить рациональные значения сил трения [23].

Одним из способов защиты от износа является использование легированной стали в производстве колесной пары. В статье [24] была проделана работа по определению степени влияния различных легирующих элементов на прочностные характеристики колесной стали. Исследовались стали с содержанием углерода (0,29% - 0,72 %). В работе определяли такие свойства стали - ударная вязкость, контактно-усталостная долговечность, износостойкость, пластичность при их нормализованном и упрочненном состоянии. В результате выполненных исследований был сделан вывод о том, что нецелесообразно использовать легированную сталь с содержанием углерода более 0,5 %, поскольку положительные свойства колесной стали при легировании существенно ослабевают с увеличением содержания углерода. Традиционная технология закалки сталей токами высокой частоты широко применяется во множестве отраслей промышленности, в том числе в железнодорожной сфере для повышения износостойкости колес подвижного состава [25].

Для снижения износа гребня колеса вагона – на поверхность головки наружного рельса на криволинейных участках наносят смазку, в состав которой входят – твердосмазочный материал (состоит из порошка графита и дисульфида молибдена) и поверхностно-активное вещество ПАВ (серпентинит 5-60%, ПАВ 1-20%, оставшаяся часть приходится на органическое связующее). Органический компонент является основным жидким компонентом смазки, способствует равномерному распределению ее на рельсы. Серпентинит в процессе взаимодействия колеса и рельса приобретает антифрикционные свойства и формирует на поверхности серповитную пленку, которая обеспечивает непрерывное поступление твердосмазочного материала на пару трения. Помимо этого, данная пленка снижает износ на прямолинейных участках дороги. Подача смазки происходит в момент поворота поезда, а при выходе из поворота подача смазки автоматически прекращается. Недостатком такого метода является то, что не обеспечивается удержание твердосмазочного материала, а это ведет к перерасходу смазки [26].

Одним из способов уменьшения износа является применение смазочных материалов SKF и Lincoln. Данные производители предлагают стационарные путевые, мобильные системы смазки.

На стационарных системах смазывания определенный объем смазочного материала наносится на рельс и поддерживает эту смазку на месте. Благодаря такой системе колеса поездов полностью захватывают смазочный материал и переносят его по рельсам. Устанавливаемые на подвижном составе системы для смазывания гребня колеса устанавливаются на первой колесной паре передней тележки головного вагона. Материалы, имеющие высокую вязкость и фрикционные присадки наносятся автоматически и помогают решать задачи снижения износа [27], [28].

Еще одним способом снижения износа гребня колеса вагона является внедрение системы смазки рабочей грани рельсов с применением магнитоуправляемых контактов. Когда начинает поступать обратный ток, геркон сразу включает двигатель насоса, который прокачивает масло в емкости. Масло поступает по трубопроводу под давлением и смазывает рабочую грань рельса. Магнитоуправляемые контакты запаяны в стеклянную колбу, заполненную азотом или инертным газом; они герметизированы. Отсюда и пошло их название герконы – т.е. герметизированные контакты. В системе смазывания гребня используется переключающий геркон. При прохождении поезда по участку пути, ток, протекающий по рельсовой цепи, подается на левую обмотку переключающего геркона,

средняя пластина, замыкая левый контакт, подаст сигнал на электропневматический контакт резервуара для масла. Срабатывает контактор выпуска масла в маслопровод. При вертикальной нагрузке на шпалы от колесных пар масло с давлением будет разбрызгивать рельс со стороны рабочей грани по периметру кривой до прохождения последней колёсной пары технологической вертушки. Герконы должны иметь защитный корпус, так как контакты геркона герметизированы [29]. Недостатком данного метода является непостоянство поступления тока, возможные разрывы контактов и разгерметизация контактов, в результате чего не произойдет обработка смазываемым материалом гребня колеса вагона.

Вывод: Таким образом, основной причиной отбраковки колесных пар тягового подвижного состава является износ гребня. Для снижения износа гребня колеса вагона необходимо наносить на головку рельса смазочный материал, состоящий из твердосмазочного материала и поверхностно-активного вещества. Применение высоковязких смазочных материалов с фрикционными присадками снижают износ поверхностей катания. Для повышения износостойкости материала необходимо использовать стали, закаленные при высокой частоте. Для уменьшения деформаций следует использовать высокотвердый материал фланца колеса, т.к. чем больше твердость материала, тем меньше деформация (износ).

Литература:

1. Безрученко В.Н., Браташ В.А., Петрович Л.В.. Электроподвижный состав промышленного железнодорожного транспорта. – Киев.: Высшая школа, 1981. – 248с.
2. Душкин М.В. Технология и мероприятия по повышению долговечности колёсных пар. Программа 78-й студенческой научно-практической конференции, Воронеж, апрель 2019. 109с.
3. F. P. Bowden and D. Tabor, The Friction and Lubrication of Solids Oxford University Press, London, 1950.
4. J. F. Archard Contact and Rubbing of Flat Surfaces Cite as: Journal of Applied Physics 24, 981 (1953); Submitted: 08 January 1953 . Published Online: 07 June 2004.
5. A. J. W. Moore, Proc. Roy. Soc. (London) A19S, 231 (1948)
6. J. T. Burwell [J. T. Burwell and C. D. Strang, Proc. Roy. Soc. (London) A212,470 (1952); J. Appl. Phys. 23, 18 (1952).
7. Воробьев А. А., Котова В. В. / Износ в системе "колесо - рельс" // Петербургский государственный университет путей сообщения (пгупс) Труды ростовского государственного университета путей сообщения н.: 3 г. 2014 стр. 24-31.
8. Марченко Е.А. О природе износа поверхностей металлов при трении / Е.А. Марченко. – М.: Наука, 1979. – 118 с
9. Лихтман В.И. Физико-химическая механика материалов / В.И. Лихтман, Е.Д. Щукин, П.А. Ребиндер. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 303 с.
10. Буйносов А.П. Износ бандажей и рельсов: причины и возможности сокращения // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 10. – С. 39–41.
11. Буйносов А.П., Тихонов В.А.. Повышение износостойкости колесных пар электроподвижного состава за счет обработки гребней триботехническим составом // Междисциплинарность науки как фактор инновационного развития: мат.конф. – Екатеринбург, 2017. 256с.
12. Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Балдин В.Л.. Математическая модель повышения ресурса бандажей колесных пар электропоездов // Ремонт, восстановление, модернизация – 2011. – № 4.
13. Балановский А.Е., Плетников И.А. Комплексная оценка качества технологии плазменного поверхностного упрочнения бандажей локомотивов, ч. 3. // Сварка и Диагностика – 2012. – № 5. 5.
14. Мерсон Д.Л., Виноградов А.Ю.. / Анализ причин разрушения бандажей локомотивов по знакам маркировки // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. -2013. № 3, -С. 74-77.
15. Вериги М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес / М.Ф. Вериги. - М., 1997. - 207 с.;

16. Просви́ров Ю. Е., Лютикова К. О.. Пути снижения износа гребней колесных пар локомотивов // Вестник Самарской государственной академии путей сообщения. - 2007. - Вып. 8 (12). - С. 73-77.
17. Гончаров С.Е. Износ гребней колесных пар вагонов // Московские времена. -2017. № 4. - С. 32–37.
18. Коржин С. Н.. Анализ и выбор технологических решений по повышению износостойкости гребней колесных пар: дис. к.т.н. –М., 2009. –С.54-60.
19. Сакин А.Е., Исследование износа поверхностей катания грузовых вагонов // Железнодорожный транспорт за рубежом. - 1979. № 7. - с. 33-35.
20. Kik W., Moelle D. Parallel or on-line simulation of wear using general wheel rail element // Presentation of 4th VI-grade Users' Conference (18.10-19.10.2011), Udine, Italy.
21. ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатанные. Технические условия // Введ. 2012-01-01 - М.: Стандартинформ, 2011. - 33 с.
22. Филиппов В. Н. Снижение износа гребней колес грузовых вагонов за счет рационализации параметров узлов опирания кузова // Вестник. –Урал, 2003 - С.11-17.
23. Refining the parameters of Archard's wear model for calculating wear of wheels applied for 25 t per axle freight wagons on Russian railways: статья / A. Saidova, A. Orlova // Vehicle System Dynamics : International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility. - 2014. - Vol. 52, Supplement 1, Special Issue : IAVSD Proceeding Supplement. - pp. 3-15.
24. Ларин Т.В., Парышев Ю.М., Вихрова А.М. Низколегированная сталь для колес грузовых вагонов // Производство железнодорожных колес и рельсов. – Харьков, 1975. – С. 103-107.
25. Суслов А.Г. Инженерия поверхности детали. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
26. Яковлев Г. М. Смачивание или смазка рельсов или колесных реборд // Патент России, № B61K 3/00.
27. Lincoln Успешное решение проблем трения. UB LS/S2 14824 RU 1-2024-RU. // SKF Group. -2014. -20с.
28. Афанасов А. М., Кийко А. И., Арпуль С. В.. Анализ влияния условий сцепления на фактор износа гребней колесных пар локомотивов // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. -2012, №41. -С.4.
29. Муратов Г. Г., Жураев А. Ш., Полвонов Н. О., Буриев Ф. М. Применение магнитоуправляемых контактов в устройствах гребнесмазывания электроподвижного состава промышленного железнодорожного транспорта // Наука и техника транспорта. -2018. –С.240.

Overview of the causes of intense wear and tear of the wheelset ridge and how to reduce it

Shalygin M. G.^{1, a}, Vashchishina A. P.^{1, a}

¹Bryansk State Technical University, Bryansk region, Bryansk, boulevard 50 years October, house 7

^atts-dm@yandex.ru

Keywords: ridge, rail, wear, lubricant, deformations, wheelset.

The article discusses the problem of wear of the wheel of the train and the conditions affecting the process of deformation of the material of the wheelset parts. Factors affecting wear and tear are considered. It is shown that the life of the ridges depends on the nature and speed of chemical and physical processes. It is noted that increased content of carbon, oxygen and silicon is detected in the site of ridge destruction. It has been found that the main way to reduce wear is to lubricate the ridge in order to reduce the coefficient of friction.

Результаты внедрения новых примерных программ профессиональной подготовки водителей транспортных средств в России за 2015–2019 годы

Ясенков Е.П., Парфенова Л.А.

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
bravo-bratsk@yandex.ru

Ключевые слова: Профессиональная подготовка водителей транспортных средств, дорожно-транспортные происшествия, статистика ДТП, причины дорожно-транспортных происшествий, рост количества автомобилей на дорогах, уровень подготовки курсантов в автошколах.

В Российской Федерации введены в действие 28 Примерных программ профессиональной подготовки водителей транспортных средств с новыми категориями и подкатегориями. Статистика ГИБДД за 2015-2019 годы отмечает снижение аварийности практически по всем параметрам. Главными факторами при совершении большого количества ДТП и их последствий в РФ являются неудовлетворительное состояние улично-дорожной сети, нарушение ПДД, рост количества автотранспорта, недостаточный уровень подготовки курсантов в автошколах. Проведенные исследования показали, что автошколы Российской Федерации могут достаточно эффективно осуществлять подготовку, переподготовку и повышение квалификации водителей транспортных средств на основании новых Примерных программ.

В результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в Российской Федерации (РФ) ежегодно погибает большое число людей. Смертность на дорогах страны в 3-4 раза выше, чем в странах Европы. Последние 2015-2019 годы также не стали исключением. Основной причиной большинства произошедших ДТП является нарушения правил дорожного движения (ПДД), которыми нередко пренебрегают и водители, и пешеходы [1].

В рамках национального проекта «Безопасные и качественные дороги» из федерального бюджета на борьбу с аварийностью на российских дорогах выделили 4,7 трлн. рублей до 2024 года. В соответствии с планом, смертность в ДТП должна снизиться втрое по сравнению с показателями 2017 года: с 13,6 до 4 погибших на 100 тысяч населения.

Снижение аварийности на дорогах России продолжается который год подряд, но динамика падения остается недостаточной для кардинального изменения смертности и количества аварий. Это хорошо видно из опубликованной статистики ДТП, обнародованной Госавтоинспекцией в период с января по декабрь 2019 года [2].

Так, за отчетный годовой период произошло 164358 ДТП, что на 2.2% ниже аналогичного периода (в 2018 году было совершено 168099 ДТП).

Следовательно, реформы, проводимые начиная с 2014 года, обеспечивают устойчивые результаты по снижению показателей дорожной безопасности. Для реализации Федерального закона № 196-ФЗ [3] «О безопасности дорожного движения» в 2014 году вступил в силу Приказ Минобрнауки РФ № 1408 [4], согласно которому были утверждены 28 примерных программ профессионального обучения водителей транспортных средств (ТС) соответствующих категорий и подкатегорий.

При этом утратили силу Приказ Минобрнауки РФ № 636 [5], Федеральный закон РФ № 92-ФЗ [6] и Кодекс Российской Федерации «Об административных правонарушениях» [7], которые включали соответственно пять и шестнадцать типов примерных программ подготовки водителей ТС.

Через 5 лет после внедрения 28 новых примерных

Конструкции, технические и эксплуатационные свойства транспортных средств

программ профессионального обучения водителей ТС проанализируем эффективность их применения. В основу исследования положим данные из различных статистических источников.

Статистика дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации за 2015-2019 гг. представлена в табл. 1 - [1, 2].

Таблица 1

Статистика дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации
за 2015-2019 гг.

Год	Количество ДТП, шт.	± % АППГ	Погибло, чел.	± % АППГ	Ранено, чел.	± % АППГ
2015	184000	-8,2	23114	-14,7	231197	-8,6
2016	173694	-5,6	20308	-12,1	221140	-4,3
2017	169432	-2,4	19088	-6,0	215374	-2,6
2018	168099	-0,8	18214	-4,6	214853	-0,2
2019	164358	-2,2	16981	-6,8	210877	-1,9

Анализируя табл. 1, можно сделать следующие выводы.

1. За последние 5 лет тенденция снижения аварийности по основным показателям продолжает сохраняться. Уверенное снижение аварийности, наблюдавшееся в последние годы, замедлилось в 2018 году почти до нуля (до -0.8%).

2. С января по декабрь 2019 года произошло 164358 случаев ДТП, что на 2.2% ниже аналогичного периода (в 2018 году было совершено 168099 ДТП). Снижение аварийности на дорогах России не носит существенного характера, однако Минтранс, Минздрав и МВД проявляют активные действия в решении проблем безопасности движения автотранспорта.

3. В табл. 1 указано количество только тех ДТП, которые зафиксированы в ГИБДД. По данным Российского союза автостраховщиков в 2017 году за компенсациями по ОСАГО обратились 1 639 000 (то есть примерно в 10 раз больше) пострадавших водителей, треть из которых оформили аварию по европротоколу [1].

4. За 2019 год погибло почти 16981 человек, что на 6.8% ниже аналогичного периода (в 2018 году было зафиксировано 18214 **погибших**). Таким образом, один из главных показателей дорожной безопасности по сравнению с 2018 годом существенно снизился.

5. К сожалению, нельзя сказать о столь же серьезном уменьшении числа раненых в результате ДТП – 210877 человек, что на 1.9% ниже аналогичного периода (в 2018 году было 214853 раненых).

По данным РИА «Новости» в России основными причинами смертельных ДТП являются изъезы в образовании водителей и пешеходов, «пьяная» езда, использование водителями телефонов за рулем. Водители и пассажиры часто не пристегиваются ремнями безопасности, а многие пешеходы не знают как правильно переходить дорогу. Кроме этого необходимо ужесточить наказание для нетрезвых водителей и других нарушителей ПДД. Количество жертв аварий в России на данный момент чрезвычайно велико [8].

Другие авторы [1, 9] утверждают, что главными факторами при совершении большого количества дорожно-транспортных происшествий и их последствий в Российской Федерации являются: 1) неудовлетворительные условия содержания и обустройства улично-дорожной сети; 2) нарушение правил дорожного движения водителями транспортных средств; 3) рост количества автомобилей на дорогах РФ; 4) недостаточный уровень подготовки курсантов в автошколах. Целью данного исследования являются 3 последних пункта указанной проблемы.

Из статистических данных ГИБДД известно, что наибольшее количество ДТП допустили водители транспортных средств, совершавшие грубые нарушения правил дорожного движения.

Рассмотрим основные виды ДТП из раздела 5 «Дорожно-транспортные происшествия и пострадавшие по видам ДТП за январь-декабрь 2019 года» [2] –табл. 2.

Таблица 2

Основные виды дорожно-транспортных происшествий и пострадавшие по видам ДТП
за январь – декабрь 2019 г.

Наименование показателя	Российская Федерация					
	ДТП, штук (%)	± % АППГ	погибло	± % АППГ	ранено	± % АППГ
1	2	3	4	5	6	7
Основные виды дорожно-транспортных происшествий и пострадавшие по видам ДТП (всего)	164358	-2,2	16981	-6,8	210877	-1,9
В том числе, по видам ДТП:	130702 (100%)					
при столкновениях ТС	69841 (53,4%)	-1,9	7088	-7,6	108019	-1,5
с наездом на пешехода	47456 (36,4%)	-2,8	4804	-7,4	45070	-2,5
при опрокидывании ТС	13405 (10,2%)	стаб.	1973	-3,8	17481	1,3

Анализируя табл. 2 и [1], видим следующее.

1. С января по декабрь 2019 года в России на 3 основные наиболее часто встречающиеся виды дорожно-транспортных происшествий приходилось 130702 штук (в 2018 г. – 133402 штук) или 79,5% (в 2018 г. – 79,3%) происшествий от общего числа ДТП.

2. Основными видами ДТП, как и за аналогичный период 2018 года, были: 1) столкновения ТС – 69841 штук (53,4%); 2) наезд на пешехода – 47456 штук (36,4%); 3) опрокидывания ТС – 13405 штук (10,2%).

Таблица 3

Количество нарушителей правил дорожного движения водителями транспортных средств
различных категорий за январь – декабрь 2019 г.

Наименование показателя	Российская Федерация					
	ДТП, штук (%)	± % АППГ	погибло	± % АППГ	ранено	± % АППГ
1	2	3	4	5	6	7
ДТП и пострадавшие из-за нарушения ПДД водителями транспортных средств (всего)	146688	-1,0	14420	-5,7	195037	-0,8
В том числе, водителями следующих категорий:	135351 (100%)					
легковых автомобилей	119026 (87,9%)	-0,1	11510	-4,0	160725	-0,4
грузовых автомобилей	10790 (8,0%)	-1,9	1526	-13,2	13560	-1,4
автобусов	5535 (4,1%)	-4,8	246	-8,6	8785	-0,8

Второй по частоте совершения причиной ДТП, после неудовлетворительных условий содержания и обустройства улично-дорожной сети, является нарушение правил дорожного движения водителями транспортных средств [10, 11].

Конструкции, технические и эксплуатационные свойства транспортных средств

Количество нарушителей правил дорожного движения водителями транспортных средств различных категорий приведено в разделе 2 «Дорожно-транспортные происшествия и пострадавшие из-за нарушения правил дорожного движения водителями транспортных средств за январь–декабрь 2019 года» [2] и табл. 3.

Анализируя табл. 3 и [1], можно сделать следующие выводы.

1. С января по декабрь 2019 года в России на 3 основные наиболее часто встречающиеся категории водителей транспортных средств (легковые и грузовые автомобили и автобусы) приходилось 135351 происшествий (92,2%) от общего числа ДТП.

2. Наибольшее число дорожно-транспортных происшествий из-за нарушения правил дорожного движения совершили водители легковых автомобилей – 119026 штук (87,9%); водители грузовых автомобилей – 10790 штук (8,0%) и водители автобусов – 5535 штук (4,1%), как и в предыдущем 2018 году [1].

3. Особую опасность на дорогах создают водители легковых автомобилей, которые совершили в 7 раз больше аварий – 119026 штук (87,9%), чем водители грузовых автомобилей – 10790 штук (8,0%) и водители автобусов – 5535 штук (4,1%) вместе взятые.

4. Водители грузовых автомобилей (119026 ДТП) были признаны виновными в дорожных происшествиях примерно в 11 раз реже (10790 ДТП), чем водители легковых автомобилей, а водители автобусов – более чем в 21 раз реже (5535 ДТП) водителей легковых автомобилей.

Проанализируем статистику нарушений правил дорожного движения водителями ТС с различным стажем управления

В Разделе 2 «Дорожно-транспортные происшествия и пострадавшие из-за нарушения правил дорожного движения водителями транспортных средств за январь–декабрь 2019 года» – [2], приведены следующие статистические данные (см. табл. 4).

Таблица 4

Дорожно-транспортные происшествия и пострадавшие из-за нарушения правил дорожного движения водителями ТС с различным стажем управления за январь – декабрь 2019 г.

Наименование показателя	Российская Федерация					
	ДТП, штук (%)	± % АППГ	погибло	± % АППГ	ранено	± % АППГ
1	2	3	4	5	6	7
ДТП и пострадавшие из-за нарушения ПДД водителями транспортных средств (всего)	146688	-1,0	14420	-5,7	195037	-0,8
В том числе, водителями со стажем управления:	140554 (100%)					
до 2 лет	10034 (7,1%)	1,1	846	2,4	14259	0,4
от 2 до 5 лет	15594 (11,1%)	-10,9	1386	-13,0	21728	-10,9
от 5 до 10 лет	28165 (20,0%)	-8,1	2603	-12,0	38721	-7,4
от 10 до 15 лет	22316 (15,9%)	4,9	2030	-4,7	29670	3,8
свыше 15 лет	64445 (45,9%)	4,8	7346	-2,6	85358	5,2

Из табл. 4 и [1] видим следующее:

1. С января по декабрь 2019 года произошло 146688 случаев ДТП из-за нарушения ПДД водителями транспортных средств, что на 1,0% ниже аналогичного периода (в 2018

году было 148142 случаев ДТП). А вот в 2018 году количество аналогичных аварий возросло на 3.3%, по сравнению с 2017 годом [1].

2. Стаж управления ТС существенно влияет на количество и последствия ДТП. Наименьшее количество дорожных аварий, как и в предыдущем 2018 году, приходилось на недавних выпускников образовательных учреждений (организаций) со стажем управления до 2 лет – 7,1% (10034 случаев ДТП). Это свидетельствует о достаточно высоком уровне подготовки водителей ТС в автошколах, а также о том, что реформа автошкол приносит свои плоды.

3. Второе место по числу совершенных ДТП и количеству пострадавшие из-за нарушения ПДД занимают водители со стажем управления от 2 до 5 лет – 11,1% (15594 случаев ДТП) и водители со стажем управления от 10 до 15 лет – 15,9% (22316 случаев ДТП).

4. Третье место по числу совершенных ДТП и количеству пострадавшие из-за нарушения ПДД занимают водители со стажем управления от 5 до 10 лет – 20,0% (28165 случаев ДТП)

5. Наибольшую опасность на дорогах, как и в предыдущем 2018 году, создавали водители со стажем управления свыше 15 лет – 45,9% (64445 случаев ДТП). Это может свидетельствовать об их умышленном совершении грубых нарушений правил дорожного движения, в частности – выезде во время обгона на полосу встречного движения, где происходили лобовые столкновения со встречными транспортными средствами.

Из Раздела 2 «Дорожно-транспортные происшествия и пострадавшие из-за нарушения правил дорожного движения водителями транспортных средств за январь–декабрь 2019 года» [2] проанализируем также возраст нарушителей ПДД – табл. 5.

Таблица 5

Дорожно-транспортные происшествия и пострадавшие из-за нарушения правил дорожного движения водителями ТС различного возраста за январь – декабрь 2019 г.

Наименование показателя	Российская Федерация					
	ДТП, штук (%)	± % АППГ	погибло	± % АППГ	ранено	± % АППГ
1	2	3	4	5	6	7
ДТП и пострадавшие из-за нарушения ПДД водителями транспортных средств (всего)	146688	-1,0	14420	-5,7	195037	-0,8
В том числе, водителями с возрастом:	117912 (100%)					
от 30 до 40 лет	40030 (33,9%)	стаб.	3965	-8,2	54048	0,4
от 40 до 50 лет	26596 (22,5%)	2,3	2701	-3,7	35544	2,7
от 50 до 60 лет	19427 (16,5%)	-0,2	2100	-1,7	25670	-0,6
от 25 до 30 лет	18579 (15,8%)	-9,4	1923	-12,0	25249	-10,1
от 21 до 25 лет	13280 (11,3%)	0,1	1275	-6,0	18702	0,6

Анализируя табл. 5 и [1], можно сделать следующие выводы.

1. С января по декабрь 2019 года произошло 146688 случаев ДТП из-за нарушения ПДД водителями транспортных средств, что на 1.0% ниже аналогичного периода (в 2018 году было 148142 случаев ДТП). А вот в 2018 году количество аналогичных аварий возросло на 3.3%, по сравнению с 2017 годом [1].

2. Возраст водителей ТС также влияет на количество и последствия ДТП. Наименьшее количество дорожных аварий приходилось на водителей с возрастом от 21 до 25 лет – 11,3% (13280 случаев ДТП), на водителей с возрастом от 25 до 30 лет – 15,8% (18579 случаев ДТП) и на водителей с возрастом от 50 до 60 лет – 16,5% (19427 случаев ДТП).

3. Водители с возрастом от 40 до 50 лет совершили 22,5% (26596 случаев ДТП) от всех дорожно-транспортных происшествий.

4. Максимальную опасность на дорогах, как и в предыдущем 2018 году, создавали водители с возрастом от 30 до 40 лет – 33,9% (40030 случаев ДТП). Это может также свидетельствовать об их умышленном совершении грубых нарушений правил дорожного движения.

Третьей по частоте совершения, но существенной причиной большого количества дорожно-транспортных происшествий и их последствий в России, после неудовлетворительных условий содержания и обустройства улично-дорожной сети и нарушений правил дорожного движения водителями транспортных средств – является рост количества автотранспортных на дорогах [10, 11].

Динамика роста количества автотранспортных средств и прицепов, стоящих на учете в ГИБДД в Российской Федерации за 2012-2017 гг. [10, 12, 14, 16] представлена в табл. 6.

Таблица 6

Динамика роста количества автотранспортных средств в Российской Федерации
за 2012-2017 гг.

Годы	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Количество АТС и прицепов к ним всего, млн. штук ($\pm\%$)	50,51 (+5,7%)	53,32 (+5,6%)	55,70 (+4,4%)	56,62 (+1,6%)	57,10 (+0,8%)	59,70 (+4,6%).

Из табл. 6 видим, что за последние 6 лет в Российской Федерации наблюдается стабильный прирост численности автотранспорта соответственно на 2,81 млн. единиц (+5,6%) – в 2013 году и на 2,60 млн. единиц (+4,6%) – в 2017 году. Большую часть автопарка страны составляют машины старше 15 лет [16], что также является важной причиной большого количества дорожно-транспортных происшествий и их последствий в нашей стране.

Авторы [8, 9, 10, 11, 13] полагают, что большое количество дорожно-транспортных происшествий и их последствий в Российской Федерации является также следствием недостаточного уровня подготовки курсантов в автошколах, коррупционной составляющей при получении водительских удостоверений и, в первую очередь, культуры водителей и пешеходов и их отношения к безопасности дорожного движения.

После введения в действие новых примерных программ профессиональной подготовки водителей ТС соответствующих категорий и подкатегорий и необходимости получения заключения ГИБДД по учебно-материальной базе, в частности – установление минимально допустимого размера закрытой площадки (автодрома – не менее 0,24 га), количество образовательных учреждений (организаций), осуществляющих подготовку водителей транспортных средств в РФ уменьшилось в 1,5 раза: с 8089 штук в 2014 г. до 5500 штук к декабрю 2015 года [9].

Статистика выдачи водительских удостоверений автошколами Российской Федерации за 2013-2018 гг. [9, 11, 15, 17] приведена в табл. 7.

Таблица 7

Число граждан, получивших водительские удостоверения в автошколах
Российской Федерации за 2013-2018 гг.

Годы	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Число граждан, млн. человек (±%)	2,24 (+3,1%)	2,47 (+10,2%)	1,87 (-24,3%)	2,01 (+7,5%)	1,33 (-33,8%)	1,35 (+1,5%)

Анализируя табл. 7 и [1], можно сделать следующие выводы.

1. Реформы, проводимые в РФ в 2014-2015 гг., для повышения показателей дорожной безопасности привели к сокращению в 1,5 раза количества образовательных учреждений (организаций), осуществляющих подготовку водителей транспортных средств.

