



ИНТЕРСТРОЙМЕХ–2021

Сборник докладов
XXV Международной научно-технической конференции
(Москва, 5–7 октября 2021 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021
ISBN 978-5-7264-2896-3

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2021

УДК 621.86+65.011.56+69.002.5
ББК (38.6 – 44)+(38.6 – 5)+32.966
И68

Редакционная коллегия:
Б.Г. Ким, Е.М. Кудрявцев, Р.Р. Шарапов

И68 **Интерстроймех–2021** [Электронный ресурс] : сборник докладов XXV Международной научно-технической конференции (г. Москва, 5–7 октября 2021 г.) / редакционная коллегия: Б.Г. Ким, Е.М. Кудрявцев, Р.Р. Шарапов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт инженерно-экологического строительства и механизации. — Электрон. дан. и прогр. (5,5 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>. — Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-7264-2896-3

Представлены материалы XXV Международной научно-технической конференции «Интерстроймех–2021», посвященные вопросам теории, конструкции, расчета, эксплуатации и ремонта подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования.

Для научных и инженерно-технических работников, а также для аспирантов технических вузов.

Научное электронное издание

*Материалы публикуются в авторской редакции.
Ответственность за достоверность сведений, приведенных
в опубликованных материалах, несут авторы.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

Ответственный за выпуск *Е.М. Кудрявцев*

Институт инженерно-экологического строительства и механизации
(НИУ МГСУ)

<http://iiesm.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/ИЕСМ/>

Тел. +7 495 730 62 53

E-mail: iiesm@mgsu.ru

Компьютерная верстка *А.М. Азаркова*

Для создания электронного издания использовано:

Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 06.09.2021. Объем данных 5,5 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел.: +7 (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.

E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

**Средства малой механизации строительства – резервы
повышения эффективности строительных технологий.
К десятилетию Корпоративной кафедры
Малой Механизации.**

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия

Организация этого направления в ВУЗе связана с именами известных руководителей и ученых - Ректора Стрельчука Н.А. и заведующего кафедрой Строительные машины Домбровского Н.Г. В течение короткого времени для студентов всех специальностей была организована учебная практика на базе оборудования Всесоюзной выставки Малая механизация строительства, переданной ВУЗу решением Правительства. Кроме того, на кафедре Строительные машины и Технологии строительного производства была создана сводная группа (руководитель - профессор Данилов Н. Н.), которая занималась учебно-методической и организационной работой. На кафедре Строительных машин была организована группа по созданию средств малой механизации совместно со специалистами Всесоюзного научно-исследовательского института строительного механизированного инструмента ВНИИСМИ) в составе Алешина Н.И., руководителя, ассистента, к.т.н. Дроздова А.Н., старшего преподавателя Петрова Г.В. Были заключены договоры по научно-исследовательской работе с ВНИИСМИ по строительно-отделочным машинам и механизированному инструменту. Были разработаны новые виды окрасочных агрегатов, а также вибробезопасных гайковертов и ножниц, подтвержденные научно-обоснованными методиками расчета. В постсоветский период были продолжены работы по созданию испытательного оборудования по ускоренному вводу в производства ручных виброножниц на Конаковском заводе Механизированного инструмента. Новый этап развития направления связан с созданием в 2011 году в НИУ МГСУ корпоративной кафедры Малая механизация строительства при базовой кафедре Строительные и подъемно-транспортные машины. (СПТМ). Это произошло в результате активных совместных действий декана факультета профессора Степанова М. А., заведующего кафедрой СПТМ профессора Кудрявцева Е. М., руководителя направления Малой механизации профессора Дроздова А. Н., при активной поддержке Ректора - академика РААСН профессора Теличенко В. И., Президента РАТПЭ Гольдштейна Б.Г. и Председателя совета директоров АО Интерскол Назарова С.В. Корпоративная кафедра Малая механизация строительства была задействована в реализации Локального проекта по развитию лабораторной

базы Университета в части создания современной лаборатории средств малой механизации и разработке новой учебной и научной литературы на базе проводимых исследований совместно с аспирантами, студентами, сотрудниками АО Интеркол и другими фирмами РАТПЭ.

Задача кафедры - это создание современной лаборатории на базе оборудования известных фирм (Интеркол, DeWALT, StanleyBlack&Decker, и т.д.)



Рис. 1. Один из стендов АО Интеркол



Рис. 2. Стенд компании Bosch



Рис. 3. Стенд DeWALT

Учебный аспект.

Кафедра «Механизация строительства» НИУ МГСУ продолжает работать в части реализации концепции развития учебных дисциплин в части широкого внедрения в учебный процесс использования возможностей вычислительной техники и использования программного обеспечения.

Были реализованы некоторые лабораторные работы с использованием программного обеспечения NATIONAL INSTRUMENTS и, в частности, рабочей станции NATIONAL INSTRUMENTS ELVIS.

Оборудование:

Для проведения измерений используются: Система сбора данных на базе 8-ми слотового шасси NI cDAQ и четырехканального модуля NI9234 для измерения динамических сигналов с частотой оцифровки 51,2 кГц/канал и разрядностью АЦП 24 бит (рис. 4); Ноутбук; Датчик – акселерометр общего назначения однокомпонентный чувствительностью 10 мВ/г с частотным диапазоном 0,5 – 10 000 Гц по уровню не хуже ± 3 Дб, обеспечивающим точность 0,0005 г; Электрический перфоратор с энергией удара 5 Дж.

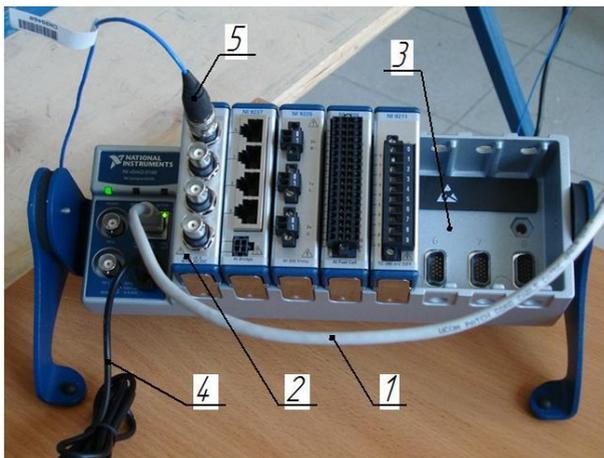


Рис. 4 Система сбора данных

- 1 – кабель Ethernet; 2 – модуль измерения динамических сигналов; 3 – шасси;
4 – шнур питания; 5 – разъем BNC с подключенным датчиком

В качестве программного обеспечения используется помощник по вибрационным и акустическим измерениям Sound and Vibration Assistant - реконфигурируемый программный комплекс, специально разработанный для проведения интерактивных измерений параметров звука и вибрации без необходимости программирования.

Окно приложения Sound and Vibration Assistant (рис.5) разделено на три главные области просмотра: область проекта 6 (Project View) слева, область данных 9 (Data View) в середине и область помощи 12 (Help) справа. Левое подокно является областью проекта, в которой представлен упорядоченный перечень операций, или шагов проекта. Центральное подокно включает область данных, отображающая сигнал, который в данном проекте генерируется или анализируется. Внутри области данных содержатся вкладки 11 *Data View, Recording Options, Channel View, Project Documentation*.

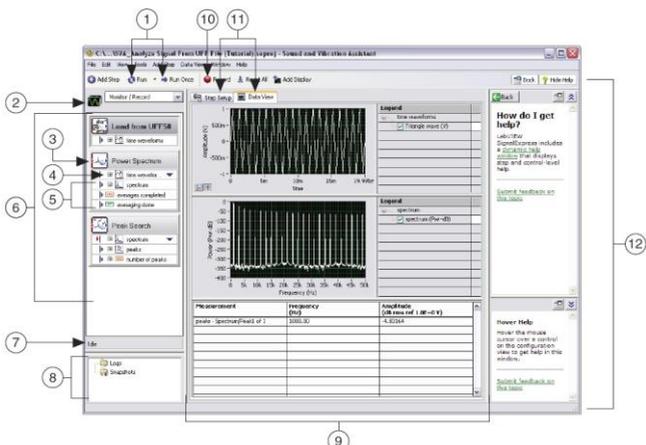


Рис. 5. Интерфейс Sound and Vibration Assistant

1 – Кнопки управления выполнения, 2 – Спадающее меню рабочей области, 3 – Шаг (Step), 4 – Вход, 5 – Выходы, 6 – Область проекта, 7 – Статус проекта, 8 – Область просмотра протоколированных данных, 9 – Область данных, 10 – Кнопка записи, 11 – Область вкладок, 12 – Область помощи

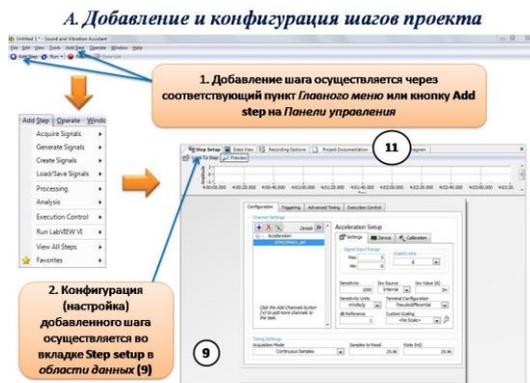


Рис. 6. Добавление и конфигурация шагов проекта

В лаборатории и демонстрационном зале кафедры проводятся плановые учебные занятия по направлению малой механизации строительства (включая учебно-технологическую практику «Механизированный инструмент»). Еще одним учебным направлением является повышение квалификации дилеров фирм партнеров, проводимых в виде семинаров. С 2018 года работа активно проводится совместно проводится с АО Stanley-Black&Decker (генеральный директор Джонатан Тарп).

Научно-технический аспект работ кафедры включает развитие теории ручных машин, создание методик их расчета и реализации в продукции

партнеров. Научное руководство работ осуществлялось при активном участии почетного доктора НИУ МГСУ Б.Г. Гольдштейна, и профессора А.Ф. Тихонова и профессора А.Н. Дроздова.

Выполнены работы по созданию методики расчёта ручных гидроимпульсных гайковёртов старшим научным сотрудником к.т.н. Степановым В.В. Эти гайковёрты обеспечивают ряд преимуществ по вибро- и шумобезопасности, надёжности, удельной мощности. В настоящее время создан опытный образец машины, проходящий доводочные испытания.

Одним из приоритетных направлений деятельности корпоративной кафедры Малой Механизации строительства совместно с партнерами АО Интерскол является создание отечественных конструкций ручных машин ударного действия с электроприводом, на базе научно-обоснованного подхода с применением компьютерной системы MathCad при участии аспиранта Немкова С.А., заведующего лабораторией Федорова Д.В. Было отражено направление модернизации математической модели ручных машин ударного действия, а именно их компрессионно-вакуумного ударного механизма, являющегося их основным узлом с отражением влияния утечек сжатого воздуха из рабочей камеры и функционирования системы компенсации утечек воздуха, а также создание экспериментально-теоретической методики расчета универсальных коллекторных электродвигателей с участием заведующего лабораторией электропривода АО Интерскол В.Н.Батуева.

Под руководством профессора А.Ф. Тихонова и при участии инженера Белкиной Е.Р. проводились работы по автоматизации средств малой механизации для уплотнения грунтов и разработки строительно-отделочных роботизированных систем.

С участием аспиранта Гненнова А. А. и магистра Смирнова А.А. была осуществлена разработка пневматических машин с использованием системы SolidWorks и исследование пневматических ручных монтажных пистолетов с целью разработки их рациональных типоразмерных рядов.

На кафедре были подготовлены 3 диссертации на кандидата технических наук, одна магистерская диссертация.

Заключение. Результаты проведённых работ легли в основу подготовленных научных монографий и учебных пособий, способствующих улучшению качества подготовки специалистов и образцов СММ.

Список литературы

1. Бабицкий В. И. Теория виброударных систем. Приближённые методы. М.: Наука, 1978 - 352 с.
2. Дроздов А. Н., Степанов В. В. Математические модели ручных машин для строительно-монтажных работ с примерами реализации. Учебное пособие. НИУ МГСУ, 2016 - 152 с.

3. Дроздов А. Н., Степанов В. В. Электрические ударные гайковёрты. Динамика: монография. – М.: МГСУ, 2013. – 119 с.
4. Дроздов А. Н., Степанов В. В. Экспериментальное определение вибрационных характеристик ручных машин. Методические указания к лабораторной работе. Электронное издание. М.: НИУ МГСУ, АйПиЭр Медиа, 2015.
5. Дроздов А. Н., Степанов В. В. Ручные гидроимпульсные гайковёрты (монография) электронное издание. М.: НИУ МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, 2017. – 97 с.
6. Дроздов А. Н., Фёдоров Д. В., Кузьмин Д. А. Прочностной анализ корпусных деталей ручных машин на примере монтажного пневмопистолета. Механизация строительства №11 2017
7. А. Н. Дроздов, В. В. Степанов, А. В. Кухта, Д. В. Фёдоров. Моделирование работы перфоратора в режиме забивки металлического профиля в грунт. «Механизация строительства» №8 2015.
8. Дроздов А.Н. Степанов В.В. Гидроимпульсные гайковёрты. Монография. М.: МГСУ, 2017. 84 с.
9. Дроздов А.Н., Немков С.А. Стенд для измерения энергии удара методом конечных скоростей для ручных машин ударно-вращательного действия. // Механизация строительства. 2014. №12. С. 4.
10. Суднишников Б.В., Есен Н.Н. Элементы динамики машин ударного действия. Новосибирск. СО АН СССР, 1965. 84 с.
11. Тихонов А.Н., Батуев В.Н., Дроздов А.Н. Электропривод строительного механизированного инструмента. М.: НИУ МГСУ, 2017. 244 с.
12. Дроздов А.Н. Степанов В.В. Анализ механизмов гидроимпульсных гайковёртов. // Механизация строительства. 2014. №11. 3 с.
13. Манжосов В.К. Модели продольного удара. Ульяновск: УлГТУ, 2006.-160 с.
14. Кудрявцев Е.М. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования: Учеб. Для вузов.- М.:АСВ. 2013.-379 с.
15. Кудрявцев Е.М. Компьютерное моделирование, проектирование и расчет элементов машин и механизмов. Учеб. Пособие для вузов. М.: АСВ, 2018.-328 с.
16. Дроздов А.Н., Немков. С.А., Степанов В.В. Определение рациональных параметров компрессионно-вакуумного ударного механизма ручного перфоратора для снижения вибрационной нагрузки работника. «Безопасность труда в промышленности» №10, 2016, с. 56-59
17. Белкина Е.Р., Навасардян А.Г. Экспериментальное исследование рабочих процессов в электрических молотках.
18. Белкина Е.Р. Экспериментальное исследование рабочих процессов в ударных гайковёртах.

19. Дроздов А.Н. Theoretical and empirical methods of estimating energy and force characteristics of impact wrenches. Journal of Civil Engineering and Architecture, USA, 2019, (ISSN 1934-7359)

20. А.Н. Дроздов, В.В. Степанов, С.А. Немков, Д.В. Федоров. Уточненная модель компрессионно-вакуумного ударного механизма ручных электрических перфораторов. Самара, Международная научно-техническая конференция, 2014 г

21. Дроздов А.Н. Строительные машины и оборудование. Москва, Academia, 2012

Е.М. Кудрявцев

Моделирование, проектирование, расчет и эффективное использование строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия

В статье излагаются аннотации монографий, учебников и учебных пособий проф. Кудрявцева Е.М., связанных с процессами моделирования, проектирования, расчета и эффективного использования строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин на всех этапах их жизненного цикла с учетом условий их применения. Все эти книги предназначены для широкого круга читателей: учащихся, студентов, инженеров, проектировщиков, исследователей, желающим освоить большой комплекс методов решения различных научных, инженерных задач и задач исследования операций в своей практической деятельности с использованием различных компьютерных технологий и систем автоматизированного моделирования, проектирования, расчета и эффективного использования широкой гаммы машин в строительстве. Ниже представлены аннотации опубликованных автором книг и их список.

В монографии [1] “Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах” дается систематическое изложение методов исследования операций, которые иллюстрируются большим числом задач из различных областей инженерной практики. Рассматриваются распределительные задачи, задачи управления запасами, замены оборудования, упорядочения и согласования, задачи массового обслуживания и управления проектами, состязательные задачи и др.

В учебнике “Комплексная механизация, автоматизация и механооруженность строительства” [2] излагается научная дисциплина,

представляющая собой систему знаний о процессах функционирования средств механизации и совокупность научно-обоснованных принципов, способов и методов для эффективного решения самых разнообразных задач комплексной механизации строительства.

В учебнике “Основы автоматизации проектирования машин” [3] рассмотрены вопросы применения ЭВМ и САПР при проектировании подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин. Изложены методология и различные методы математического и имитационного моделирования. Изложены принципы построения и основные методики САПР с примерами их применения.

В монографии “AutoLISP. Программирование в Autocad 14” [4] излагается интегрированная среда программирования Visual LISP разработанная специально для САПР AutoCAD 14-й версии. Даются основы программирования на языке AutoLISP с примерами создания на этом языке прототипов различных систем и подсистем для решения разнообразных технических задач, включая и создание экспертных систем.

Монография “AutoLISP. Основы программирования в Autocad 2000” [5] посвящена основам программирования на языке AutoLISP, в которой приложение Visual LISP уже встроено в систему AutoCAD 2000. В книге приведены основные понятия и определения языка AutoLISP; описываются этапы программирования, функции, расширяющие возможности языка. Особое внимание уделено вопросам разработки программ на AutoLISP и их отладки.

Монография “Mathcad 8. Символьное и численное решение разнообразных задач” [6] знакомит с интегрированной математической системой Mathcad. Она позволяет наглядно вводить исходные данные, осуществлять традиционное математическое описание решения задач и получать результаты вычислений, как в аналитическом, так и в численном видах с графическим представлением их. Приводятся многочисленные примеры решения инженерных задач.