2. Как следствие, число граждан, получивших водительские удостоверения на право управления ТС в автошколах России уменьшилось с 2,47 млн. человек в 2014 году до 1,35 млн. человек в 2018 году (-45,3%). За последние пять лет в 2014 году был самый высокий показатель подготовки водителей.

3. Реформы автошкол с 2014 года, дают устойчивые результаты. Образовательные учреждения (организации) в Российской Федерации достаточно эффективно осуществляют подготовку, переподготовку и повышение квалификации водителей транспортных средств на основании новых примерных программ.

Выводы:

1. За последние 5 лет тенденция снижения аварийности на автодорогах РФ по основным показателям продолжает сохраняться. С января по декабрь 2019 года произошло 164358 случаев ДТП, что на -2,2% меньше, чем за аналогичный период 2018 года. Число погибших сократилось на -6,8%, количество раненых на -1,9%. Снижение аварийности на дорогах России не носит существенного характера, однако Минтранс, Минздрав и МВД проявляют активные действия в решении проблем безопасности движения автотранспорта.

2. В 2019 году, как и за аналогичный период 2018 года, наибольшее количество дорожно-транспортных происшествий (79,5%) допустили водители транспортных средств, которые умышленно совершали грубые нарушения правил дорожного движения. Основными видами ДТП были: столкновения ТС – 53,4%; наезд на пешехода – 36,4%; опрокидывания ТС – 10,2%.

3. В 2019 году, как и за аналогичный период 2018 года, наибольшее число дорожно-транспортных происшествий из-за нарушения правил дорожного движения совершили водители легковых автомобилей – 87,9% ДТП, в 11 раз меньше: водители грузовых автомобилей – 8,0% ДТП и в 21 раз меньше водители автобусов – 4,1% ДТП.

4. Стаж управления транспортными средствами существенно влияет на количество и последствия ДТП. Наименьшее количество дорожных аварий, как и в предыдущем 2018 году, приходилось на недавних выпускников образовательных учреждений (организаций) со стажем управления до 2 лет – 7,1% случаев ДТП. Это свидетельствует о достаточно высоком уровне подготовки водителей ТС в автошколах, а также о том, что реформа автошкол приносит свои плоды.

5. Наибольшую опасность на дорогах создавали водители со стажем управления свыше 15 лет – 45,9% случаев ДТП. Это может свидетельствовать об их умышленном совершении грубых нарушений правил дорожного движения, в частности – выезде во время обгона на полосу встречного движения, где происходили лобовые столкновения со встречными транспортными средствами.

6. Возраст водителей ТС также влияет на количество и последствия ДТП. Наименьшее количество дорожных аварий, как и в предыдущем 2018 году, приходилось на водителей с возрастом от 21 до 25 лет – 11,3% случаев ДТП, на водителей с возрастом от 25 до 30 лет – 15,8% случаев ДТП и на водителей с возрастом от 50 до 60 лет – 16,5% случаев ДТП. Максимальную опасность на дорогах создают водители с возрастом от 30 до 40 лет – 33,9%

случаев ДТП. Это может также свидетельствовать об их умышленном совершении грубых нарушений правил дорожного движения.

7. За последние 6 лет в Российской Федерации наблюдается стабильный прирост численности автотранспорта соответственно на 2,81 млн. единиц (+5,6%) – в 2013 году и на 2,60 млн. единиц (+4,6%) – в 2017 году. Большую часть автопарка страны составляют машины старше 15 лет, что также является важной причиной большого количества дорожно-транспортных происшествий и их последствий в нашей стране.

8. Реформы, проводимые в РФ в 2014-2015 гг., для повышения показателей дорожной безопасности привели к сокращению в 1,5 раза количества образовательных учреждений (организаций), осуществляющих подготовку водителей транспортных средств.

9. Как следствие, число граждан, получивших водительские удостоверения на право управления ТС в автошколах России уменьшилось с 2,47 млн. человек в 2014 году до 1,35 млн. человек в 2018 году (-45,3%). За последние пять лет в 2014 году был самый высокий показатель подготовки водителей.

10. Реформы автошкол с 2014 года, дают устойчивые результаты. Образовательные учреждения (организации) в Российской Федерации достаточно эффективно осуществляют подготовку, переподготовку и повышение квалификации водителей транспортных средств на основании новых примерных программ.

Литература:

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Результаты внедрения новых примерных программ профессиональной подготовки водителей транспортных средств в Российской Федерации за 2015 – 2018 годы // Механики XXI века. 2019. № 18. С. 220-228.

2. Статистика ДТП в России за январь-декабрь 2019 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://1gai.ru/524616-statistika-dtp-v-rossii-za-janvar-dekabr-2019-goda.htm> (дата обращения 07.03.2020).

3. Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/dokument/cons_dok_LAW_8585/. html (дата обращения 12.04.2016).

4. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 26 декабря 2013 г. № 1408 ФЗ «Об утверждении примерных программ профессионального обучения водителей транспортных средств соответствующих категорий и подкатегорий». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.base.garant.ru/70695708/3/>. html (дата обращения 12.04.2016).

5. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 18 июня 2010 г. № 636 «Об утверждении Примерных программ подготовки водителей транспортных средств различных категорий». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/dokument/cons_dok_LAW_103982/. html (дата обращения 12.04.2016).

6. Федеральный закон от 7 мая 2013 г. № 92-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон N 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения». [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/dokument/cons_dok_LAW_146011/. html (дата обращения 12.04.2016).

7. Кодекс Российской Федерации от 5 ноября 2013 г. «Об административных правонарушениях». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.consultant.ru/law/hotdoks/25537>. html (дата обращения 12.04.2016).

8. В ООН назвали основные причины смертельных ДТП в России. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autonews.ru/news/5dd23e449a794756b6731f0d/>. Html. (дата обращения 07.03.2020).

9. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Первые результаты внедрения новых Примерных программ профессиональной подготовки водителей транспортных средств в Российской Федерации // Механики XXI века. 2016. № 15. С. 337-342.

10. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Результаты внедрения новых примерных программ профессиональной подготовки водителей транспортных средств в Российской Федерации // Механики XXI века. 2017. № 16. С. 314-320.

11. Сведения о дорожно-транспортных происшествиях. [Электронный ресурс] URL: <https://www.gibdd.ru/stat/html> (дата обращения 26.02.2017).

12. Статистика ДТП в России 2017. [Электронный ресурс] URL:<https://www.vashamashina.ru/statistika-dtp-v-rossii-2017.html> (дата обращения 26.03.2019).
13. Статистика ГИБДД за 2018 год. [Электронный ресурс] URL:https://maash.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=1801&catid=94&Itemid=938 (дата обращения 26.03.2019).
14. По итогам 2017 года количество выданных ГИБДД водительских удостоверений резко сократилось. [Электронный ресурс] URL:<https://autorambler.ru/novosti/rossiyane-raskhoteli-poluchat-prava-15-02-2018.htm> (дата обращения 07.03.2020).
15. Сколько было выдано в России водительских прав в 2017 году? [Электронный ресурс] URL: <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fwww.autostat.ru%2Finfographics%2F33966%2F> (дата обращения 07.03.2020).
16. В России стали меньше выдавать водительских удостоверений. [Электронный ресурс] URL: <https://autoreview.ru/news/v-rossii-stali-vydavat-men-she-voditel-skih-udostovereniya> (дата обращения 07.03.2020).
17. Статистика получения прав 2018 год. [Электронный ресурс] URL: <https://rulims.ru/2019/04/14/voditelskie-udostovereniya-prava-statistika-2018-goda-statistika-polucheniya-i-rezultatov-ehkzamenov/> (дата обращения 07.03.2020).

The results of the automotive driver training programs introduction in the Russia for 2015–2019 period

Yasenkov E.P., Parfenova L.A.

Bratsk State University, 40, Makarenko str., Bratsk, Russia
bravo-bratsk@yandex.ru

Keywords: automotive driver training, the Russian Federation, road transport accidents, accidents statistics, accidents causes, traffic growth, training quality, automotive training center students.

In the Russia there have been introduced 28 Pilot Programs that provide new driver's category and subcategory. For 2015–2019 period statistics of the road accidents states that the amount of the accidents decreased, practically, as a whole. It should be noted that in this country the inadequate street-and-road system, the traffic regulations inobservance, the traffic growth, the low level drivers training are the main factors that cause a considerable number of road accidents followed with serious consequences. The investigated parametres show that, in accordance with the introduced Programs, the Russian Federation automotive training centers are able to train the students, provide additional training courses, improve the driver's qualification.

УДК 629.113

Результаты стендовых испытаний автомобильных шин при нагружении колеса одновременно нормальной силой и крутящим моментом. Тормозной режим качения

Рыков С.П.^а, Петренко М.А.^б, Рыкова О.А.^с

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия
^аRSP7-8-48@rambler.ru, ^бmikhail.petrenko.95@mail.ru, ^сOlga.tonoyn@mail.ru

Ключевые слова: автомобиль, пневматическая шина, жесткостные и поглощающие свойства, универсальный шинный стенд, характеристика нормальной жесткости, эллиптическо-степенная модель, тормозной момент, эксперимент, коэффициент нормальной жесткости шины, параметры поглощающей способности.

Эластичная шина колесной машины является тем первичным звеном сложной динамической системы, которое во многом определяет степень нагруженности ее несущей конструкции и трансмиссии, а также качество основных эксплуатационных свойств. Влияние крутящего момента на колесе на жесткостные и поглощающие свойства пневматической шины изучено еще недостаточно. Наличие универсального шинного стенда, оснащенного навесным оборудованием для догружения шины тормозным моментом со следящим эффектом за нормальной нагрузкой, позволило провести серию экспериментальных исследований на шинах легковых автомобилей и выявить основные закономерности этого влияния. Результаты обработки опытных характеристик нормальной жесткости испытанных шин показали, что эллиптическо-степенная модель вполне адекватно отражает свойство пневматической шины поглощать и рассеивать часть энергии передаваемой через нее при вертикальных колебаниях колеса. Дополнительное к нормальному нагружению шины крутящим моментом не выводит значения параметров модели из тех пределов, которые были получены при одинарном нагружении нормальной силой. А влияние дополнительного нагружения на поглощающую способность шины проявляется аналогично влиянию внутреннего давления воздуха, т.е. изменением коэффициента жесткости в сторону его увеличения.

Введение. Эластичная шина колесной машины (легковой или грузовой автомобиль, трактор, строительно-дорожная, военная или транспортно-технологическая техника) является тем первичным звеном сложной динамической системы машины, которое во многом определяет степень нагруженности ее несущей конструкции и трансмиссии, а также качество таких эксплуатационных свойств как плавность хода, устойчивость, управляемость, проходимость, топливная экономичность, тяговая и тормозная динамика.

Естественно, что для каждого эксплуатационного свойства машины определяющей является конкретная характеристика шины из числа принятых, или их сочетание. Так, например, для автомобиля при оценке плавности хода и вибронгруженности несущей конструкции от воздействия дорожных неровностей в первую очередь важно знать характеристики жесткости и поглощающей способности шины от действия нормальной нагрузки на колесо. В случае оценки нагруженности трансмиссии на первый план выходит знание характеристик крутильной (тангенциальной) жесткости и поглощающей способности шины от действия крутящего момента на колесо. В тяговом или тормозном режиме движения автомобиля возникает необходимость знать закономерности изменения жесткостных и поглощающих свойств шины от совместного действия на колесо нормальной и тангенциальной сил.

Наиболее полно и всесторонне исследованы характеристики жесткостных и поглощающих свойств автомобильных пневматических шин при действии нормальной нагрузки на колесо в режимах квазистатического и динамического свободного и вынужденного нагружений [1, 2, 6].

Для реализации этих экспериментальных исследований было разработано и реализовано уникальное оборудование в составе лабораторных стендов и дорожных установок, сформирована современная измерительно-информационная система [3].

В меньшей степени исследованы характеристики жесткостных и поглощающих свойств пневматических шин при действии на колесо тангенциальных и боковых сил, крутящего момента как в отдельности, так и в сочетании с действием нормальной нагрузки [4]. Этих исследований еще недостаточно, чтобы построить ясную картину существующих закономерностей влияния сочетания факторов нагружения колеса на выходные

характеристики шин.

При этом, разработанное экспериментальное оборудование [3] позволяет всесторонне исследовать характеристики жесткости и поглощающей способности автомобильных шин в любом сочетании действующих нагрузок на колесо. Чему и посвящена данная работа.

Экспериментальное оборудование. Все эксперименты данной серии проводились на универсальном шинном стенде ШС-77, общий вид которого приведен на рис. 1.

Для реализации комплексного нагружения колеса нормальной силой и крутящим (тормозным) моментом стенд был оснащен специальным навесным оборудованием, включая элементы догружения колеса: переходные цилиндры 19 и нагрузочную консоль 7 и элементы компенсации догрузки: кронштейн 8, тросово-блочную систему 10, грузовую площадку 11 и упругое основание 12. Кинематическая схема шинного стенда с новым оборудованием приведена на рис. 2 [5].

Навесное оборудование обеспечивает постепенное догружение испытуемой шины крутящим моментом при построении характеристик нормальной жесткости на стенде со следящим эффектом за величиной нормальной нагрузки, действующей на колесо.

Элементы догружения обеспечивают передачу на колесо заданного значения дополнительной продольной нагрузки (крутящего момента) без искажения работы устройств шинного стенда, связанных с основным нагружением колеса нормальной силой, а также с измерениями этой силы и нормального прогиба шины. А элементы компенсации обеспечивают уравнивание дополнительной нагрузки на начальном этапе построения характеристики нормальной жесткости шины с последующим ее изменением в зависимости от величины нормальной силы и направления цикла «нагрузка-разгрузка».

Методика построения характеристик нормальной жесткости шины на стенде при одновременном действии крутящего момента. На консоль 7 устанавливаются мерные грузы 9, которые вместе с массой балки создают программное значение крутящего момента на колесе.

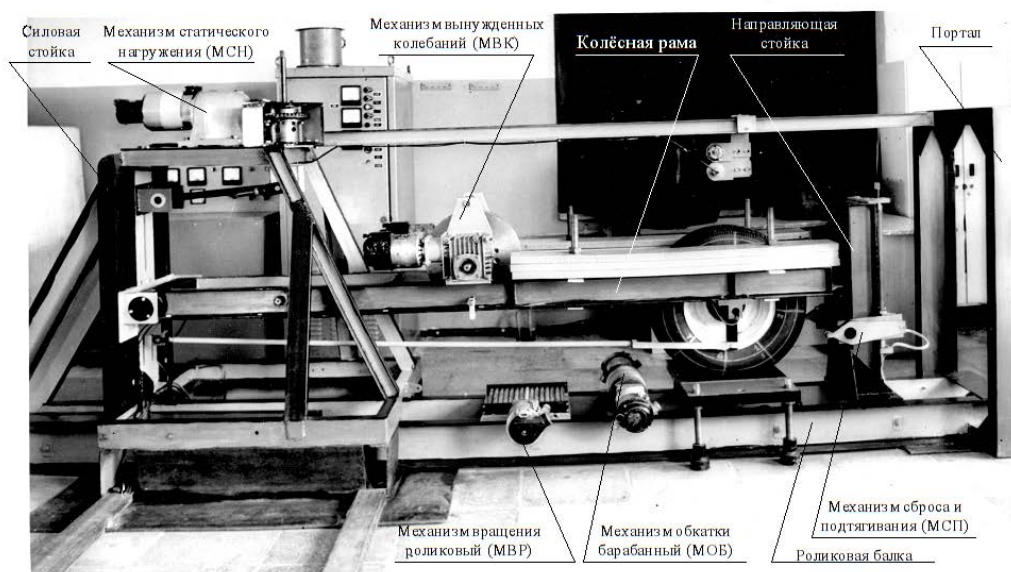


Рис. 1. Общий вид универсального шинного стенда ШС-77 со всем навесным оборудованием и в неизменном состоянии

Затем массы грузов 9 и балки уравниваются мерными грузами, устанавливаемыми на грузовую площадку 11, при этом нормальная нагрузка на колесе должна быть равна нулю. Контроль нагрузки на консоли осуществляется по образцовому динамометру сжатия, устанавливаемому под консоль по центру грузовой площадки 9.

Предварительно рассчитываются или определяются экспериментально: значение нормальной силы, которое обеспечивает приложение программного значения дополнительной нагрузки без проскальзывания колеса при известном коэффициенте

сцепления шины с опорной поверхностью; ход колесной рамы 6 по крайней точке кронштейна 8, соответствующий этой нагрузке; параметры упругого основания, обеспечивающие уравнивание массы грузов 11 на ходе рамы.

После этого включается привод механизма вертикального нагружения стенда и начинается нагружение шины нормальной силой по циклу «нагрузка-разгрузка». По мере нарастания нормальной силы шина деформируется и колесная рама поворачивается вокруг оси шарнирного узла, опуская при этом грузовую площадку на упругое основание. Основание с упругими поролоновыми пластинами начинает воспринимать эту нагрузку и тем самым освобождает действие грузов 9 с балкой на колесо и шину.

После достижения программного значения дополнительная нагрузка остается неизменной до завершения хода нагружения, а при ходе разгружения, как только нормальная сила достигает расчетного значения по сцеплению, начинается обратный процесс, т.е. подъем грузов 11 с упругого основания и постепенная компенсация действия грузов 9 на колесо и шину.

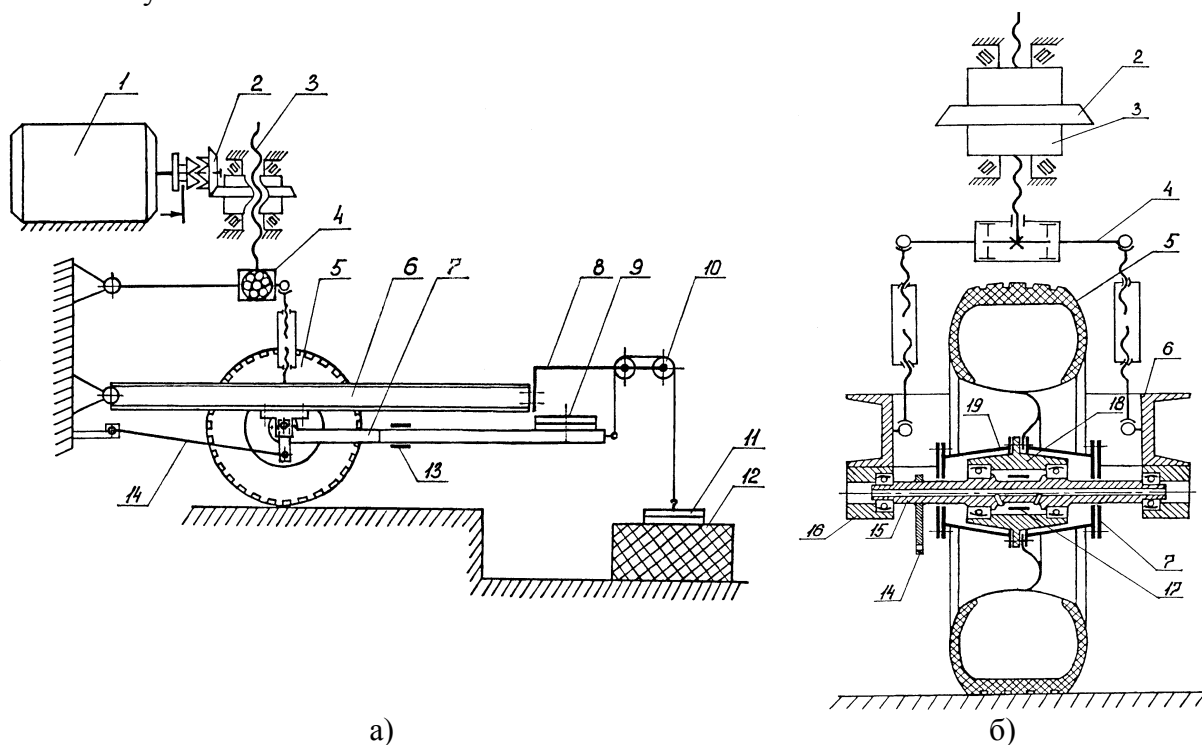


Рис. 2 Кинематическая схема универсального шинного стенда с навесным оборудованием для догружения колеса крутящим моментом: а – схема стенда, б – схема колесного узла; 1,2,3,4 – элементы механизма вертикального нагружения колеса; 5 – колесо с испытуемой шиной; 6 – колесная рама; 7,8,9,10,11,12 – элементы навесного оборудования; 13 – тензорезисторы; 14 – измерительный параллелограмм; 15,16,17,18 – элементы колесного узла; 19 – переходные цилиндры

Таким образом, эта механическая система позволяет реализовать эффект слежения дополнительной нагрузки за нормальной и тем самым обеспечить построение характеристик нормальной жесткости испытуемой шины по непрерывному циклу изменения как нормальной силы, так и крутящего момента.

Такое конструктивное дополнение шинного стенда и соответствующее изменение методики построения характеристик жесткости значительно повышают точность результатов экспериментальных исследований шин за счет непрерывности процесса нагружения колеса обоими силовыми факторами. [5]

Существующая методика предполагает ступенчатое изменение крутящего момента при фиксированном значении нормальной нагрузки на колесо. А, поскольку, пневматическая шина является эластомерным изделием, то при остановке нагружения в ней проявляется эффект ползучести, т.е. постепенное увеличение радиальной деформации. Что и приводит к существенным погрешностям конечных результатов испытания шины.

Результаты экспериментальных исследований. Задачи данной серии экспериментальных исследований состояли в выявлении закономерностей влияния дополнительного нагружения автомобильного колеса крутящим моментом на жесткостные и поглощающие свойства пневматической шины при одновременном его основном нагружении нормальной силой. А так же – в подтверждении применимости эллиптическо-степенной теории, разработанной в трудах [1,2], для оценки неупругого сопротивления (поглощающей способности) в шине при таком комплексном нагружении колеса

Для испытаний были отобраны шины легковых автомобилей среднего класса и малотоннажных грузовиков четырех типоразмеров и с различной степенью износа. Программа испытаний предусматривала для каждой из отобранных шин построение характеристик нормальной жесткости в квазистатическом режиме нагружения колеса нормальной силой с одновременным догружением его крутящим моментом при варьировании внутреннего давления воздуха в шине и уровня статической нагрузки на колесо.

Образцы диаграмм с экспериментальными характеристиками нормальной жесткости испытанных шин для различных режимов нагружения колеса и внутреннего давления воздуха представлены на рис. 3 и 4 (верхняя диаграмма), а результаты их обработки – на диаграммах снизу, в виде зависимостей амплитудных значений силы неупругого сопротивления в шинах от их прогибов (графики и уравнения регрессии с численными значениями параметров).

Результаты обработки экспериментальных диаграмм отобранных шин в обусловленных программой диапазонах изменения параметров нагружения сведены в таблицу для лучшего их представления и анализа.

Кроме того, по результатам эксперимента построены графики зависимостей коэффициента нормальной жесткости C_z шин от угла закрутки β колеса, которые соотнесены с соответствующими зависимостями коэффициента C_z от величины внутреннего давления воздуха p_w в шине (рис. 5-7).

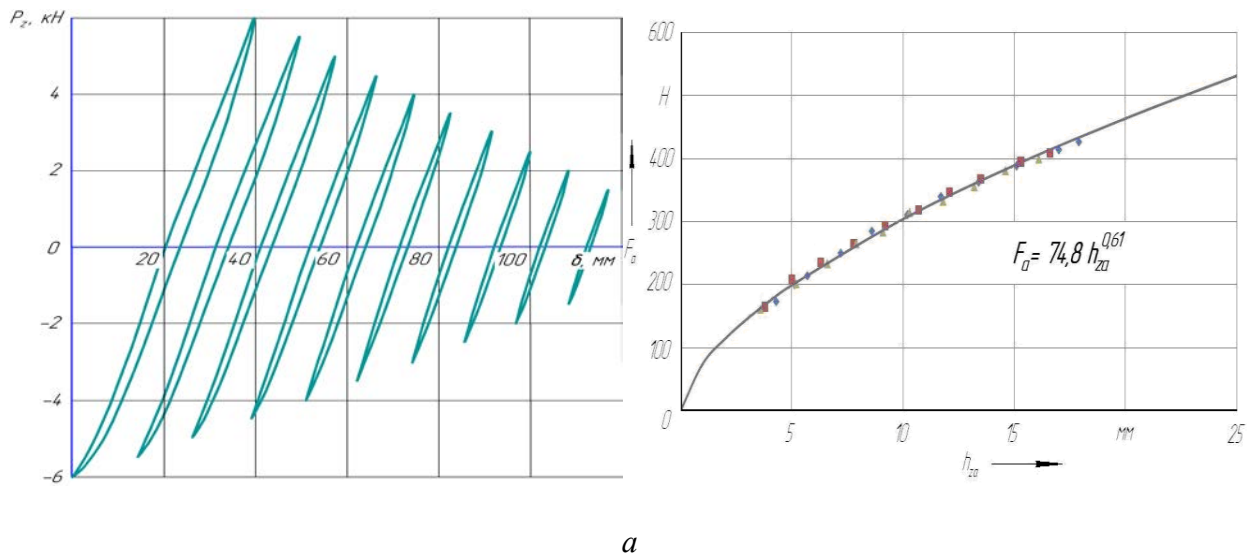
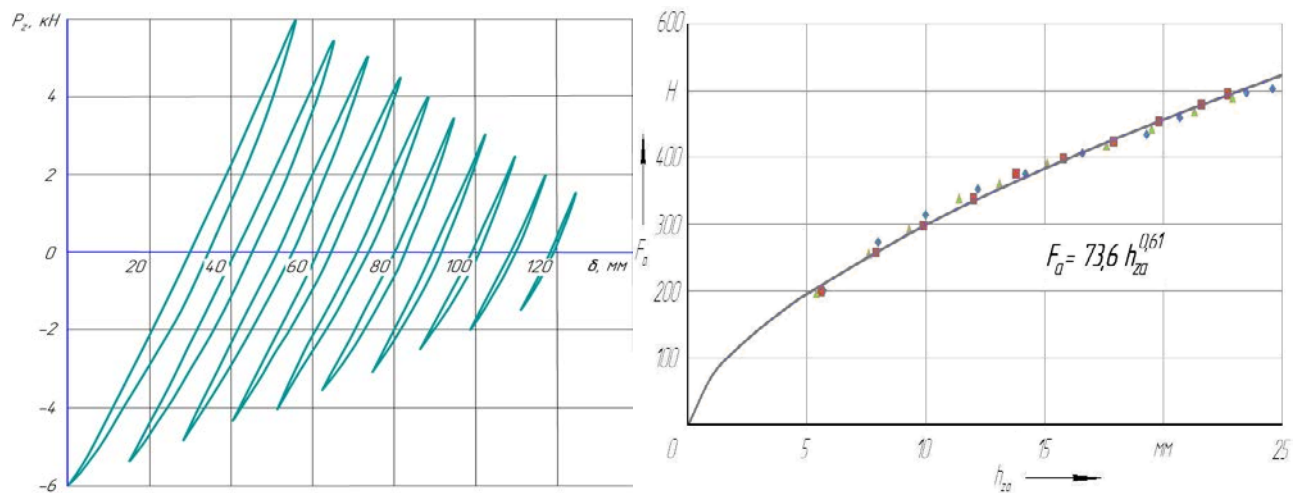


Рис. 3 Диаграммы с экспериментальными характеристиками нормальной жёсткости шины 8.40-15 модель Я-245 и результаты их обработки ($P_{zh} = 5,95$ кН; $p_{wh} = 0,20$ МПа) (начало): а – нагружение нормальной силой



б

Рис. 3. Диаграммы с экспериментальными характеристиками нормальной жёсткости шины 8.40-15 модель Я-245 и результаты их обработки ($P_{ZH} = 5,95$ кН; $p_{WH} = 0,20$ МПа) (окончание): б – нагружение нормальной силой и крутящим моментом

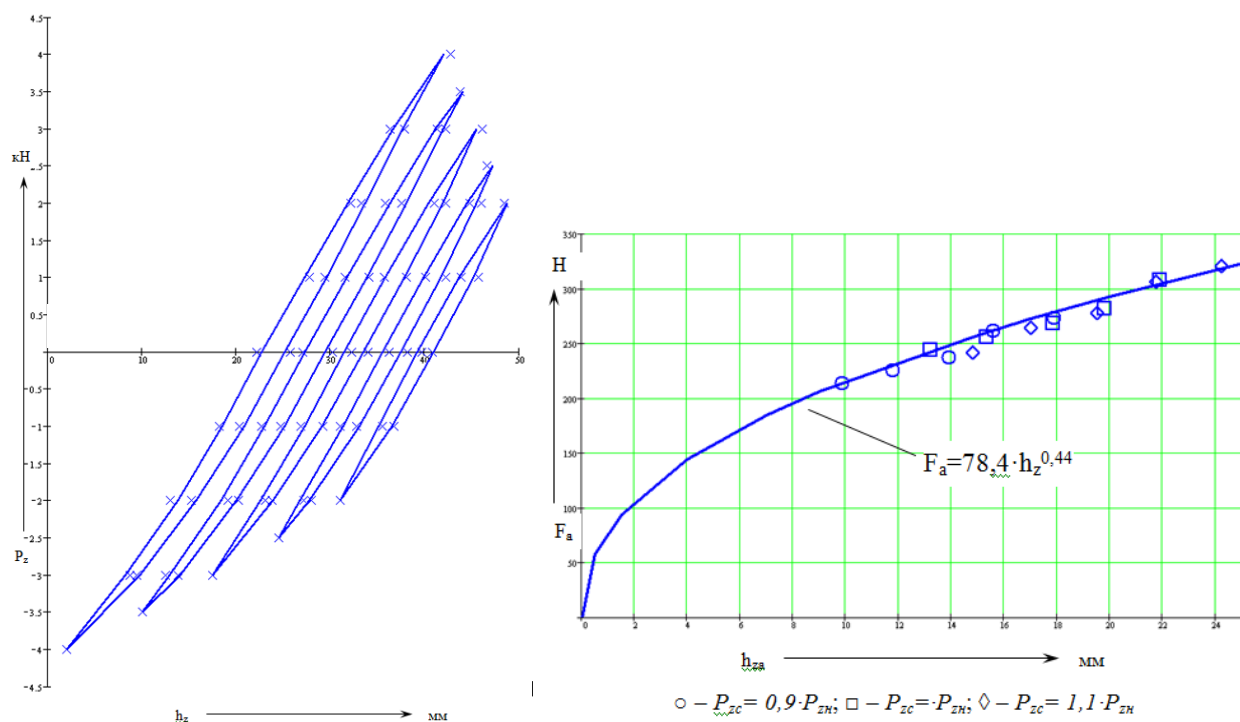


Рис. 4. Диаграммы с экспериментальными характеристиками нормальной жёсткости шины 7.35-14 модели ИД-195 и результатами их обработки ($P_{ZH} = 4,35$ кН, $p_{WH} = 0,17$ МПа, $P_z = \text{var}$); нагружение нормальной силой и крутящим моментом

Таблица 1

Значения параметров неупругого сопротивления в пневматических шинах по результатам испытаний при комплексном нагружении колеса

Размеры и модель шины	Параметры эксплуатационного состояния шины		Параметры неупругого сопротивления (поглощающей способности) в шине			
			Нагружение нормальной силой		Нагружение нормальной силой и крутящим моментом	
	P_{zn} , кН	p_{wn} , МПа	$H_{ш}$, Н/мм ⁿ	n	$H_{ш}$, Н/мм ⁿ	n
205/70R14 М-217 (износ 55 %)	4,35	0,20	26,6	0,44	28,1	0,43
185/65R15 МР14	4,35	0,20	56,6	0,47	53,3	0,48
8.40-15 Я-245	5,95	0,20	74,8	0,61	73,6	0,61
7.35-14 ИД-195	4,35	0,17	71,8	0,50	71,0	0,50

Размеры и модель шины	Осредненные параметры с оценкой рассеивания			
	$H_{ш}$, Н/мм ⁿ	σ_H , Н/мм ⁿ	n	σ_n
205/70R14 М-217 (износ 55 %)	28,4	1,91	0,43	0,01
185/65R15 МР14	54,8	1,68	0,48	0,01
8.40-15 Я-245	74,2	0,60	0,61	0,01
7.35-14 ИД-195	71,8	0,75	0,50	0,01

Примечания: P_{zn} – номинальный уровень нормальной нагрузки; p_{wn} – номинальное давление воздуха в шине; $H_{ш}$, n – параметры эллиптического-степенной модели; σ_H – среднее квадратическое отклонение параметра $H_{ш}$; σ_n – среднее квадратическое отклонение параметра n .

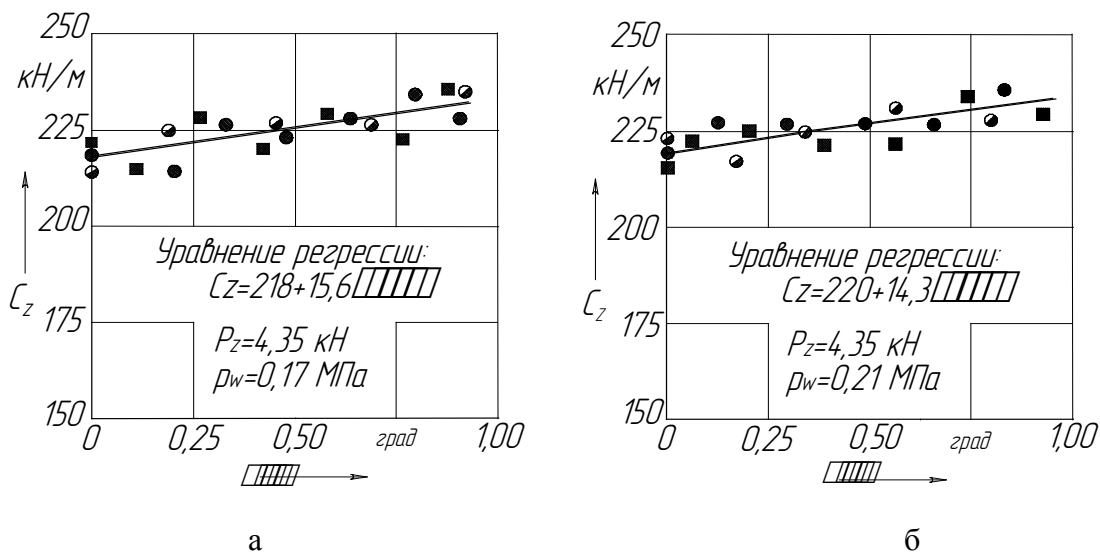


Рис. 5. Зависимости коэффициента нормальной жесткости шин от угла закручивания:
а – шина 7.35-14 модели ИД-195;
б – шина 205/70R14 модели ИД-220 (износ 50%)

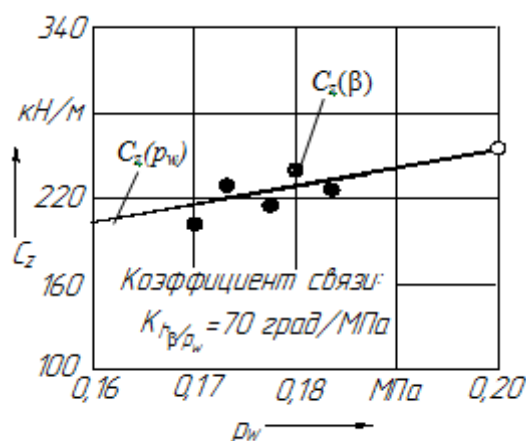


Рис. 6. Закономерности связи коэффициентов C_z для шины 7.35-14 модели ИД-195: $C_z(p_w)$ и $C_z(\beta)$

Выводы. Анализ результатов проведенных экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

1. Характеристики нормальной жесткости испытуемых шин для всех режимов нагружения и значений внутреннего давления воздуха и уровня статической нагрузки вполне удовлетворительно описываются уравнением эллипса с большим эксцентриситетом; погрешность аппроксимации не превышает 5 %.

2. Дополнительное к нормальному нагружение шины крутящим моментом не выводит значения параметров эллиптического-степенной модели из тех пределов, которые были получены при одинарном нагружении нормальной силой. А влияние дополнительного нагружения на неупругое сопротивление (поглощающую способность) в шине проявляется аналогично влиянию внутреннего давления воздуха, т.е. изменением коэффициента жесткости шины.

3. Если догружение осуществляется тормозным или тяговым моментом, то жесткость шины увеличивается, следовательно, поглощающая способность ее снижается.

4. Закономерности изменения коэффициента нормальной жесткости от угла закрутки колеса носят линейный характер, по крайней мере в диапазоне работы шин без проскальзывания.

5. Эллиптическо-степенная модель вполне адекватно отражает свойства пневматической шины поглощать и рассеивать часть энергии, передаваемой через нее при вертикальных колебаниях колеса.

6. Параметры эллиптическо-степенной модели являются константами для конкретной шины, т.е. не зависят от ее эксплуатационного состояния (внутреннего давления воздуха, уровня статической нагрузки, температуры покрышки) и режима нагружения (частоты изменения вертикальной нагрузки, скорости качения колеса, дополнительного приложения крутящего момента)

При ужесточении требований к силовой неоднородности параметры модели будут являться константами для всех шин одного типоразмера и даже шин разных фирм-производителей.

Это свойство параметров модели значительно облегчает ее использование в расчетах эквивалентных колебательных систем автомобиля, поскольку достаточно один раз тщательно оценить их значения для одной шины конкретного типоразмера, чтобы занести в технические данные всех шин таких же размеров и модели с указанием величины с.к.о.

7. Эллиптическо-степенная модель позволяет описать неупругое сопротивление в шине по результатам испытаний в различных режимах нагружения колеса (квазистатическое

нагружение, свободные колебания, динамическое нагружение без и с вращением колеса), при этом ее параметры могут быть приведены один к другому.

Это свойство параметров модели позволяет определить параметры, соответствующие реальному режиму нагружения шины – динамическому с вращением колеса, по результатам более простого эксперимента, например эксперимента при квазистатическом непрерывном нагружении, или еще более простого – в режиме свободных колебаний. Техническое обеспечение режима свободных колебаний оборудованием и приборами реализовано во многих вузах и НИИ страны.

Литература:

1. Рыков С.П. Методы моделирования и оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин в расчетах подвески и колебаний колесных машин: автореф. дис...уч. ст. д-ра техн. наук. - М.: ФГУП «НАТИ», 2005. – 44 с.
2. Рыков С.П. Основы теории неупругого сопротивления в пневматических шинах с приложениями: Монография. 2-е изд., перераб. и доп.-- СПб.: Издательство «Лань», 2017.-- 440 с., ил.
3. Рыков С.П. Экспериментальные исследования поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин: Испытательный комплекс, методики проведения экспериментов и обработки результатов.: Монография - Братск: БрГТУ, 2004. - 322 с.
4. Енаев А.А. Основы теории колебаний автомобиля при торможении и ее приложения. – М.: Машиностроение, 2002. – 341 с.
5. Пат. 2245535 RU/МПК⁷, G01M17/02 Способ построения характеристик радиальной упругости пневматической шины при комплексном нагружении колеса и устройство для его осуществления / Братский гос. техн. ун-т; Авт. изобр. С.П. Рыков, В.Н. Тарасюк. Заяв. 30.06.2003; Оpubл. 27.01.2005 г., бил. № 3.
6. Рыков С.П., Мазур В.В. Экспериментальная оценка преобразующих свойств автомобильных шин: монография / под общ. ред. С.П. Рыкова. – Братск: Изд-во БрГУ, 2019. – 270 с.

Results of performance tests of car tires when loading the wheel at simultaneous normal force and torque. Braking rolling mode

Rykov S.P.^a, Petrenko M.A.^b, Rykova O.A.^c

Bratsk State University, ul. Makarenko 40, Bratsk, Russia

^aRSP7-8-48@rambler.ru, ^bmikhail.petrenko.95@mail.ru, ^cOga.tonoy@mail.ru

Keywords: automobile, pneumatic tire, stiffness and absorbing properties, universal tire stand, characteristic of normal stiffness, elliptic-power model, braking torque, experiment, coefficient of normal stiffness of the tire, absorption parameters.

The elastic tire of a wheeled vehicle is that primary element of a complex dynamic system, which largely determines the degree of loading of its load-bearing structure and transmission, as well as the quality of the main operational properties. The effect of torque on the wheel on the stiffness and absorption properties of a pneumatic tire has not yet been studied. The presence of a universal tire stand, equipped with attachments for loading the tire with a braking torque with a tracking effect behind a normal load, made it possible to carry out a series of experimental studies on passenger car tires and identify the main laws of this effect. The results of processing the experimental characteristics of the normal stiffness of the tested tires showed that the elliptical-power model quite adequately reflects the ability of the pneumatic tire to absorb and dissipate part of the energy transmitted through it during vertical wheel vibrations. In addition to the normal loading of the tire, the torque does not derive the values of the model parameters from those limits that were obtained under single loading by normal force. And the effect of additional loading on the absorptive capacity of a tire is manifested similarly to the effect of internal air pressure, i.e. a change in the stiffness coefficient in the direction of its increase.

Оценка жесткостных и поглощающих свойств пневматических шин при комплексном нагружении колеса на примере действия нормальной и боковой сил

Рыков С.П.^а, Коваль В.С.^б, Рыкова О.А.^с

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аRSP7-8-48@rambler.ru, ^бkoval.supra@yandex.ru, ^сolga.tonoyn@mail.ru

Ключевые слова: автомобиль, пневматическая шина, жесткостные и поглощающие свойства, шинный стенд комплексного нагружения, характеристика нормальной жесткости, эллиптически-степенная модель, боковая сила, эксперимент, коэффициент нормальной жесткости шины, параметры поглощающей способности.

Эластичная шина колесной машины является тем первичным звеном сложной динамической системы, которое во многом определяет степень нагруженности ее несущей конструкции и трансмиссии, а также качество основных эксплуатационных свойств. Влияние боковой силы на колесе на жесткостные и поглощающие свойства пневматической шины изучено еще недостаточно. Наличие шинного стенда комплексного нагружения, оснащенного навесным оборудованием для догружения шины боковой силой со следящим эффектом за нормальной нагрузкой, позволило провести серию экспериментальных исследований на шинах легковых автомобилей и выявить основные закономерности этого влияния. Результаты обработки опытных характеристик нормальной жесткости испытанных шин показали, что эллиптически-степенная модель вполне адекватно отражает свойство пневматической шины поглощать и рассеивать часть энергии передаваемой через нее при вертикальных колебаниях колеса. Дополнительное к нормальному нагружению шины боковой силой не выводит значения параметров модели из тех пределов, которые были получены при одинарном нагружении нормальной силой. А влияние дополнительного нагружения на поглощающую способность шины проявляется аналогично влиянию внутреннего давления воздуха, т.е. изменением коэффициента жесткости в сторону его уменьшения.

Введение. Работа пневматической шины при движении автомобиля в различных природно-климатических условиях отличается значительной сложностью и разнообразием, поскольку она в составе колеса не только преобразует вращательное движение трансмиссии в поступательное движение автомобиля, но и участвует в реализации и определяет большинство его эксплуатационных свойств. Таких как плавность хода, устойчивость, управляемость, проходимость, топливная экономичность, тяговая и тормозная динамика.

Для каждого, из указанных, эксплуатационного свойства определяющей является конкретная характеристика шины из числа принятых, или их сочетание. Так, например, для автомобиля при оценке плавности хода и вибронгруженности несущей конструкции от воздействия дорожных неровностей в первую очередь важно знать характеристики жесткости и поглощающей способности шины от действия нормальной нагрузки на колесо. В случае оценки нагруженности трансмиссии на первый план выходит знание характеристик крутильной (тангенциальной) жесткости и поглощающей способности шины от действия крутящего момента на колесо. При криволинейном движении автомобиля возникает необходимость знать закономерности изменения жесткостных и поглощающих свойств шины от совместного действия на колесо нормальной и боковой сил.

Наиболее полно и всестороннее исследованы характеристики жесткостных и поглощающих свойств автомобильных пневматических шин при действии нормальной нагрузки на колесо в режимах квазистатического и динамического свободного и вынужденного нагружений [1,2,6].

Для реализации этих экспериментальных исследований было разработано и реализовано уникальное оборудование в составе лабораторных стендов и дорожных установок, сформирована современная измерительно-информационная система [3].

В меньшей степени исследованы характеристики жесткостных и поглощающих свойств пневматических шин при действии на колесо тангенциальных и боковых сил, крутящего момента как в отдельности, так и в сочетании с действием нормальной нагрузки [4]. Этих исследований еще недостаточно, чтобы построить ясную картину существующих закономерностей влияния сочетания факторов нагружения колеса на выходные характеристики шин.

При этом, разработанное экспериментальное оборудование [3] позволяет всестороннее исследовать характеристики жесткости и поглощающей способности автомобильных шин в любом сочетании действующих нагрузок на колесо.

Экспериментальное оборудование. Все эксперименты данной серии проводились на шинном стенде комплексного нагружения СКН, общий вид которого приведен на рис. 1.

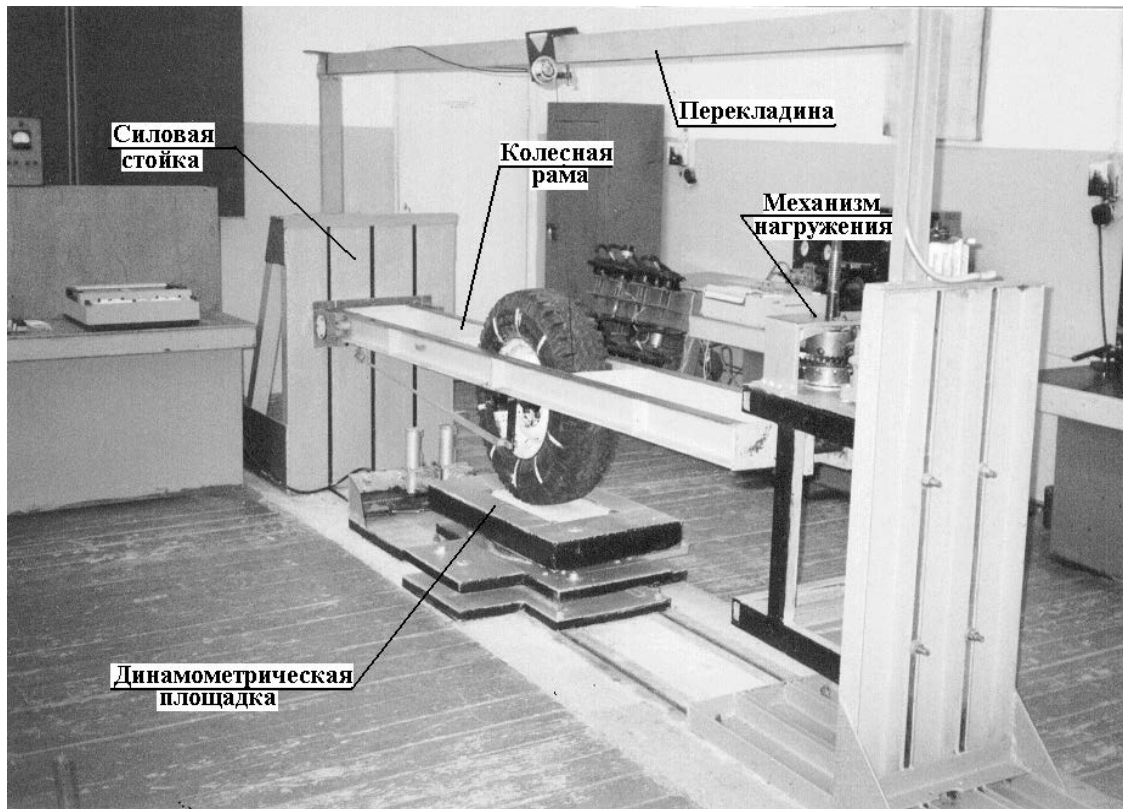


Рис. 1. Общий вид шинного стенда комплексного нагружения СКН с динамометрической площадкой

Для реализации нагружения колеса нормальной силой в сочетании с боковой, а также для раздельного нагружения колеса тангенциальной и боковой силами стенд был оснащен динамометрической площадкой, тяговым электромеханизатором и специальным навесным оборудованием. Кинематические схемы стенда комплексного нагружения для разных случаев испытания шин приведены на рис. 2 и 3.

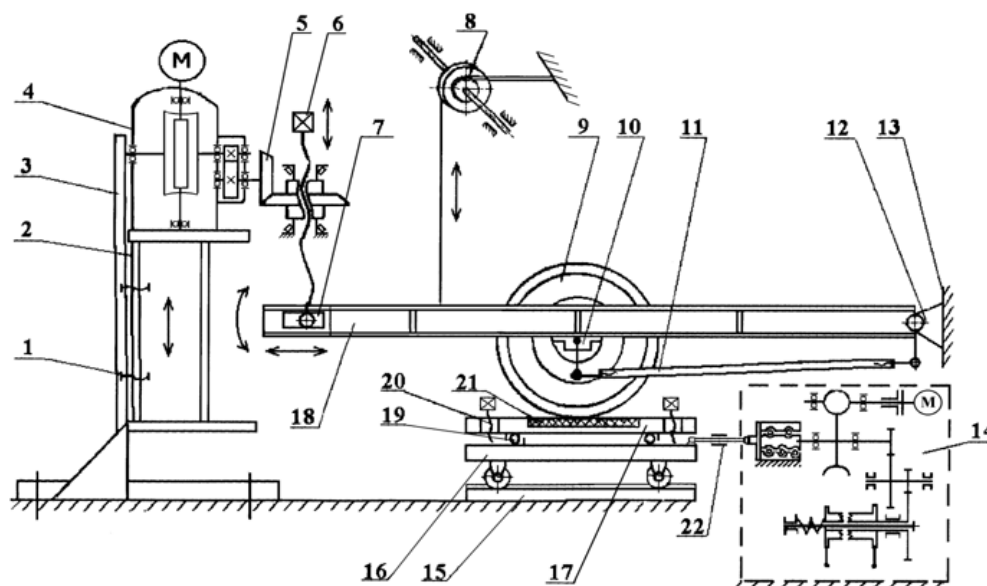


Рис. 2. Кинематические схемы шинного стенда комплексного нагружения и динамометрической площадки: 1,2,3,4,5,6 – элементы механизма нагружения колеса нормальной силой; 8 – датчик колебаний; 9 – колесо с испытуемой шиной; 7,10,11,11,12,13,18 – колесная рама с элементами установки колеса; 15,16,17,19,20,21 – элементы динамометрической площадки; 14 – электромеханизм нагружения колеса тангенциальной или боковой силами; 22 – датчик тяговой силы

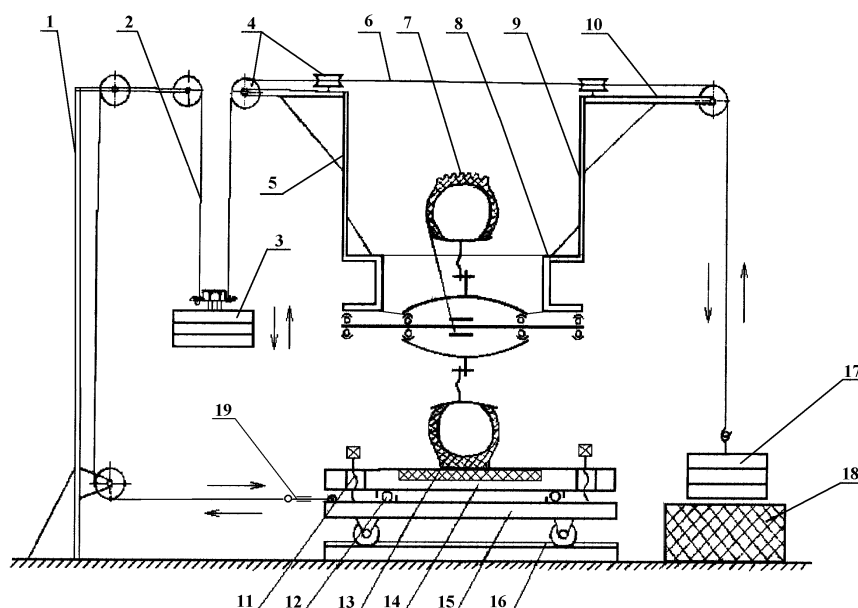


Рис. 3. Кинематическая схема шинного стенда СКН с устройством догружения шины боковой силой: 1,2,3,4,5,9,10,17 – элементы устройства догружения шины; 6 – датчик вертикальной силы (тензоступица); 11,12,13,14,15,16 – элементы динамометрической площадки; 18 – упругое основание; 19 – датчик тяговой силы

Устройство догружения предназначено для постепенного нагружения шины боковой силой при построении характеристик нормальной жесткости на стенде СКН со следящим эффектом за величиной нормальной нагрузки, действующей на колесо.

Все составные части устройства можно разделить на две группы. К первой группе относятся элементы, обеспечивающие догружение шины боковой силой: динамометрическая площадка 11-16, стойка 1, грузовая площадка 3 и тросово-блочная система 2. Ко второй группе относятся элементы устройства, которые компенсируют эту нагрузку на начальном

этапе построения характеристик нормальной жесткости шины, а в дальнейшем высвобождают ее со слежением за величиной нормальной силы, действующей на колесо и направлением ее изменения. Это – кронштейны 5, 9 и 10, тросово-блочная система 4 и 6, грузовая площадка 17 и упругое основание 18.

Методика построения характеристик нормальной жесткости шины на стенде СКН при одновременном действии боковой силы.

На грузовую площадку 3 устанавливаются мерные грузы, которые обеспечивают программное значение боковой силы на колесо и сразу же уравниваются мерными грузами на площадке 17. Нормальная нагрузка, действующая на колесо при этом должна быть равна нулю; контроль за величиной боковой догрузки осуществляется при помощи датчика 19.

Предварительно определяется значение нормальной нагрузки на колесо, обеспечивающей восприятие боковой силы без проскальзывания верхней плиты с установленным образцом дорожной поверхности относительно шины, значение хода колесной рамы стенда в месте установки кронштейна 10 и подбираются параметры упругого основания, обеспечивающие уравнивание массы грузов 17 на ходе рамы.

После этого включается привод механизма нагружения стенда и начинается нагружение шины нормальной силой по циклу «нагрузка-разгрузка». По мере нарастания нормальной силы шина деформируется и колесная рама поворачивается вокруг оси шарнирного узла, опуская при этом грузовую площадку 17 на упругое основание. Основание с набором поролоновых пластин начинает воспринимать эту нагрузку и тем самым освобождает действие грузов 3 на динамометрическую площадку и испытываемую шину. После достижения программного значения дополнительная (боковая) нагрузка остается неизменной до завершения хода нагружения, а при ходе разгрузки шины, как только нормальная сила достигает расчетного значения по сцеплению, начинается обратный процесс, т.е. подъем колесной рамы и грузов 17 с упругого основания, что приводит к постепенной компенсации действия грузов 3 на динамометрическую площадку и шину.

Таким образом, устройство для догружения шины боковой силой позволяет реализовать эффект слежения дополнительной нагрузки за нормальной и тем самым обеспечить построение характеристик нормальной жесткости испытываемой шины по непрерывному циклу изменения как нормальной, так и боковой сил.

Такое конструктивное решение устройства догружения стенда СКН и соответствующее изменение методики построения характеристик жесткости значительно повышает точность результатов экспериментальных исследований шин за счет непрерывности процесса нагружения колеса обоими силовыми факторами [5].

Прежняя методика предполагала ступенчатое изменение боковой силы при фиксированном значении нормальной нагрузки на колесо. А, поскольку, пневматическая шина является эластомерным изделием, то при остановке нагружения в ней появляется эффект ползучести, т.е. постепенное увеличение радиальной деформации. Что и приводит к существенным погрешностям конкретных результатов испытания шины.

Результаты экспериментальных исследований. Задачи данной серии экспериментальных исследований состояли в выявлении закономерностей влияния дополнительного нагружения автомобильного колеса боковой силой на жесткостные и поглощающие свойства пневматической шины при одновременном его основном нагружении нормальной силой. А так же – в подтверждении применимости эллиптической теории, разработанной в трудах [1,2], для оценки неупругого сопротивления (поглощающей способности) в шине при таком комплексном нагружении колеса.

Для испытаний были отобраны шины легковых автомобилей среднего класса и малотоннажных грузовиков четырех типоразмеров и с различной степенью износа. Программа испытаний предусматривала для каждой из отобранных шин построение характеристик нормальной жесткости в квазистатическом режиме нагружения колеса

нормальной силой с одновременным догрузением его боковой силой при варьировании внутреннего давления воздуха в шине и уровня статической нагрузки на колесо.