Монография “Mathcad 2000 Pro. Символьное и численное решение разнообразных задач” [7] знакомит с более мощной версией математической системы Mathcad для решения самых разнообразных задач в области экономики, физики, астрономии, строительства, математики, статистики, организации производства и др. Приводятся многочисленные примеры решения инженерных задач.

Монография “GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем” [8] описывает мощную универсальную среду моделирования разнообразных технических процессов и систем на языке имитационного моделирования GPSS. Приводятся многочисленные примеры имитационного моделирования разнообразных производственных систем, систем массового обслуживания и так далее.

В монографии “Mechanical Desktop Power Pack. Основы работы в системе” [9] описывается САПР среднего уровня Mechanical Desktop Power Pack, представляющая собой пакет объектно-ориентированных программ, созданных на базе системы AutoCAD, предназначенная для решения задач машиностроительного проектирования и конструирования. Дается описание ее структуры, главной и инструментальных панелей, встроенных команд и других элементов программы, а также примеры работы в этой системе.

Монография “ КОМПАС-3D V6. Основы работы в системе” [10] описывает мощную, постоянно совершенствующуюся систему автоматизированного проектирования (САПР) среднего уровня, максимально настроенной под российские стандарты. Она содержит мощные средства параметрического твердотельного и поверхностного проектирования деталей и узлов, создания плоских чертежей по пространственной модели и др. возможности.

Учебное пособие “Основы работы с универсальной системой моделирования GPSS World” [11] знакомит пользователя с мощной универсальной средой имитационного моделирования дискретных и непрерывных процессов. Оно содержит описание структуры среды моделирования GPSS World. Приводятся многочисленные примеры моделирования производственных систем, систем массового обслуживания и других систем.

Монография ”Mathcad 11. Полное руководство по русской версии” [12] знакомит с более мощной версией системы Mathcad для решения самых разнообразных задач в области экономики, физики, астрономии, строительства, математики, статистики, организации производства и др. Приводятся в монографии многочисленные примеры решения инженерных задач.

Учебник “Комплексная механизация строительства” [13] (2-е издание) представляет собой систему знаний о процессах функционирования средств механизации и совокупность научно-обоснованных принципов, способов и методов для эффективного решения самых разнообразных задач комплексной механизации строительства в различных условиях их использования с использованием соответствующим программным обеспечением.

Монография “ КОМПАС-3D V7”. Наиболее полное руководство [14] - это мощная, постоянно совершенствующаяся система автоматизированного проектирования. САПР среднего уровня, максимально настроенная под российские стандарты. Она содержит мощные средства параметрического твердотельного и поверхностного проектирования деталей и узлов, создания плоских чертежей по пространственной модели и др. возможности.

Учебное пособие “Оформление дипломного проекта на компьютере” [15] предназначено для эффективного оформления дипломного проекта в полном соответствии с Единой Системе Конструкторской Документации (ЕСКД). Это касается как графической, так и текстовой документации, формул, таблиц, рисунков и другой информации необходимой при проектировании различных машин, механизмов и оборудования.

В монографии “Microsoft Project. Методы сетевого планирования и управления проектом” [16] описывается система сетевого планирования и управления проектами Microsoft Project Standard для планирования и управления самыми разнообразными проектами. Книга содержит описание интерфейса русской версии системы MS Project, различных видов меню и примеры использования их.

В учебном пособии “Оформление дипломного проекта на компьютере” [17] рассматриваются более продвинутые методы и способы оформления дипломного проекта в полном соответствии с ЕСКД и СПДС. Даются подробные сведения по оформлению текстовой документации, формул, таблиц, рисунков и другой информации.

В монографии “КОМПАС-3D V8. Наиболее полное руководство” [18] излагаются основы работы в системе КОМПАС-3D V8, дается описание ее структуры, главной и инструментальных панелей, встроенных команд и других элементов программы, а также примеры работы в системе. Она содержит мощные средства параметрического твердотельного и поверхностного проектирования деталей, узлов и т. д.

В учебном пособии “Дипломное и курсовое проектирование. Механическое оборудование и технологических комплексов предприятий строительных материалов, изделий и конструкций” [19] изложены общие вопросы проектирования, конструкторская документация, конструкционные материалы, патентоведение, стандартизация и унификация, технология, электрооборудование, безопасность жизнедеятельности и оценка их технико-экономической эффективности.

В монографии “Mathcad 11. Справочник” [20] привычно и интуитивно описываются все элементы системы Mathcad 11: меню, панели инструментов, дополнительные модули, расширяющие базовые возможности программы, и самое главное, рассмотрены все встроенные функции Mathcad.

В монографии “Машиностроительное проектирование в Mechanical Desktop” [21] излагаются основы работы в системе автоматизированного проектирования Mechanical Desktop, дается описание ее структуры, главной и инструментальных панелей, встроенных команд и других элементов программы, а также примеры решения задач машиностроительного проектирования и конструирования.

В монографии “Microsoft Project 2003. Сетевое планирование и управление проектами” [22] описывается на примерах широко используемая система управления проектами фирмы Microsoft для решения и анализа широкого круга проблем организации, планирования и управления самыми разнообразными проектами.

В монографии “Практикум по КОМПАС-3D V8: Машиностроительные библиотеки” [23] излагаются основы работы с машиностроительными библиотеками (специализированными программами), созданные для расширения стандартных возможностей КОМПАС-3D, облегчающие на поря-

док расчет и представление изображения самых разнообразных объектов в различных документах.

Монография “Оформление презентаций на компьютере” [24] описывает систему PowerPoint 2003, которая позволяет с минимальными затратами создавать высокоэффективные презентации лекции, научного доклада, проекта и т.д. Это наиболее доступная и широко применяемая система в настоящее время.,

В учебном пособии “Начальное знакомство с компьютерными системами. Word, Mathcad, КОМПАС” [25], предназначенной для студентов первых курсов, в которой рассматриваются три наиболее распространенные системы для представления текстовой, графической документации и выполнения математических расчетов: текстовый редактор Word 2003; для расчетов система Mathcad и система КОМПАС-3D для автоматизации выполнения конструкторских работ.

В монографии “КОМПАС-3D: Проектирование в архитектуре и строительстве” [26] излагаются основы работы с библиотеками КОМПАС-3D, предназначенные для строительства и архитектуры: СПДС обозначения; Архитектурные элементы; Отрисовка планов зданий и сооружений; Планировка цехов; Утепление конструкций; Проектирования систем электроосвещения; Строительные элементы и конструкции и т.д.

В монографии “Моделирование, проектирование и расчет механических систем” [27] описываются наиболее часто используемые системы (приложения): Универсальный механизм UM Express для моделирования механических систем; КОМПАС SHAFT 2D и 3D для проектирования двух и трехмерных тел вращения, шлицевых, резьбовых и шпоночных участков на ступенях моделей; КОМПАС GEARS 2D для расчета механических передач и т.д.

В монографии “КОМПАС-3D V10. Максимально полное руководство. В 2-х томах. Том 1” [28] описываются мощные средства параметрического твердотельного и поверхностного проектирования деталей и узлов, создания плоских чертежей и пространственной модели, средства установки размеров, оформления чертежей и текстовых документов.

В монографии “КОМПАС-3D V10. Максимально полное руководство. В 2-х томах. Том 2” [29] описываются процессы создание сборочных чертежей, сборок и спецификаций, создание листовых деталей и поверхностей, построение вспомогательных плоскостей и геометрических объектов, а также рассматриваются соответствующие настройки системы.

В учебном пособии “КОМПАС-3D и Microsoft Word. Оформление текстовой и графической документации” [30] даются подробные сведения по оформлению чертежей, формул, таблиц, рисунков и другой необходимой информации с использованием текстового редактора Microsoft Word и система автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

В монографии “КОМПАС-3D. Проектирование в машиностроении” [31] даются общие сведения о библиотеках системы КОМПАС-3D, их добавление и подключение. Подробно описывается работа с наиболее используемыми библиотеками: Материалы и сортаменты; Проектирование металлоконструкций; Конструкторская библиотека; Библиотека редукторов; Библиотека подбора электродвигателей; Библиотека условных обозначений и т.д.

В учебном пособии “Оформление дипломного проекта на компьютере” [32] излагаются общие положения по оформлению дипломного проекта в полном соответствии с ЕСКД и СПДС.

Даются подробные сведения по оформлению текстовой документации, формул, таблиц, рисунков и другой информации в пояснительной записке с помощью системы Microsoft Word и текстового редактора системы КОМПАС.

В учебнике “Комплексная механизация строительства” [33] 3-е издание излагается научная дисциплина, представляющая собой систему знаний о процессах функционирования средств механизации и совокупность научно-обоснованных принципов, способов и методов для эффективного решения самых разнообразных задач комплексной механизации строительства.

В учебнике “Организация планирование и управление предприятием” [34] излагается научная дисциплина, представляющая собой систему знаний для эффективного решения широкого круга задач организации, планирования и управления предприятием. Излагаемые в учебнике методы расчета, поиска оптимальных решений сопровождаются примерами решения соответствующих задач.

В учебнике “Основы автоматизированного проектирования” [35] изложены: методология и различные методы математического и имитационного моделирования, а также способы автоматизированного проектирования элементов машин и механизмов. Даны конкретные примеры применения как процедурно-ориентированных, так и проблемно-ориентированных языков программирования.

В учебнике “Строительные машины и оборудование: (с примерами расчетов, включая и на компьютере)” [36] рассмотрены: классификация строительных машин; методы определения производительности машин; комплектов и комплексов машин; назначения и устройства машин, основы теории расчета грузо-высотных и тягово-скоростных характеристик машин и других параметров с примерами расчетов, включая и на компьютере.

В практикуме “Строительные машины и оборудование. Практикум” [37] излагаются методики расчета: привода строительных машин; основы выбора комплектов машин; технико-эксплуатационные расчеты строительных машин. Каждый практикум включает: задание; исходные данные; общие сведения; методику выполнения работы; ручной расчет и расчет на компьютере в системе Mathcad.

В учебном пособии “Выполнение выпускной квалификационной работы на компьютере” [38] излагаются: содержание и этапы выполнения дипломной работы на конкретном примере; строятся трехмерные модели деталей и всего изделия; проводится компьютерное моделирование и исследование механической системы, используя компьютерные системы анализа кинематических, статических и динамических процессов.

Учебник “Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования” [39] предназначен для решения задач исследования, проектирования и конструирования различных изделий с помощью современных САПР, включая и специализированные системы; электронные библиотеки – базы данных; системы динамического и инженерного анализов.

В учебнике “Экономика предприятия стройиндустрии” [40] рассмотрены: капитальные вложения и инвестиции; основные производственные фонды и т. д. Разработка основных планов предприятия; производственные функции; оптимизация работы предприятия; оптимизация инвестиций; расчет экономической эффективности при обновлении или модернизации существующего оборудования предприятий с расчетами на компьютере.

В учебнике “Методы решения организационных задач” [41] излагается комплекс методов решения организационных задач на единой методологической основе: распределительные задачи; транспортные задачи; задачи управления запасами; замены оборудования, упорядочения и согласования, массового обслуживания, состязательные и др. с и без использования компьютеров.

В учебнике “Строительные краны. Часть 1. Башенные краны. Основы теории, конструкции и расчет” [42] изложены основы теории, проектирования и расчета башенных кранов и его основных механизмов. По каждой группе механизмов изложены основы теории и алгоритмы расчетов как статических, так и динамических параметров с примерами расчетов как вручную, так и с использованием компьютера.

Учебное пособие “Компьютерное моделирование, проектирование и расчет элементов машин и механизмов” [43] описывает создание трехмерных моделей элементов машин и механизмов, динамический анализ механизмов и анализ напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных изделий. Изложение материала проводится на конкретных элементах машин с использованием соответствующих методологий и методов моделирования, проектирования и расчета машин и механизмов.

Список литературы

1. Кудрявцев Е.М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. -М.: Радио и связь, 1984. 184 с.
2. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация, автоматизация и механизация вооруженность строительства. Учебник. - М.: Стройиздат, 1988. 244 с.

3. Кудрявцев Е.М. Основы автоматизации проектирования машин: Учебник для вузов по специальности “Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование”. М.: Машино-строение, 1993. 336 с.
4. Кудрявцев Е.М. AutoLISP. Программирование в Autocad 14. М.: ДМК, 1999. 368 с.
5. Кудрявцев Е.М. AutoLISP. Основы программирования в Autocad 2000. М.: ДМК Пресс, 2000. 416 с.
6. Кудрявцев Е.М. Mathcad 8. Символьное и численное решение разнообразных задач. М.: ДМК, 2000. 320 с.
7. Кудрявцев Е.М. Mathcad 2000 Pro. Символьное и численное решение разнообразных задач. М.: ДМК, 2001. 576 с.
8. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. М.: ДМК Пресс, 2004. 332 с.
9. Кудрявцев Е.М. Mechanical Desktop Power Pack. Основы работы в системе. М.: ДМК Пресс. 2004. 434 с.
10. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D V6. Основы работы в системе. М.: ДМК Пресс, 2004. 528 с.
11. Кудрявцев Е.М., Добровольский А.В. Основы работы с универсальной системой моделирования GPSS World. М.: АСВ 2005. 256 с.
12. Кудрявцев Е.М. Mathcad 11. Полное руководство по русской версии. М.: ДМК, 2005. 592 с.
13. Кудрявцев Е. М. Комплексная механизация строительства. Изд. второе, перераб. и доп. /Учебное издание. М.: АСВ, 2005. 424 с.
14. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D V7. Наиболее полное руководство. М.: ДМК Пресс, 2005. 664 с.
15. Кудрявцев Е.М. Оформление дипломного проекта на компьютере. Учебное пособие. М.: АСВ, 2005. 220 с.
16. Кудрявцев Е.М. Microsoft Project. Методы сетевого планирования и управления проектом. М.: ДМК Пресс, 2005. 240 с.
17. Кудрявцев Е.М. Оформление дипломного проекта на компьютере. Учебное пособие. (CD). М.: ДМК Пресс, 2005. 220 с.
18. Кудрявцев Е.М. КОМПАС3D V8. Наиболее полное руководство. М: ДМК Пресс, 2006. 928 с.
19. Богданов В.С., Ильин А.С., Дзюзер В.Я., Струков В.Г., Макридина М.Т., Кудрявцев Е.М., Чудный Ю.П. Дипломное и курсовое проектирование. Механическое оборудование и технологических комплексов предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: АСВ, 2006. 784 с.
20. Кудрявцев Е.М. Mathcad 11. Справочник. М.: ДМК Пресс, 2006. 184 с.
21. Кудрявцев Е.М. Машиностроительное проектирование в Mechanical Desktop. М.: ДМК Пресс, 2006. 432 с.
22. Кудрявцев Е.М. Project 2003. Сетевое планирование и управление проектами. М.: ДМК Пресс 2006. 240 с.

23. Кудрявцев Е.М. Практикум по КОМПАС3D V8: Машиностроительные библиотеки. М: ДМК Пресс, 2007. 440 с.
24. Кудрявцев Е.М. Оформление презентаций на компьютере. - М: АСВ, 2007. - 332 с.
25. Кудрявцев Е.М. Начальное знакомство с компьютерными системами. Word, Mathcad, КОМПАС. Учебное пособие. - М.: АСВ, 2007. - 160 с.
26. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D: Проектирование в архитектуре и строительстве. - М.: ДМК Пресс, 2008. 544 с.
27. Кудрявцев Е.М. Моделирование, проектирование и расчет механических систем. - М.: ДМК Пресс. 2008. 400 с.
28. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D V10. Максимально полное руководство. В 2-х томах. Том 1, 2. - М.: ДМК Пресс. 2008. 1184 с.
29. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D и Microsoft Word. Оформление текстовой и графической документации. - М.: ДМК Пресс, 2008. 220 с.
30. Кудрявцев Е.М. КОМПАС-3D. Проектирование в машиностроении. - М: ДМК Пресс, 2009. 440 с.
31. Кудрявцев Е.М. Оформление дипломного проекта на компьютере. Учебное пособие. Издание 2-е, перераб. и доп. - М.: АСВ, 2010. 416 с.
32. Кудрявцев Е. М. Комплексная механизация строительства. Учебник. Издание третье, перераб. и доп. - М.: АСВ, 2010. 464 с.
33. Кудрявцев Е.М. Организация планирование и управление предприятием. Учебник: -М.: АСВ, 2011. 367 с.
34. Кудрявцев Е.М. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. - М.: Академия, 2011. 304 с.
35. Кудрявцев Е.М. Строительные машины и оборудование: (с примерами расчетов, включая и на компьютере). Учебник. - М: АСВ, 2012. 328 с.
36. Дроздов А.Н., Кудрявцев Е.М. Строительные машины и оборудование. Практикум: - М.: Академия, 2012. 176 с.
37. Кудрявцев Е.М., Степанов В.В. Выполнение выпускной квалификационной работы на компьютере. Учебное пособие для вузов. - М.: ООО "ИД "БАСТЕТ", 2012 г. 240 с.
38. Кудрявцев Е.М. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования. Учеб. для вузов. - М.: АСВ, 2013. 379 с.
39. Кудрявцев Е.М., Симакова Н.Е. Экономика предприятия стройиндустрии: Учеб. для вузов. - М.: АСВ, 2014. 254 с.
40. Кудрявцев Е.М. Методы решения организационных задач. Учеб. для вузов. - М.: АСВ, 2015. 336 с.
41. Кудрявцев Е.М., Степанов М.А. Строительные краны. Часть 1. Башенные краны. Основы теории, конструкции и расчет: Учеб. для вузов. - М.: АСВ, 2016. 330 с.
42. Кудрявцев Е.М. Компьютерное моделирование, проектирование и расчет элементов машин и механизмов. Учеб. пособие для вузов. - М.: АСВ, 2018. 328 с.

РАЗДЕЛ I. ТЕОРИЯ, КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ, ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, ДОРОЖНЫХ, КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Р.М. Авдеев, В.И. Емелин, Д.С. Игнатьев, О.Н. Губарь, В.А. Зеер

Исследование способа абразивоструйной очистки дорожно- го покрытия ото льда

Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск, Россия

Основополагающей задачей дорожно-коммунальных служб городов и государственной службы дорожного хозяйства РФ является поддержание соответствия дорог установленным требованиям. Особое внимание и дополнительный объем работ требуется в течение зимнего периода, для устранения скользкости на дорогах. Применяемые в настоящее время механические, химические, фрикционные, тепловые и комбинированные способы очистки дорог ото льда, имеют свои недостатки. Среди которых: повреждение дорожного полотна, сложность удаления тонких слоев льда, отрицательное воздействие на окружающую среду.

Перспективным способом борьбы с гололедом является абразивоструйная очистка. Предлагаемое техническое решение заключается в применении струи сжатого воздуха с абразивными частицами для очистки полотна дороги от ледяных образований.

Для проверки возможностей предложенного способа, были проведены дополнительные экспериментальные исследования, с предварительной разработкой методики, состоящей из трех частей.

Первая часть – подготовительная, включает в себя: определение цели и задачи эксперимента; выбор варьируемых факторов; определение числа и порядка реализации опытов; выбор шага и интервала изменения управляемых факторов; обоснование средств измерений; формирование требований к стенду; его проектирование и изготовление; подготовка оборудования для видеозаписи операций процесса разрушения льда.

Вторая часть – основная: при этом подводится электропитание компрессора; поддон помещается в подвижную вертикальную раму и фиксируется относительно пескоструйного пистолета; регистрируются исходные данные; запускается видеозапись; приводится в действия абразивоструйный пистолет; после достижения металлического блеска на поддоне абразивоструйный пистолет отключается; проводятся замеры диаметра области разрушения льда; количество опытов повторяется заданное число раз.

Третья часть – заключительная, выполняется в следующей последовательности: выключается электропитание компрессора; останавливается видеозапись; проводится сохранение данных; стенд, абразивоструйный пистолет и поддон со льдом очищаются и подготавливаются к хранению; проводится обработка и анализ результатов эксперимента, составляется отчет.

Для реализации разработанной методики исследований, был спроектирован и изготовлен стенд, с удовлетворением требований: простоты в изготовлении, низкой стоимости, компактности (в пределах рабочего стола), возможности установки и фиксации абразивоструйного пистолета, возможности изменения расстояния от сопла абразивоструйного пистолета до обрабатываемой поверхности и возможности быстрой смены сектора обрабатываемой поверхности.

Изготовленный стенд показан на рисунке 1 и состоит из нижней рамы 3, верхней подвижной рамы 1, каретки 5, абразивоструйного пистолета 4 и поддона для льда 2. Верхняя рама может перемещаться по направляющим вертикально, каретка имеет возможность двигаться по нижней раме.

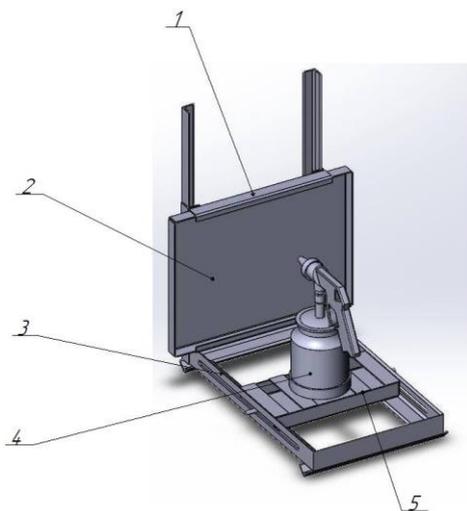


Рис. 1. Стенд для экспериментальных исследований: 1 – верхняя подвижная рама; 2 – поддон для льда; 3 – нижняя рама; 4 – абразивоструйный пистолет; 5 – каретка

Принцип работы стенда заключается в следующем: на каретку в специальное крепление устанавливается абразивоструйный пистолет, который подключается к компрессору для подачи сжатого воздуха; в верхнюю подвижную раму вставляется поддон с замороженным слоем льда и фиксируется относительно пистолета, в зависимости от того какой сектор поддона

необходимо очистить ото льда; затем выполняется проверка, включение компрессора и абразивоструйного пистолета; струя воздуха с абразивными частицами выходит и воздействует на слой льда, происходит удаление его с поверхности поддона. Работа пистолета продолжается до момента появления металлического блеска на поддоне со льдом, означающего, что слой льда разрушен и удален.

С помощью предлагаемого стенда можно изменять и измерять расстояние от сопла абразивоструйного пистолета до поддона со слоем льда, замерять время и размер области разрушения льда.

В ходе проведенного эксперимента, были получены результаты и построены зависимости: а) времени обработки от расстояния до обрабатываемой поверхности (рисунок 2); б) диаметра области разрушения льда от расстояния между соплом и обрабатываемой поверхностью (рисунок 3).

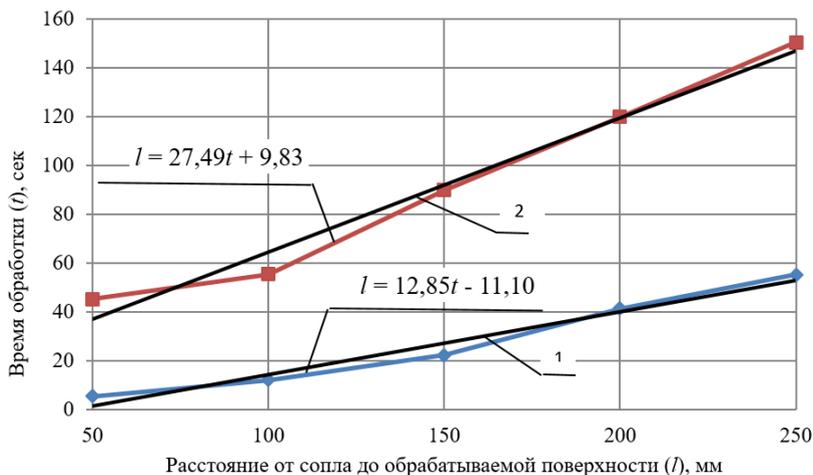


Рис. 2. Зависимость времени разрушения ледяной корки от расстояния между ней и обрабатываемой поверхностью: 1 – при расходе воздуха; 2 – при расходе воздуха

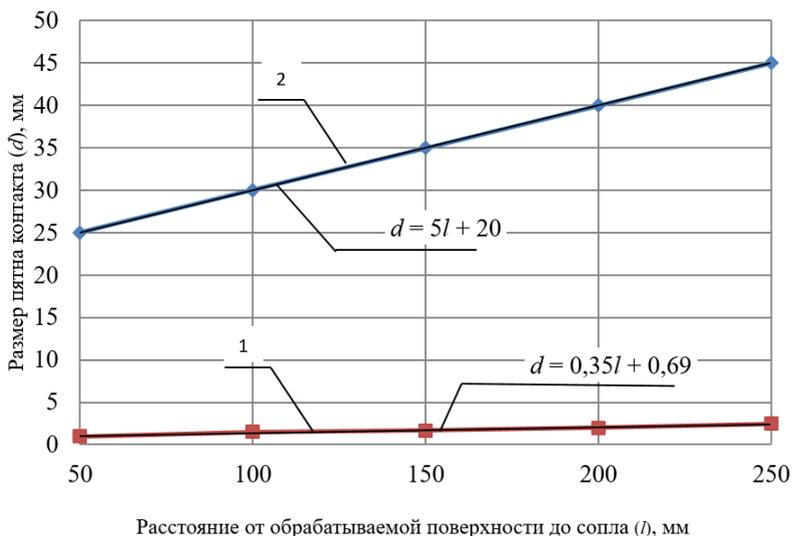


Рис. 3. Зависимость размера пятна контакта от расстояния до обрабатываемой поверхности

По полученным зависимостям и статье в целом сделаны следующие выводы:

1. Время, необходимое для разрушения слоя льда, и средний размер разрушаемой области увеличивается пропорционально расстоянию от сопла до льда.
2. Полученные результаты стендовых экспериментов указывают на конкурентоспособность и перспективность рассмотренного способа удаления льда с дорожного покрытия по сравнению с другими способами. Однако для окончательного решения необходимо изготовление опытного образца устройства для реализации этого способа и проведения экспериментов в натуральных условиях. Экспериментально-конструкторская работа в этом направлении сейчас проводится.

Список литературы

1. Козлов, Д.Ю. Бластинг. Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке / Д.Ю. Козлов. – Екатеринбург : Оригами, 2015. – 230 с.
2. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. вузов / В.В.Сильянов, Э.Р. Домке. – 2-е изд., стер. – Москва : Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.

Инерционный концентратор пыли с регулируемыми параметрами

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

В современном мире в атмосферу выбрасывается огромное количество различных соединений. Источниками таких соединений являются промышленные предприятия, автотранспорт, различные природные явления. С каждым годом объем промышленного производства увеличивается и соответственно возрастает количество таких выбросов в атмосферу.

Для уменьшения влияния на атмосферу промышленными предприятиями, а точнее выбросов от них, используются различного рода пылеуловители.

В настоящее время при сложном и разнообразном технологическом процессе производства строительных материалов для повышения эффективности производства на первой стадии применяют инерционные пылеотделители. К одному из видов таких отделителей можно отнести инерционный пылеконцентратор, который относится к механическим аппаратам сухого способа очистки.

При включении концентратора в технологическую цепочку производства различных материалов, эффективность пылеочистки в целом увеличивается, что дает экономический и экологический эффект.

На модели инерционного концентратора производились исследования влияния конструктивных параметров концентратора на эффективность пылеочистки.

Инерционный концентратор (рис. 1) состоит из корпуса 1 прямоугольного сечения. В верхней части корпуса расположены патрубок подвода 2 исходного материала (губомолотой цементной пыли) и патрубок вывода 3 тонкого материала. С противоположной стороны корпуса в нижней его части расположен патрубок вывода 4 грубой фракции. В средней части корпуса относительно его вертикальной оси установлена система регулируемых жалюзийных элементов 5. Жалюзийные элементы закреплены на осях, которые установлены на боковых стенках корпуса. Элементы кинематически соединены между собой тягой для одновременного вращения вокруг своих осей и горизонтального перемещения с помощью винтового механизма, который расположен как в верхней части концентратора, так и в нижней. Для этого в корпусе выполнены горизонтальные проточки. Жалюзийные элементы поворачиваются относительно своих осей от 0° до 180° и перемещаются поперек корпуса от 0 мм до a .

Вращение обеспечивается тем, что на одной из осей установлен ручной привод и оси между собой связаны кинематически с возможностью их одновременного вращения. Также предусмотрено одновременное перемещение жалюзийных элементов поперек корпуса от 0 мм до a за счет соединения осей системой тяг с винтовыми механизмами расположенными сверху и внизу концентратора. Варьируя величинами параметров a и a можно в широких пределах изменять дисперсность выходящего из концентратора продукта. Для управления процессом разделения дисперсных частиц в потоке воздуха жалюзийные элементы вращаются вокруг своих осей от 0° до 180° .

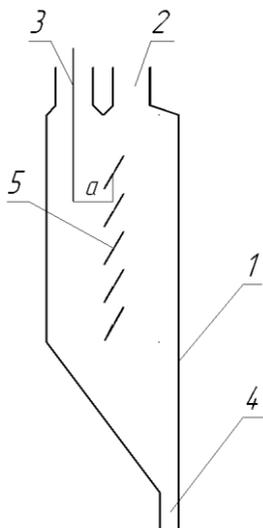


Рис. 1. Модель инерционного концентратора пыли: 1 – корпус концентратора; 2 – патрубок подвода; 3 – патрубок вывода тонкого материала; 4 – патрубок вывода грубой фракции; 5 – жалюзийные элементы

На рис. 2 представлена фотография инерционного концентратора, на котором были проведены все экспериментальные исследования, согласно плану эксперимента.



Рис. 2. Фотография инерционного концентратора

Инерционный концентратор работает следующим образом.

Запыленный воздух поступает в корпус 1 инерционного пылеконцентратора по патрубку подвода 2 (конфузор) и затем поступает в зону установки системы жалюзийных элементов 5. За счет разряжения, создаваемого внешним вентилятором, воздушный поток с мелкими частицами пыли поворачивает на 180^0 проходя через жалюзийные элементы и выходит через патрубок вывода 3 (диффузор) из пылеконцентратора. А крупные частицы, находящиеся в воздушном потоке, за счет сил инерции, пытаясь сохранить траекторию движения по прямой линии выпадают в патрубок вывода 4 и выносятся из концентратора.

На рис. 3. представлена фотография входного патрубка (конфузор) и выходного патрубка (диффузор).

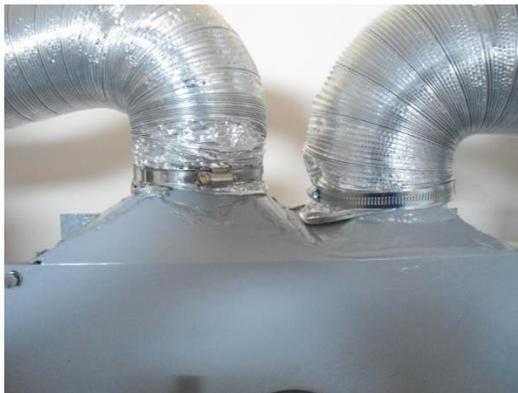


Рис. 3. Фотография входного патрубка (конфузор) и выходного патрубка (диффузор)

За счет того, что жалюзийные элементы способны вращаться вокруг своих осей и перемещаться по горизонтали, в инерционном концентраторе создаются условия для управления процессом отделения из запыленного потока частиц необходимого размера. Также можно подобрать такие режимы его работы при котором в зависимости от объемов перекачиваемого запыленного воздуха и типа пыли можно снизить гидравлическое сопротивление аппарата до минимума.

На рис. 4 представлена фотография системы жалюзийных элементов в инерционном концентраторе.



Рис. 4. Фотография системы жалюзийных элементов в инерционном концентраторе

Таким образом, конструкция экспериментальной установки и режимы ее работы соответствуют всем требованиям условий многофакторного эксперимента по исследованию инерционного концентратора с регулируемыми параметрами.

Список литературы

1. Sharapov R., Agarkov A. Determination of the aerodynamic characteristics of a concentrator with adjustable parameters // MATEC Web of Conferences. 2018. С. 03014.

2. Агарков А.М. Анализ конструкций обеспыливания воздуха // Сборник докладов XXIII Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. 2019. С. 265-269.

3. Агарков А.М., Харламов Е.В. Разработка аспирационного оборудования для производства дорожно-строительных материалов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства Материалы Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Ш.М. Мерданов. 2018. С. 22-26.

4. Агарков А.М., Харламов Е.В. Разработка аспирационного оборудования для производства дорожно-строительных материалов // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Ш.М. Мерданов. 2018. С. 22-26.

5. Агарков А.М., Шарапов Р.Р. Трёхмерное моделирование газодинамических процессов в инерционном концентраторе // Строительные и дорожные машины. 2020. № 9. С. 46-49.

6. Агарков А.М., Шарапов Р.Р., Харламов Е.В. Совершенствование конструкций пылеочистного оборудования // Системные технологии. 2018. № 4 (29). С. 96-100.

7. Инерционный пылеконцентратор: пат. 157341 Рос. Федерация. № 2014152565/05 / Шарапов Р.Р., Овсянников Ю.Г. и др.; заявл. 24.12.2014; опубл. 27.11.2015, Бюл. № 33. 2 с.

Модернизация одноступенчатого четырехколесного гидротрансформатора

Тульский государственный университет, г. Тула, Россия

В трансмиссиях самоходных подъемно-транспортных и строительно-дорожных машин отечественной разработки применяются гидромеханические передачи (ГМП), в которых используются одноступенчатые четырехколесные гидротрансформаторы, с реактором, состоящим из двух рабочих колес. Такие гидротрансформаторы применяются в ГМП городских автобусов, тяжелых грузовых автомобилей и тягачей, карьерных самосвалов, промышленных колесных и гусеничных тракторов, фронтальных погрузчиков, автогрейдеров, скреперов, маневровых тепловозов, машин военного назначения [1]. Первые отечественные образцы таких гидротрансформаторов типа ЛГ с литыми рабочими колесами были разработаны в конце 1950-х – начале 1960-х гг. в НАМИ под руководством С.М. Трусова на основе конструкций гидротрансформаторов компаний General Motors и Chrysler [2]. Максимальное значение коэффициента трансформации для четырехколесных гидротрансформаторов с непрозрачной характеристикой достигает значений $K=3,0-3,6$ [3].

В течение 60 лет гидротрансформаторы типа ЛГ продолжают свой жизненный цикл. В то же время конструкция таких гидротрансформаторов имеет резервы для модернизации. Одно из решений связано с оперативным регулированием нагрузочной способности гидротрансформатора за счет отдельного использования реакторных колес с различными параметрами лопаток [4]. Такое техническое решение позволяет получить два значения коэффициента прозрачности гидротрансформатора, который при наличии четырех рабочих колес работает как трехколесный. Схема регулируемого гидротрансформатора показана на рис. 1. Активация реакторов P1 и P2 осуществляется при помощи тормозов TM1 и TM2 соответственно.