Образцы диаграмм с экспериментальными характеристиками нормальной жесткости испытанных шин для различных режимов нагружения колеса и эксплуатационного состояния представлены на рис. 3 и 4 (верхняя диаграмма), а результаты их обработки – на диаграммах снизу, в виде зависимостей амплитудных значений силы неупругого сопротивления в шинах от их прогибов (графики и уравнения регрессии с численными значениями параметров).

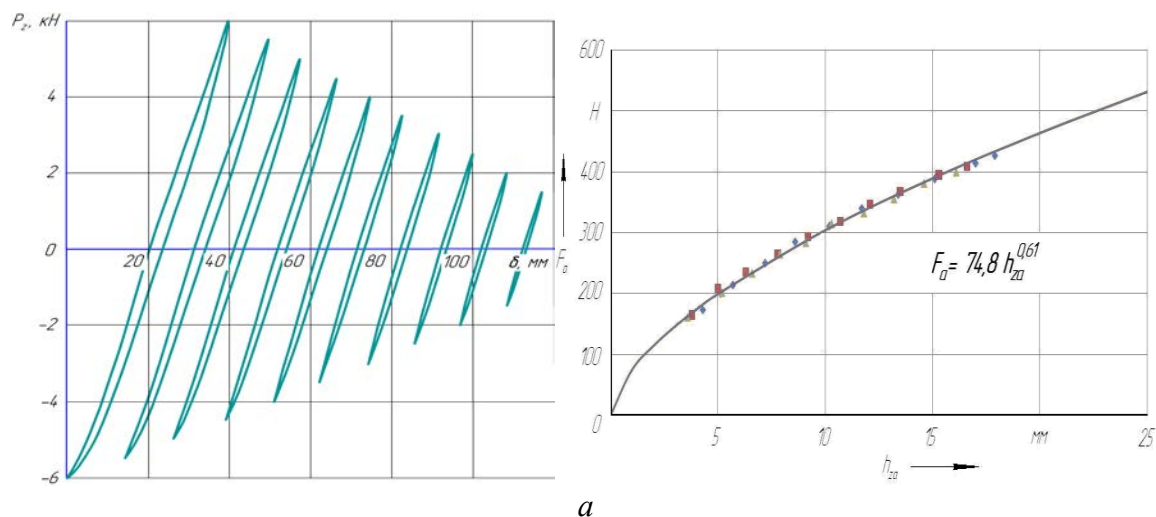


Рис. 3 Диаграммы с экспериментальными характеристиками нормальной жёсткости шины 8.40-15 модель Я-245 и результаты их обработки ($P_{\text{зн}} = 5,95$ кН; $p_{\text{вн}} = 0,20$ МПа) (начало): а – нагружение нормальной силой

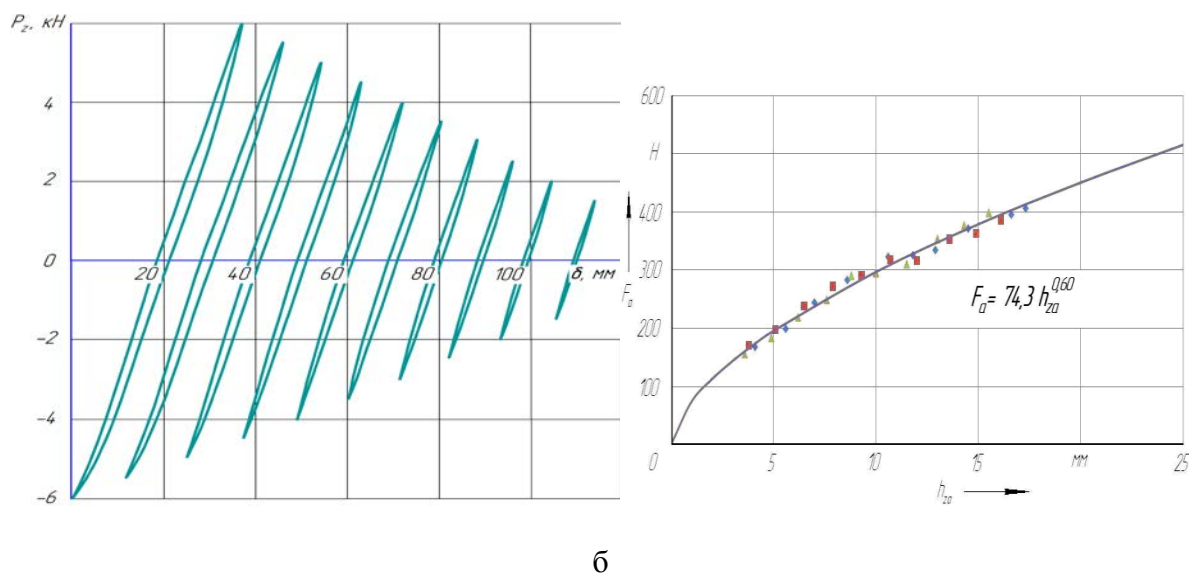


Рис. 3. Диаграммы с экспериментальными характеристиками нормальной жёсткости шины 8.40-15 модель Я-245 и результатами их обработки ($P_{\text{зн}} = 5,95$ кН; $p_{\text{вн}} = 0,20$ МПа) (окончание): б – нагружение нормальной и боковой силами

Результаты обработки экспериментальных диаграмм отобранных шин в обусловленных программой диапазонах изменения параметров нагружения сведены в таблицу для лучшего их представления и анализа.

Кроме того, по результатам эксперимента построены графики зависимостей коэффициента нормальной жесткости C_z шин, которые соотнесены с соответствующими зависимостями коэффициента C_z от величины внутреннего давления воздуха p_w (рис. 4 и 5).

Таблица 1

Значения параметров неупругого сопротивления в пневматических шинах по результатам испытаний при комплексном нагружении колеса

Размеры и модель шины	Параметры эксплуатационного состояния шины		Параметры неупругого сопротивления (поглощающей способности) в шине			
			Нагружение нормальной силой		Нагружение нормальной и боковой силами	
	P_{zn} , кН	p_{wn} , МПа	$H_{ш}$, Н/мм ⁿ	n	$H_{ш}$, Н/мм ⁿ	n
205/70R14 М-217 (износ 55 %)	4,35	0,20	26,6	0,44	30,4	0,43
185/65R15 МР14	4,35	0,20	56,6	0,47	54,4	0,48
8.40-15 Я-245	5,95	0,20	74,8	0,61	74,3	0,60
7.35-14 ИД-195	4,35	0,17	71,8	0,50	72,5	0,51

Размеры и модель шины	Осредненные параметры с оценкой рассеивания			
	$H_{ш}$, Н/мм ⁿ	σ_H , Н/мм ⁿ	n	σ_n
205/70R14 М-217 (износ 55 %)	28,4	1,91	0,43	0,01
185/65R15 МР14	54,8	1,68	0,48	0,01
8.40-15 Я-245	74,2	0,60	0,61	0,01
7.35-14 ИД-195	71,8	0,75	0,50	0,01

Примечания: P_{zn} – номинальный уровень нормальной нагрузки; p_{wn} – номинальное давление воздуха в шине; $H_{ш}$, n – параметры эллиптическо-степенной модели; σ_H – среднее квадратическое отклонение параметра $H_{ш}$; σ_n – среднее квадратическое отклонение параметра n .

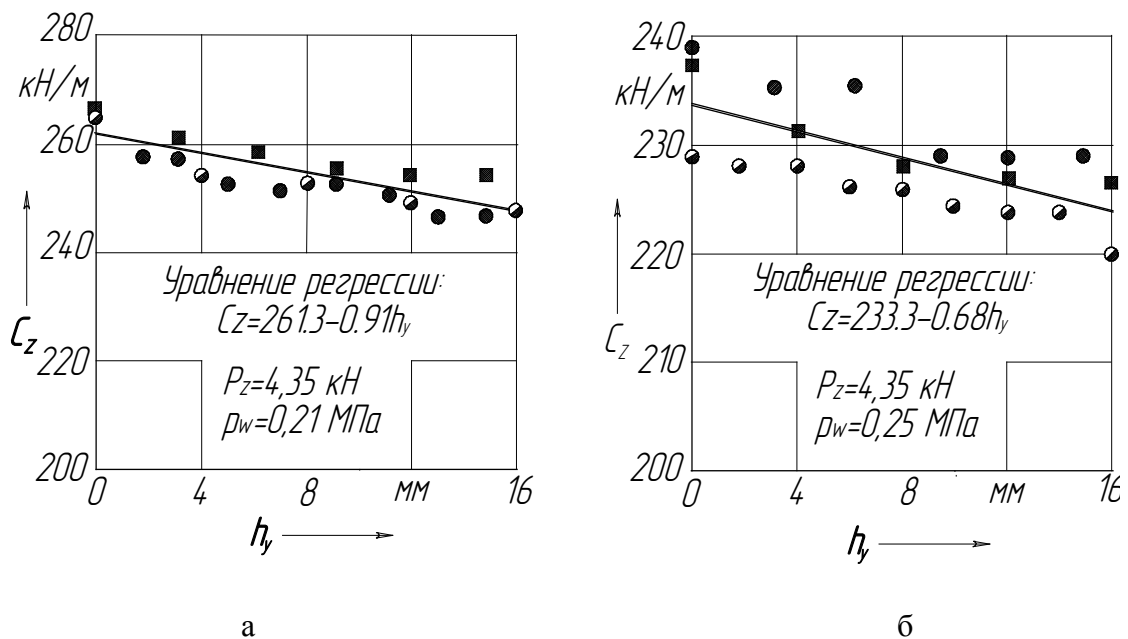


Рис. 4. Зависимости коэффициента нормальной жесткости шин от бокового упругого смещения:

а – шина 7.35-14 модели ИД-195 ($P_{zn} = 4,35$ кН; $p_{wn} = 0,17$ МПа);
б – шина 205/70 R14 модели ИД-220, износ 50% ($P_{zn} = 4,35$ кН; $p_{wn} = 0,19$ МПа)

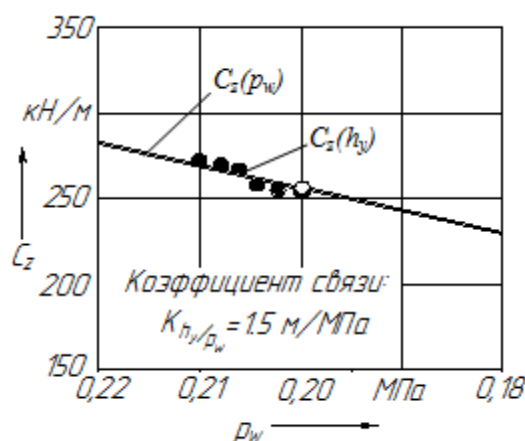


Рис. 5. Закономерности связи коэффициентов C_z для шины 7.35-14 модели ИД-195: $C_z(p_w)$ и $C_z(h_y)$

Выводы. Анализ результатов выполненных экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

1. Характеристики нормальной жесткости испытуемых шин для всех режимов нагружения и значений внутреннего давления воздуха и уровня статической нагрузки вполне удовлетворительно описываются уравнением эллипса с большим эксцентриситетом; погрешность аппроксимации не превышает 5 %.

2. Дополнительное к нормальному нагружение шины боковой силой не выводит значения параметров эллиптической-степенной модели из тех пределов, которые были получены при одинарном нагружении нормальной силой. А влияние дополнительного нагружения на неупругое сопротивление (поглощающую способность) в шине проявляется аналогично влиянию внутреннего давления воздуха, т.е. изменением коэффициента жесткости шины.

3. Если догружение осуществляется боковой силой, то жесткость шины уменьшается, следовательно, поглощающая способность ее возрастает.

4. Закономерности изменения коэффициента нормальной жесткости от бокового упругого смещения шины носят линейный характер, по крайней мере в диапазоне работы шины без проскальзывания.

5. Эллиптическо-степенная модель вполне адекватно отражает свойства пневматической шины поглощать и рассеивать часть энергии, передаваемой через нее при вертикальных колебаниях колеса.

6. Параметры эллиптическо-степенной модели являются константами для конкретной шины, т.е. не зависят от ее эксплуатационного состояния (внутреннего давления воздуха, уровня статической нагрузки, температуры покрышки) и режима нагружения (частоты изменения вертикальной нагрузки, скорости качения колеса, дополнительного приложения боковой силы)

При ужесточении требований к силовой неоднородности параметры модели будут являться константами для всех шин одного типоразмера и даже шин разных фирм-производителей.

Это свойство параметров модели значительно облегчает ее использование в расчетах эквивалентных колебательных систем автомобиля, поскольку достаточно один раз тщательно оценить их значения для одной шины конкретного типоразмера, чтобы занести в технические данные всех шин таких же размеров и модели с указанием величины с.к.о.

7. Эллиптическо-степенная модель позволяет описать неупругое сопротивление в шине по результатам испытаний в различных режимах нагружения колеса (квазистатическое

нагружение, свободные колебания, динамическое нагружение без и с вращением колеса), при этом ее параметры могут быть приведены один к другому.

Это свойство параметров модели позволяет определить параметры, соответствующие реальному режиму нагружения шины – динамическому с вращением колеса, по результатам более простого эксперимента, например эксперимента при квазистатическом непрерывном нагружении, или еще более простого – в режиме свободных колебаний. Техническое обеспечение режима свободных колебаний оборудованием и приборами реализовано во многих вузах и НИИ страны.

Литература:

1. Рыков С.П. Методы моделирования и оценки поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин в расчетах подвески и колебаний колесных машин: автореф. дис....уч. ст. д-ра техн. наук. - М.: ФГУП «НАТИ», 2005. – 44 с.
2. Рыков С.П. Основы теории неупругого сопротивления в пневматических шинах с приложениями: Монография. 2-е изд., перераб. и доп.-- СПб.: Издательство «Лань», 2017.-- 440 с., ил.
3. Рыков С.П. Экспериментальные исследования поглощающей и сглаживающей способности пневматических шин: Испытательный комплекс, методики проведения экспериментов и обработки результатов.: Монография - Братск: БрГТУ, 2004. - 322 с.
4. Енаев А.А. Основы теории колебаний автомобиля при торможении и ее приложения. – М.: Машиностроение, 2002. – 341 с.
5. Пат. 2245535 RU/МПК⁷, G01M17/02 Способ построения характеристик радиальной упругости пневматической шины при комплексном нагружении колеса и устройство для его осуществления / Братский гос. техн. ун-т; Авт. изобр. С.П. Рыков, В.Н. Тарасюк. Заяв. 30.06.2003; Опубл. 27.01.2005 г., бил. № 3.
6. Рыков С.П., Мазур В.В. Экспериментальная оценка преобразующих свойств автомобильных шин: монография / под общ. ред. С.П. Рыкова. – Братск: Изд-во БрГУ, 2019. – 270 с.

Assessment of rigid and absorbing properties of pneumatic tires under complete loading of the wheel by the example of action of normal and lateral forces

Rykov S.P.^a, Koval V.S.^b, Rykova O.A.^c

Bratsk State University, ul. Makarenko 40, Bratsk, Russia

^aRSP7-8-48@rambler.ru, ^bkoval.supra@yandex.ru, ^colga.tonoy@mail.ru

Keywords: automobile, pneumatic tire, stiffness and absorption properties, integrated loading busbar, normal stiffness characteristic, elliptic-power model, lateral force, experiment, tire normal stiffness coefficient, absorbing capacity parameters.

The elastic tire of a wheeled vehicle is that primary element of a complex dynamic system, which largely determines the degree of loading of its load-bearing structure and transmission, as well as the quality of the main operational properties. The influence of the lateral force on the wheel on the stiffness and absorption properties of a pneumatic tire has not yet been studied. The presence of a complex loading tire stand equipped with attachments for loading the tire with lateral force with a tracking effect at normal load allowed us to conduct a series of experimental studies on passenger car tires and identify the main laws of this effect. The results of processing the experimental characteristics of the normal stiffness of the tested tires showed that the elliptical-power model quite adequately reflects the ability of the pneumatic tire to absorb and dissipate part of the energy transmitted through it during vertical wheel vibrations. In addition to the normal loading of the tire by lateral force, it does not derive the values of the model parameters from those

limits that were obtained under single loading by normal force. And the effect of additional loading on the absorptive capacity of a tire is manifested similarly to the effect of internal air pressure, i.e. a change in the stiffness coefficient in the direction of its decrease.

УДК 621.331.5, 502.174.3

Исследование возможности замены автомобильного общественного транспорта на электрический в городе Братске

Лосев Е.Д.^{1а}, Мишуров² С.В.^{2б}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

²Лицей 1, ул. Погодаева, 8, Братск, Россия

^а elk@mail.ru; ^бserg270303@inbox.ru

Ключевые слова: электробус, контактная электросеть, электрификация, общественный транспорт.

Все электробусы, которые на данный момент представлены рынке, можно условно разделить на два типа: модели первого типа имеют большой запас хода (150-200 км) на одной зарядке, но время их зарядки исчисляется часами; модели второго типа имеют гораздо меньший запас хода (50-70 км), но заряжаются значительно быстрее (30-60 мин). Районы города Братска находятся на значительном удалении друг от друга и дневной пробег автобуса превышает 200 км., поэтому для замены автобусов на электробусы и сохранения прежнего расписания движения необходимо увеличивать автопарк. В процессе анализа пятнадцати маршрутов поселков Энергетик, Падун и Гидростроитель было замечено, что большинство из них имеет общую часть маршрута. В этих местах предлагается установить контактную сеть, чтобы электробусы смогли пополнять запас энергии во время движения. Проведённый анализ показывает, что данное решение позволит электрифицировать 10 маршрутов из 15 в исследуемой части г. Братска. На основе полученных данных сделаны предварительные выводы об экономической и экологической эффективности предлагаемого решения.

Введение. В 21-м веке проблема загрязнения окружающей среды и истощения невозобновляемых источников энергии встала особенно остро, и большое значение приобрели программы ресурсо- и энергосбережения. Большое значение для реализации этих программ имеют разработки новых моделей и видов электротранспорта. В настоящее время существует большое количество моделей трамваев, троллейбусов и электробусов, позволяющих электрифицировать городской общественный транспорт [1, 2]. Однако, в городе Братске энергосберегающие технологии в сфере общественного транспорта почти не используются. Причина этого в удалённости районов города друг от друга, из-за этого создание инфраструктуры для троллейбусов и трамваев требует больших денежных затрат. Все электробусы, представленные на рынке на сегодняшний день, без подзарядки не могут обеспечить необходимый суточный пробег для городских маршрутов г. Братска [3, 4], поэтому для соблюдения действующего расписания движения при замене автобусов необходимо большее количество электробусов, т.к. часть из них будет простаивать во время зарядки. Чтобы найти решение данной проблемы и предложить способ внедрения энергосберегающих технологий и повышения экологичности общественного транспорта в Братске, были предприняты следующие шаги:

- 1) проанализированы характеристики существующих видов электротранспорта и выбран наиболее подходящий (с учётом географической специфики города);

2) на основе характеристик выбранного варианта было дано заключение, какие из маршрутов в районах Падун, Энергетик и Гидростроитель можно электрифицировать.

Помимо этого, были сделаны предварительные выводы об экономической эффективности электрификации общественного транспорта.

Анализ характеристик видов электротранспорта. Троллейбусы и трамваи требуют создания специальной инфраструктуры. Из-за большой протяжённости маршрутов в г. Братске стоимость данного проекта будет слишком высокой. Необходим такой транспорт, который имеет большой автономный запас хода. Таким транспортом являются электробусы. Все модели электробусов можно условно разделить на 2 типа. Модели первого типа имеют большой запас хода (150-200 км) на одной зарядке, но время их зарядки исчисляется часами (рис 1., таблица 1) [5, 6]. Модели второго типа имеют гораздо меньший запас хода (50-70 км), но заряжаются значительно быстрее (30-60 мин) (рис. 2, таблица 2) [7, 8]. Электробусы первого типа не подходят для электрификации общественного транспорта в Братске: чтобы на время зарядки не прекращать движение автобусов, придётся значительно увеличивать автопарк, что, учитывая цену электробусов, крайне не выгодно. Электробусы второго типа также не являются оптимальным вариантом: стоянка для зарядки требует увеличения автопарка для соблюдения действующего расписания движения. В процессе анализа пятнадцати маршрутов поселков Энергетик, Падун и Гидростроитель (рис. 3) [9] было замечено, что большинство из них имеет общую часть маршрута, которая показана на рис.4. В этих местах целесообразно проложить контактную сеть, чтобы электробусы смогли пополнять запас энергии во время движения.



Рис 1. Электробус ЛИАЗ-6274 (ОНС)



Рис 2. Электробус ЛИАЗ-6274 (ОС)

Таблица 1

Характеристики электробуса ЛИАЗ-6274 (ОНС)

Максимальная скорость, км/ч	80
Максимальный запас хода, км.	200
Максимальный преодолеваемый подъем электробуса, %	12
Расход электроэнергии на 100 км, кВт*ч	25
Время полного заряда, ч	6,5

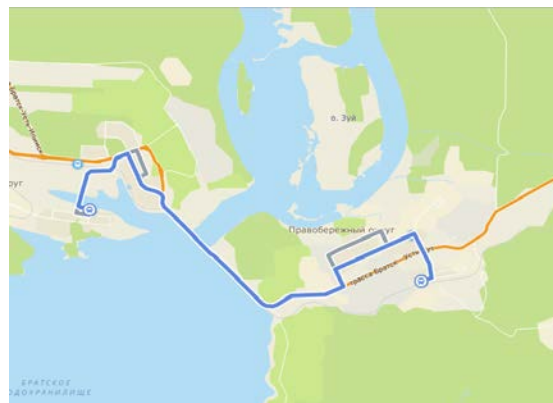
Таблица 2

Характеристики электробуса ЛИАЗ-6274 (ОС)

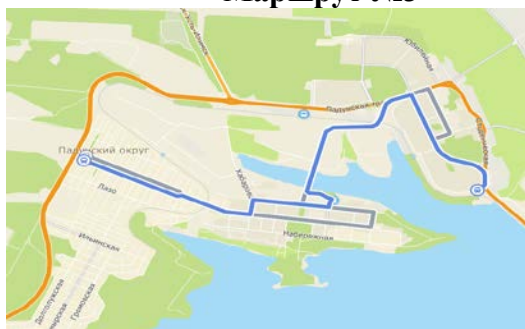
Максимальная скорость, км/ч	70
Максимальный запас хода, км.	200
Максимальный преодолеваемый подъем электробуса, %	12
Расход электроэнергии на 100 км, кВт*ч	25
Время полного заряда, ч	0,5...1,0



Маршрут №3



Маршрут №4

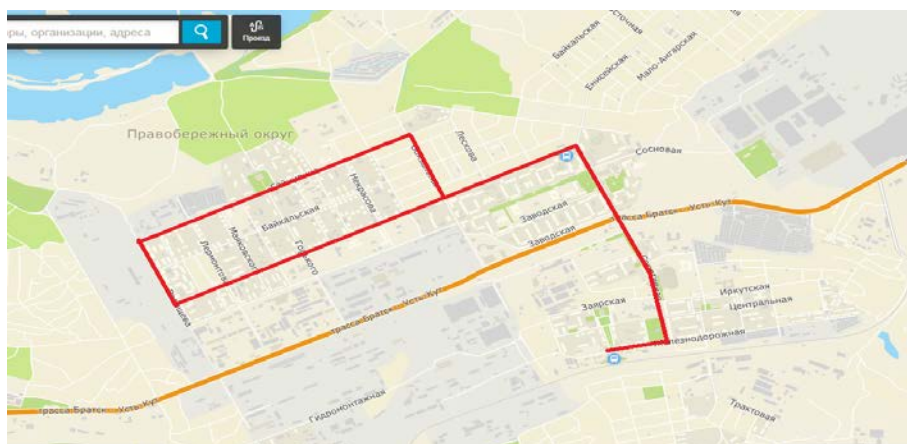


Маршрут №1



Маршрут №6

Рис 3. Маршруты, обслуживаемые ООО «БЭСТ»



Гидростроитель



Падун, Энергетик

Рис 4. Контактная сеть

Расчёт возможности электрификации маршрутов. Для этих маршрутов были рассчитаны протяжённость электрифицированных и не электрифицированных участков пути, время на кольцо и вне кольца и, исходя из этих данных, установлена возможность или невозможность электрификации того или иного маршрута. Эти данные представлены в таблице 3.

Таблица 3

Расчёт возможности электрификации маршрутов

№ маршрута	Протяжённость маршрута, км.	Электрифицированная часть маршрута, км.	Неэлектрифицированная часть маршрута, км.	Время на кольцо, мин.	Время вне кольца, мин.	Возможность электрификации и маршрута
1	20,8	11,4	9,4	22,8	18,8	да
1у	21,5	11,4	10,1	22,8	20,2	да
2	38,7	11,4	27,3	22,8	54,6	нет
3к	9,6	6,3	3,3	12,6	6,6	да
4	36,3	21,5	14,8	43	29,6	да
5	16,6	1	15,6	2	31,2	нет
6	11,9	10,1	1,8	20,2	3,6	да
7	10,6	4,6	6	9,2	12	да
8	10,9	5	5,9	10	11,8	да
9	12,5	10,5	2	21	4	да
10	84	21,5	62,5	43	125	нет
12	13,6	1,4	12,2	2,8	24,4	нет
14	12,4	4,7	7,7	9,4	15,4	да
18	19	5	14	10	28	нет
19	36,1	13	23,1	26	46,2	да

Экономическая эффективность. В таблице 4 представлено краткое сравнение экономических характеристик электробуса и дизельного автобуса.

Таблица 4

Экономические показатели эксплуатации автобусов

	Стоимость 100 км. пробега, руб.	Стоимость 100 км. пробега, руб.
Автобус	10000000	1250
Электробус	20000000	75

Как можно видеть, электробус значительно дороже, но стоимость 100 км пробега для него ниже в 16 раз. В сравнении не учитывались стоимость обслуживания, ремонта и замены вышедших из строя аккумуляторов, однако, прогнозируется снижения стоимости обслуживания и ремонта, так как электрический двигатель является более надёжным по

сравнению с дизельным двигателем. Поэтому можно сделать предварительный вывод об экономической эффективности предлагаемого решения.

Заключение:

На основании проведённого исследования можно сделать следующие выводы:

1. Возможна замена дизельных автобусов на электробусы на 75% городских пассажирских маршрутов районов Энергетик, Гидростроитель и Падун города Братска при частичной электрификации их маршрута;
2. Замена дизельных автобусов на электробусы снизит стоимость одного километра пробега в 16 раз. Также снизится стоимость их технического обслуживания;
3. Электрификация пассажирского транспорта снизит количество вредных выбросов в атмосферу и шумовое загрязнение, повысит энергоэффективность.

Литература:

1. Исупов А. А., Якубович С. П., Кункевич А. И. Современные тенденции развития перевозок пассажиров: от автобуса, троллейбуса и трамвая - к электробусу //Перспективы развития транспортного комплекса. – 2018. – С. 4-15.
2. Колин А.В. Троллейбус, автобус или электробус? // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 3 (76). С. 38-42.
3. Гелеверя А.К., Дьяченко Г.И. Электробусы - перспектива городского транспорта // Наука. Технологии. Инновации Сборник научных трудов. В 9-ти частях. 2018. С. 209-211.
4. Искендеров М.М. Электробусы как альтернатива традиционным транспортным средствам // Молодой исследователь: вызовы и перспективы Сборник статей по материалам LXXXVII международной научно-практической конференции. 2018. С. 62-64.
5. Автобусные новинки на "Экспосититранс-2012" //Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2012. – №. 12. – С. 38-39.
6. Электрический автобус // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2012. – №8. – С. 36-37.
7. Сафонов Б.А., Ерёмин Г.П., Бутарович Д.О. Роль вузов РФ в создании инновационных разработок в области городского автомобильного электротранспорта // Журнал автомобильных инженеров. – 2015. – № 3 (98). – С. 8–11.
8. Бирюков В.В., Бахолдин Д.А. Электробус для внутригородских перевозок пассажиров // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2017. № 3-4. С. 196-198.
9. Карта Братска: улицы, дома и организации города — 2ГИС [сайт]. URL: <https://2gis.ru/bratsk>

Research of the possibility of replacing automobile public transport with electric in the city of Bratsk

E.D.Losev^{1a}, S.V. Mishurov^{2b}

¹Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation

²Lyceum 1, 8 Pogodaeva st., Bratsk, Russian Federation

^a elk@mail.ru; ^b serg270303@inbox.ru

Keywords: electric bus, contact electric network, electrification, public transport.

All electric buses that are currently on the market can be divided into two types: models of the first type have a large range (150-200 km) on a single charge, but their charging time is calculated in hours; models of the second type have a much smaller range (50-70 km), but they charge much faster (30-60 min). The districts of the city of Bratsk are at a considerable distance from each other

and the daily bus mileage exceeds 200 km. Therefore, in order to replace buses with electric buses and maintain the old timetable, it is necessary to increase the fleet. In the process of analyzing fifteen routes of the villages of Energetik, Padun and Gidrostroytel it was noticed that most of them have a common part of the route. It is proposed to establish a contact network in these places so that the electric buses can replenish the energy supply during movement. The analysis shows that this solution will allow electrification of 10 routes out of 15 in the investigated part of Bratsk. Based on the data obtained, preliminary conclusions are made about the economic and environmental effectiveness of the proposed solution.

Влияние дискретной режущей кромки на снижение шероховатости поверхности

Хлудов С.Я., Маркова Е.В.^а, Чечуга О.В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

^аmarta06@yandex.ru

Ключевые слова: резание металлов, сменная многогранная пластина (СМП), передняя поверхность, режущая кромка, дробление стружки.

Описывается экспресс-методика определения положения стружкозавивающих элементов на передней поверхности, обеспечивающих устойчивое дробление стружки. Предлагаются многофункциональные конструкции режущих пластин с дискретной режущей кромкой. В результате использования экспресс-методики устанавливаются параметры отдельных участков скорректированной формы передней поверхности сменных многогранных пластин, которая гарантирует дробление стружки с требуемыми формой и параметрами ее элементов.

В условиях автоматизированного производства современного машиностроения при организации процесса механической обработки материалов, с высокими эксплуатационными характеристиками, повышается актуальность задачи обеспечения дробления стружки.

Решение такой задачи осуществляется путем использования сменных многогранных пластин (СМП) со специальной формой передней поверхности. Передняя поверхность современных СМП состоит из сопряженных между собой вогнутых, плоских и выпуклых участков. Каждый из этих участков может быть непрерывным, т.е. располагаться по периметру режущей кромки, или локальным - отдельно стоящим в строго определенном месте. Форма, размеры и месторасположение участков передней поверхности СМП, определяются функциями, которые они выполняют в процессе срезания припуска. Каждый из таких участков может одновременно выполнять одну или несколько функций в процессе резания или менять их при изменении условий обработки [1-2].

В Тульском государственном университете разработана экспресс-методика проектирования передней поверхности СМП, в основе которой положен принцип коррекции существующей формы передней поверхности для условий конкретного производства с учетом особенностей.

Экспресс-методика включает четыре этапа. Первый этап связан с измерением передней поверхности и построением 3D модели конструкции СМП. В качестве исходной конструкции передней поверхности принимается существующая конструкция СМП. Вторым этапом является расчет параметров поперечного сечения срезаемого слоя: действительной максимальной толщины и действительной ширины. По зависимостям (1-4) рассчитываются координаты точки Q , совпадающей с центром тяжести фигуры, которую очерчивает поперечное сечение срезаемого слоя.

Координаты X_Q и Y_Q точки Q центра тяжести, определяются по зависимостям:

$$X_Q = \frac{I_1}{S}; \quad (1)$$

$$Y_Q = \frac{I_2}{S}, \quad (2)$$

где S – площадь поперечного сечения срезаемого слоя:

$$S = \frac{s}{2} \sqrt{R^2 - \frac{s^2}{4}} + R^2 \arcsin \frac{s}{2R} - (R-t) \cdot s,$$

где s – подача; t – глубина резания; R – радиус при вершине.

Параметры I_1 и I_2 вычисляются по формулам:

$$I_1 = \frac{s}{2} \left[-(R-t)(2X_A + s) + \frac{s}{2} \sqrt{R^2 - \frac{s^2}{4}} + X_A \sqrt{R^2 - X_A^2} + R^2 \left(\arcsin \frac{s}{2R} + \arcsin \frac{X_A}{R} \right) \right] \quad (3)$$

$$I_2 = \frac{s}{2} \left[\left(X_A + \frac{s}{2} \right)^2 - \frac{s}{3} (s^2 + 3X_A) \right], \quad (4)$$

где $X_A = \sqrt{2tR - t^2}$. Координаты X_Θ и Y_Θ точки Θ рассчитывается по зависимостям:

$$X_\Theta = \frac{k_1 + k_2}{k_3 + k_4};$$

$$Y_\Theta = \frac{k_5}{k_6}.$$

Определяется положение «базовой» точки Θ . По сканированному изображению исходной режущей пластины проводится анализ топографии передней поверхности СМП и выбирается «опорная» точка O на передней поверхности (рис. 1). Третий этап включает экспериментальное определение положения стружкозавивающего элемента, обеспечивающего благоприятную форму стружки, при этом используется технологический прием описанный ранее.

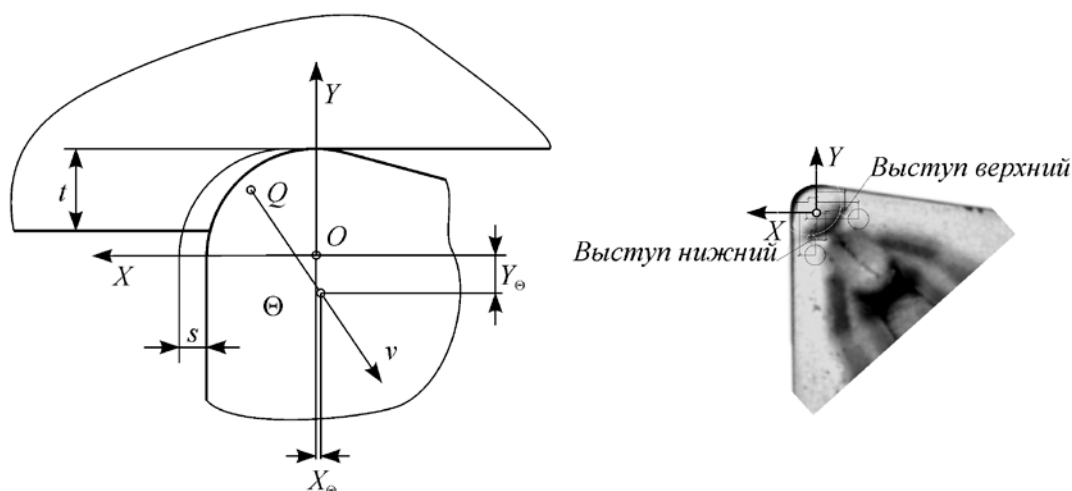


Рис. 1. Схема для определения начального положения «опорной» точки

На четвертом этапе осуществляется коррекция формы передней поверхности с учетом результатов третьего этапа. Проводится перерасчет результатов измерения профиля передней поверхности, полученных на первом этапе, с учетом системы отсчета и строится 3D модель СМП.

В результате использования экспресс-методики устанавливаются параметры отдельных участков скорректированной формы передней поверхности СМП, которая гарантирует дробление стружки с требуемыми формой и параметрами ее элементов.

При измерении температуры резания методом естественно образующейся термопары, было установлено, что в процессе точения СМП стандартного исполнения температура на 10...15% выше, чем при использовании СМП с двумя вершинами.

Экспериментально установлено, что разделение тепловых потоков и уменьшение глубины резания, обеспечило повышение стойкости на первой ступени в 2,5 раза по сравнению с СМП стандартного исполнения. При точении пластиной с двумя ступенями нарастание износа на задней поверхности первой ступени происходило равномерно вдоль всей активной части режущей кромки. При точении стандартной пластиной наблюдались проточки по краям активной части режущей кромки, которые отсутствовали на первой ступени специальной СМП.

Литература:

1. Борискин О.И., Зябрев С.В., Хлудов С.Я. Исследование работоспособности режущих пластин с дискретным исполнением режущей кромки / О.И. Борискин, С.Я. Хлудов, С.В.Зябрев // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010, ч. 1 - С. 130-135.
2. Борискин О.И., Зябрев С.В., Хлудов С.Я. Режущие пластины с дискретным исполнением режущей кромки / О.И. Борискин, С.Я. Хлудов, С.В.Зябрев // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 2: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010, ч. 1 - С. 146-149

Effect of a discrete cutting edge on reducing surface roughness

Khudov S.Y., Markova E.V. Chechuga O.V.
Tula State University
marta06@yandex.ru

Keywords: cutting metal, indexable insert (II), the front surface, cutting edge, chip control.

It describes the rapid method of determining the position of chips curling elements on the front surface, providing steady chip control. Flexible design of cutting inserts with discrete cutting edge is offered. The use of rapid methods set parameters of individual sections of the corrected shape of the front surface of the indexable inserts, which ensures chip control with the required shape and parameters of its elements.

УДК 629.4.015

Оценка остаточного ресурса ступенчатого вала при наличии усталостной трещины с применением численного моделирования

Зеньков Е.В.

Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, Иркутск, Россия
jovanny1@yandex.ru

Ключевые слова: усталостная трещина, напряженно-деформированное состояние, остаточный ресурс, скорость роста трещины, метод конечных элементов.

В статье представлена методика расчета остаточного ресурса вала, нагруженного изгибающим и крутящим моментами, при наличии усталостной трещины. На основе численного моделирования упругого деформирования методом конечных элементов рассматриваемого вала установлено напряженно-деформированное состояние (НДС) в вершине трещины. Показано, что трещина в условиях сложного НДС в процессе роста ориентируется нормально к наибольшим растягивающим напряжениям. Установлено, что после зарождения трещины деталь имеет ресурс прочности, который можно оценить на основе применения упругопластической модели роста усталостных трещин.

Машиностроительные конструкции в эксплуатационных условиях, как правило, подвергаются комплексу нагрузок как статического, так и циклического характера. Их НДС при этом характеризуется концентрацией напряжений вблизи конструктивных неоднородностей (отверстий, выступов, пазов и т. п.), что вызывает появление и развитие поверхностных трещин, фронт которых ориентируется перпендикулярно наибольшим растягивающим нормальным напряжениям (главным напряжениям σ_1).

Физические явления, которые происходят в вершине трещины и вызывают увеличение её размеров, определяются величиной напряжений непосредственно в окрестности трещины. Усталостное разрушение происходит по причине постепенного накопления повреждений в материале под действием повторно-переменных напряжений. Опасность заключается в том, что величина эксплуатационных напряжений в случае усталостных разрушений оказывается меньше характеристик прочности материала, определенных при стандартных механических испытаниях. В работе [1] отмечается тот факт, что для расширения рамок применимости классической механики разрушения, и определения критериев разрушения, необходимо введение дополнительных параметров, более полно характеризующих НДС и отражающих локальное стеснение деформаций (или трехосность напряженного состояния) в окрестности вершины трещины.

В качестве предмета исследования выбран ступенчатый вал из стали 40Х, широко применяемый в машиностроении для передачи вращательного движения. Как правило, валы имеют сложный вид нагружения и передают значительные усилия. В данном случае вал нагружался одновременно крутящим и изгибающим моментами. Крутящий момент создавал постоянное поле напряжений, а изгибающий момент создавал поле напряжений, циклически изменяющееся по синусоидальному закону. Конструкция ступенчатого вала предполагает наличие концентраторов напряжения, которые создают предпосылки для зарождения усталостных трещин. Исследование НДС осуществляется посредством численного моделирования методом конечных элементов в программе ANSYS Workbench 18.0. Описание роста усталостной трещины происходит на основе использования упругопластической модели, которая позволяет учитывать сложный вид НДС. Для оценки остаточного ресурса вала с трещиной необходимо методами неразрушающего контроля определить размеры трещины, вычислить поле напряжений в вершине трещины за цикл нагружения и использовать уравнение скорости роста трещины для вычисления числа циклов нагружения до критического размера трещины.

Авторами статей [2-4] был предложен метод определения скорости роста поверхностных трещин в толстостенных конструкциях под действием переменного двухосного циклического нагружения. Выполнен анализ трехмерного упругопластического напряжённого состояния в вершине поверхностных трещин при различных видах двухосного нагружения. Было определено, что на скорость роста трещин влияет степень охрупчивания металла впереди фронта трещины. Установлено, что при разгрузке образцов с трещиной в вершине трещины возникают остаточные напряжения за счет пластических деформаций, возникающих на стадии нагружения. Таким образом, разрушение в вершине трещины зависит как от напряжений, возникающих при нагрузке детали с трещиной, так и от напряжений противоположного знака, возникающих от остаточных деформаций. Предложена формула, описывающая скорость роста усталостных трещин в зависимости от изменения средних напряжений впереди фронта трещины.

На рис/ 1 показана расчетная схема ступенчатого вала. Материал вала – сталь 40Х: предел текучести $\sigma_T = 400$ МПа; предел прочности $\sigma_B = 650$ МПа; относительное остаточное удлинение при разрыве $\delta = 13$ %. Вал одновременно нагружен изгибающим моментом $M_{изг} = 500$ Н·м и крутящим моментом $T_{кр} = 500$ Н·м (рис. 1в).

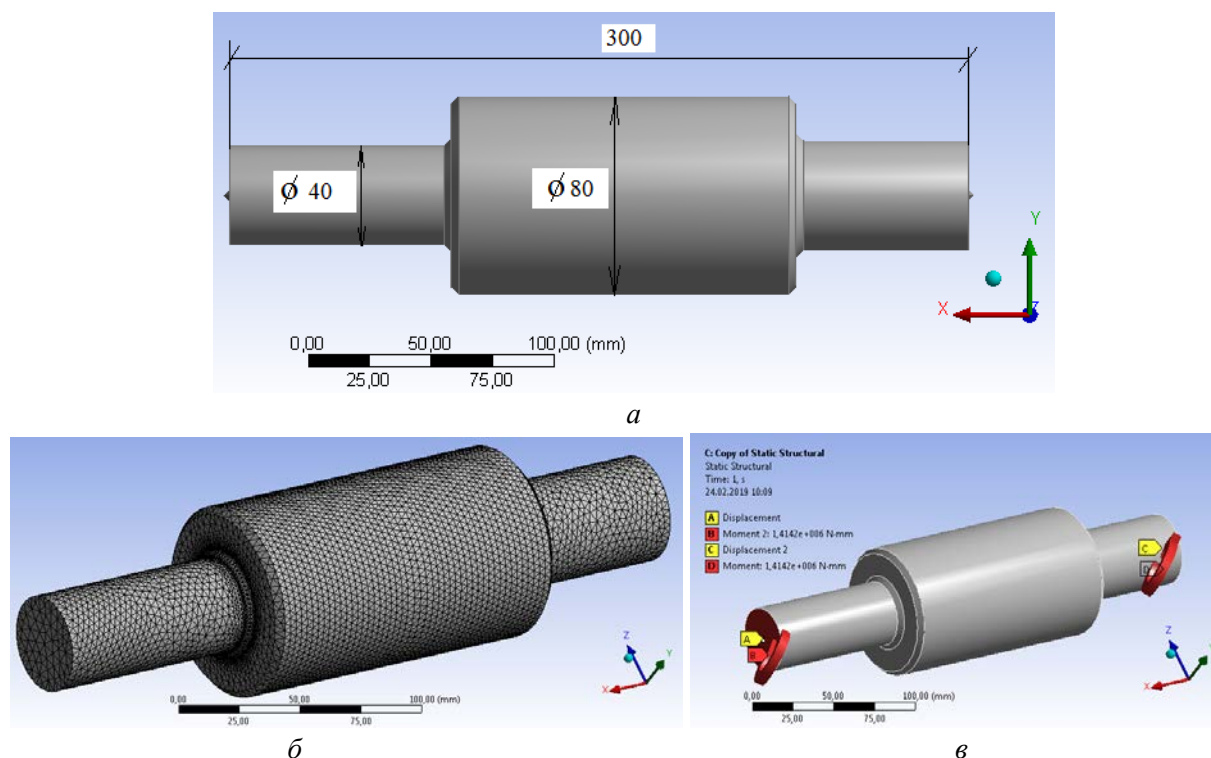


Рис. 1. Ступенчатый вал:

a – конструктивная схема, *б* – дискретная модель, *в* – схема нагружения

По результатам численного конечно-элементного моделирования упругого деформирования ступенчатого вала, представленного на рис. 2, в нем возникают постоянные напряжения от крутящего момента $T_{кр}$ и циклически изменяющиеся напряжения от изгибающего момента $M_{изг}$.

Долговечность вала (см. рис. 2) может быть назначена по пределу выносливости материала σ_{-1} , определенного на стандартных гладких образцах без трещины при базовом числе циклов испытаний, после вычисления коэффициента запаса усталостной прочности для заданного цикла нагружения. Однако такая методика не позволяет оценить остаточный ресурс детали при наличии какого-либо технологического, эксплуатационного, коррозионного и т.п. дефекта металла. При циклической схеме нагружения детали наличие дефекта приводит к концентрации напряжений и образованию усталостной трещины.

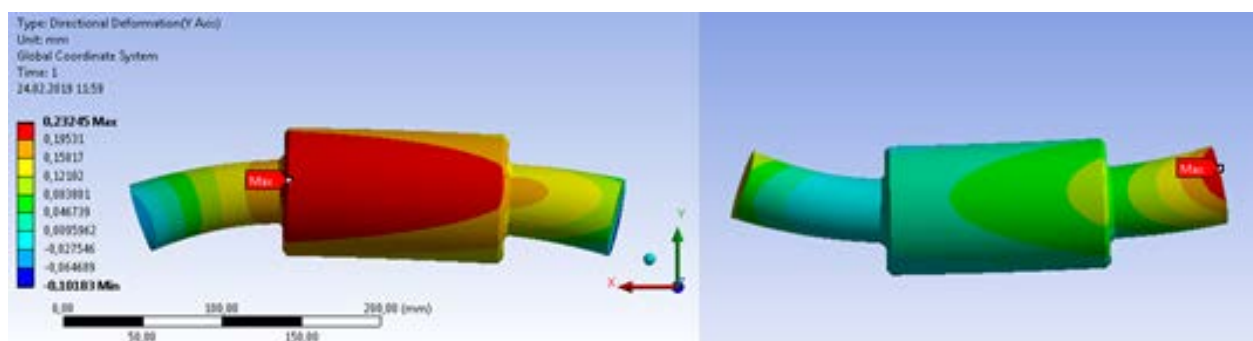


Рис. 2. Деформированное состояние вала при циклическом изгибе

В представленном валу (см. рис. 1а) дефект моделировался в виде сферической поры, возникшей в месте наибольшей концентрации напряжений на стыке двух участков ступенчатого вала (рис. 3).

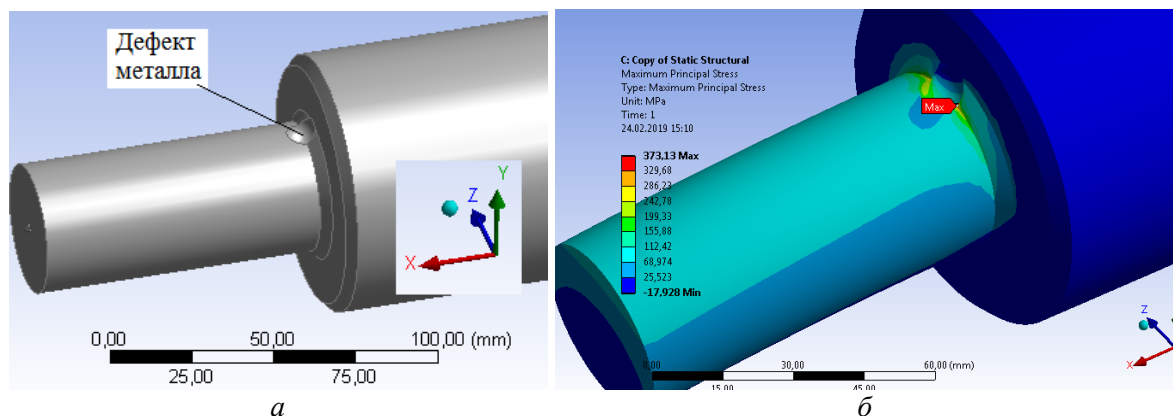


Рис. 3. Моделирование дефекта в ступенчатом валу:

a – расположение дефекта, *б* – значения максимальных главных напряжений в зоне дефекта

Полагаем, что наибольшая вероятность зарождения усталостной трещины существует в точке с максимальными главными напряжениями σ_1 . При этом плоскость распространения трещины в процессе роста будет ориентироваться нормально к этим напряжениям. С помощью программы ANSYS Workbench определены значения компонент главных напряжений и положение главных площадок. На рис. 4 показано положение главной площадки σ_1 , проходящей через точку с наибольшими напряжениями (рис. 4а), и модель круговой трещины зародившейся в этой плоскости (рис. 4б).

В работе [2] предложена характеристика напряженного состояния в вершине трещины, коррелирующая со скоростью роста трещины в условиях сложного НДС. Получена формула, описывающая рост усталостных трещин. Напряженное состояние в вершине трещины имеет сложный вид и изменяется за один оборот вала от максимального растягивающего напряжения до максимального сжимающего напряжения. Для такого случая нагружения вала предложено скорость роста усталостной трещины определять с помощью формулы полученной для стали 40Х [5]

$$\frac{da}{dN} = 8.12 \cdot 10^{-12} (\Delta K_{\sigma_0})^{3.01}, \quad (1)$$

где ΔK_{σ_0} – коэффициент изменения средних напряжений за цикл нагружения.

Данная формула отличается тем, что она учитывает упругопластические деформации и остаточные напряжения, развивающиеся в вершине трещины. Скорость роста усталостной трещины зависит от разности максимальных и минимальных средних напряжений $\Delta\sigma_0$, вычисленных за один цикл нагружения.

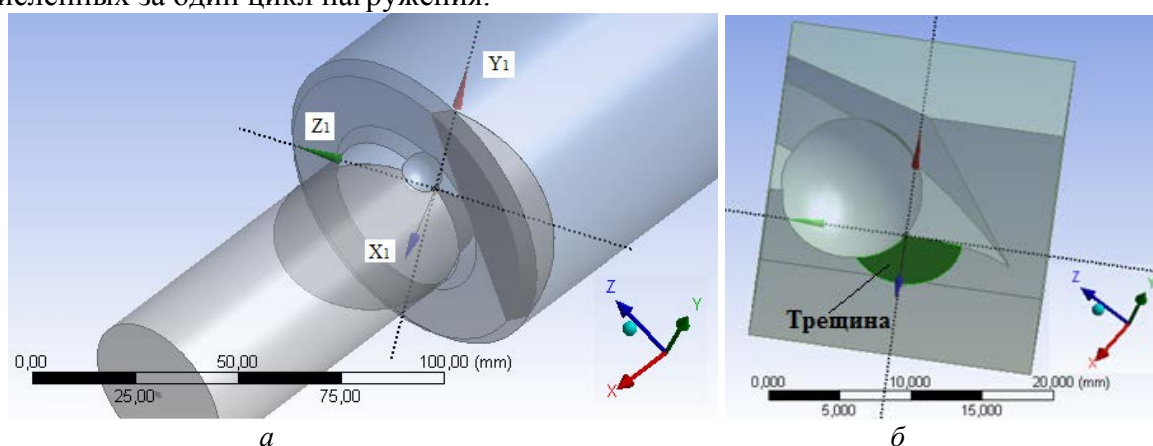


Рис. 4. Моделирование трещины в плоскости наибольших напряжений:

a – положение главной площадки σ_1 , X_1, Y_1, Z_1 – главные оси, *б* – модель круговой трещины

Мерой хрупкого разрушения в вершине трещины принято считать среднее напряжение [1, 4]. Мерой хрупкого разрушения за один цикл нагружения принято считать разность средних напряжений при растяжении и сжатии металла впереди фронта усталостной трещины

$$\Delta\sigma_0 = \sigma_0^{(+)} - \sigma_0^{(-)} . \quad (2)$$

Коэффициент изменения средних напряжений за цикл нагружения вычисляется по следующей формуле [4]

$$\Delta K_{\sigma_0} = \Delta\sigma_0 \sqrt{2\pi r} , \quad (3)$$

где r - расстояние от вершины трещины до точки, в которой вычислена величина ΔK_{σ_0} .

В таблице 1 приведены результаты вычисления скорости роста усталостной трещины для различных размеров трещины.

Таблица 1

Определение скорости роста трещин

Размер трещины, мм	Главные напряжения, МПа						$\Delta\sigma_0$, МПа	ΔK_{σ_0} , МПа·м ^{0,5}	da/dN , мм/цикл
	Растяжение			Сжатие					
	σ_1	σ_2	σ_3	σ_1	σ_2	σ_3			
3	558	363	190	-38	-124	-311	527	13.2	$1.8 \cdot 10^{-5}$
5	661	431	293	-72	-241	-441	712	17.8	$4.6 \cdot 10^{-5}$

Для оценки остаточного ресурса конструкций, в которых имеется трещина, используется формула для скорости роста трещины (1), которая описывает подрастание фронта трещины за один цикл нагружения. Если в уравнении (1) разделить переменные, то можно составить интегральное выражение

$$\int_0^{N_{кр}} dN = \int_{a_0}^{a_{кр}} \frac{1}{8.12 \cdot 10^{-12} (\Delta K_{\sigma_0})^{3.01}} da , \quad (4)$$

где a_0 - размер трещины, зарегистрированный в момент её обнаружения; $a_{кр}$ - критический размер трещины; $N_{кр}$ - число циклов нагружения от момента обнаружения трещины до её критического размера.

Начальные размеры и форма трещины должны быть зарегистрированы с требуемой точностью физическими методами неразрушающего контроля. Критический размер трещины может соответствовать прорастанию трещины на определенную глубину, установленную нормативными документами по отраслям промышленности, в которой эксплуатируется данная конструкция. С точки зрения расчета конструкции по предельному состоянию необходимо, чтобы коэффициент интенсивности напряжений, определенный для тела с трещиной без учета пластических деформаций K_I не превышал вязкости разрушения металла, определенной по стандартной методике K_{IC} [4].

Для рассматриваемого случая ступенчатого вала (рис. 1а) методом численного конечно-элементного моделирования было построено поле распределения нормальных напряжений в вершине трещины размером 5 мм [4], а затем определен коэффициент интенсивности напряжений без учета пластических деформаций [4, 6]. Приняв во внимание полученное поле распределения нормальных напряжений и их значение на расстоянии 0,1 мм от вершины трещины, равное $\sigma_1 = 780$ МПа, получаем коэффициент интенсивности напряжений без учета пластических деформаций $K_I = 19,5$ МПа·м^{0,5}. Таким образом, оценивая предельное состояние рассматриваемого ступенчатого вала из стали 40Х, учитывая что сталь 40Х с хорошим запасом обладает значением вязкости разрушения $K_{IC} = 50$ МПа·м^{0,5}, можно сделать вывод, что для трещины размером 5 мм ещё остается запас безопасной работы.

Литература:

1. Матвиенко Ю. Г. Тенденции нелинейной механики разрушения в проблемах машиностроения. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. 56 с.
2. Вансович К.А., Аистов И.П., Беселия Д.С. Метод оценки остаточного ресурса магистрального нефтепровода при наличии поверхностной трещины в условиях эксплуатационных нагрузок // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. №5(77). С. 1 – 17.

3. Вансович К.А. Модель роста усталостных поверхностных трещин за цикл нагружения нагрузка-разгрузка // Омский научный вестник. 2017. №3. С. 49 – 53.
4. Vansovich K.A., Aistov I.P., Zenkov E.V. Application of the elastoplastic model of fatigue cracks growth for calculation of the residual resource of steps shafts // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1260. No. 11. P. 112035.
5. Вансович К.А., Аистов И.П. Анализ трёхмерного напряжённого состояния в вершине поверхностных усталостных трещин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 4(56). С. 27 – 33.
6. Сиратори Т., Миёси Т., МацуситаХ. Вычислительная механика разрушения. М.: Мир, 1986. 334 с.

Estimation of the residual resource of a stepped shaft at fatigue cracks using numerical modeling

Zenzov E.V.