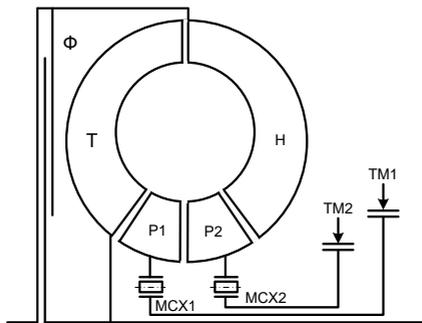


Рис. 1. Схема регулируемого гидротрансформатора

Другое направление модернизации связано с превращением одноступенчатого гидротрансформатора в двухступенчатый, позволяющее увеличить коэффициент трансформации и расширить тем самым диапазон преобразования вращающего момента двигателя. В основу этого направления модернизации положена конструкция двухступенчатого блокируемого гидротрансформатора Ultramatic американской компании Packard Motor Car Company (патент США № 2630895, 1953 г.), разработанный инженером Форестом МакФарландом (Forest McFarland). Позднее в ГМП Twin Ultramatic гидротрансформатор стал комплексным (рис. 2). В гидротрансформаторах Ultramatic содержится четыре рабочих колеса: насос Н, первая и вторая турбины Т1 и Т2 центробежного и осевого типов соответственно, реактор Р, связанный с корпусом посредством муфты свободного хода МСХ. Турбина второй ступени Т2 в круге циркуляции рабочей жидкости расположена после турбины первой ступени Т1 и реактора Р. Фрикционная муфта Ф блокирует гидротрансформатор. Соединение первой и второй турбин между собой осуществляется внутри гидротрансформатора при помощи специальных фланцев и болтов, что в определенной степени усложняет конструкцию гидротрансформатора [5, 6].

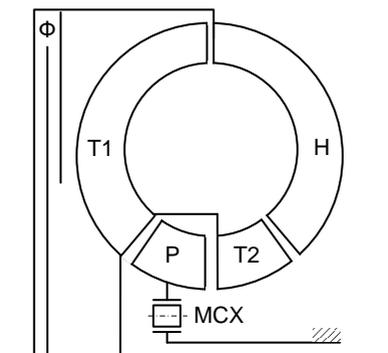


Рис. 2. Схема двухступенчатого гидротрансформатора Ultramatic

Лопаточная система исходного гидротрансформатора с двумя реакторными колесами позволяет использовать колесо второго реактора как вторую турбину с соответствующим профилированием лопаток. Это может быть достигнуто за счет выноса механической связи между первым и вторым турбинными колесами за пределы круга циркуляции рабочей жидкости.

На рис. 3 приведена кинематическая схема двухступенчатого гидротрансформатора, спроектированного на основе четырехколесного одноступенчатого гидротрансформатора типа ЛГ.

Гидротрансформатор 1 смонтирован в корпусе 2 и содержит насосное колесо 3 центробежного типа, которое соединено с ведущим валом 4, первое турбинное колесо 5 центростремительного типа, которое соединено с ведомым валом 6, реактор 7, вторую турбину 8 осевого типа, которая соединена с промежуточным валом 9. На промежуточном валу 9 установлена ведущая шестерня 10 двухступенчатой зубчатой передачи 11. Ведущая шестерня 10 зацеплена с шестерней 12, которая установлена на промежуточном валу 13, на котором также установлена шестерня 14, зацепляющаяся с шестерней 15, установленной на ведомом валу 6. При этом передаточное отношение зубчатой передачи является положительным по знаку. Реактор 7, как и в исходном гидротрансформаторе, связан с корпусом ГМП с помощью муфты свободного хода 16 через промежуточный элемент 17.

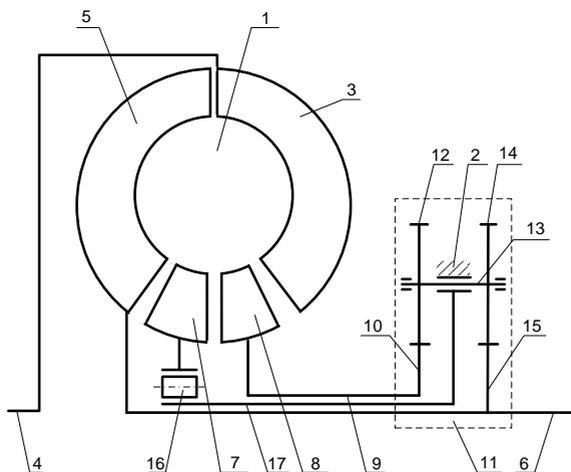


Рис. 3. Схема двухступенчатого гидротрансформатора

Работа двухступенчатого гидротрансформатора осуществляется следующим образом. Приводной двигатель приводит во вращение ведущий вал 4. Насосное колесо 3 создает поток и напор рабочей жидкости, которая

последовательно проходит через первое турбинное колесо 5, реактор 7, второе турбинное колесо 8 и возвращается в насосное колесо 3. Вращающий момент, возникающий на первом турбинном колесе 5, непосредственно передается на ведомый вал 6. Вращающий момент, возникающий на втором турбинном колесе 8, через промежуточный вал 9, шестерни 10 и 12, промежуточный вал 13, шестерни 14 и 15 двухступенчатой согласующей зубчатой передачи 11 передается на ведомый вал 6 и суммируется с вращающим моментом, поступающим от первого турбинного колеса 5.

Если передаточное число зубчатой передачи $(Z_{15} \times Z_{12}) / (Z_{14} \times Z_{10})$ равно 1, то гидротрансформатор является двухступенчатым в соответствии с классификацией [7], так как его турбинные колеса 5 и 8 вращаются с одинаковой угловой скоростью. Если же передаточное число зубчатой передачи больше 1, то в соответствии с той же классификацией гидротрансформатор является двухтурбинным, так как его турбинные колеса 5 и 8 вращаются с разными угловыми скоростями, а суммирование вращающих моментов турбин осуществляется при помощи зубчатых передач.

Таким образом, внешняя механическая связь между турбинами первой и второй ступеней позволяет получить новые свойства гидротрансформатора при сохранении высокой степени унификации с исходной конструкцией. Предлагаемый гидротрансформатор ориентируется на применение в трансмиссиях грузовых автомобилей, тракторов, подъемно-транспортных, строительно-дорожных и иных самоходных машин на колесном и гусеничном ходу.

Выводы:

1. Наличие двух турбинных колес позволяет повысить коэффициент трансформации и расширить диапазон автоматического регулирования момента приводного двигателя.

2. Предлагаемый гидротрансформатор в зависимости от передаточного числа согласующей зубчатой передачи может иметь свойства или двухступенчатого, или двухтурбинного гидротрансформатора.

3. Гидротрансформатор может быть реализован на основе унифицированных конструктивных элементов серийных одноступенчатых четырехколесных комплексных гидротрансформаторов типа ЛГ и ГТ.

Список литературы

1. Нарбут А.Н. Гидромеханические передачи автомобилей: учебное пособие. – М.: ООО "Гринлайт+", 2010. 192 с.

2. Трусов С.М. Семейство гидротрансформаторов с улучшенными характеристиками для грузовых автомобилей и городских автобусов // Автомобильная промышленность. 1965. № 8. С. 17-19.

3. Трусов С.М. Автомобильные гидротрансформаторы. – М.: Машиностроение, 1977. 271 с.
4. Трушин Н.Н. Регулирование одноступенчатого гидротрансформатора с двумя реакторами // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники: материалы Всерос. науч.-практич. конф. Брянск: БГТУ, 2018. С. 28-32.
5. Хельдт П.М. Автомобильные сцепления и коробки передач. – М.: Машгиз, 1960. 440 с.
6. Лапидус В.И., Петров А.В. Гидромеханические передачи автомобилей. – М.: Машгиз, 1961. 495 с.
7. Мазалов Н.Д., Трусов С.М. Гидромеханические коробки передач. – М.: Машиностроение, 1971. 296 с.

А.А. Асанов

Конструктивные особенности и результаты предварительного испытания пиролизной установки

Кыргызский государственный горный университет, г. Бишкек, Киргизия

Одним из важных направлений реализации новой угольной политики в Кыргызстане является преобразование отрасли из сырьевой в отрасль по добыче и глубокой переработке угля. Такая направленность призвана повысить уровень конкурентоспособности угольной промышленности, существенное развитие угледобывающих территорий, получение различной продукции из угля с новыми потребительскими свойствами [1,2].

Отсутствие мощных угледобывающих предприятий, низкое качество угля, добываемого открытым способом, длинные транспортные плечи, основанные на автомобильных перевозках не могут покрыть небольшие потребности в увеличении объемов добычи угля, связанные с экспортом в соседние граничащие с нами страны. Ограничения экспорта местных углей связано с все возрастающими требованиями к качеству энергетических углей. Потребности и темпы развития основных секторов экономики соседних стран, потребляющих уголь в больших объемах, постоянно растут, поэтому угольный рынок переходит в жесткую зависимость от качества поставляемого угля и ее цены.

В качестве одного из возможных решений задачи в этих условиях рассматривается термическая переработка низкосортных бурых углей с высоким содержанием летучих веществ. Целевым продуктом является обогащенное твердое топливо – полукокс и попутный горючий газ. Эта технология имеет высокий уровень экологической безопасности и экономической эффективности. Термическое обогащение бурых углей с целью получе-

ния облагороженного твердого топлива повышенной теплотворности обуславливает применение пиролизных агрегатов. При поддержке департамента науки при Министерстве образования и науки Кыргызской Республики и Заказчика в лице ООО «АСКА» на основе патента КР № 1614 была разработана конструкция пиролизной установки (ПУ) для полукоксования угля. Отличительной его особенностью является то, что в данной конструкции впервые в Кыргызстане реализован принцип термической деструкции углей с использованием техники кипящего слоя. Общий вид конструкции пиролизной установки представлен на рисунке 1.

Устройство работает следующим образом. Подлежащее переработке твердое топливо непрерывно загружается сверху в цилиндрический реактор 2 через течку 3 газогенератора 1 и поступает на поверхность решетки 4, а затем и решетки 5. При подаче воздуха линией 17 в камеры 10 и 11 на решетках 4 и 5 образуется кипящий слой, за счет чего интенсифицируется процесс газификации непрерывно поступающего угля через течку 3.

Образующийся в верхней части реактора 2, при воздействии на твердое топливо высокотемпературных продуктов горения и воздушного дутья, генераторный газ вместе с парами влаги и угольной пылью по трубопроводу 16, при подаче воздуха через линию 17 и эжектор 15, заново поступает в камеры 10 и 11, далее по отверстию 13 проходит сверху вниз через толщу топлива в корпусе пиролизера 10 к коллектору 14, откуда он в смеси с образующимся пиролизным газом поступает к потребителю. Остаточный продукт пиролиза в виде сухого полукокса из нижней части пиролизера 12 отбирается шнеком 19 и также направляется потребителю в качестве ценного продукта. Чтобы камеры 10 и 11 не забивались угольной пылью, на трубопроводе 16 между цилиндрическим реактором 2 и эжектором 15 установлен циклон 18, выход последнего сообщен со шнеком 19 для выгрузки полукокса.

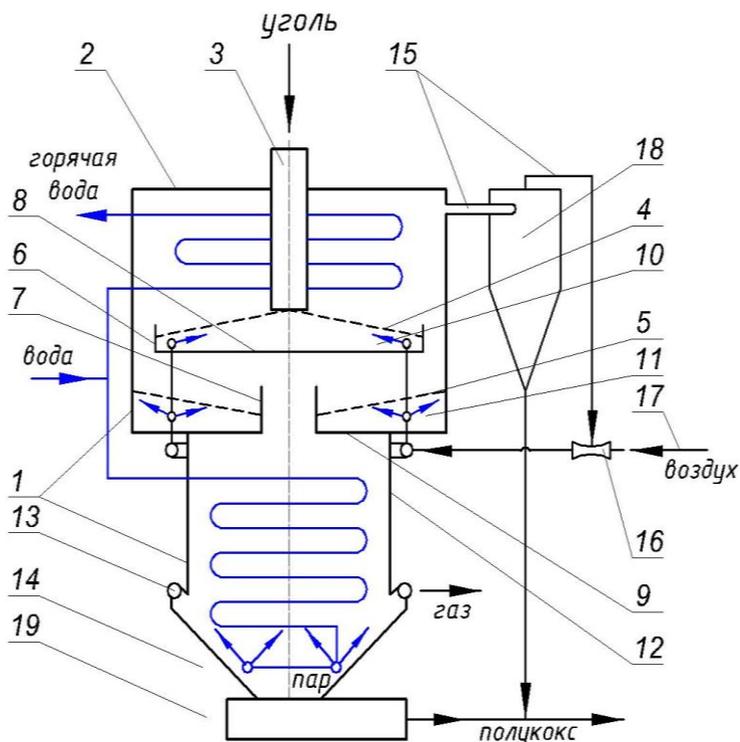


Рис. 1. Принципиальная схема пиролизной установки: 1- корпус установки, 2 - цилиндрический реактор, 3 – шнеконапорный модуль, 4, 5 - газо-распределительные кольцеобразные решетки, 6, 7 переливные стенки, 8, 9 - кольцеобразные диски, 10, 11 – камеры, 12 - нижний реактор, 13 – фурма, 14 - коллектор, 15 – эжектор, 16 – тройник, 17 - труба для подачи воздуха. 18 – циклон, 19 - шнек для полукокса.

Для регенерации тепла в устройстве предусмотрена система охлаждения, в виде двух трубных пучков, один из которых помещен в слое, другой над слоем. Они служат для управления температурным режимом кипящего слоя, а также для охлаждения продуктов сгорания. Возможность использования увлажненного дутья (фурмы с паровым дутьем) позволяет улучшить экологические параметры, а также повысить теплотворность получаемого горячего газа.

Система очистки угольных газов от твердых частиц состоит из инерционного циклона. Возврат продуктов уноса не в кипящий слой, а в конечный продукт – полукокс предохраняет установку от них и повышает надежность работы системы воздушного дутья. За счет упрощения конструкции и интенсификации процессов повышается производительность агрегата. Получение газа низкой теплоты сгорания до 1200 ккал/м³ требует того или иного сочетания воздушной и паровоздушной газификации. По-

лучаемый при этом газ можно использовать для технологических целей.

Для проверки работоспособности были проведены испытания разработанной конструкции пиролизной установки. Исходя из сути поставленной задачи, цель испытания установки можно сформулировать так:

1. Проверка работоспособности предложенной схемы установки кипящего слоя со шнековым органом, совмещающую функцию загрузки реактора с перемещением слоя угля по наклонной газораспределительной решетке, где создается псевдожизненный слой.

2. Определение параметров и выявление резервов совершенствования, которые планируются использовать в последующих вариантах конструкций пиролизных установок данного типа.

3. Экспериментальная проверка технико-технологических решений, реализованных в конструкции установки кипящего слоя.

Испытание установки осуществлялись в натурных условиях, общий вид которой, с укомплектованными дополнительными узлами приведен на рис. 2. Загрузка фракционированного угля в бункер осуществляется скиповым подъемником. Подача угля в реактор осуществлено вертикально смонтированным шнековым модулем, что позволило отказаться от отдельного силового блока для подачи топлива в кипящий слой и его перемещения по газораспределительной решетке и упростить конструкцию. Кроме того, для предохранения прорыва части дымовых газов через слой топлива при загрузке, в шнековом устройстве использован вал с лопастями разной конструкции и переменным шагом [3].



Рис. 2. Общий вид пиролизной установки кипящего слоя

Рабочая камера нижней части реактора – сборника коксового продукта, выполненная с водяной рубашкой, позволило управлять температурным режимом реализуемого в ней процесса газификации коксового продукта с использованием в качестве окислителя водяного пара. В предлагаемой схеме конструкции пиролизного агрегата осуществлено комбинирование процессов пиролиза и газификации угля в кипящем слое.

В соответствии с поставленной задачей на данном этапе исследований проводились запуск пиролизной установки, визуальное наблюдение за работой и измерение некоторых параметров перфоратора. В частности, были измерены угловая скорость шнека, мощности, потребляемой установкой, среднее значение температуры в разных точках кипящего слоя.

По результатам многократных запусков реактора была установлена ее работоспособность, что является основной целью работы по созданию новой пиролизной установки для полукоксования угля.

В процессе испытаний было проведено измерение некоторых параметров работы ПУ, для чего, установка была укомплектована соответствующей измерительной аппаратурой.

Результаты предварительных испытаний сведены в таблицу 1. Они показывают, что разработанная ПУ обеспечивает режим работы, позволяющий проводить низкотемпературный пиролиз угля и получения полукокса и газа. Величина параметров, в частности угловая скорость шнекового устройства и температура в реакторе, сопоставимы с величинами аналогичных параметров пиролизеров кипящего слоя. При этом достигнутая производительность по полукоксу при испытании равна 1,0 т/час. Для сравнения можно отметить, что котельное оборудование, переделанное под пиролиз потребляет 10 т/час угля, выход угля равна 2,5 т/час [2].

Таблица 1. Основные результаты испытаний

Основные показатели	Единица измерения	Величина
1. Пропускная способность по углю	т/час	2,0
2. Время пребывания угля в реакторе	мин	20
3. Среднее значение температуры в реакторе давления в напорной магистрали	°С	750
4. Калорийность генераторного газа	ккал/м ³	1200

Данные, полученные в процессе предварительных испытаний ПУ, показывают возможность его дальнейшего совершенствования и повышения производительности, что является целью последующих работ в данном направлении. В частности, выявилась возможность использования отходящих дымовых газов реактора в качестве теплоносителя для предварительной сушки перерабатываемого угля. Энергетические параметры и количество попутного газа при тех же габаритных размерах, могут быть увеличе-

ны существенно путем использования паровоздушного дутья, при одновременном увеличении его калорийности.

На основе результатов апробации и испытаний можно сделать вывод о том, что экспериментальный образец может служить прототипом пилотного образца пиролизной установки для термического обогащения угля. Причем выходные показатели такой установки могут варьироваться в весьма широких пределах.

Таким образом, на основе проведенных испытаний ПУ можно сделать следующие выводы, которые, на наш взгляд, показывают преимущество данной конструкции и дальнейшие перспективы развития работ в данном направлении.

1. Отсутствие традиционного для пиролизных машин кипящего слоя подвижной решетки как самостоятельного механизма.

2. Использование в реакторе ярусного размещения газораспределительной решетки с единым механизмом шнекового типа для подачи и перемещения подвижного слоя угля.

3. Возможность обеспечения достаточно высокой пропускной способности и производительности ПУ, величины которых могут быть сопоставимы с показателями модернизированных котельных установок.