Irkutsk State University of Railway Transport, 15 Chernishevskogo st., Irkutsk, 6664074, Russian Federation
jovanny1@yandex.ru

Keywords: *fatigue crack, stress-strain state, residual life, crack growth rate, finite element method.*

The article presents a methodology for calculating the residual resource of a shaft loaded with bending and torques in the presence of a fatigue crack. Based on the numerical simulation of elastic deformation by the finite element method of the shaft under consideration, a stress-strain state (SSS) is established at the crack tip. It is shown that a crack under conditions of complex SSS during growth grows normally to the highest tensile stresses. It was found that after the crack nucleation, the part has a strength resource, which can be estimated based on the application of the elastic-plastic model of growth of fatigue cracks.

УДК 539.41

Расчет на прочность многослойной балки при поперечном изгибе методами сопротивления материалов

Горунович С. Б.

У-ИТЭЦ ПАО «ИРКУТСКЭНЕРГО», г. Усть-Илимск, Россия
Gorunovich@uitec.irkutskenergo.ru

Ключевые слова: многослойная балка, поперечный изгиб, прочность.

Известно, что в инженерной практике приходится часто сталкиваться с вопросами, связанными с расчетами на прочность многослойных конструкций. В данном исследовании мы рассмотрели напряженно-деформированное состояние многослойной, статически определимой балки при поперечном изгибе. Целью нашей работы явился анализ возможности использования упрощенных инженерных методов сопротивления материалов. Мы рассмотрели следующие расчетные модели: поперечный изгиб многослойной балки при отсутствии связей между слоями; поперечный изгиб многослойной балки с прочными связями между слоями, промежуточный вариант с наличием упругих связей. Мы провели как экспериментальную проверку, так и проверку с использованием конечно-элементного анализа данных моделей. В результате мы уточнили и обобщили известные зависимости сопротивления материалов для инженерных прочностных расчетов многослойных балок. При этом мы доказали, что для расчета максимальных касательных напряжений можно

обобщить и использовать формулу «Журавского». Мы выявили некоторые особенности напряженно-деформированного состояния составной балки с упругим промежуточным слоем. Следовательно, можно утверждать, что основные расчетные модели остаются применимыми для определения максимальных напряжений многослойных конструкций методами сопротивления материалов.

В инженерной практике часто приходится сталкиваться с многослойными покрытиями и кровлями, футерованными трубами и емкостями, армированными конструкциями [1]. При этом в многослойной конструкции выделяют несущий слой, слои со специальными свойствами, например: выравнивающий слой; слой теплоизоляции; защитный (покрывной) и т.д. При определении несущей способности многослойной конструкции, как правило, рассчитывают на прочность несущий слой, вес остальных слоев причисляют к весовой нагрузке. При этом следует иметь в виду, что все слои имеют наряду со специальными свойствами, также механические и прочностные, что оказывает существенное влияние на несущую способность всей конструкции.

Следует также подчеркнуть, что в широкой инженерной практике, используются упрощенные модели для прочностных расчетов, доступные специалистам без использования сложных и дорогостоящих программных приложений, требующих лицензирования и постоянные обновления. Следовательно, большинство элементов конструкций рассчитываются по стержневым и балочным моделям. Например, при поперечном изгибе балок величины касательных напряжений, которые могут приводить к продольному расслоению рассчитываются по формуле «Журавского», простой и удобной зависимости с удовлетворительным результатом. При этом данная зависимость не адаптирована для расчета многослойных балок, которые, в определенных случаях могут иметь выраженную тенденцию к расслоению, особенно по границам между слоями.

Именно поэтому целью нашей работы явился анализ возможности использования упрощенных инженерных методов сопротивления материалов для решения подобных задач. При этом начало уже было положено в более ранней работе [2]. Конкретно здесь мы решили подвергнуть более тщательной проверке предлагаемые расчетные зависимости, уточнить границы их применимости.

Самая простая расчетная модель, ярко иллюстрирующая стремление многослойной балки к расслаиванию представлена на рис. 1.

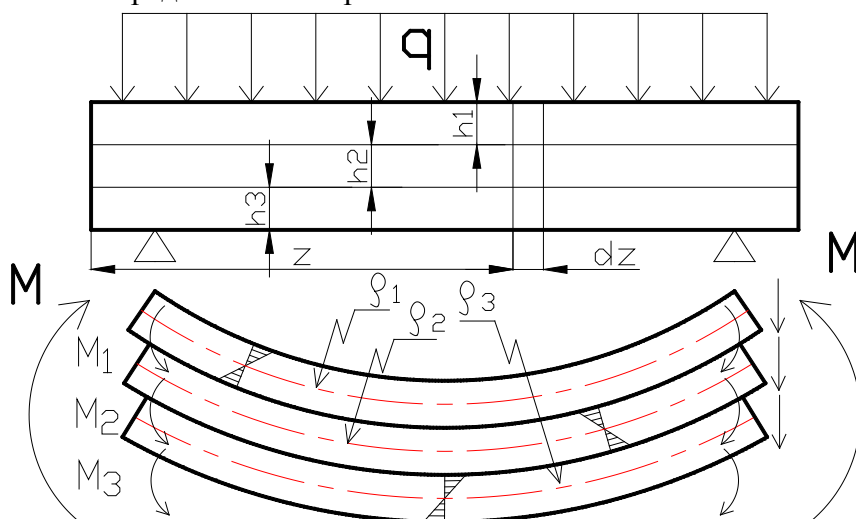


Рис. 1. Поперечный изгиб многослойной балки при отсутствии связей между слоями

Характерной особенностью данного случая является несовпадение нейтральной линии изгиба слоев – каждый слой имеет свою нейтральную линию, проходящую через свой геометрический центр сечения, со своим радиусом изгиба ρ_i . Как было уже показано в [2], каждый слой будет воспринимать часть нагрузки, прямо пропорционально своей относительной жесткости $E_i J_i$, где E_i – модуль упругости материала i -го слоя; J_i – момент инерции слоя, относительно своей собственной нейтральной линии изгиба. Т.е:

$$M_i = (E_i J_i M) / \sum_{i=1}^3 E_i J_i, \quad (1)$$

где M_i , M – изгибающий момент в сечении i -го слоя ($i = 1, 2, 3$), суммарный изгибающий момент в сечении конструкции, соответственно.

В случае поперечного изгиба многослойной балки с прочными связями между слоями, рассмотрим равновесие фрагмента балки длиной dz , рис.2. При этом все слои балки изгибаются относительно единой нейтральной линии изгиба, которая имеет смещение от геометрического центра сечения балки на величину e . Существует удобная формула для определения координаты смещения y_e , также предложенная в [3]:

$$y_e = \sum_{i=1}^n F_i y_{ci} E_i / \sum_{i=1}^n F_i E_i, \quad (2)$$

где F_i – площадь сечения i -го слоя (всего n слоев); y_{ci} – координата геометрического центра сечения площади слоя. Все координаты при этом следует определять относительно единой оси (например, границы нижнего слоя).

Для определения максимальных касательных напряжений в i -м слое можно использовать формулу «Журавского» с незначительными уточнениями входящих в ее состав величин, полученную из условия равновесия слоев в составе фрагмента балки, рис.2:

$$\tau_{zyi} = (Q_{yi} S_{xi}) / (J_{xi} b_i), \quad (3)$$

где Q_{yi} – поперечная сила в i -м слое балки; J_{xi} – момент инерции слоя, относительно единой нейтральной линии изгиба; S_{xi} – статический момент инерции отсеченной части i -го слоя относительно единой нейтральной линии изгиба; b_i – ширина сечения слоя.

Величина напряжения существенно зависит от величины внешней нагрузки, воспринимаемой слоем. Например, для расчетного случая рис.1, поперечные силы будут иметь максимальные значения на торцах балки и равняться:

$$Q_{yi} = Q_{yi \max} = 4M_{\max i} / L_b, \quad (4)$$

где $M_{\max i}$ – максимальный изгибающий момент в сечении i -го слоя ($i = 1, 2, 3$).

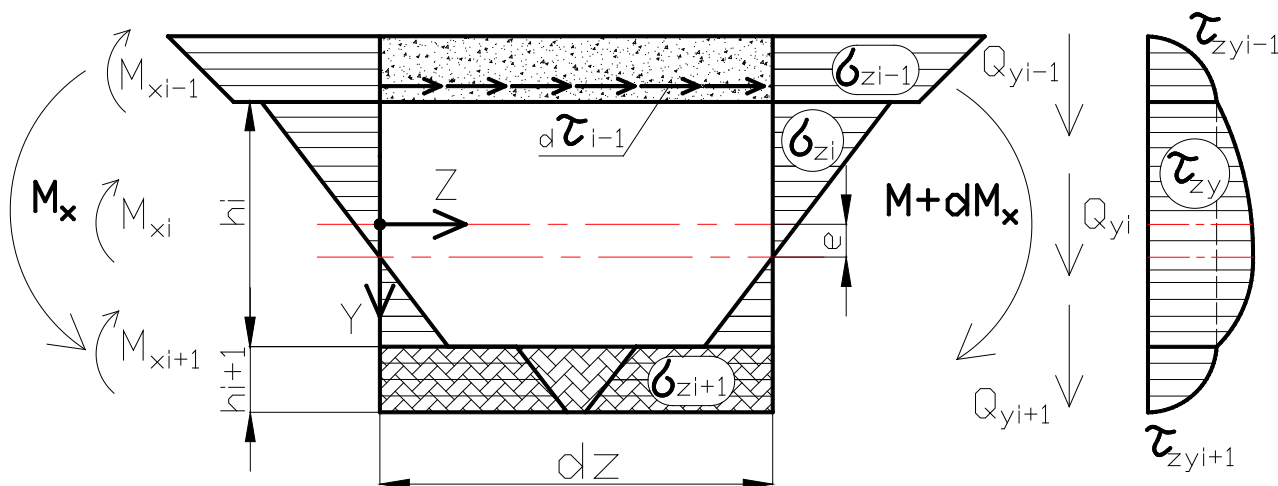


Рис.2. Фрагмент многослойной балки с прочными связями при поперечном изгибе

Согласно зависимости (3) максимальные касательные напряжения заключены внутри каждого слоя без учета влияния таковых со стороны соседних слоев. Тем не менее можно доказать, что достигнутое максимальное значение касательного напряжения нижней границы верхнего слоя передается нижнему в виде константы, т.е:

$$\tau_{zyi+1} = (Q_{yi} S_{xi \max}) / (J_{xi} b_i) + (Q_{yi+1} S_{xi+1}) / (J_{xi+1} b_{i+1}), \quad (5)$$

где $S_{xi \max}$ – статический момент инерции i -го слоя относительно единой нейтральной линии изгиба.

Характерные эпюры нормальных σ_{zi} и касательных напряжений τ_{zyi} в слоях сечения представлены на рис.2. В прежней работе [2] отмечалось, что максимальные касательные

напряжения следует ожидать на границах слоев, между тем получается, что в результате суммирования максимальные касательные напряжения будут приходиться на нейтральную линию изгиба. При этом, конечно, следует ожидать, что границы слоев могут служить естественными концентраторами напряжений и данный вопрос требует дальнейшего изучения более точными методами.

Для экспериментальной проверки зависимостей (1-5) использовалась расчетная модель – свободно закрепленная трехслойная балка длиной 0,160 м, нагруженная сосредоточенной силой P посередине пролета. Механические и геометрические характеристики слоев балки: слой 1 (пластик) – $E_1=3,2 \times 10^9$ Па, $h_1=0,002$ м, $b_1=0,026$; слой 2 (фанера) – $E_2=4 \times 10^9$ Па, $h_2=0,03$ м, $b_2=0,025$; слой 3 (оцинкованная сталь) – $E_3=1,6 \times 10^{11}$ Па, $h_3=0,0005$ м, $b_3=0,026$. Несущая способность определялась по максимальной величине прогиба $v_{\max}$. Рассматривались варианты с отсутствием связей между слоями и с наличием связей, после склеивания слоев универсальным клеем «Момент» (Табл.1).

Таблица №1

Величины максимальных прогибов трехслойной балки

№ п/ п	Величина	Р = 10 Н		Р = 20 Н		Р = 30 Н	
		По формулам	Эксперимент	По формулам	Эксперимент	По формулам	Эксперимент
Связи между слоями отсутствуют							
1	v _{max}	0,0026	0,0022	0,0053	0,0045	0,0079	0,007
Слои склеены универсальным клеем типа «Момент»							
2	v _{max}	0,00017	0,001	0,00034	0,002	0,0005	0,003

На модели трехслойной балки (опыт №1, Табл.1) экспериментальные данные сходятся с теоретическими с приемлемой погрешностью (от 11% до 16,5%). Некоторое превышение теоретических значений можно объяснить влиянием сил трения между слоями.

На модели склеенной трехслойной балки (опыт №2, Табл.1) экспериментальные данные расходятся с теоретическими значительно. Это доказывает, что связи между слоями при склеивании достаточно податливы и не соответствуют модели многослойной балки с абсолютно жесткими связями. Влияние степени жесткости связей на напряженно-деформированное состояние балки изучалось численным методом на другой модели, рис.3.

Z88 AURORA V3 STRESSES PER ELEMENT OUTPUT

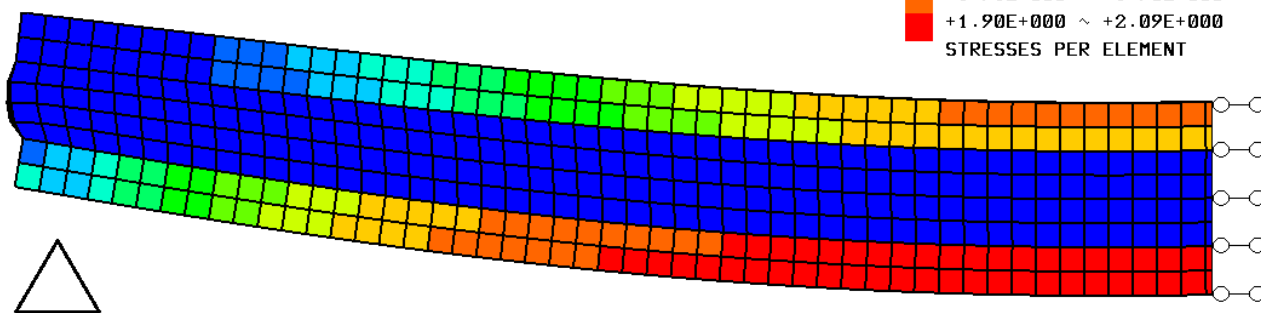
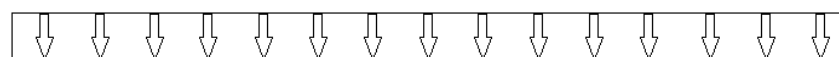


Рис.3. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния трехслойной балки (программный пакет Z88AURORA V3)

Для проверки численным методом применили расчетную модель см. рис.3: статически определимая трехслойная балка со связями различной прочности между слоями,

длиной $L_b=4,5$ м, квадратного сечения, шириной $b=0,4$ м; с равномерно распределенной нагрузкой $q=2222$ Н/м. Толщины слоев: 0,1 м; 0,2 м; 0,1 м, соответственно. Для характеристики связей используем средний слой с различными значениями модуля упругости. Для сравнения в таблицу 2 свели следующие расчетные величины: величины максимального нормального напряжения в сечении посередине балки для крайних слоев σ_{max} , величины максимального касательного напряжения на торцах балки τ_{max} в среднем слое.

Таблица №2

Величины максимальных напряжений при различных модулях упругости среднего слоя

№ п/п	Величина	Вариант 1: $E_2=4,7 \times 10^{10}$ Па		Вариант 2: $E_2=4,1 \times 10^9$ Па		Вариант 3: $E_2=4,1 \times 10^8$ Па		Вариант 4: $E_2=1,2 \times 10^7$ Па		Вариант 5: $E_2=1,2 \times 10^5$ Па	
		По формулам	Z88 AURORA	По формулам	Z88 AURORA	По формулам	Z88 AURORA	По формулам	Z88 AURORA	По формулам	Z88 AURORA
1	σ_{max}	0,6	0,55	0,62	0,57	0,62	0,84	0,62	2,1	0,62	4,04
2	τ_{max}	0,039	0,037	0,04	0,033	0,04	0,027	0,04	0,008	0,04	0,002

Приведенные результаты показывают, что использование упрощенных формул (1-5) оправдано при разнице модулей упругости слоев ориентировочно в 1000 раз (от 10^{11} до 10^8 Па). При этом погрешность составит от 8 до 30%. При использовании упругих материалов (с низким модулем упругости), начиная с резины, поролона, минеральной ваты и т.д., погрешность существенно возрастает. Численный анализ подтверждает выводы, полученные экспериментальным путем о непригодности упрощенной модели с абсолютно жесткими связями между слоями в данном случае. Очевидно, что при этом существенно нарушается гипотеза о «ненадавливании верхних слоев на нижние», когда значениями вертикальных компонент напряжений пренебрегают. К тому же не выполняется гипотеза о том, что плоские поперечные сечения до деформации остаются плоскими и после, что ярко проиллюстрировано на деформированной модели рис 3.

В результате исследования в целом можно сделать следующие выводы:

- 1) прочное сцепление между слоями многослойных конструкций играет очень важную роль, т.к. в противном случае максимальные напряжения могут значительно возрасти;
- 2) упрощенная модель расчета конструкции с абсолютно жесткими связями неприменима в случае значительной разницы модулей упругости слоев (в 10^3 раз) (рис. 2), в подобных случаях следует использовать модель с отсутствием связей между слоями (рис. 1).

Литература:

1. Junlong Yang, Jizhong Wang, Ziru Wang. Rectangular high-strength concrete columns confined with carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) under eccentric compression loading // Construction and Building Materials. Vol. 193, 30 December 2018. P.1409–1421.
2. Горюнович С.Б. Анализ напряженно-деформированного состояния многослойной балки при поперечном изгибе // Механика XXI века. 2019. № 18. С.291–296.
3. Мельникова Т.Е., Елесина Е.И. Анализ несущей способности многослойной балки при изгибе // Прикладная математика, механика и процессы управления. 2015. Т.1. С.28–34.

Multilayer beam strength calculation in transverse bending case by methods of material resistance

Gorunovich S.B.

Ust-Ilimsk thermal power plant, Public company "IRKUTSKENERGO", Ust-Ilimsk, 666684, Russian Federation

Gorunovich@uitec.irkutskenergo.ru

Keywords: multilayer beam, transverse bending, strength.

The common engineering practice often meets cases related to multilayer structures strength calculations. In this study, we considered the stress-strain condition of a multi-layer, statically definable beam under transverse bending. The aim of our work was to determine whether the simple engineering methods of material resistance are good and useful enough for this. We considered the following transverse bent multi-layer beam models: with loose connections between layers; with strong connected layers, so as in-between case with elastic layer connections. We performed both experimental approbation, as well as finite element analysis to check the presented methods. As a result, we restored and upgraded the well known material resistance formulas for engineering strength calculations of multilayer beam. At the same time, we proved that the slightly perfected "Zhuravsky" formula can quite be good to calculate the maximum tangent stresses. In proceedings we revealed some peculiarities of the stress-strain condition of the multi-layer beam with a strong elasticity between layers. Therefore, we brought the strong arguments that material resistance methods remain applicable for the maximum stress calculations of multilayer structures too.

УДК 621.793.74

Шероховатость поверхности износостойких плазменных металлокерамических покрытий после финишного шлифования*

Зверев Е.А.^a, Вахрушев Н.В.^b, Титова К.А.^c, Гулин И.Ю.^d

Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

^aegor_z@ngs.ru, ^bvah_nikit@mail.ru, ^ckrispars@yandex.ru, ^dgulin1296@mail.ru

Ключевые слова: плазменное напыление, износостойкое покрытие, металлокерамика, механическая смесь, финишное шлифование.

В работе представлены результаты исследования влияния финишного шлифования на качество поверхности металлокерамических износостойких покрытий, полученных плазменным напылением механических смесей. Основным компонентом для формирования смесей служил порошок оксида алюминия, к которому добавлялись никелевый и кобальтовый порошки. Для напыленных композиций приведен анализ поверхностей, свидетельствующий о специфике строения металлокерамических покрытий. Так же представлены типовые снимки топографий и профилограмм поверхностей исследуемых композиций, которые показывают, что покрытия из никель-керамической смеси обладают приемлемым уровнем шероховатости после финишного шлифования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Тематического плана НИР НГТУ по проекту ТП-ПТМ-1_20.

Введение

Финишная механическая обработка износостойких плазменных покрытий предназначена для формирования требуемых геометрической и размерной точностей, а так же шероховатости поверхности деталей машин. Основным методом финишной обработки напыленных покрытий является шлифование. Несмотря на более низкую производительность по сравнению с другими методами механической обработки, шлифование является более рациональным методом для обработки плазменных покрытий. По своим технологическим возможностям процесс шлифования является более универсальным как по способу реализации, так и по уровню твердости обрабатываемых поверхностей [1, 2].

Процесс шлифования плазменных износостойких покрытий сопряжен с определенными трудностями, связанными с их высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. По сравнению с однородными материалами напыленные покрытия характеризуются более сложным уровнем напряженно-деформированного состояния, связанного со спецификой их структуры, наличием переходной границы и возникновением термических напряжений из-за разного теплового расширения покрытия и основы. Так же напыленный слой имеет слоистое строение и при неправильно выбранных режимах механической обработки возможно появление дефектов в виде трещин, сколов и отслоений.

В работах [3, 4] представлены результаты по формированию плазменных износостойких металлокерамических покрытий, шлифование которых вызывает особый исследовательский интерес.

Керамические покрытия из оксида алюминия обладают высокой твердостью, но в то же время им свойственна существенная хрупкость, приводящая к их разрушению при возникновении ударных нагрузок. Применение керамики в связке с металлическими материалами является перспективным направлением повышения качества и эксплуатационных характеристик износостойких покрытий. Данный метод позволяет сочетать высокотвердые и более пластичные компоненты в одной композиции, таким образом, обеспечивая рациональное соотношение свойств.

Наиболее предпочтительной технологией формирования металлокерамических покрытий является процесс плазменного напыления механических смесей из порошковых материалов. Данная технология обладает высокой производительностью и низкой трудоемкостью, позволяя смешивать разнородные компоненты, и, изменяя их состав и соотношение, управлять свойствами получаемых покрытий.

Однако, разнородность компонентов ещё больше усложняет решение проблемы определения технологических режимов финишного шлифования. Наличие легирующих элементов и упрочняющих фаз оксидной керамики отрицательно сказывается на стойкости режущего инструмента, физико-механические свойства которого практически сопоставимы со свойствами покрытий. Таким образом, финишная обработка композиционных покрытий имеет свою специфику и требует проведения исследований.

Целью данной работы является исследование влияния финишного шлифования на качество поверхности металлокерамических износостойких покрытий, полученных плазменным напылением механических смесей.

Методика экспериментального исследования

Для проведения исследований качества поверхности металлокерамических покрытий после финишной механической обработки шлифованием использовались две композиции из порошковых механических смесей специфика формирования, которых описана в предшествующих работах [5, 6]. В обеих композициях основным компонентом являлся порошок Al_2O_3 , добавочным компонентом в первом случае служил никелевый порошок марки ПГ-12Н-01, а во втором – кобальтовый порошок марки ПГН-ВЗК.

Для финишной механической обработки напыленных поверхностей использовался плоскошлифовальный станок модели 3Г71. Базирование заготовок на столе станка

осуществлялось с помощью магнитной плиты. Шлифование производилось абразивным кругом диаметром 300 мм из карбида кремния зеленого зернистостью 80 (F24). Круг был средней твердости (L), с открытой структурой (8), на бакелитовой связке (B).

При частоте вращения шпинделя 2250 мин^{-1} скорость резания при шлифовании соответствовала 35 м/с. Поперечная подача составляла 0,3 мм на двойной ход стола. При рабочем ходе равном 100 мм (с учетом длины детали и перебегов) скорость продольного перемещения стола находилась в диапазоне 11...14 м/мин, что соответствовало частоте 55...70 двойных ходов в минуту. Значение глубины резания устанавливалось в пределах 0,02...0,03 мм. Снимаемый припуск при финишной механической обработке плазменных покрытий составлял 0,1...0,15 мм (при толщине напыленного слоя 0,50...0,54 мм). В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применялся водный раствор с добавлением NaNO_3 (2%) при расходе равном 2,4 л/мин. Шлифование производилось за несколько проходов и завершалось процессом выхаживания.

Изучение топографии и измерение шероховатости поверхности покрытий после финишной обработки производились с помощью исследовательского комплекса *Zygo New View 7300*.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 приведены снимки поверхностей напыленных металллокерамических композиций, полученных с помощью растрового микроскопа *Carl Zeiss Axio Observer Alm*. На обоих снимках наблюдается равномерное распределение компонентов смесей и четкие границы между ними. Темные участки являются частицами оксидной керамики, а более светлые – частицами никелевого и кобальтового порошков. Среднее значение пористости для обеих композиций не выходит за пределы 6...8%. Вследствие эффекта сегрегации при плазменном напылении соотношение компонентов в полученных металллокерамических покрытиях отличается от соотношения в механических смесях до напыления.

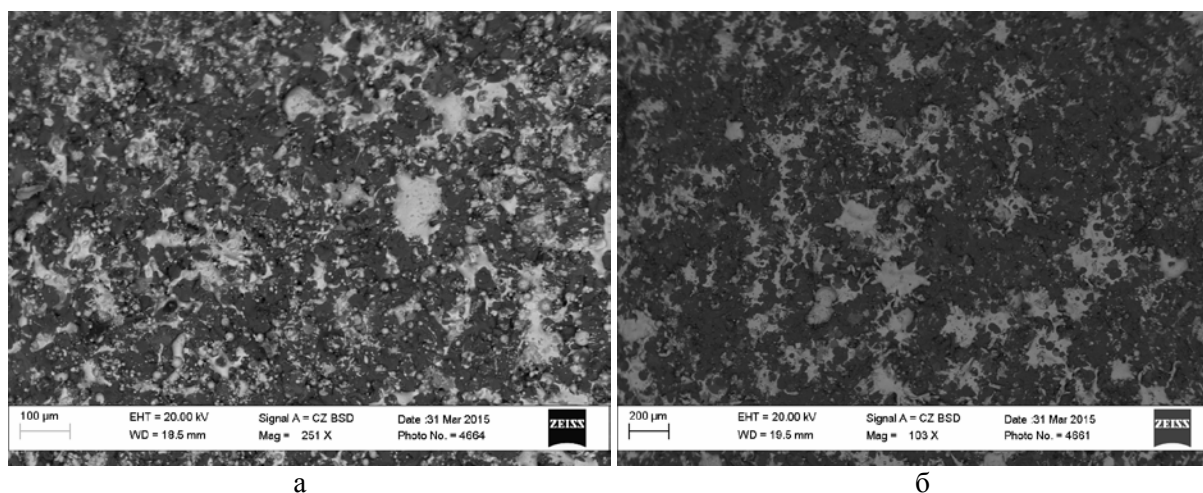


Рис. 1. Снимки поверхностей плазменных металллокерамических покрытий:
а – из никель-керамической смеси; б – из кобальт-керамической смеси

Финишная механическая обработка металллокерамических покрытий шлифованием проводилась во всем диапазоне указанных режимов резания с интенсивным принудительным охлаждением. Обработка на пониженных режимах резания, по сравнению с однородными материалами аналогичной твердости, позволила избежать появления такого дефекта как отслоение покрытия от основы, которое имеет место при высоких значениях силы резания и недостаточном уровне адгезионной прочности. Отсутствие термических трещин на обработанных поверхностях исключает наличие чрезмерного термического влияния при шлифовании. Правильно выбранные характеристики абразивного круга и его своевременная правка позволили обеспечить минимальное засаливание и стабильное обновление режущей поверхности во время шлифования. В целом была выявлена приемлемая обрабатываемость

исследуемых покрытий шлифованием, не смотря на неоднородность физико-механических свойств компонентов.

На рисунках 2 и 3 представлены результаты исследований финишной обработки в виде типовых снимков топографий и профилограмм поверхностей соответствующих металлокерамических покрытий. Формирование микрорельефа поверхности при шлифовании напыленных покрытий и однородных материалов различаются между собой.

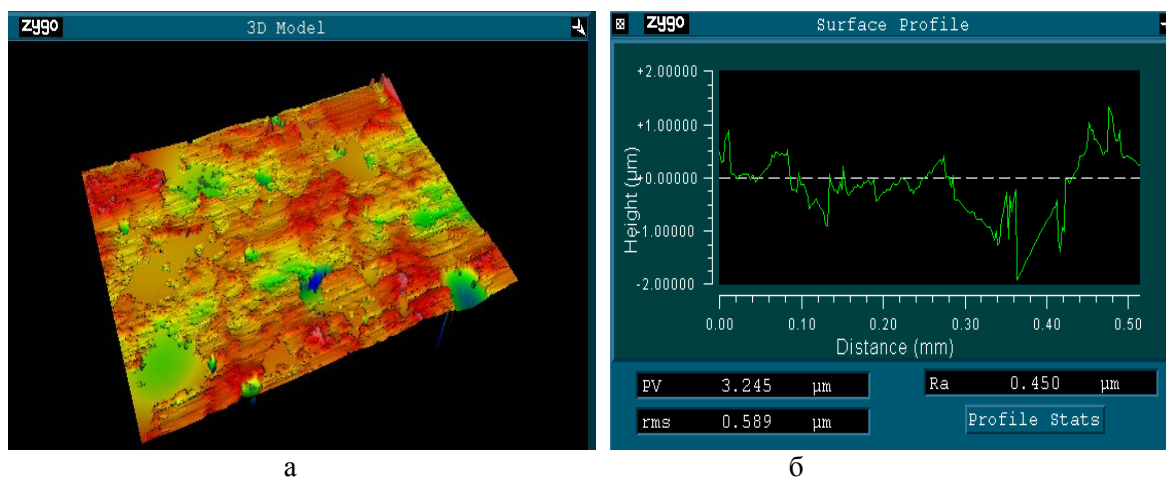


Рис. 2. Покрытие из никель-керамической смеси после шлифования:
а – топография поверхности; б – шероховатость поверхности

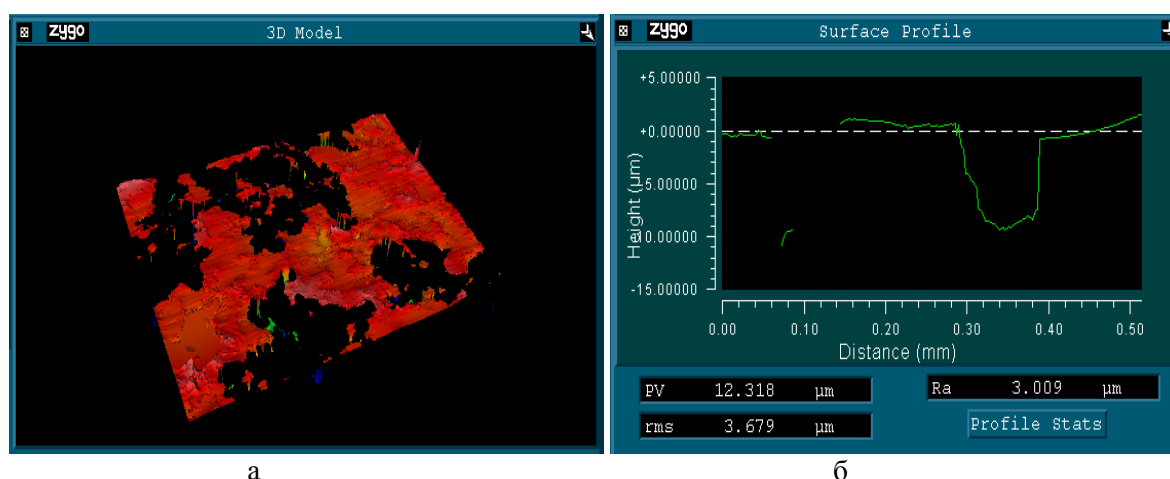


Рис. 3. Покрытие из кобальт-керамической смеси после шлифования:
а – топография поверхности; б – шероховатость поверхности

На представленных топографиях поверхностей покрытий после шлифования просматривается открытая пористость, которая оказывает значительное влияние на величину шероховатости. При внедрении абразивных зерен в покрытия именно поры являются концентраторами напряжений и оказывают существенное влияние на развитие микротрещин и отделение материала при шлифовании. Так же наличие открытой пористости исключает возможность применения такой доводочной операции как полирование, поскольку абразивный материал набивается в поры, создавая задиры на сопрягаемых поверхностях.

Профилограммы поверхностей отражают нерегулярное распределение микронеровностей, зависящее не только от процесса шлифования, но и от таких характеристик структуры, как степень расплавленности порошковых частиц и прочность когезионной связи между ними.

Результаты исследований показали неоднозначное влияние процесса шлифования на шероховатость поверхностей покрытий. Поверхность никель-керамического покрытия имеет низкий уровень шероховатости $Ra = 0,45$ мкм. Противоположная картина прослеживается у кобальт-керамического покрытия. Поскольку кобальт-керамическое покрытие после шлифования имеет грубую поверхность, то на полученных топографии и профилограмме

отчетливо видны "провалы", выходящие за разрешающую способность прибора. Ориентировочное значение шероховатости композиции с кобальтом составляет $Ra = 3,00$ мкм, что не соответствует характеру чистовой финишной обработки. Данный эффект объясняется вырыванием частиц кобальтового порошка из структуры покрытия в процессе шлифования.

Выводы

Отсутствие на обработанных поверхностях следов отслоения покрытия от основы и термических трещин подтвердило правильность выбранных режимов шлифования и абразивного инструмента. Отшлифованным плазменным покрытиям характерна открытая пористость, оказывающая значительное влияние на процесс формирования микрорельефа и уровень шероховатости.

После финишной механической обработки шлифованием поверхность покрытия из никель-керамической смеси обладает приемлемым уровнем шероховатости, что позволяет обеспечить геометрическую и размерную точности и применять данные металлокерамические покрытия для упрочнения деталей различного технологического оборудования работающих в условиях повышенного износа.

Обработка покрытий из кобальт-керамической смеси не дала ожидаемых результатов. Грубая шероховатость поверхности этих покрытий с множеством провалов после шлифования объясняется низкими когезионными связями между компонентами данной смеси. Для практического использования покрытий из кобальт-керамической композиции требуется оптимизация, как режимов шлифования, так и режимов плазменного напыления с целью формирования структуры с более высокими характеристиками.

Литература

1. Шероховатость поверхности износостойких плазменных покрытий после финишной механической обработки / Е.А. Зверев, Ю.С. Чёсов, А.И. Попелюх, П.В. Трегубчак // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 1 (50). – С. 12–14.
2. Определение режимов финишного шлифования при обработке износостойких плазменных покрытий / Е.А. Зверев, В.Ю. Скиба, Н.В. Вахрушев, А.Н. Бредихина // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. - 2016. - Т. 2. - С. 36-39.
3. Получение композиционного керамического материала для нанесения износостойких покрытий / В. А. Оковитый и др. // Порошковая металлургия. – Минск : Белорус. наука, 2008. – Вып. 31. – С. 156–162.
4. Технология получения композиционного материала на основе многофункциональной оксидной керамики / В.А. Оковитый, Ф.И. Пантелеенко, Т.Л. Талако, А.Ф. Пантелеенко // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2015. – № 2 (67). – С. 39–45.
5. Research into properties of wear resistant ceramic metal plasma coatings / V.V. Ivancivsky, V.Y. Skeebe, E.A. Zverev, N.V. Vakhrushev, K.A. Parts // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 327: International conference on mechanical engineering, automation and control systems, Tomsk, 2017. – P. 042042 (5 p.).
6. Исследование структуры износостойких плазменных покрытий из механических смесей / Ю.С. Чёсов, Е.А. Зверев, Н.В. Вахрушев // Сборник научных трудов Новосибирского государственного технического университета. - 2015. - № 2 (80). - С. 96-105. - DOI: 10.17212/2307-6879-2015-2-96-105.

The surface roughness of the wear-resistant plasma metal-ceramic coatings after grind finishing

Zverev E. A.^a, Vakhrushev N. V.^b, Titova K.A.^c, Gulin I.Y.^d

Novosibirsk State Technical University, 20 Prospect K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

^aegor_z@ngs.ru, ^bvah_nikit@mail.ru, ^ckrispars@yandex.ru, ^dgulin1296@mail.ru

Keywords: plasma spraying, wear-resistant coating, ceramic-metal, mechanical mixture, finishing grinding

The paper presents the study results of the grind finishing effect on the surface quality of cermet wear-resistant coatings obtained by plasma spraying of mechanical mixtures. The main component for the formation of mixtures was alumina with additions of nickel or cobalt powders. The sprayed compositions surface analysis indicates the structure specificity of cermet coatings. The presented typical images of topographies and profilograms of the investigated compositions surfaces show that coatings of nickel-ceramic mixtures have an acceptable level of roughness after grind finishing.

УДК 538.913

Молекулярно-динамическая модель системы Fe-P

Маркидонов А.В.

Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета, ул. Циолковского 23, Новокузнецк, Россия

markidonov_artem@mail.ru

Ключевые слова: железо, фосфор, модель, молекулярная динамика, ЕАМ

При производстве железоуглеродистых сплавов остро стоит задача дефосфоризации получаемой продукции. Решению этой проблемы посвящено множество экспериментальных работ. Но для поиска новых подходов к разрешению обозначенной проблемы гораздо рациональнее использование методов численного моделирования с привлечением вычислительных возможностей современных компьютеров. В представленной статье описывается молекулярно-динамическая модель системы Fe-P, построенная с применением потенциала межчастичного взаимодействия, рассчитанный в рамках метода погруженного атома (ЕАМ). Построенная модель продемонстрировала удовлетворительные результаты при вычислении известных характеристик моделируемой системы. Были установлены зависимости изменения таких характеристик как температурный коэффициент линейного расширения, температура плавления, скрытая теплоты плавления и теплоемкость от концентрации атомов замещения фосфора, а также в отдельных случаях от величины приложенного внешнего давления. Расчеты показали, что, например, концентрация фосфора 0.5% приводит к росту среднего теплового коэффициента линейного расширения на 9%, снижению температуры и скрытой теплоты плавления на 5%, а теплоемкости на 7%.

Введение

Дефосфоризация железоуглеродистых сплавов является весьма актуальной задачей для металлургической отрасли, так как высокая концентрация фосфора может приводить к ряду крайне нежелательных явлений. Например, образуя с α -железом твердый раствор замещения фосфор ухудшает пластические свойства и способствует хладноломкости стали. Кроме того, он способствует укрупнению структуры и охрупчиванию границ зерен, что

ухудшает механические свойства металла. Охрупчивающее влияние обусловлено обогащением фосфидом железа межзеренных границ из-за большой склонности фосфора к ликвации, а также благодаря образованию фосфидной эвтектики являющейся концентратором напряжений. В чугунах фосфор может рассматриваться как полезная примесь, повышающая жидкотекучесть за счет снижения температуры застывания, но с ростом его концентрации увеличивается хрупкость чугуна.

Существуют различные направления решения проблемы удаления фосфора, которые постоянно совершенствуются [1-3]. Но любые натурные исследования процесса дефосфоризации предполагают привлечение немалых финансовых и временных ресурсов. Поэтому для поиска новых подходов к разрешению обозначенной проблемы гораздо рациональнее использование методов численного моделирования с привлечением вычислительных возможностей современных ЭВМ. Ранее авторами данные методы успешно применялись при исследовании процессов модифицировании системы дефектов в кристаллических структурах при внешних высокоинтенсивных воздействиях [4-8]. Данная работа посвящена построению молекулярно-динамической модели системы Fe-P для исследования влияния примесей фосфора на термодинамические свойства кристаллического железа. Построение и апробация алгоритмов, позволяющих смоделировать поведение фосфора в железе, позволит в дальнейшем провести исследование, например, процессов связывания атомов фосфора фосфидообразующими элементами.

Методика моделирования

В данной работе объектом исследования был выбран кристалл железа, содержащий атомы замещения фосфора. Если рассматривать объект исследования на атомном уровне, то он будет представлять собой систему взаимодействующих объектов двух типов, различная концентрация которых влияет на свойства всей моделируемой системы. Для реализации численного эксперимента использовался метод молекулярной динамики. При расчетах использовался парный потенциал, представляющий собой кусочно-заданную функцию, включающую экранированный кулоновский потенциал в форме Бирсака-Циглера [9]. Функциональный вид парного потенциала представлен как

$$\varphi(r) = \sum_k a_k (r - r_k)^{n_k} \theta(r_k - r) \theta(r - r_2) + \\ + \theta(r_2 - r) \theta(r - r_1) \exp(B_0 + B_1 r + B_2 r^2 + B_3 r^3) + \theta(r_2 - r) \frac{Q_i Q_j}{r} \xi\left(\frac{r}{r_s}\right), \quad (1)$$

где $\xi(x) = 0.1818e^{-3.2x} + 0.5099e^{-0.9423x} + 0.2802e^{-0.4029x} + 0.02817e^{-0.2016x}$, $\theta(r)$ – ступенчатая функция Хевисайда, $r_s = 0.4683766 / (Q_i^{2/3} + Q_j^{2/3})$, $Q_{i(j)}$ – заряд ядра $i(j)$ -атома.

Функция плотности записывается в виде кубического сплайна

$$\psi(r) = \sum_k a_k (r_k - r)^3 \theta(r_k - r), \quad (2)$$

а одноэлектронная плотность задается как функция вида

$$F(\rho) = -\sqrt{\rho} + a_2 \rho^2 + a_4 \rho^4. \quad (3)$$

Численные значения параметров функций (1) - (3) указаны в работе [10], в которой авторы исходили из результатов квантово-механических расчетов *ab-initio*. Ковалентная связь частиц фосфора не может быть описана рассмотренным типом потенциалов, поэтому его параметризация осуществлялась для описания взаимодействия примесей фосфора с частицами α -железа. Кроме того, все аллотропные модификации фосфора имеют дальнотействующее Ван-дер-ваальсовое взаимодействие, которое невозможно описать используя формализм ЕАМ, поэтому данным взаимодействием в подобных расчетах пренебрегают [11].

Результаты и обсуждение

Для апробации построенной молекулярно-динамической модели был выполнен расчет ряда термодинамических характеристик. Одной из важнейшей физической характеристикой вещества является температура плавления T_m . Для определения T_m моделируемая система

разбивалась на две равные области, одна из которых содержала твердую, а вторая жидкую фазу, подтверждением наличия которых являлись построенные радиальные функции распределения. Если при заданной температуре T_0 устанавливается фазовое равновесие в системе, то принимали $T_0 = T_m$. При $T_0 \neq T_m$ наблюдалось смещение межфазной границы с последующим плавлением или кристаллизацией расчетной ячейки. Учитывая то, что температура плавления зависит от давления P , было проведено исследование фазового равновесия системы при различном внешнем давлении и построена зависимость $T_m(P)$ двухкомпонентной системы (см. рис. 1.а). Добавление частиц фосфора снижает значение T_m , так как известно, что примеси понижают температуру плавления кристаллического вещества.

Процесс фазового перехода в моделируемой системе сопровождается поглощением или выделением скрытой теплоты плавления L_m , которую можно рассчитать как изменение энтальпии:

$$L_m = \Delta H = \Delta E_{tot} + P\Delta V, \quad (4)$$

где ΔE_{tot} – изменение полной энергии системы при фазовом переходе. Результаты вычислений L_m , полученные при различном давлении и концентрации частиц фосфора, представлены на рисунке 1.б.

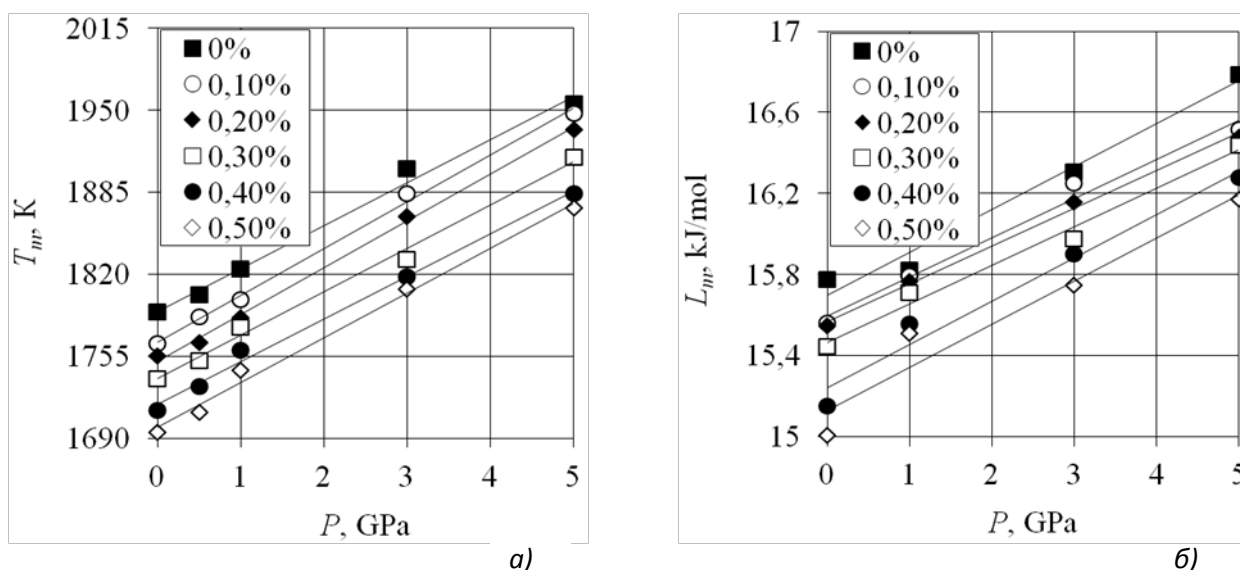


Рис.1. Зависимость температуры плавления моделируемой системы (а) и мольной скрытой теплоты плавления (б) от давления при различной концентрации атомов фосфора

Еще одной важной теплофизической характеристикой моделируемой системы является теплоемкость. Для расчета теплоемкости использовалась формула $C = dH/dT$. Была построена зависимость $H(T)$ для интервала температур 1670 - 2000 К. Для аппроксимации построенной зависимости $H(T)$ на интервале 1670 - T_m К использовался полином вида $H(T) = b_0 + b_1 \cdot T + b_2 \cdot T^2$. Так как после плавления теплоемкость меняется пренебрежительно мало, то для аппроксимации $H(T)$ на интервале T_m - 2000 К использовалось уравнение вида $H^*(T) = b_0^* + b_1^* \cdot T$. Оценки показали, что построенные уравнения описывают расчетные зависимости со средней ошибкой аппроксимации, не превышающей 3%. Далее были рассчитаны аналогичные зависимости $H(T)$ при различной концентрации частиц фосфора в моделируемой системе с последующей аппроксимацией и вычислением теплоемкостей. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

Вычисленные значения хорошо согласуются со справочными данными [12]. Так теплоемкость однокомпонентной системы, состоящей из частиц железа, при температуре T_m составила 791 Дж/(кг·К), что меньше справочного значения на 2%, а теплоемкость расплава при 2000 К составила 809 Дж/(кг·К) (отличие от [12] составляет 3%). Кроме того, полученное

значение изменения энтальпии при плавлении однокомпонентной системы равно 15.7 кДж/моль, а разница со справочными данными [13] при этом составляет чуть более 1%.

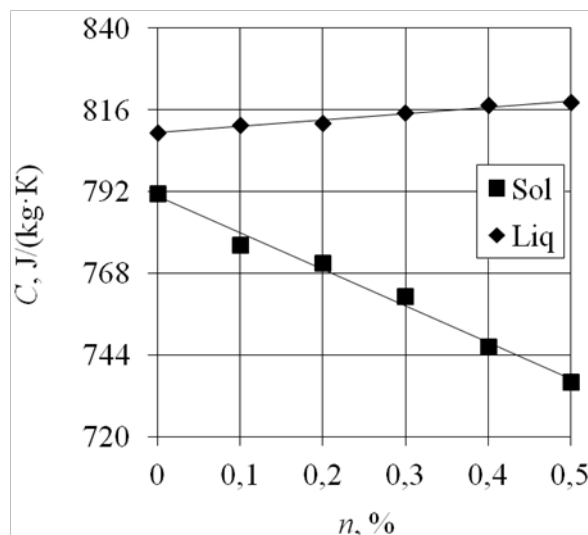


Рис.2. Зависимость теплоемкости системы, пребывающей в твердом и жидком состоянии при T_m , от концентрации частиц фосфора (выполнена линейная аппроксимация данных)

Выводы

Построенная модель продемонстрировала удовлетворительные результаты при вычислении известных характеристик моделируемой системы. Были установлены зависимости изменения таких характеристик как температура плавления, скрытая теплоты плавления и теплоемкость от концентрации атомов замещения фосфора, а также в отдельных случаях от величины приложенного внешнего давления. Расчеты показали, что, например, концентрация фосфора 0.5% приводит к снижению температуры и скрытой теплоты плавления на 5%, а теплоемкости на 7%.

Литература:

1. Дауд А.Д., Семин А.Е., Котельников Г.И., Щукина Л.Е. Дефосфоризация хромистых расплавов с использованием оксидов редкоземельных металлов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2017. Т.60. №1. С.54-59.
2. Робей Р., Уайтхед М. Внедоменная обработка чугуна с учетом конкретных производственных условий // МРТ. Металлургическое производство и технология металлургических процессов. 2014. №1. С.16-24.
3. Георгадзе А.Г., Гернер В.И., Елашвили М.И., Никифоров П.А., Плетнев А.Н., Смирнов С.А. Условия дефосфоризации жидкого металла в разливочном ковше // Литье и металлургия. 2012. №3(67). С.117-119.
4. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Смирнова М.В. Процесс самодиффузии в ГЦК-кристалле, вызванный прохождением ударной волны // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 6. С. 80-84.
5. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Обидина О.В. Агрегатизация вакансий, инициированная послекаскадными ударными волнами // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 4. С. 548-555.
6. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Павловская Е.П. Влияние послекаскадных ударных волн на структурные трансформации вакансионных пор // Химическая физика и мезоскопия. 2013. Т. 15. № 3. С. 370-377.
7. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Павловская Е.П. Влияние послекаскадных волн на процессы укрупнения вакансионных пор // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2012. Т. 9. № 4-2. С. 694-701.
8. Маркидонов А.В., Старостенков М.Д., Павловская Е.П., Яшин А.В., Полетаев Г.М. Низкотемпературное растворение поры вблизи поверхности кристалла под воздействием ударных волн // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2013. Т. 10. № 2. С. 254-260.

9. Biersack J.P., Ziegler J.F. Refined universal potentials in atomic collisions // Nuclear Instruments and Methods. 1982. Vol.194. Pp.93-100.
10. Ackland G.J., Mendelev M.I., Srolovitz D.J., Han S., Barashev A.V. Development of an interatomic potential for phosphorus impurities in α -iron // Journal of Physics: Condensed Matter. 2004. Vol.16. P.2629-2642.
11. Ko W.-S., Kim N.-J., Lee B.-J. Atomistic modeling of an impurity element and a metal–impurity system: pure P and Fe–P system // Journal of Physics: Condensed Matter. 2012. V.14. Pp.225002-225016.
12. Зиновьев В.Е. Теплофизические свойства металлов при высоких температурах: справочник. – Москва: Металлургия, 1989. – 384 с.
13. Зайцев И.Д., Зозуля А.Ф., Асеев Г.Г. Машинный расчет физико-химических параметров неорганических веществ. – Москва: Химия, 1983. – 256 с.

Molecular dynamic model of the system Fe-P

Markidonov A.V.

Kemerovo State University, Branch KemSU in Novokuznetsk, 23 Tsiolkovsky st., Novokuznetsk, 654041, Russian Federation
markidonov_artem@mail.ru

Keywords: iron, phosphorus, model, molecular dynamics, EAM

In the production of iron-carbon alloys, the task of dephosphorization of the resulting products is acute. A lot of experimental work has been devoted to solving this problem. But to search for new approaches to solving the indicated problem, it is much more rational to use methods of numerical modeling with the use of the computing capabilities of modern computers. The presented article describes the molecular-dynamic model of the Fe-P system constructed using the interparticle interaction potential calculated using the embedded atom method (EAM). The constructed model demonstrated satisfactory results in calculating the known characteristics of the simulated system. The dependences of changes in such characteristics as the temperature coefficient of linear expansion, the melting temperature, the latent heat of fusion, and the specific heat on the concentration of phosphorus substitution atoms, as well as in some cases on the value of the applied external pressure, were established. Calculations showed that, for example, a phosphorus concentration of 0.5% leads to an increase in the average thermal coefficient of linear expansion by 9%, a decrease in temperature and latent heat of fusion by 5%, and heat capacity by 7%.

УДК 539.3

Исследование полей температур по глубине упрочняемой детали при воздействии движущейся плазменной дуги

Веремейчик А.И.^a, Сазонов М.И., Хвисевич В.М.^b

Брестский государственный технический университет, ул. Московская, 267, Брест, 224017, Беларусь

^avai_mrtm@tut.by, ^bvmhvisевич@bstu.by

Ключевые слова: температурное поле, приборная система, плазменная дуга, тепловой поток, теплопроводность.

Определение температуры при разработке основ технологии поверхностного плазменного упрочнения стальных изделий представляет важную задачу. В статье рассматривается теоретическое и экспериментальное определение температурных полей

при поверхностном упрочнении стальных деталей движущейся плазменной дугой. Такой подход позволяет осуществить взаимный контроль двух способов и получить достоверные результаты. Теоретически распределение температурных полей в зоне нагрева определяется путем решения задачи теплопроводности в случае движущегося локального источника тепла. Для экспериментального определения температурных полей использовалась разработанная приборная система.

Введение. В любом процессе термообработки важным фактором является исследование распределения полей температур [1–7]. Задача определения температурных полей при поверхностном упрочнении металлов заслуживает особого внимания. Зная распределение температуры по глубине образца в различные моменты времени при его нагреве и последующем охлаждении за счет быстрого отвода тепла, можно прогнозировать изменение структурных характеристик сталей в рассматриваемой точке.

Экспериментальное исследование температурных полей с помощью термопар связано с большими трудностями, обусловленными высокой нестационарностью процесса. Возникают дополнительные погрешности измерения, связанные с тем, что вследствие большой скорости перемещения плазмотрона термопара не успевает мгновенно принять температуру, равную температуре той точки образца, в которой она закреплена (термическая инерция), а сигнал передается записывающему прибору с опозданием (электрохимическая инерция). Вследствие этого дальнейший теоретический расчет температурных полей на поверхности образца и в приповерхностном слое по полученным таким образом экспериментальным данным мог привести к недостоверным результатам. Поэтому была разработана и создана измерительная система, которая позволила для различных параметров нагрева определить температуру как функцию координаты и времени и сопоставить результаты исследований двумя независимыми способами.

1. Теоретические исследования. Применение обратных задач теплопроводности для определения температурных полей в приповерхностном слое обрабатываемой детали при поверхностном плазменном упрочнении обусловлено трудностями проведения экспериментальных исследований по непосредственному измерению температурных полей. Для проведения таких исследований сначала проводится эксперимент по определению температуры как функции времени в точках, достаточно удаленных от приповерхностного слоя, при известных граничных условиях на всех поверхностях обрабатываемой детали, кроме той поверхности, которая подвергается воздействию плазменной дуги. На основе решения обратной задачи теплопроводности [3] восстанавливаются характеристики теплового нагружения (поле температур или плотность теплового потока) на поверхности обрабатываемой детали. Затем на основе решения прямой задачи теплопроводности находится температурное поле в приповерхностном слое. Следует отметить, что некоторые методики решения обратной задачи теплопроводности позволяют уже на этом этапе определить температурное поле в приповерхностном слое. Тогда в качестве истинного температурного поля можно принять поле, получающееся усреднением температурных полей, получаемых при решении обратной задачи теплопроводности и последующего решения прямой задачи.

Рассмотрим задачу определения температурного поля в приповерхностном слое пластины с размерами a , b , c , нагреваемой в плоскости $y=b$ плазмотроном, движущимся со скоростью v вдоль оси x (рис. 1). При достаточно больших скоростях движения плазмотрона, имеющих место в реальных условиях, с достаточной степенью точности можно пренебречь распространением тепла в направлении оси Ox .

Тогда, считая, что нижняя поверхность адиабатически изолирована и что при экспериментальных исследованиях определяется температура на грани $y=0$, получаем двумерную нестационарную краевую задачу теплопроводности:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad 0 < y < b, \quad 0 < z < c, \quad 0 < \tau \leq \tau_m,$$

$$T(x, y, z, 0) = \varepsilon(x, y, z),$$

$$\frac{\partial T(x, y, 0, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial T(x, y, c, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial T(x, 0, z, \tau)}{\partial y} = 0, \quad T(x, 0, z, \tau) = f(x, z, \tau), \quad (1)$$

где T – температура, a – коэффициент температуропроводности, ε, f – известные функции. Необходимо найти функцию $q(x, z, \tau) = -\lambda \frac{\partial T(x, b, z, \tau)}{\partial y}$, где λ – коэффициент теплопроводности.