4. По сравнению с модернизированными котельными установками, предлагаемая конструкция ПУ характеризуется малыми массо-габаритными параметрами, что создает предпосылки к созданию пиролизных машин повышенной производительности, сопоставимыми с параметрами существующих машин.

Список литературы

1. Асанов А.А. Энергоэффективное использование углей Кыргызстана. Бишкек.: «Инсанат», 2018, 292 с.

2. Исламов С.Р. Энерготехнологическая переработка угля. Красноярск: Поликор, 2010. 224 с.

3. Асанов А.А., Асанова А.А., Орозов К.К. Развитие современных угольных технологий в Кыргызстане. /Горный журнал, Москва, № 8, 2016, с. 61-66

Определение эмпирических параметров для математической модели пневматического монтажного пистолета

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

В статье представлены результаты определения эмпирических параметров рабочих характеристик пневматических монтажных пистолетов.

На основе чего получены зависимости, которые дают научное основание к реализации математической модели работы инструмента.

Построенная математическая модель (1) включает величины, которые не имеют достоверных методик вычисления и справочных данных их численных значений характеризующие условия работы и поэтому их необходимо определить посредством эксперимента.

Достоверность построенной модели была проверена серией экспериментов. Основная суть которой представлена в источнике 1.

В настоящем этапе стояла задача получения эмпирических данных по следующим параметрам модели:

$F_{\text{вн}}$ – сила, необходимая для внедрения гвоздя в материал;

1. *Вычисление величины $F_{\text{вн}}$ проводилось двумя различными способами.*

• Динамический способ- в этом случае на шляпку гвоздя бросался груз на копре Рисунок 1, данная методика подразумевает:

- определение кинетической энергии E (Таблица 1а), необходимой для забивки гвоздя на всю длину в материал, Рисунок 1 а;

Стенд представляет собой каретку свободно перемещающуюся по направляющей (рис 1 а). Величина хода по направляющей составляет 760 мм и в ходе эксперимента не меняется.

Учет сил трения каретки с падающим грузом производился путем введения поправочного коэффициента K :

$$E = K(m)E^{\text{расч}}$$

где m – масса груза, кг; $E^{\text{расч}}$ – расчетное значение кинетической энергии, Дж.

Значения коэффициента определялись по величинам нагрузок, появляющихся при ударе каретки, и фиксируется пьезоэлектрическим акселерометром (Рисунок 1 б).

- среднего усилия (Таблица 1 б) внедрения вычислялось по формуле (1);

$$F_{\text{вн}}^{\text{ср}} = \frac{E}{l_{\text{ГВ}}} \quad (1)$$

- обоснование зависимостей затрачиваемой энергии E от глубины внедрения x , путем не полной забивки гвоздя на различную глубину (Рисунок 2).

• Статический эксперимент предполагает:

- медленное погружение гвоздя в материал на прессе с записью осциллограммы (Рисунок 3); скорость внедрения - 5 ... 8 мм/с

- интегрирование осциллограмм и расчет затраченной энергии (Таблица 2);

а.



б.

$$K(m) = 0.681 e^{-0.151m} + 0.396$$

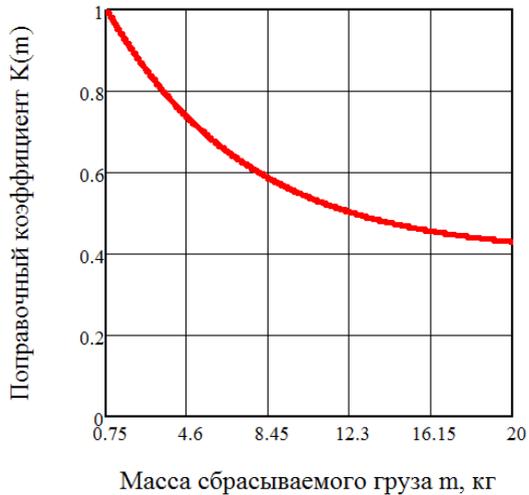


Рис. 1. Эксперимент по определению энергии, затрачиваемой на внедрение гвоздя
а. экспериментальный стенд;

б. Зависимость коэффициента K при расчете кинетической энергии падающего груза, с потерями на трение каретки- определение аппроксимирующих зависимостей (2).

$$F_{\text{вн}} = f(x), x = 0 \dots l_{\text{ГВ}} \quad (2)$$

Для всех экспериментов в качестве материала использовалась сухая береза 8% влажность. Для определения влажности материала использовался влагомер STSNLEY 0-77-030

Таблица 1 а – Энергоемкость внедрения гвоздя

Энергия E , Дж		Длина гвоздя, мм										
		16	20	25	32	40	50	60	70	75	90	100
Диаметр гвоздя, мм	2	5	7	9	12	16						
	2.5	7	9	13	16	20	25	30				
	3	7	9	13	16	21	26	32	37			
	3*	20	22	24	26	29	33	36	39	41		
	3.5	17	20	21	23	27	30	33	37	38	42	
	4	17	20	22	25	27	32	34	37	40	45	48

* гвоздь ершеный.

Таблица 1 б – Среднее усилие эквивалентное работе внедрения гвоздя

Усилие $F_{вн}^{ср}$, Н		Длина гвоздя, мм										
		16	20	25	32	40	50	60	70	75	90	100
Диаметр гвоздя, мм	2	312	350	360	374	424						
	2.5	437	450	480	500	500	520	516				
	3	437	450	480	500	524	520	532	542			
	3*	532	556	600	660	724	813	960	1150	1312		
	3.5	472	506	528	550	600	674	717	840	1000	1124	
	4	491	500	533	543	567	620	674	750	840	1000	1124

а.



б.

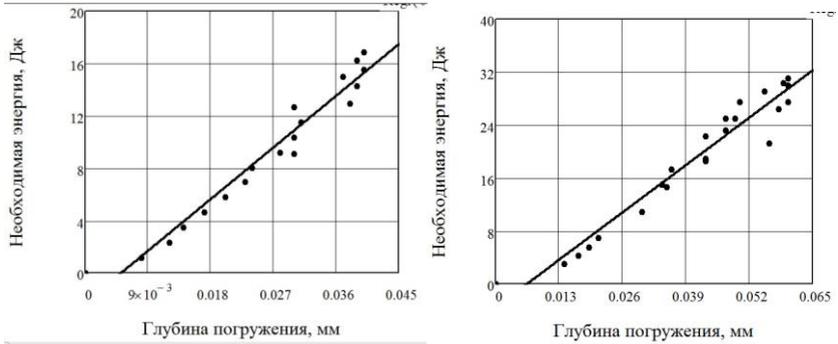


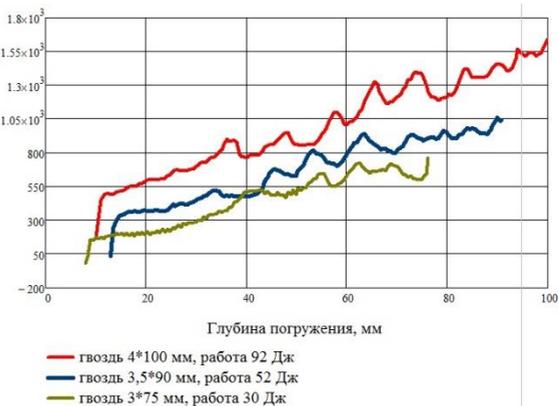
Рис. 2. Динамический метод определение энергии внедрения гвоздя:

а. - общий вид испытательного стенда;

б. – полученные зависимости энергии внедрения гвоздя от глубины погружения (гвозди 2 * 40 мм и 2,5 * 60 мм соответственно)

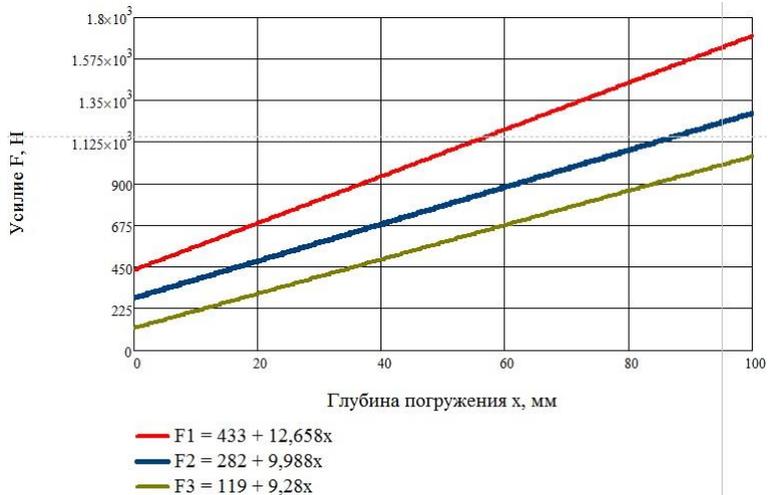


Усилие, Н



а.

б

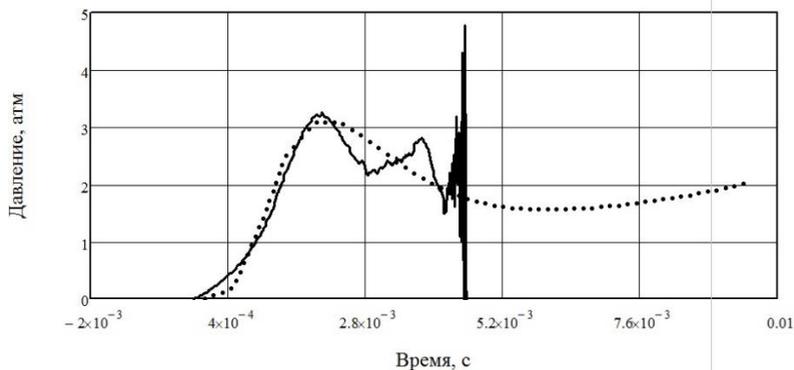


в

Рис. 3. Статическое определение усилия вдавливания:
 а. – общий вид стенда; б. – пример осциллограммы; в. – аппроксимирующие зависимости

Таблица 2 – Энергоемкость вдавливания гвоздя материал

Работа А, Дж		Длина стержня гвоздя, мм		
		70	90	100
Диаметр стержня гвоздя, мм	3	30		
	3.5	?	53	
	4			93



Список литературы

1. Гненный Исследование динамики ручного гвоздезабивного молотка с 169-174 Материалы с 19-й Московской Международной Межвузовской Конференции аспирантов и молодых ученых 14 – 15.04.2016 г.. Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы.
2. Гненный, Смирнов, Кожевников Исследование динамики ручного гвоздезабивного молотка с. 169-174 Материалы с 19-й Московской Международной Межвузовской Конференции аспирантов и молодых ученых проходившей 9.04.2015 г.. Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы.

Микротопографические показатели поверхностей трения рабочих органов и сопряжений строительной техники

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Введение.

Износостойкость и долговечность трущихся деталей обуславливается, главным образом, твердостью поверхностей трения и ее отношением к твердости сопрягаемых элементов или обрабатываемых абразивных сред [1,2]. В результате фрикционных контактов активные подповерхностные слои деталей испытывают трибodeформационное упрочнение или разупрочнение, определяющее их относительную износостойкость. Оптимальным является материал, испытывающий незначительные изменения начальной (технологической) твердости, когда ее отношение к эксплуатационной (трибокинетической) твердости близко к единице [3,4].

При динамическом (например, ударно-абразивном) изнашивании существенное значение имеют показатели пластичности, определяющие ударную вязкость материалов.

Применительно к активным поверхностным слоям, обладающим той или иной микрошероховатостью, возникает необходимость введения аналогичных макромеханическим показателям прочности и пластичности микропоказателей. Таким показателем является широко применяемая микротвердость [6]. Показатели микропластичности требуют обоснованного применения.

Целью исследования является установление взаимосвязи предлагаемых показателей микропластичности со степенями трибodeформационного упрочнения – разупрочнения поверхностей трения.

Целевыми задачами являются:

1. Профилографирование изношенных поверхностей деталей.
2. Построение нормализованных систем относительных опорных линий и сближений.
3. Установление характерных координатных показателей нормализованной системы.
4. Формирование взаимосвязей показателей микропластичности со степенями трибodeформационного упрочнения-разупрочнения поверхностей трения.
5. Определение класса прочности использованных триботехнических материалов.
6. Анализ результатов исследования.
7. Формулирование выводов и рекомендаций.

Методика исследования.

Профилографирование изношенных поверхностей выполняли с использованием профилографов-профилометров моделей 201-ПГ-5 (Россия) и «Талисерор-4» (Великобритания) применительно к ножам дорожной фрезы с шарнирными лопатками [5,6], дробящим плитам щековой дробилки [5] и шарнирным деталям гидравлического экскаватора [7]. Профилограммы снимались при вертикальном и горизонтальном увеличении 1000 и 20, 4000 и 40 (для шарниров).

По профилограммам строились нормализованные системы относительных опорных линий и сближений t_p - ε [8,9]. Характерными координатными показателями

1. Парциальные микроизнос D_a и микрометалл D_m , соответствующие долям микровпадин и микровыступов в пределах базовой длины шероховатого слоя, определяемые отношениями отрезков:

$$D_a = C_a P / C_a C_m, \quad D_m = C_m P / C_a C_m, \quad D_m + D_a = 1 \quad (1)$$

2. Относительная опорная линия t_{pp} при полюсном относительном сближении ε_p :

$$t_{pp} = 1 / (1 + 2D_a). \quad (2)$$

3. Относительное микроудлинение при полюсном сближении ε_p :

$$\delta = 0,5(1 - t_{pp}) \quad (3)$$

4. Отношение микроудлинения и парциального микроизноса:

$$\delta / D_a = \delta / \varepsilon_p = \delta / \psi = t_{pp}, \quad (4)$$

где парциальный микроизнос, равный относительному полюсному сближению $D_a = \varepsilon_p$, принят в качестве микропластического относительного сужения ψ .

Сформированы следующие взаимосвязи показателей микропластичности со степенями трибдеформационного упрочнения (разупрочнения)

$$K_s^{-1} = (\delta / D_a)^\delta = t_{pp}^\delta = t_{pp}^{0,5(1-t_{pp})} \quad (5)$$

$$K_s^{-1} = (1 + \delta)^{-(1+\delta)} \quad (6)$$

$$K_s^{-1} = (1 + K_\delta)^{-n_i} \quad (7)$$

где $K_s = H_s / H_0$ - отношение микротвердости изношенной поверхности к исходной микротвердости;

$$K_\delta = (1 - \delta)^{1/\delta} \quad (8)$$

n_i - показатели степени, соответствующие гармоническим значениям системы золотой пропорции [10]: $n_1 = 0,618$; $n_2 = 0,382$.

Значения K_s определяются по зависимости:

$$K_s = (0,618/D_m)^{D_m/D_a} \quad (9)$$

где $0,618 = D_{m\gamma}$ - гармоническое значение парциального микрометалла.

Достоверными расчетными результатами по зависимостям (5), (6) и (7) принимаются такие, которые близки по числовым значениям между собою левой части уравнений при соответствующей степени n_i уравнения (7).

При $n_1=3,618$ материал низкой прочности, $n_2=2,618$ – пониженной, $n_3=1,618$ – средней, $n_4=0,618$ – повышенной и при $n_5=0,382$ – высокой прочности.

По данной классификации используемый материал оценивается рациональным или нуждается в замене.

Результаты исследования.

Результаты исследования микропографических показателей поверхностей трения изношенных ножей дорожной фрезы, наплавленных различными износостойкими сплавами и способами [5,6], представлены в таблице 1.

Таблица 1. Микропографические показатели поверхностей трения ножей дорожной фрезы.

Материал	D_a	t_{pp}	δ	K_δ	(K_s) K_s^{-1}	K_s^{-1} по (5)	K_s^{-1} по (6)	K_s^{-1} по (7)	Δ_5 , %	Δ_6 , %	Δ_7 , %	n_i
И-1	0,68	0,424	0,288	0,307	0,734	0,781	0,722	0,648	1,63	1,62	11,7	0,618
Э-1	0,64	0,439	0,281	0,309	0,738	0,793	0,728	0,647	7,45	1,36	12,4	1,618
ЦН-16	0,54	0,481	0,260	0,314	0,778	0,827	0,747	0,845	6,30	4,00	8,61	0,618
СКБ	0,60	0,455	0,273	0,311	0,749	0,807	0,736	0,846	7,74	1,74	13,0	0,618
Т-620	0,38	0,568	0,216	0,324	(0,995)	0,885	0,788	0,898	11,1	20,8	9,75	0,382
КБХ-45	0,35	0,588	0,206	0,326	(0,911)	0,896	0,798	0,898	1,65	12,4	1,43	0,382
Х-5	0,34	0,595	0,202	0,327	(0,910)	0,900	0,802	0,898	1,10	11,9	1,32	0,382
ПЛ-400Х38Г3 РТЮ	0,49	0,505	0,248	0,317	0,819	0,844	0,758	0,844	3,05	7,45	3,05	0,618

По результатам таблицы 1 можно сформулировать следующие выводы.

1. Расчеты по предлагаемым зависимостям (5), (6), (7) обеспечивают близкое соответствие экспериментальным значениям K_s^{-1} при упрочнении и K_s при разупрочнении материалов. Расхождения составляют $\Delta_5=1,1-7,74\%$ при расчете по (5), $\Delta_6=1,36-20,8\%$ по (6), $\Delta_7=1,32-13\%$ по (7). Наибольшее отклонение $\Delta=20,8\%$ отмечается для разупрочняющегося наплавленного металла Т-620.

2. Указанные незначительные отклонения от экспериментальных величин K_s^{-1} и K_s при расчете по контрольному выражению (7) получены при гармонических показателях золотой пропорции $n=1,618$ (наплавка

электродами Э-1); $n=0,618$ (наплавки электродами И-1, ЦН-16, и порошковой лентой ПЛ-400Х38ГЗРГЮ); $n=0,382$ (наплавка электродами Т-620, КБХ-45 и Х-5).