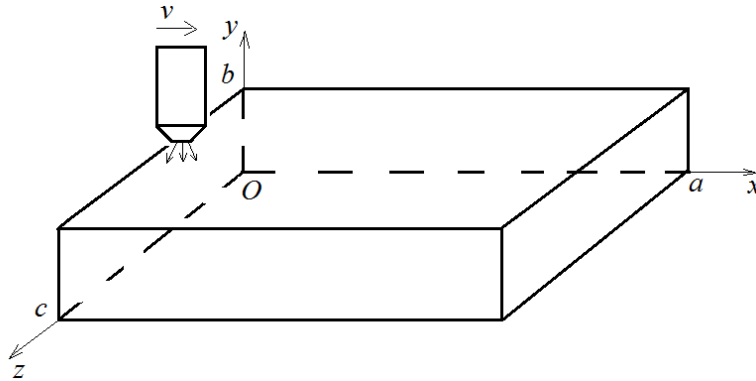


Рис. 1. Схема температурного нагружения

Таким образом, для определения плотности теплового потока проводятся экспериментальные исследования по определению поля температур на адиабатически изолированной нижней грани пластины при движении плазмотрона вдоль верхней грани. Если при этом использовать пластину с большими размерами b и c , то отпадает необходимость адиабатической изоляции боковых граней. В соответствии с [5], одним из перспективных направлений в решении обратных задач является использование экстремальных постановок с привлечением градиентных методов минимизации функционала невязки. На их основе достаточно просто строятся регуляризующие алгоритмы решения некорректно поставленных задач [6]. Кроме того, как показано в [7], при использовании методов скоростного спуска и сопряженных градиентов не требуется задание близкого начального приближения, ибо они устойчивы к ошибкам аппроксимации, округления и сглаживания.

Рассмотрим задачу (1) как задачу отыскания функции $\Phi(x, z, \tau) = -\frac{q(x, z, \tau)}{\lambda}$,

минимизирующей функционал $I(\Phi) = \int_0^{\tau_m} d\tau \int_0^c (T(0, z, \tau) - f(z, \tau))^2 dz$ при краевых условиях

(1). Градиент функционала можно найти при рассмотрении сопряженной задачи:

$$\frac{\partial \psi}{\partial \tau} = -a \cdot \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right), \quad 0 < y < b, \quad 0 < z < c, \quad 0 < \tau \leq \tau_m,$$

$$\psi(y, z, \tau_m) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial \psi(y, 0, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial \psi(y, c, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial \psi(b, z, \tau)}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \psi(0, z, \tau)}{\partial y} = 2 \cdot [T(0, z, \tau) - f(z, \tau)].$$

Минимизацию функционала производим с помощью метода сопряженных градиентов [8]. Построим итерационную последовательность вида $P^{k+1}(z, \tau) = P^k(z, \tau) - \beta_k \xi^k(z, \tau)$, где $\xi^k(z, \tau)$ – функции, определяющие направление спуска, β_k – коэффициенты,

определяющие глубину спуска при переходе к следующему приближению, находятся из условия $\frac{\partial J[P^{k+1}(z, \tau)]}{\partial \beta} = 0$ и определяются выражением :

$$\beta_k = \frac{\int_0^{\tau_m} d\tau \int_0^c (T(0, z, \tau) - f(z, \tau)) \Delta T(\xi(z, \tau), z, \tau) dz}{\int_0^{\tau_m} d\tau \int_0^c (\Delta T(\xi(z, \tau), z, \tau))^2 dz}, \quad (3),$$

где приращение температуры $\Delta T(\xi(z, \tau), z, \tau)$ определяется из решения следующей краевой задачи:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta T}{\partial \tau} &= a \cdot \left(\frac{\partial^2 \Delta T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta T}{\partial z^2} \right), \quad 0 < y < b, \quad 0 < z < c, \quad 0 < \tau \leq \tau_m, \\ \Delta T(y, z, 0) &= 0, \\ \frac{\partial \Delta T(y, 0, \tau)}{\partial z} &= \frac{\partial \Delta T(y, c, \tau)}{\partial z} = \frac{\partial \Delta T(0, z, \tau)}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial \Delta T(b, z, \tau)}{\partial y} = \Delta P(z, \tau). \end{aligned} \quad (4)$$

Зависимость $q(x, z, \tau)$ представляется в виде:

$$q(x, z, \tau) = q(x_0 + v\Delta\tau, z, \tau + \Delta\tau). \quad (5)$$

Полученные результаты для каждого значения z аппроксимировались при помощи суммы двух нормальных распределений, одно из которых приближенно описывает тепловой поток от струи, второе – тепловой поток от дуги:

$$q(x, \tau) = q_{\text{струи}} + q_{\text{дуги}} = \frac{q_{O_1}}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_1^2}} + \frac{q_{O_2}}{\sigma_2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_2^2}}. \quad (6)$$

Найденные значения $q(x, z, \tau)$ являются исходными данными для решения прямой краевой задачи определения полей температур в прямоугольной пластине при реальных условиях наличия теплообмена на боковых и нижней грани.

Следует отметить, что изложенный подход может быть распространен на другие условия проведения исследований, например, на случай другой геометрии упрочняемого образца или на исследования по известной плотности теплового потока на нижней грани.

2. Экспериментальная часть. Для экспериментального определения температурных полей разработана приборная система, внешний вид которой показан на рис. 2.

Основными элементами измерительной системы являются цифровой анализатор и компьютер. Цифровой анализатор позволяет усиливать малый аналоговый сигнал, отфильтровывать его, отцифровывать и масштабировать. Взаимодействие с системой обеспечивается компьютером. Система позволяет выполнять регистрацию температуры со скоростью до 1000 измерений в секунду.

Известно [2], что температура в зоне нагрева быстро возрастает до 1200 °С и выше. Для контроля процесса упрочнения необходимо установить распределение температуры в образце в зависимости от времени по известному коэффициенту теплообмена между дугой плазмы и образцом 4. Для его определения использовался специальный датчик 5, который размещался в теле образца. Ввиду быстрого изменения температуры для ее регистрации использовался датчик с высокой точностью. Датчик выполнен из материала, термические характеристики которого подобны характеристикам материала образца, что позволяет минимизировать искажение теплового потока. Кроме того, регистрируемая температура имеет малую тепловую инерцию, что также не искажает тепловой поток и гарантирует чрезвычайно короткое время для выхода на рабочий режим. Датчик прочен, способен противостоять механическим и ударным нагрузкам и агрессивным средам. Охватываемый диапазон температур находится в интервале от 200 до 2200 °С.

Датчик устанавливается в отверстие, выполненное в теле образца на расстоянии 0,5 мм ниже обрабатываемой поверхности. Температура регистрировалась системой, компьютер обрабатывал в данный момент времени тепловой поток, а затем коэффициент теплообмена для каждого момента времени.

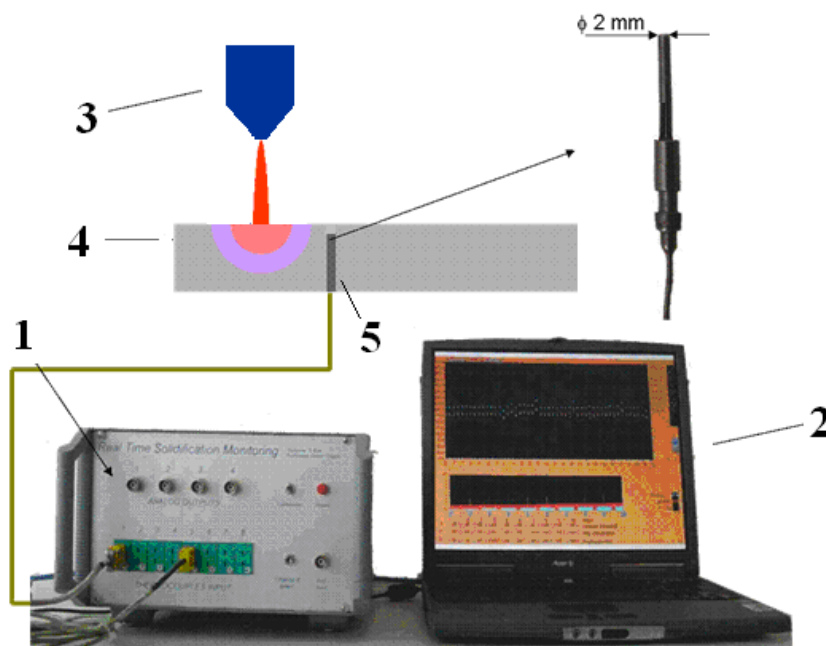


Рис. 2. Приборная система

1 – измерительная система, 2 – компьютер, 3 – плазмотрон, 4 – упрочняемый образец, 5 – измерительный датчик

Распространение температуры во времени подлежит дальнейшей обработке с целью определения величины теплового потока и коэффициента теплообмена. В случаях, когда датчик (точка измерения температуры) расположен очень близко от нагреваемой поверхности (расстояние менее 0,1 мм), будем считать, что измеренная температура соответствует температуре поверхности образца. В тех случаях, когда расстояние между точкой измерений и поверхностью больше 0,1 мм, зависимость температуры от времени определяется обратным методом, построенным на реализации вариационного уравнения распределения тепла Фурье [4, 9, 10]. Определенная таким способом температура поверхности используется в качестве краевых условий Дирихле для численной реализации уравнений теплопроводности Фурье методом конечных элементов. При проведении экспериментов считалось, что процесс распространения тепла является одномерным. В такой постановке уравнение теплопроводности имеет вид [4]:

$$\frac{dT(x,t)}{dt} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial T}{\partial x} \left(\frac{\lambda}{c} \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (7)$$

где c – удельная теплоемкость материала; ρ – его плотность; λ – коэффициент теплопроводности; x – координата в направлении распространения тепла.

Уравнение (7) решалось методом конечных элементов для всех измеряемых температур. Температура определялась в зависимости от времени и координаты x . Поток тепла в зависимости от времени можно определить следующим образом:

$$q(t) = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0}. \quad (8)$$

Зависимость плотности теплового потока вследствие теплопроводности тела от температур поверхности T_p и плазменной дуги T_q определяется по формуле:

$$q = \alpha(T_p - T_q), \quad (9)$$

где α – коэффициент теплообмена [9].

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$T(x, 0) = T_0; \quad \lambda \frac{\partial T(0, t)}{\partial x} = q - \sigma^* [T_k(0, t)^4 - T_k^4]; \quad \frac{\partial T(a, t)}{\partial x} = 0, \quad (10)$$

где $\sigma^* = \varepsilon \sigma$ – приведенный коэффициент лучеиспускания [9], ε – коэффициент черноты, зависящий от природы тела, состояния его поверхности и температуры,

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Результаты измерений регистрировались компьютером и использовались для дальнейшего анализа. Экспериментально определялись значения коэффициента теплообмена для различных параметров нагрева (температура дуги плазмы, расстояние от сопла плазмотрона до обрабатываемой поверхности и др.).

3. Некоторые результаты исследований. Для исследований использовались значения коэффициентов теплопроводности λ и теплоемкости c в зависимости от температуры согласно [11, 12]. По результатам вычислений п. 2 получены распределения температуры в поверхностном и приповерхностном слое. Типичные зависимости для стали 45 приведены на рис. 3–5.

Степень локализации ввода тепла в область изделия (пятно нагрева) влияет на скорость охлаждения поверхностного слоя металла, структуру и свойства упрочненной зоны. Порядок величины скорости охлаждения практически соответствует порядку величины тепловой мощности плазмотрона.

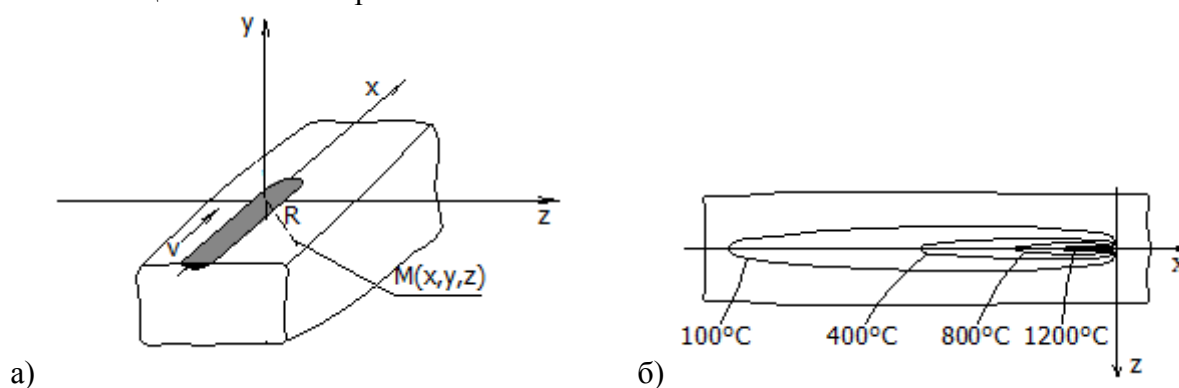


Рис.3. Распределение температуры в поверхностном слое металла
а) схема движения источника нагрева; б) изотермы на поверхности стального образца

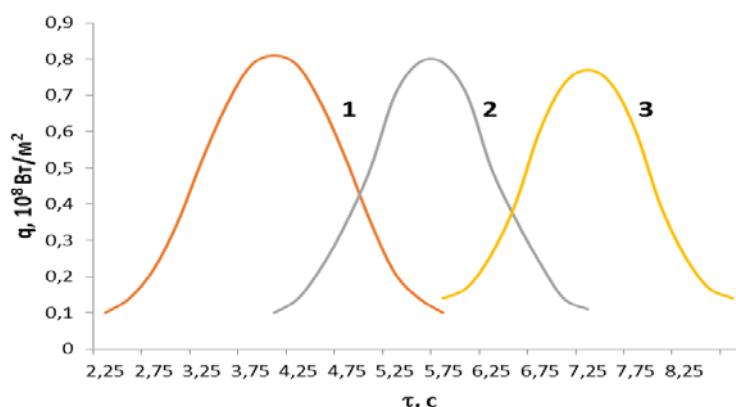


Рис. 4. Результаты расчета функции $q(x, z, \tau)$ при скорости движения плазмотрона $v=30$ мм/с,
 $I=90$ А, $U=110$ В, $z=0,08$ м
1 – $x=0,1$ м, 2 – $x=0,15$ м, 3 – $x=0,2$ м

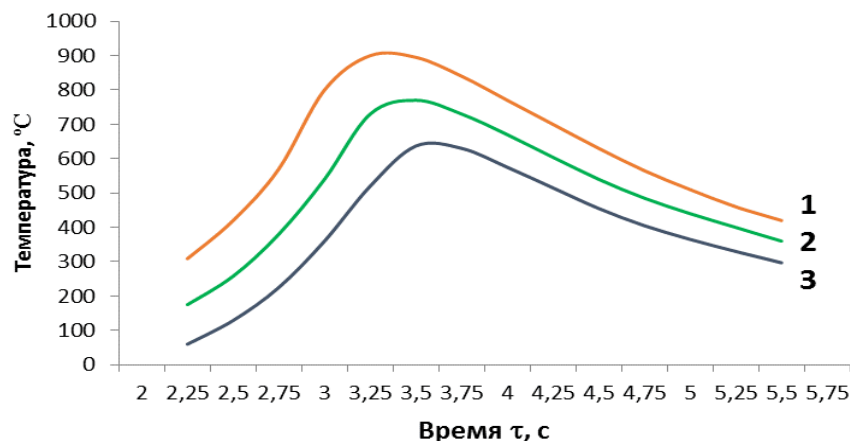


Рис. 5. Типичные зависимости температуры в приповерхностном слое стального образца от времени $v=30$ мм/с, $I=90$ А, $U=110$ В, $z=0,08$ м, $x=0,1$ м
1 – на глубине 0,1 мм, 2 – на глубине 0,2 мм, 3 – на глубине 0,3 мм

На основании экспериментальных исследований п. 3 с помощью приборной системы построены зависимости температурного поля поверхностного слоя образцов от времени при воздействии движущейся плазменной дуги. Типичные графики приведены на рис. 6.

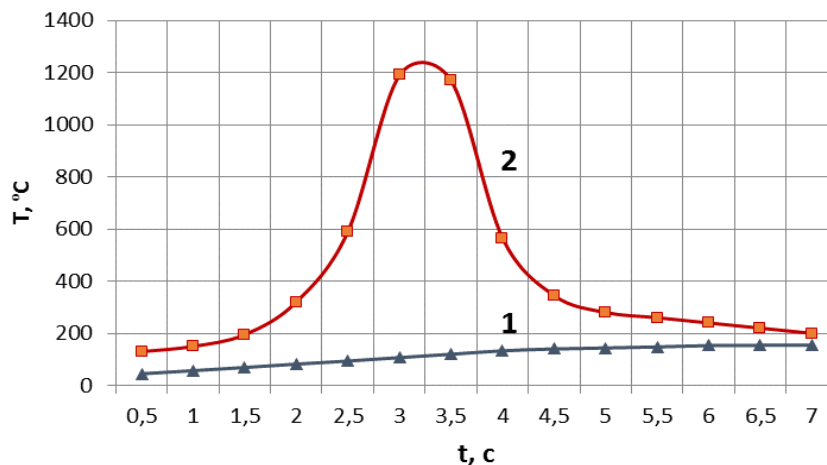


Рис. 6. Графики экспериментальных значений температуры
1) исходные (экспериментальные) значения; 2) расчетные значения на поверхности

Анализ теоретического и экспериментального определения температуры в различных точках показал их удовлетворительное совпадение. Максимальное расхождение в точках поверхностного слоя не превышает 15 %.

Заключение. Разработан алгоритм определения температурного поля на поверхности и в приповерхностной зоне стального образца при воздействии движущейся плазменной дуги, основанный на решении обратной задачи теплопроводности. При помощи приборной системы с высокочувствительным датчиком разработана методика экспериментального определения температуры при воздействии высококонцентрированного источника нагрева. Сравнение значений температуры, определенных экспериментально и теоретически, подтвердило достоверность полученных результатов.

Литература:

1. Спиридонов Н.В. Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. – Мн.: Высшая школа, 1988. – 155 с.
2. Кобяков О.С., Гинзбург Е.Г. Поверхностное упрочнение сталей при микродуговом нагреве металла. – Минск, Машиностроение, 1985. – Вып.10. – С. 127 – 130.
3. Тёмкин А.Г. Обратные задачи теплопроводности. – М.: Энергия, 1973. – 464 с.

4. Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Томашев И.Г. Теоретические исследования температурных полей при воздействии плазменной струи по результатам экспериментальных данных // Теоретическая и прикладная механика. – 2017. – Вып. 32. – С. 94–99.
5. Пилипенко Н.В. Методы и приборы нестационарной теплотметрии на основе решения обратных задач теплопроводности. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 180 с.
6. Алифанов О.М., Румянцев С.В. Регуляризирующие градиентные алгоритмы для решения обратных задач теплопроводности // ИФЖ. 1980. – Т. 39. – № 2. – С. 253–258.
7. Алифанов О.М. Идентификация процессов теплообмена летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1979. – 216 с.
8. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченкова Н.В. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 1994. – 544 с.
9. Лыков А.В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967 г. – 599 с.
10. Юдаев Б.Н. Теплопередача. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 319 с.
11. Варгафтик Н.Б. Теплофизические свойства веществ. Справочник. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 340 с.
12. Тимошпольский В.И., Кабишов С.М., Калиневич Е.В., Вайс Р.Б. Анализ теплофизических свойств сталей с целью применения для решения нелинейных задач теории нагрева // Литье и металлургия. – 2006; (2-2). – С.17–22.

Investigation of temperature fields along the depth of the hardened part under the influence of a moving plasma ARC

^aVeremeichik, A.I., ^bSazonov M.I., ^bHvisevitch V.M.

Brest State Technical University, Moskovskaya st., 267, 224017, Brest, Belarus

^avai_mrtm@tut.by, ^bvmhvisevitch@bstu.by

Keywords: temperature field, instrument system, plasma arc, heat flow, thermal conductivity.

Determining the temperature when developing the basics of surface plasma hardening technology for steel products is an important task. The article deals with the theoretical and experimental determination of temperature fields during surface hardening of steel parts by a moving plasma arc. This approach allows for mutual control of the two methods and provides reliable results. Theoretically, the distribution of temperature fields in the heating region is determined by solving the problem of thermal conductivity in the case of a moving local heat source. The developed instrument system was used for experimental determination of temperature fields.

Эксплуатация и ремонт машин и оборудования

<i>Кобзов Д.Ю., Губанов В.Г., Кобзова И.О., Кулаков А.Ю.</i> Прогиб гидроцилиндра в результате упругого сближения элементов его герметизируемых сопряжений.....	12
<i>Романович А.А., Дядин М.О.</i> Анализ состояния вопроса в области повышения долговечности рабочих органов асфальтосмесителей.....	18
<i>Позынич К.П., Сидорков В.В., Эунап Р.А.</i> Грузовой эвакуатор с функцией постановки перевернутых транспортных средств на колёса	22
<i>Соболев А.А., Андриященко А.С.</i> Анализ технологической схемы транспортировки горных пород с использованием беспилотных карьерных самосвалов.....	33
<i>Соболев А.А.</i> Мировые тренды совершенствования и модернизации транспортных систем на открытых горных работах.....	38
<i>Гиннэ С.В.</i> Особенности защиты промышленного оборудования от почвенной коррозии в процессе эксплуатации.....	43
<i>Ефремов М.И., Смирнова А.А., Ефремов И.М.</i> Вибрационный комплекс для приготовления и дозировки цементобетонной смеси используемой для 3D строительных принтеров.....	50
<i>Чебан А.Ю.,</i> Усовершенствованный выемочный комплекс для отработки маломасштабных угольных разрезов.....	57
<i>Чебан А.Ю.</i> Автономный выемочный агрегат для разработки тонких рудных жил.....	61
<i>Сидорков В.В., Позынич К.П., Эунап Р.А.</i> Асфальтобетонная смесь или асфальтоукладчик: залог получения качественного дорожного покрытия.....	65
<i>Сидорков В.В., Позынич К.П., Эунап Р.А.</i> Программные продукты и Интернет ресурсы для решения задач организации дорожного движения.....	70
<i>Шишкин Е.А., Коваленко А.С.</i> Оценка эффективности вибрационного уплотнения дорожных покрытий.....	79
<i>Калугин А.В., Васильченко И.И., Федоткин И.В.</i> Подбор крано-манипуляторной установки для транспортного средства с применением программного обеспечения.....	82
<i>Абдукундузов А.В., Федоров В.С., Герасимов С.Н.</i> Использование рекуперативных теплообменников для разогрева гидравлического масла технологических машин, в условиях низких температур.....	90

<i>Егоров В.А., Радынский Л.А., Востоков Н.В.</i> Использование нагревательных элементов для борьбы с адгезией грунта в условиях отрицательных температур	96
<i>Егоров В.А., Бондалет И.С., Иванов К.Э.</i> Применении профилактической жидкости для снижения адгезии грунта к машинам.....	102
<i>Файзов А.Х., Мамаев Л. А., Герасимов С.Н., Федоров В.С., Фалунин В.Ф.</i> Планирование экспериментальных исследований для поиска оптимальных параметров рабочего органа.....	106
<i>Плеханов Н.Г., Плеханов Г.Н.</i> Особенности применения масляных центрифуг в гидроприводе СДМ.....	113
<i>Кобзов Д.Ю., Ереско С.П., Губанов В.Г., Кобзова И.О., Трофимов А.А.</i> Совершенствование способа диагностирования гидроцилиндров воздухом.....	119
<i>Мамаев Л.А., Герасимов С.Н., Федоров В.С., Герасимов С.В., Портнягина А.В.</i> Преимущества автоматизации технологического процесса формирования поверхностей строительных изделий высокого качества.....	131
<i>Кобзов Д.Ю., Губанов В.Г., Жмуров В.В., Кобзова И.О.</i> Разгрузка гидроцилиндра от эксцентрично приложенного продольного сжимающего усилия	134
<i>Зеньков С.А., Дрюпин П.Ю., Сухоневич Д.А.</i> Применение гибкого ленточного нагревательного элемента для снижения намерзания грунта.....	144

Современные технологии и автоматизация в машиностроении

<i>Богущий В. Б.</i> Материалы для технологического армирования нежестких деталей.....	148
<i>Лемешко М. А.</i> Метод определения перемещения исполнительного органа гидродвигателей.....	154
<i>Богущий В. Б., Шрон Л. Б., Кривцов А. Н.</i> Влияние температуры в зоне контакта на глубину дефектного слоя при шлифовании резьбы ходовых винтов качения.....	156
<i>Шуринова Д. А., Коваленко А. Н., Суворов А. Г., Мурыгин А. В.</i> Обзор существующих методов контроля теплоэнергетических характеристик бытовых холодильников.....	164
<i>Шуринова Д. А., Коваленко А. Н., Суворов А. Г., Мурыгин А. В.</i> Онлайн диагностика состояния производственных линий на базе промышленных контроллеров.....	172

<i>Коновалов Ю.И., Грохотова А.А., Банищикова Н.С.</i> Механизация процессов технологического обслуживания электролизеров	180
<i>Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Барсукова Е.А., Звядинцева С.Ю.</i> Исследование состава засаженного слоя алмазного шлифовального круга в поперечном разрезе.....	184
<i>Колпаков В.Н., Бахтурин Е.А.</i> Повышение точности и производительности кольцераскатных автоматов.....	188
<i>Буштрук А. А., Буштрук Т. Н.</i> Композитные материалы в изделиях определенной формы и их прочностные характеристики.....	192
<i>Сурьев А. А.</i> Устройство для управления электроалмазным шлифованием с целью стабилизации режущих свойств абразивного инструмента.....	198

Конструкции, технические и эксплуатационные свойства транспортных средств

<i>Шалыгин М. Г., Ващишина А. П.</i> Обзор причин интенсивного износа гребня колесной пары и способов его уменьшения.....	202
<i>Ясенков Е.П., Парфенова Л.А.</i> Результаты внедрения новых примерных программ профессиональной подготовки водителей транспортных средств в России за 2015–2019 годы.....	208
<i>Рыков С.П., Петренко М.А., Рыкова О.А.</i> Результаты стендовых испытаний автомобильных шин при нагружении колеса одновременно нормальной силой и крутящим моментом. Тормозной режим качения.....	216
<i>Рыков С.П., Коваль В.С., Рыкова О.А.</i> Оценка жесткостных и поглощающих свойств пневматических шин при комплексном нагружении колеса на примере действия нормальной и боковой сил.....	225
<i>Лосев Е.Д., Мишуков С.В.</i> Исследование возможности замены автомобильного общественного транспорта на электрический в городе Братске.....	233

Материаловедение, динамика и прочность машин и механизмов

<i>Хлудов С.Я., Маркова Е.В., Чечуга О.В.</i> Влияние дискретной режущей кромки на снижение шероховатости поверхности	239
---	-----

Зеньков Е.В. Оценка остаточного ресурса ступенчатого вала при наличии усталостной трещины с применением численного моделирования.....	241
Горунович С. Б. Расчет на прочность многослойной балки при поперечном изгибе методами сопротивления материалов.....	246
Зверев Е.А., Вахрушев Н.В., Титова К.А., Гулин И.Ю. Шероховатость поверхности износостойких плазменных металлокерамических покрытий после финишного шлифования	251
Маркидонов А.В. Молекулярно-динамическая модель системы Fe-P.....	256
Веремейчик А.И., Сазонов М.И., Хвисевич В.М. Исследование полей температур по глубине упрочняемой детали при воздействии движущейся плазменной дуги.....	260

Опубликовано в авторской редакции

Подписано в печать 21.05.2020

Формат 84×108 1/16

Печать трафаретная

Уч.-изд.л 22,25 Усл.печ.л. 22,25.

Тираж 30 экз. Заказ

Электронная версия издания размещена

в локальной сети ФГБОУ ВО «БрГУ» в разделе «Библиотека»

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО «БрГУ»

665709, г. Братск Иркутской области, ул. Макаренко 40