3. Наплавки характеризуемые показателями степени $n=1,618$, $n=0,618$, $n=0,382$, относятся соответственно к материалам средней, повышенной и высокой прочности. Следовательно, для повышения износостойкости и долговечности ножей дорожной фрезы целесообразны наплавки электродами типа Х-5, КБХ-45 и Т-620.

4. Рекомендации п.3 подтверждаются меньшими значениями парциального микроизноса указанных наплавков ($D_a=0,34$; 0,35 и 0,38), а также степенями трибдеформационного разупрочнения близкими к 1,0 ($K_s=0,91$; 0,911 и 0,995).

В таблице 2 приведены микротопографические показатели изношенных поверхностей дробящих плит щековой дробилки, наплавленных покрытыми электродами электродуговым способом [5].

Таблица 2. Микротопографические показатели дробящих плит щековой дробилки.

Материал	Зона	D_a	t_{pp}	δ	K_s	(K_s) K_s^{-1}	K_s^{-1} по (5)	K_s^{-1} по (6)	K_s^{-1} по (7)	Δ_5 , %	Δ_6 , %	Δ_7 , %	n_i
Т-620	вход	0,408	0,551	0,225	0,322	0,940	0,874	0,780	0,900	7,02	17,0	4,26	0,382
ЭН-60М	вход	0,464	0,519	0,240	0,319	0,848	0,854	0,766	0,900	0,71	9,70	6,13	0,382
ВСН-8	вход	0,579	0,463	0,268	0,312	0,757	0,814	0,740	0,846	7,53	2,25	11,8	0,618
ВСН-6	вход	0,331	0,602	0,199	0,328	(0,852)	0,904	0,804	0,897	6,10	5,63	5,28	0,382
ВСН-8	сер.	0,365	0,578	0,211	0,325	(0,954)	0,891	0,793	0,898	6,60	16,9	5,87	0,382
Т-620	сер.	0,440	0,532	0,234	0,320	0,882	0,863	0,771	0,899	2,15	12,6	1,93	0,382
ЭН-60М	сер.	0,487	0,507	0,247	0,317	0,822	0,846	0,759	0,844	2,92	7,66	2,68	0,618
ВСН-8	вых.	0,540	0,481	0,260	0,314	0,778	0,827	0,747	0,845	6,30	3,98	8,61	0,618
Т-620	вых.	0,504	0,498	0,251	0,316	0,805	0,839	0,756	0,844	4,22	6,10	4,84	0,618

По результатам таблицы 2 можно сделать следующие выводы.

1. Вычисления по выражениям (5), (6) и (7) дают вполне удовлетворительное совпадение с экспериментальными величинами K_s^{-1} и K_s . Расхождения находятся в пределах $\Delta_5=0,71-7,53\%$, $\Delta_6=2,25-17,0\%$, $\Delta_7=1,93-11,8\%$.

2. Соответствие расчетных и экспериментальных показателей K_s^{-1} и K_s установлено при гармонических показателях $n=0,382$ и $n=0,618$, характеризующих соответственно наплавки высокой и повышенной прочности.

3. Показательна различная категория прочности наплавков в зависимости от их расположения в рабочих зонах дробящих плит. Так, наплавка Т-620 на входном участке и в середине плит характеризуется как высокопрочный, а на выходе - как материал повышенной прочности.

Наплавка ВСН-8 на входе и выходе плиты оценивается как материал повышенной прочности, в середине плиты – как высокопрочный. Наплавка ЭН-60М на входе - высокопрочный, в середине – повышенной прочности.

4. Отмеченные в п.3 категории прочности наплавков согласуются с величинами парциального микроизноса D_a : меньшим значениям соответствует высокопрочный материал, большим материал повышенной прочности. Высокопрочные наплавки имеют также степени трибодеструкционного упрочнения (разупрочнения) близкие к единице ($K_s^{-1} = 0,954; 0,940$ и $0,882$).

В таблице 3 приводятся микрофотографические показатели поверхностей трения изношенных борированных пальцев и втулок модельных шарниров рабочего оборудования гидравлического экскаватора [5, 7].

Таблица 3. Микрофотографические показатели шарнирных пар.

Деталь	D_a	t_{pp}	δ	K_δ	(K_s) K_s^{-1}	K_s^{-1} по (5)	K_s^{-1} по (6)	K_s^{-1} по (7)	Δ_5 , %	Δ_6 , %	Δ_7 , %	n_i
П1.1	0,597	0,483	0,285	0,308	0,774	0,813	0,725	0,847	5,04	6,33	9,43	0,618
П1.2	0,489	0,505	0,278	0,317	0,820	0,844	0,758	0,844	2,93	7,56	2,93	0,618
П2.3	0,427	0,560	0,220	0,323	0,904	0,880	0,785	0,841	2,65	13,2	6,97	0,618
П2.4	0,549	0,480	0,260	0,314	0,772	0,826	0,747	0,845	6,99	3,24	9,46	0,618
П3.5	0,417	0,565	0,218	0,324	0,807	0,883	0,786	0,841	9,42	2,60	4,21	0,618
П3.6	0,598	0,440	0,280	0,309	0,803	0,795	0,729	0,847	1,00	9,17	5,48	0,618
П4.7	0,433	0,555	0,223	0,323	0,838	0,877	0,782	0,841	4,65	6,68	0,36	0,618
П4.8	0,537	0,470	0,265	0,313	0,780	0,819	0,743	0,845	5,0	4,74	8,33	0,618
В1	0,391	0,680	0,160	0,336	0,977	0,940	0,842	0,895	3,79	13,8	8,39	0,382
В2	0,375	0,590	0,205	0,327	(0,981)	0,897	0,799	0,898	8,56	18,6	8,46	0,382
В3	0,363	0,690	0,155	0,337	0,954	0,944	0,847	0,895	1,05	11,2	6,18	0,382
В4	0,340	0,555	0,223	0,323	(0,880)	0,877	0,782	0,899	0,34	11,1	2,16	0,382
В5	0,346	0,620	0,190	0,330	(0,899)	0,913	0,813	0,897	1,56	9,57	0,22	0,382
В6	0,368	0,605	0,198	0,328	(0,962)	0,905	0,805	0,897	5,93	16,3	6,76	0,382
В7	0,374	0,590	0,205	0,327	(0,979)	0,897	0,799	0,898	8,38	18,4	8,27	0,382
В8	0,350	0,610	0,195	0,329	(0,911)	0,908	0,808	0,897	0,33	11,3	1,54	0,382

Выводы по таблице 3 заключаются в следующем:

1. Расчетные по формулам (5), (6), (7) значения K_s^{-1} и K_s согласуются между собою и с экспериментальными величинами: расхождения незначительны и составляют $\Delta_5=0,33-8,56\%$, $\Delta_6=2,6-18,6\%$, $\Delta_7=0,222-9,46\%$.

2. Лучшая корреляция расчетных и экспериментальных прочностных показателей K_s^{-1} и K_s обеспечивается при $n=0,618$ для пальцев и при $n=0,382$ для втулок. Следовательно, втулки проявляют себя как высокопрочные, а пальцы как повышенной прочности элементы.

3. Высокопрочной категории втулок соответствуют меньшие, чем у пальцев значения парциального микрометалла D_m и значения K_s близкие

единице (0,88-0,981). Отмеченное свидетельствует о большей поверхностной прочности и износостойкости втулок.

4. Принятая технология упрочнения пальцев и втулок электролизным борированием представляется вполне эффективной и рекомендована для промышленного применения.

Анализ результатов исследования.

Результаты исследования, полученные на различных по конструкции, назначению и свойствам объектах (ножи дорожной фрезы, дробящие плиты щечковых дробилок, шарнирные пары рабочего оборудования гидроэкскаваторов) показали возможность определения степеней трибодеструкционного упрочнения (разупрочнения) поверхностей трения посредством микропластических деформаций по предложенным зависимостям. Введением гармонических степенных показателей системы золотой пропорции предусмотрена прочностная классификация триботехнических материалов, позволяющая оптимизировать их выбор для конкретных условий эксплуатации трибосистем.

Основные выводы и рекомендации.

Предложенные взаимосвязи микропластических показателей и степеней трибодеструкционного упрочнения-разупрочнения активных подповерхностных слоев позволяют классифицировать триботехнические материалы по их эксплуатационной микропрочности и оптимизировать их с целью повышения износостойкости и долговечности.

Для исследованных ножей дорожной фрезы рекомендована наплавка электродами Х-5 типа 330Х26Г2Р2СТ твердостью 58-63HRC; для дробящих плит целесообразна наплавка электродами КБХ-45 типа 330Х25ГР2С 66-68 HRC; для шарнирных пальцев и втулок – электролизное борирование на твердость пальцев 51-55 HRC и втулок 57-64 HRC.

Список литературы

1. Основы трибологии (трение, износ, смазка). / Чичинадзе А. В., Браун Э. Д., Буше Н. А. — М.: Машиностроение, 2001. — 664 с.
2. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность) / Д. Н. Гаркунов. — М : Идательство МСХА, 2001. — 616 с.
3. Густов Ю.И., Густов Д.Ю., Воронина И.В. Методология определения триботехнических показателей металлических материалов // Сборник докладов Словацко-российско-польского семинара "Теоретические основы строительства"-М.: 2007. С. 339-342.
4. Густов Ю.И., Юшков А.А., Слетов С.Ю. Методика выбора материалов для трущихся деталей по твердости изношенных поверхностей // Механизация строительства. 2016. №11. С. 18-21.

5. Густов Ю. И. Триботехника строительных машин и оборудования. М.: Московский государственный строительный университет. МГСУ, 2011. 192 с.
6. Густов Ю.И., Ципурский И.Л. Исследование эксплуатационных показателей ножей дорожной фрезы с шарнирными лопатками // Приводы и компоненты машин, 2019. №1-2, с. 24-27.
7. Густов Д.Ю., Шишков П.Е. Влияние вида работ гидравлического экскаватора на износ шарниров рабочего оборудования // Механизация строительства. 2017. №12. С. 23-27.
8. Густов Ю.И., Воронина И.В., Орехов А.А. Методология исследования трибомеханических показателей строительной техники // Механизация строительства. 2011. №8. С. 10-12.
9. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем. - М.: ООО «Магистр - Пресс», 2005-536 с.
10. Коробко В.И. Золотое сечение и проблемы гармоник систем. - М.: АСВ стран СНГ, 1998. - 373 с.

М.Ф. Закиров, В.П. Баранчик

Определение сопротивлений на рабочих органах малогабаритных снегоочистителей

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

Малогабаритные снегоочистители с различными видами рабочих органов широко используются для очистки тротуаров, небольших придомовых территорий и проездов от свежеснежного и уплотненного снега. Мотоблок с плужным рабочим органом (лопата-отвал), как маленький бульдозер, сдвигает свежеснежный или наметенный снег в сторону или перед собой и расчищает за один проход полосу шириной до 1 метра. Шнековый питатель позволяет создавать более компактную и маневренную конструкцию шнекороторного снегоочистителя по сравнению с фрезерно-роторным снегоочистителем, который оборудован многозаходной ленточной фрезой. Ленточная фреза обладает лучшей режущей способностью по сравнению со шнеком, но при этом снижается производительность питателя. Скальватели применяются для борьбы с зимней скользкостью, которые за счет разрушения рабочим органом уплотненного снега или льда оставляют после себя шероховатую поверхность, а образовавшийся скол сдвигается скребком или сметается цилиндрической щеткой в сторону. При удалении более плотного снега увеличивается энергоемкость рабочих операций, что неже-

лательно для малогабаритных снегоочистителей с двигателями малой мощности.

Проблема выбора параметров и расчета рабочих органов снегоуборочных машин, несмотря на значительное количество исследований, остается актуальной. На сегодняшний день существует большое разнообразие математических моделей для расчета сил резания и копания (относительное и абсолютное перемещение разрушенного объема), но основной трудностью использования результатов проведенных исследований по определению сопротивления на рабочих органах машин по-прежнему является то, что они относятся к частному случаю – конкретной конструкции рабочего органа и к конкретным условиям воздействия на обрабатываемую среду [1-5]. Многие методики по расчету основных параметров снегоочистителей основываются только на учете наиболее существенных сопротивлений, возникающих при работе машины, и имеют ряд определенных допущений, ввиду сложности протекающих процессов при взаимодействии рабочих органов со снегом. Сопротивления, возникающие на рабочих органах малогабаритных тихоходных снегоочистителей с небольшой шириной захвата, в настоящее время мало изучены, а по многим удельным показателям они резко отличаются от быстроходных снегоочистителей на базе грузовых автомобилей и тракторов.

Снег является ярким представителем материалов с непрерывно изменяющимися физико-механическими свойствами. Механические свойства снега изменяются в тысячу и более раз, в зависимости от вида снега, температуры, давления, времени залегания и характера внешнего воздействия [6-7]. Существующие методики проектирования снегоочистителей, основанные на использовании постоянного значения удельного сопротивления резанию, получаемого экспериментально, не обладают достаточной общностью и не отражают особенности процесса резания снега и фактические затраты энергии.

Поэтому при новом проектировании всегда возникает вопрос о выборе геометрических и кинематических параметров рабочего органа машины, с целью минимизации сопротивления при взаимодействии со средой. В этой связи представляется важным вопрос об определении обобщенных критериев эквивалентности процесса резания и копания снега, не зависящих от типа рабочего органа, по аналогии с критериями подобия, принятыми в гидромеханике.

В последние годы появились новые возможности уточнения математических моделей процессов, происходящих в сложных механических системах. Современное измерительное оборудование и аппаратура позволяет учитывать динамические характеристики взаимодействия рабочих органов машин со средой, такие как колебательный характер сил резания, зависимость сопротивления снега от скорости движения рабочего органа и других факторов [8-10]. В механике деформируемого твердого тела универсаль-

ность метода конечных элементов дополнена возможностями метода дискретных частиц. Получены закономерности изменения модуля деформации при циклическом нагружении грунта, во многом объясняющие причины расхождения результатов расчетов и экспериментов. Проведен целый ряд экспериментальных исследований на лабораторном стенде «Грунтовый канал» по оценке эффективности различных типов рабочих органов малогабаритных снегоочистителей: плужного, шнекового, фрезерного, цепного скальвателя. Анализируя состояние проблемы, приходим к выводу, что на усилие резания и копания сложным образом влияет множество различных факторов, основные из которых:

1. Физико-механические характеристики снега;
2. Тип и материал рабочего органа;
3. Геометрия рабочего органа и режущей кромки;
4. Скорость резания и движения машины;
5. Толщина срезаемой стружки;
6. Угол резания.

Три последних фактора (управляемые параметры) можно изменять в процессе работы машины, при этом наибольшее влияние на сопротивление, как показывают опыты многих исследователей, оказывает угол резания [8]. Расчетным считается значение проекции угла резания в срединной вертикальной плоскости режущей кромки, в направлении движения машины. Толщина стружки влияет на внутреннее и внешнее трение и через температуру сложным образом связана с углами трения и с соотношением P_v/R (вертикальная составляющая P_v общего сопротивления R на рабочем органе снегоочистителя). Поэтому указанное соотношение справедливо для заданной толщины стружки, скорости резания и состояния среды.

Была выдвинута гипотеза, что в качестве обобщенного критерия энергетической эквивалентности процесса разрушения материала, при различных типах рабочего органа, можно принять величину P_v/R [10]. Минимальное значение P_v/R соответствует минимальному радиусу предельного круга Мора под огибающей предельных кругов Мора. Как известно [1,4], огибающая предельных кругов Мора (предельная огибающая) наклонена к оси нормальных напряжений под углом внутреннего трения (рис. 1). Следовательно, минимуму энергоемкости процесса разрушения грунта и снега соответствует предельное напряженное состояние, при котором угол внутреннего трения и радиус предельного круга Мора минимальны.

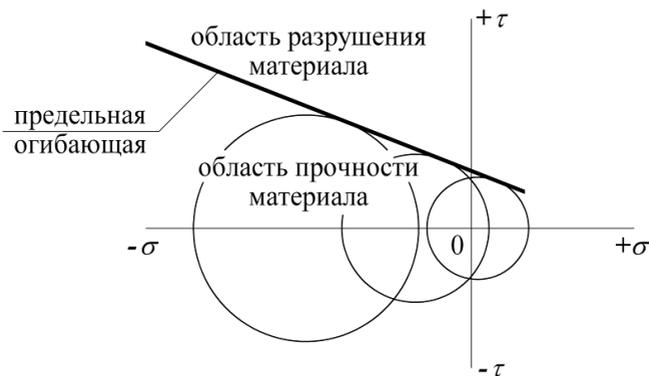


Рис. 1. Пределная огибающая кругов Мора

Выдвинутая гипотеза была проверена на лабораторном стенде «Грунтовый канал» на нескольких типах снега и получила подтверждение в случаях одинаковых физико-механических характеристик материала, толщины стружки и поступательной скорости движения. Например, при сравнении лобового и косого резания снега плужным рабочим органом, установленном на малогабаритное колесное шасси, значения P_v/R практически не отличаются. В то же время, форма режущей кромки и тип рабочего органа в ряде случаев существенно влияет на суммарное сопротивление [1].

Резюмируя имеющуюся информацию о степени взаимного влияния вышеуказанных факторов на энергоемкость процесса резания и копания снега и имея в виду необходимость связать результаты, полученные для различных типов рабочих органов, приходим к выводу о целесообразности применения концепции «слабых связей» при исследовании сложных механических систем, позволяющей находить в условиях неопределенности решение, близкое к оптимальному. Концепция «слабых связей» позволяет количественно оценить влияние того или иного фактора на критерий, и тем самым решить многокритериальную задачу через множество Парето. Введение значения P_v/R в качестве обобщенного критерия энергетической эффективности процесса резания и копания снега различными рабочими органами малогабаритных снегоочистителей позволяет связать механические характеристики среды со скоростью резания, оказывающей сложное и неоднозначное влияние на температуру и углы трения, и тем самым ограничить область поиска оптимума при новом проектировании. Определение значений обобщенного критерия, соответствующего минимуму удельной энергии, необходимой для разрушения снега – является направлением для дальнейших научных исследований.

Список литературы

1. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин. – М.: Машиностроение, 1994. – 432 с.
2. Дорожно-строительные машины и комплексы: Учеб. для вузов / Под ред. В.И. Баловнева. – Москва-Омск: Изд-во СибАДИ, 2001. – 528 с.
3. Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование: Учеб. пособие для вузов. – М.: Архитектура-С, 2005. – 344 с.
4. Зеленин А.Н. и др. Лабораторный практикум по резанию грунтов. Учебное пособие / А.Н. Зеленин, Г.Н. Карасев, Л.В. Красильников. – М.: Высшая школа, 1969. – 310 с.
5. Машиностроение: энциклопедия. В сорока томах. Том IV-9. Строительные, дорожные и коммунальные машины. Оборудование для производства строительных материалов / И.П. Ксенович. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
6. Войтковский К.Ф. Механические свойства снега. – М.: Наука, 1977. – 126 с.
7. Снег: Справочник / Под ред. Д.М. Грея, Д.Х. Мэйла. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 752 с.
8. Берестов Е.И. Сопротивление грунтов резанию: монография / Е.И. Берестов, А.П. Смоляр. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2008. – 179 с.
9. Мирсаяпов И.Т., Брехман А.И., Королева И.В., Иванова О.А. Прочность и деформации песчаных грунтов при трехосном циклическом нагружении // Известия КГАСУ. – 2012. – №3(21). – С. 58-63.
10. Закиров М.Ф., Баранчик В.П. Новый подход к выбору режимов разрушения снега рабочими органами машин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – №2(18). – С. 107-110.

И.А. Клочков, М.А. Степанов

Особенности применения канатов неустойчивых к вращению на строительных грузоподъемных машинах

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия

Канатный привод применяется во многих строительных и подъемно-транспортных машинах. В зависимости от конструкции машин канатный привод выполняет подъемные или тяговые функции. На канаты строительных и грузоподъемных машин воздействуют различные нагрузки (статические, динамические). Изучение работы посвящены многие работы [1-3], но

не рассмотрены вопросы нагрузок каната при осевом вращении при нагрузке.

Стальные канаты имеют широкую классификацию в зависимости от целей их применения. В данной статье рассмотрены особенности применения канатов неустойчивых к вращению, которые на сегодняшний день чаще всего используются на строительных грузоподъемных машинах отечественного производства в качестве грузоподъемных канатов.

В конце XX века наибольшее применение на отечественных грузоподъемных машинах получили канаты шестипрядной конструкции 6x19, 6x25, 6x36 (рис. 1). Данные конструкции канатов в свое время были рекомендованы для применения на отечественных автомобильных, гусеничных, башенных кранах.

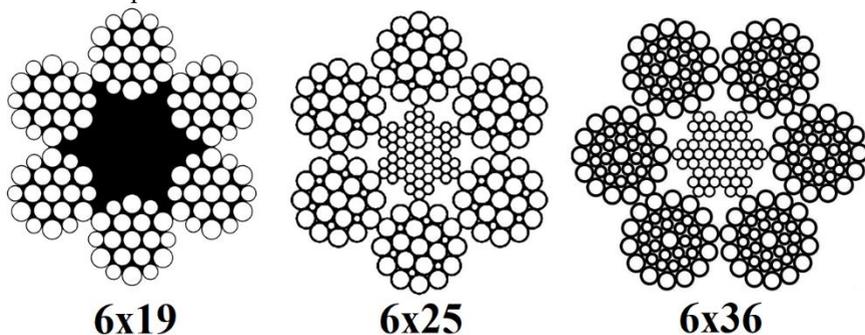


Рис. 1 Канаты шестипрядной конструкции

В период с 1950 по 1980 годы широкое распространение на грузоподъемных машинах получили канаты конструкции 6x19 с органическим сердечником. Его основным преимуществом являлись простота изготовления, малая материалоемкость, достаточно низкая себестоимость. Но из-за особенностей конструкции данного каната, а именно, мягкого сердечника, он обладал низким уровнем работоспособности. При длительной работе под нагрузкой внешние пряди такого каната имели свойство смещаться к центру, раздавливая и вытесняя органический сердечник, что в дальнейшем имело негативные последствия в виде значительного уменьшения диаметра каната и его осевого удлинения.

Канат, конструкции 6x19 имеет модификацию со стальным сердечником и выпускается согласно [4]. Данный канат обладает значительно большей работоспособностью, больший коэффициент заполнения сечения, чем аналогичный канат с органическим сердечником, но, одновременно с этим, имеет чрезмерную жесткость и недостаточную гибкость, что осложняет его применение на грузоподъемных строительных машинах с полиспастом высокой кратности.

Для решения проблемы чрезмерной жесткости канатов со стальным сердечником, были разработаны новые конструкции канатов 6x25 и 6x36 с

увеличенным количеством проволок в прядях каната. Применение более тонких проволок в прядях позволило увеличить как гибкость каната в целом, так и коэффициент заполнения сечения каната. Во избежание снижения износостойкости, канаты конструкции 6x25 и 6x36 имеют пряди с увеличенным диаметром наружных проволок.

Развитие высотного строительства потребовало пересмотра требований к механическим и кинематическим свойствам грузоподъемных канатов. Канаты шестипрядных конструкций, при увеличении высоты подъема и кратности полиспаста, оказались неустойчивы к осевому вращению под нагрузкой. Для определения причин осевого вращения шестипрядной конструкции каната под нагрузкой, рассмотрим пучок из шести параллельных прядей, расположенных вокруг органического сердечника (рис. 2)

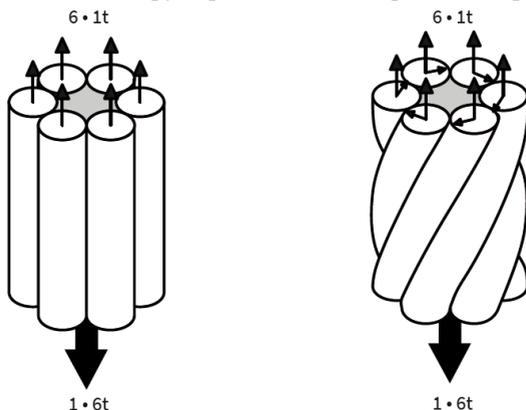


Рис. 2 Иллюстрация пучка прямолинейных прядей (слева) и прядей, свитых в канат (справа)

При подъеме груза весом 6 тонн с помощью пучка прямолинейных прядей, каждая прядь будет нагружена и растянута нагрузкой, равной 1 тонне. Сердечник при этом будет нагружен минимально.

При прохождении по канатоведущему шкиву пучок прядей изгибается вокруг ненагруженного волоконного сердечника. Пряди, расположенные с внешней стороны изгиба, испытывают растяжение и, тем самым, дополнительно натягиваются, в то время как пряди, расположенные с внутренней стороны изгиба наоборот - сжимаются и, следовательно, частично или полностью разгружаются (рис. 3). Во время этого процесса возникают огромные растягивающие усилия и значительное перераспределение нагрузки между прядями.

Рассмотрим конструкцию из прядей, свитых в канат вокруг органического сердечника.

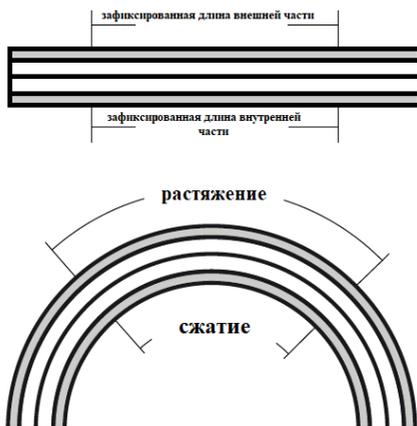


Рис. 3 Изменение длины при изгибе пучка прядей

Рассмотрим отрезок каната ограниченной длины, концы которого представляют из себя жесткую заделку (замкнутый канат). При изгибе такого каната вокруг канатоведущего шкива под нагрузкой, каждая прядь каната по всей своей длине располагается попеременно с наружной стороны изгиба, где она удлиняется (растягивается), и с внутренней стороны изгиба, где она укорачивается (сжимается) (рис. 4).

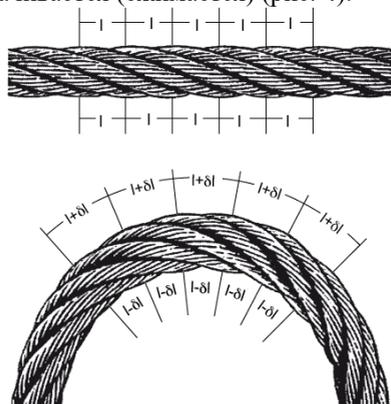


Рис. 4 Изменение длины прядей, свитых в канат

Таким образом, в пределах одной пряди изгиб каната будет провоцировать попеременное сжатие и растяжение внутренних и внешних участков каждой пряди соответственно, что, в свою очередь, не позволит допустить разности растягивающих усилий в прядях каната и неравномерного перераспределения нагрузки между прядями.

Следовательно, при одинаковом изгибе, конструкция со спиральным расположением прядей будет подвергаться гораздо меньшим напряжениям

изгиба, чем конструкция с параллельным расположением прядей. Именно поэтому конструкция со спирально свитыми прядями будет обладать гораздо большей долговечностью, чем простой пучок прядей. Однако данное техническое решение не лишено недостатков.

При подъеме груза в 6 тонн с помощью замкнутого каната, в каждой пряди каната будет создаваться усилие F_a из-за ее осевого отклонения (рис. 5). В замкнутом канате внешняя нагрузка перераспределяется между прядями таким образом, что ее величина на 6% превышает напряжения в аналогичных прямолинейных прядях. Усилие F_a , в рассматриваемом случае, составит около 1,06 тонн. Также, в каждой пряди присутствует силовая составляющая F_c , которая генерируется в тангенциальном направлении каната и инициирует возникновение осевого крутящего момента в теле каната. Возникающий крутящий момент каната характеризуется коэффициентом осевого кручения, который прямопропорционален осевому усилию, шагу свивки прядей и расстоянию от оси каната до оси прядей. Следовательно, с увеличением диаметра каната и осевой нагрузки будет увеличиваться и коэффициент осевого кручения.

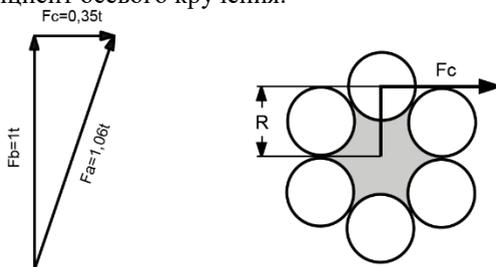


Рис. 5 Усилия, возникающие в пряди каната (слева) и крутящий момент возникающий в канате (справа)

Выводы:

1. Использование канатов с органическим сердечником нецелесообразно на сегодняшний день, так как данные канаты обладают недостаточными разрывными усилиями. Также, они требуют частой замены ввиду значительного осевого удлинения и уменьшения диаметра каната. Уменьшение диаметра каната также провоцирует повышенный износ элементов системы полиспаста под нагрузкой.

2. Использование канатов неустойчивых к вращению оправдано лишь в тех случаях, когда требуется обеспечить подъем легкого груза на небольшую высоту, так как увеличение осевой нагрузки и высоты подъема влечет за собой пропорциональное увеличение осевого кручения каната и, как следствие, бесконтрольное вращение поднимаемого груза, что напрямую влияет на степень безопасности проводимых работ.

Список литературы

1. В.Г.Ривенко, В.В.Диденко, С.Г.Евдокимов, А.В.Стельмах, Д.В.Горохов. Влияние коэффициентов преформации прядей на трибожесткость стальных канатов. Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Шахты 2018. с 28-37
2. Калентьев Е.А., Тарасов В.В., Новиков В.Н. К вопросу о долговечности стальных канатов. Вестник ИжГТУ имени М.Т.Калашникова. 1019 т.22. №1.с 20-28.
3. Таштамбаев В.О. К вопросу об обрыве внутренних проволочек стального каната. В сборнике : Машиностроение: инновационные аспекты развития. Материалы 11 международной практической конференции. 2019. С62-65.
4. ГОСТ 3081-80 Канат стальной.

А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко

Исследование динамики привода бетоносмесителя принудительного действия

Кременчугский национальный университет
имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина

Одним из основных критериев работоспособности разрабатываемого бетоносмесителя является усталостная прочность его основных узлов и деталей, на которую существенное влияние оказывают динамические нагрузки, возникающие в результате действия переменных сил сопротивления на лопасти смесителя в процессе перемешивания смеси, а также при запуске смесителя под нагрузкой [1-5].

Основной целью настоящих теоретических исследований является определение динамических нагрузок в приводе одновального бетоносмесителя принудительного действия, возникающих в результате действия переменных сил сопротивления на лопасти смесителя в процессе перемешивания смеси.

Процесс приготовления цементобетонной смеси в одновальном бетоносмесителе можно разделить на две фазы: первая – сухое перемешивание составляющих компонентов смеси (щебня, песка, цемента) в течении 15 – 25 с; вторая – впрыск воды и мокрое перемешивание составляющих компонентов смеси. Естественно, что смесь в первой фазе представляет собой сыпучую многокомпонентную среду, а во второй фазе - это уже вязкая многокомпонентная среда, которую в первом приближении можно рассматривать в виде однородной вязкой среды. Поэтому, выбор основных

параметров бетоносмесителя проводился с учетом того, чтобы обеспечить эффективное перемешивание компонентов цементобетонной смеси в каждой фазе [6].

Для определения динамических нагрузок, действующих в приводе бетоносмесительной установки в процессе перемешивания бетонной смеси рассмотрим её кинематическую схему, представленную на рис. 1а. На этой схеме приняты следующие обозначения: J_{dv} - момент инерции ротора электродвигателя; J_{11} , J_{21} , J_{22} , J_{31} - моменты инерции отдельных звеньев редуктора; J_{32} - момент инерции лопастного вала бетоносмесителя; k_a , k_b , k_c - крутильные жесткости участков привода, соединяющих отдельные массы; ω_1 , ω_2 , ω_3 - угловые скорости валов.

С целью упрощения полученной сложной динамической системы представим ее в виде более простой эквивалентной динамической системы. Для этого моменты инерции отдельных звеньев привода и крутильные жесткости приведем к лопастному валу. В результате эквивалентную систему можно представить в виде вала, вращающегося с угловой скоростью ω_3 , на котором расположены массы с приведенными моментами инерции J_1 , J_a , J_b , J_c , (рис. 1б). Таким образом, расчетную динамическую модель одновального бетоносмесителя можно представить в виде четырех масс и трех участков валов с жесткостью k_{01} , k_{02} , k_{03} . При этом, на основе закона приведения, значения всех элементов, входящих в расчетную динамическую модель, определим из следующих зависимостей:

$$J_1 = J_{dv} \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^2; \quad J_a = J_{11} \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^2 + J_{21} \left(\frac{\omega_2}{\omega_3} \right)^2; \quad J_b = J_{22} \left(\frac{\omega_2}{\omega_3} \right)^2 + J_{31}; \quad (1)$$

$$J_c = J_{32}; \quad k_{01} = k_a \left(\frac{\omega_1}{\omega_3} \right)^2; \quad k_{02} = k_b \left(\frac{\omega_2}{\omega_3} \right)^2; \quad k_{03} = k_c. \quad (2)$$

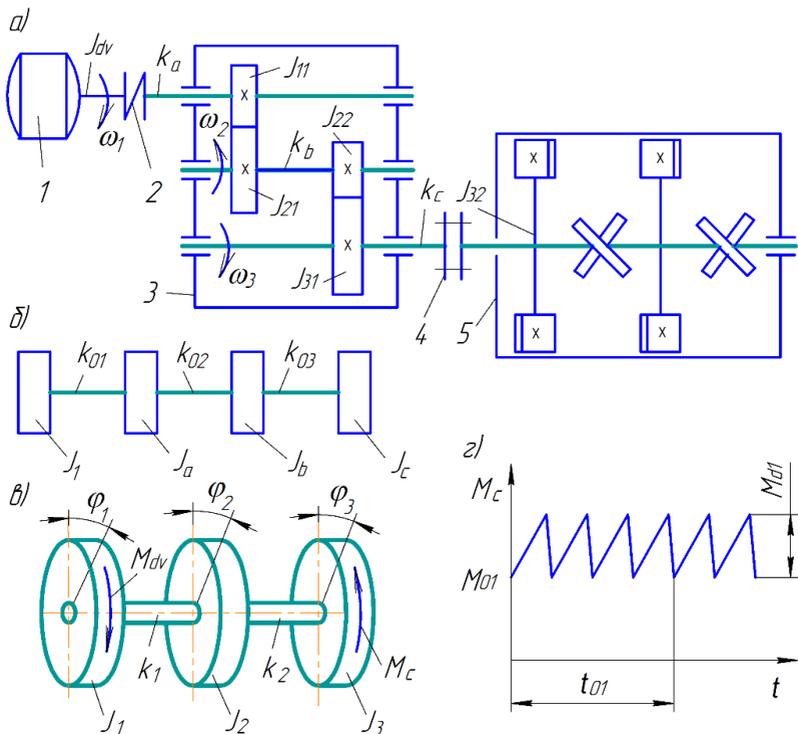


Рис. 1. Расчетная схема динамической системы бетоносмесительной установки: а) кинематическая схема; б) эквивалентная динамическая модель; в) трехмассная динамическая модель; г) график изменения сил сопротивления; t_{01} - продолжительность одного оборота лопастного вала; 1 – электродвигатель; 2 – соединительная муфта; 3 – двухступенчатый цилиндрический редуктор; 4 – жесткая соединительная муфта; 5 – бетоносмеситель

Полученную четырехмассовую динамическую систему можно привести к трехмассовой динамической модели [7]. Для этого массу с моментом инерции J_b условно разделим на две массы с моментами инерции J_{b1} и J_{b2} так, что $J_b = J_{b1} + J_{b2}$.

Одну массу с моментом инерции J_{b1} можно присоединить к массе с моментом инерции J_a , а вторую массу с моментом инерции J_{b2} присоединить к массе с моментом инерции J_c . При этом образуется более простая трехмассовая динамическая система (рис. 1в) со следующими характеристиками:

$$J_2 = J_a + J_{b1}; \quad J_3 = J_c + J_{b2}; \quad k_1 = \frac{k_{01} + k_{02} \frac{J_2}{J_{b1}}}{k_{01} k_{02} \frac{J_2}{J_{b1}}}; \quad k_2 = \frac{J_2 J_3}{J_a J_3 \frac{1}{k_{02}} + J_c J_2 \frac{1}{k_{03}}} \quad (3)$$

На полученную трехмассовую динамическую модель будут действовать приведенный момент движущих сил M_{dv} и момент от действия сил сопротивления, возникающих при перемешивании смеси M_c . Момент сил сопротивления M_c можно представить как сумму (рис. 1з) постоянного M_{01} и переменного $M(t)$ моментов сил сопротивления перемешиванию. Разложим $M(t)$ в ряд Фурье:

$$M_c = M_{01} + M(t) = M_0 + 0,5M_{d1} \left(1 - \frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n \frac{\sin \omega_i t}{i} \right), \quad (4)$$

где ω_i - частота возмущения, $\omega_i = z\omega_3^i$; t - время; z - количество лопастей в поперечном сечении лопастного вала (рис. 2), $z=4$; $i=1, 2, 3..n$.

На основании выражения (2.107) движение рассматриваемой динамической системы может быть описано следующей системой уравнений

$$J_1(d^2\varphi_1/dt^2) + k_1(\varphi_1 - \varphi_2) = M_{dv}; \quad (5)$$

$$J_2(d^2\varphi_2/dt^2) + k_2(\varphi_2 - \varphi_3) - k_1(\varphi_1 - \varphi_2) = 0; \quad (6)$$

$$J_3(d^2\varphi_3/dt^2) - k_2(\varphi_2 - \varphi_3) = -M_1 + M_d \sum_{i=1}^n \frac{\sin \omega_i t}{i}, \quad (7)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - углы поворота масс с моментами инерции J_1, J_2, J_3 соответственно; $M_1 = M_{01} + 0,5M_{d1}$; $M_d = M_{d1}/\pi$.

Вычитая из уравнения (5) уравнение (6), а из уравнения (6) уравнение (7) получим следующую систему уравнений:

$$\frac{d^2\psi_1}{dt^2} + \left(\frac{k_1}{J_1} + \frac{k_2}{J_2} \right) \psi_1 - \frac{k_2}{J_2} \psi_2 = \frac{M_{dv}}{J_1}; \quad (8)$$

$$\frac{d^2\psi_2}{dt^2} + \left(\frac{k_2}{J_2} + \frac{k_2}{J_3} \right) \psi_2 - \frac{k_1}{J_2} \psi_1 = \frac{M_1}{J_3} - \frac{M_d}{J_3} \sum_{i=1}^n \frac{\sin \omega_i t}{i}, \quad (9)$$

где ψ_1, ψ_2 - углы закручивания, $\psi_1 = \varphi_1 - \varphi_2$; $\psi_2 = \varphi_2 - \varphi_3$.

Решение системы уравнений (8) и (9) будет иметь следующий вид:

$$\psi_1 = \Theta_{11} + \sum_{i=1}^n \Phi_{1i} \sin \omega_i t \quad \psi_2 = \Theta_{21} + \sum_{i=1}^n \Phi_{2i} \sin \omega_i t \quad , \quad (10)$$

где

$$\Theta_{11} = \frac{q_{dv} p_{02}^2 + q_1 p_{04}^2}{p_{01}^2 p_{02}^2 - p_{03}^2 p_{04}^2} ; \quad \Theta_{21} = \frac{q_{dv} p_{03}^2 + q_1 p_{01}^2}{p_{01}^2 p_{02}^2 - p_{03}^2 p_{04}^2} ; \quad (11)$$

$$q_{dv} = M_{dv} / J_1 ; \quad q_1 = M_1 / J_3 ;$$

$$\Phi_{1i} = \frac{q_{din} p_{04}^2}{p_{03}^2 p_{04}^2 - (p_{01}^2 - \omega_i^2)(p_{02}^2 - \omega_i^2)} ; \quad (12)$$

$$\Phi_{2i} = \frac{q_{din} (p_{01}^2 - \omega_i^2)}{p_{03}^2 p_{04}^2 - (p_{01}^2 - \omega_i^2)(p_{02}^2 - \omega_i^2)} ; \quad (13)$$

$$p_{01}^2 = \frac{k_1(J_1 + J_2)}{J_1 J_2} ; \quad p_{02}^2 = \frac{k_2(J_2 + J_3)}{J_2 J_3} ; \quad p_{03}^2 = \frac{k_1}{J_2} ; \quad p_{04}^2 = \frac{k_2}{J_2} ; \quad q_{din} = \frac{M_d}{J_3} .$$

Величина нагрузок, возникающих в приводе смесителя на каждом выделенном участке, определится из следующих выражений:

$$T_1 = k_1 \psi_1 ; \quad T_2 = k_2 \psi_2 , \quad (14)$$

где T_1 и T_2 - крутящие моменты, действующие в приводе смесителя на каждом выделенном участке.

Анализ полученных зависимостей (10) - (13) показывает, что величина возникающих динамических нагрузок в приводе бетоносмесительной установки существенно зависит от моментов движущих сил и сопротивлений, моментов инерции движущихся масс, угловой скорости вращения лопастного вала и количества лопастей, физико-механических характеристик приготавливаемой смеси.

Из анализа полученных выражений следует, что в процессе работы бетоносмесителя возможны случаи, когда знаменатели выражений (14)

принимают значения близкие к нулю на одной из гармоник ω_i , т.е.

$$p_{03}^2 p_{04}^2 - (p_{01}^2 - \omega_i^2)(p_{02}^2 - \omega_i^2) = 0 , \quad (15)$$

а это приведет к резкому увеличению нагрузки на этой гармонике.

Поэтому при разработке бетоносмесителей принудительного действия предлагаемой конструкции необходимо выбрать такие параметры привода, чтобы исключить резкого возрастания динамических нагрузок на одной из гармоник, которое наблюдается при выполнении условия (15).

Таким образом, получены зависимости, которые позволяют определить величину нагрузок, возникающих в процессе работы бетоносмесителя принудительного действия, оценить вклад каждой динамической состав-

ляющей на нагружение привода, разработать рекомендации по использованию бетоносмесительных установок, а также определить основные параметры одновалных бетоносмесителей принудительного действия при новом проектировании.

С учетом проведенных исследований были разработаны одновалные бетоносмесители принудительного действия с объемом по загрузке 100, 250, 375, 500, 750, 1125 и 1500 л.

Выводы:

Разработана математическая модель динамической системы одновалного бетоносмесителя принудительного действия, получены выражения для описания возникающих крутильных колебаний и определения величины динамических нагрузок в приводе бетоносмесителя от моментов движущих сил и сопротивлений, моментов инерции движущихся масс, угловой скорости вращения лопастного вала и количества лопастей, физико-механических характеристик приготавливаемой смеси. Найдено условие, позволяющее минимизировать действие вредных динамических нагрузок в приводе, в соответствии с которым предложены конструктивные решения для одновалных бетоносмесителей принудительного действия с объемом по загрузке от 100 л до 1500 л

Список литературы

1. Густов Ю.И., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Анализ конструктивно-расчётных схем бетоносмесителей. Журнал Механизация строительства 2013 №12 с.30-31
2. Теличенко В.И., Кайтуков Б.А., Скель В.И. Определение оптимальных скоростей движения лопастей роторных бетоносмесителей. Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова 2017, №3 с.80-84
3. Волков С.А., Евтюков С.А. Строительные машины. - СПб.: ДНК, 2012. 597 с.
4. Богомолов, А.А. Современное смесительное оборудование для производства строительных смесей // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2007, № 38. – С. 31- 35
5. Лещинский А.В. Расчет бетоносмесительных установок: учеб. пособие. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. – 104 с.
6. Маслов А.Г. Иткин А.Ф., Саленко Ю.С. Вибрационные машины для приготовления и уплотнения бетонных смесей: монография. - Кременчуг: ЧП Щербатых А.В, 2014. 324 с.
7. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. -Л.: Машиностроение, 1976. - 320 с.

Повышение эффективности работы катков тандемного типа

Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия

Показана технико-экономическая целесообразность применения трехвальцевых дорожных катков тандемного типа выполненных на базе серийных двухвальцевых машин, которая обусловлена увеличением производительности в 1,27-1,5 раза.

Сопrotивляемость воздействию транспортных нагрузок и климатических факторов дорожной одежды во многом зависит от качества ее уплотнения. Эффективность уплотнения зависит от массы катка, площади контакта рабочего органа с уплотняемым слоем, скорости движения катка и числа проходов катка по одному следу. Единственный способ регулировать статическую нагрузку, передаваемую на поверхность, состоит в изменении массы или контактной площади рабочего органа, что обеспечивается использованием катков различных типоразмеров.

Для обеспечения необходимой плотности асфальтобетонного покрытия или щебеночного основания автомобильных дорог в настоящее время количество проходов катка по одному следу регламентировано соответствующими нормативными документами [1-2]. При этом общеизвестно, что производительность катка обратно пропорциональна количеству его проходов по одному следу [3-7].

Выполненные расчеты показывает простой путь существенного увеличения технической производительности дорожных катков вне зависимости от их массы и типа вальца за счет увеличения количества вальцов. Интересно отметить, что при уплотнении асфальтобетона увеличение производительности составляет 1,5 раза, а при уплотнении грунтовых массивов увеличение производительности ещё больше – до 3 раз.

Известно также, что эффективность уплотнения поверхности зависит не только от числа проходов катка по одному следу, но и от величины силового воздействия каждого вальца на поверхность. Причем последнее определяется массой катка (легкие, средние и тяжелые) и расположением его центра тяжести по продольной базе [8-13]. Выполненные исследования позволяют обосновать целесообразность создания трехвальцевых дорожных катков тандемного типа. На кафедре «Строительной техники и инженерной механики имени профессора Н.А. Ульянова» ВГТУ в настоящее время выполняются такие научные и проектно-конструкторские работы [11-12].

Установка на серийном двухвальцевом катке дополнительного вальца открывает новые возможности для увеличения *силового воздействия на*

уплотняемую поверхность. Реализующий эту идею способ управления вертикальными нагрузками на валцы катка разработан и представлен на рис. 2.

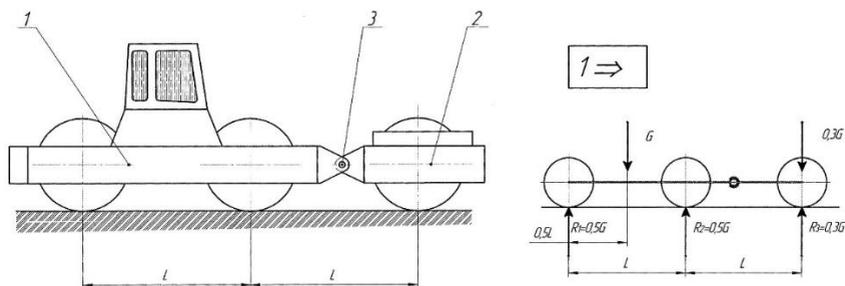


Рис. 2. Установка дополнительного вальца, первый проход:
1 – серийный каток; 2 – дополнительная секция; 3 – соединение секций

Подъем или опускание дополнительного вальца 2 (а также рациональный выбор его веса) позволяют изменять вертикальные нагрузки на валцы нового катка (рис. 3, 4, табл. 2) и организовать рабочий процесс таким образом, что вертикальная нагрузка на укатываемую поверхность будет увеличиваться вслед за повышением прочности асфальтобетона. При этом число проходов катка с фиксированной нагрузкой на валец не ограничено.

Выводы. 1. Предложенная технология уплотнения покрытий и оснований с использованием трехвальцовых катков с управляемыми вертикальными нагрузками на его валцы, обеспечивающей последовательное увеличение вертикальной нагрузки на валцы с $0,3 G$ до $1,1 G$ (веса серийного двухвальцевого катка) позволяет сократить номенклатуру применяемых машин и увеличить производительность в 1,27-1,5 раза.

2. Применение дорожных катков с большим количеством вальцев уменьшает число проходов и существенно увеличивает производительность катка.

Список литературы

1. Стандарт организации. Автомобильные дороги. Строительство земляного полотна автомобильных дорог. Часть 1. Механизация земляных работ при сооружении земляного полотна автомобильных дорог. СТО НОСТРОЙ 2.25.23-2011. Москва, 2012. 67 с.
2. Методические рекомендации по укладке и уплотнению асфальтобетонных смесей различного типа при использовании высокопроизводительных асфальтоукладчиков и катков / Союздорнии, Москва, 1984. 10 с.
3. Алексеева Т.В. и др. Машины для землеройных работ (Теория и расчет). М.: Машиностроение, 1972. 504 с.

4. Машины для земляных работ. Под общей редакцией Ветрова Ю.А. Издательское объединение «Вища школа», 1976. 368 с.
5. Hunter, R. Asphalt in road construction / R. Hunter. – London, United Kingdom : ICE Publishing, 2004. – 588 p.
6. Rietman, A.D. The modeling of compression tests with a physically based material model using finite elements / A.D. Rietman, P. Liempt, H. Huetink // Fifth International Conference on Computational Plasticity, 17-20 March 1997, Barcelona, Spain. - Barcelona, 1997. - P. 965-972.
7. Impact roller : pat. US4334799A : B28D1/181, E02D3/026 / Jacobus J. Rautenbach, Aletta C. Rautenbach : Rautenbach Jacobus J. – № US 06/123596
8. Федоров Е.В., Кретинин А.И., Ручкин Я.И. Исследование влияния количества вальцев катка на его производительность // Научно-технический журнал «Высокие технологии в строительном комплексе». Воронеж. 2019, № 2. С. 119–24.
9. Кузнецова, А.Ж. Влияние положения центра тяжести на динамику самоходных вибрационных катков: автореф. дис. ...канд. техн. наук. Тюмень, 2001. 22 с.
10. Бойцов А.В. Методика обоснования параметров вальцов дорожного катка с изотропным силовым воздействием на асфальтобетонную смесь: дис. канд. техн. наук / А.В. Бойцов. Санкт-Петербург, 2017. 142 с.
11. Пат. 2729215 Российская Федерация, МПК E01C 19/26. Каток моторный трехвальцевый / В.А. Нилов, В.А. Жулай; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный технический университет. № 2020101239; заявл. 10.01.2020; опубл. 05.08.2020, Бюл. № 22.
12. Нилов В.А., Федоров Е.В. Комбинированная ножевая система скрепера / В.А. Нилов, Е.В. Федоров, // Строительные и дорожные машины. 2015. №4. С. 13–16.
13. Дорожные катки: развитие, конструкция, расчет: учеб. пособие / В.И. Баловнев, С.Н. Иванченко, Р.Г. Данилов, А.В. Лещинский; под общ. ред. проф. В.И. Баловнева и проф. С.Н. Иванченко. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 216 с.

И.В. Ромашов, С.А. Харив

Определение рациональных параметров малогабаритного погрузчика

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Универсальный малогабаритный погрузчик (УМП) является одним из самых представительных и часто используемых видов дорожно-строительной техники. Его можно встретить практически в каждом насе-

ленном пункте городского типа при эксплуатации на бытовых, коммунальных, строительных и узкоспециализированных работах.

В данной статье рассматривается применение малогабаритных погрузчиков с навесным оборудованием в виде бетоносмесителя и дисковой фрезы. Эти сменные органы часто используются в паре, на одной и той же машине, так как являются достаточно эффективной рабочей группой и имеют схожий характер эксплуатационных процессов. Но из-за технической сложности и большого числа переменных такой коллаборации, подбор навесного оборудования для рабочей машины является затруднительным. Для наиболее эффективного использования УМП необходим вариант технической системы, где бетоносмеситель, дисковая фреза и сам погрузчик будут оптимально подходить по конструктивным и эксплуатационным параметрам. Для определения рациональных параметров навесного оборудования и рабочей машины используем актуальные показатели качества [1]:

$$\pi_H = \frac{QH}{N}; \quad \pi_Q = \frac{AH^4}{Q} \sqrt{\frac{H^2}{G^2N}}; \quad \text{где } \pi_H, \pi_Q \rightarrow \max \text{ при } \begin{cases} Q \rightarrow \max, \\ N \rightarrow \min, \\ G \rightarrow \min, \\ A = \text{const}, \\ H = \text{const}. \end{cases}$$

Здесь A – удельная энергоемкость рабочего процесса, Па; Q – производительность бетоносмесителя, м³/с; N – установочная мощность двигателя УМП, кВт; H – линейный размер (диаметр, длина барабана и др.), м; G – масса машины, кг.

Проведенный анализ математических моделей и различных моделей малогабаритных погрузчиков (до 4 тонн), производимых на данный момент, позволил выявить закономерности основных параметров (рис. 1,2 – бетоносмеситель, рис. 4,5 – дисковая фреза) [2-5]. По этим графикам видно, как изменяется линейный размер навесного оборудования относительно мощности двигателя УМП и как эти показатели влияют на эффективность машины в критериях π_H и π_Q . Для определения оптимальных значений линейного размера навесного оборудования относительно мощности погрузчика были построены графики зависимости, в которых пересекаются две функции, и указывают на эффективность машины сразу по двум критериям π_H и π_Q (рис. 3 – бетоносмеситель, рис. 6 – дисковая фреза).

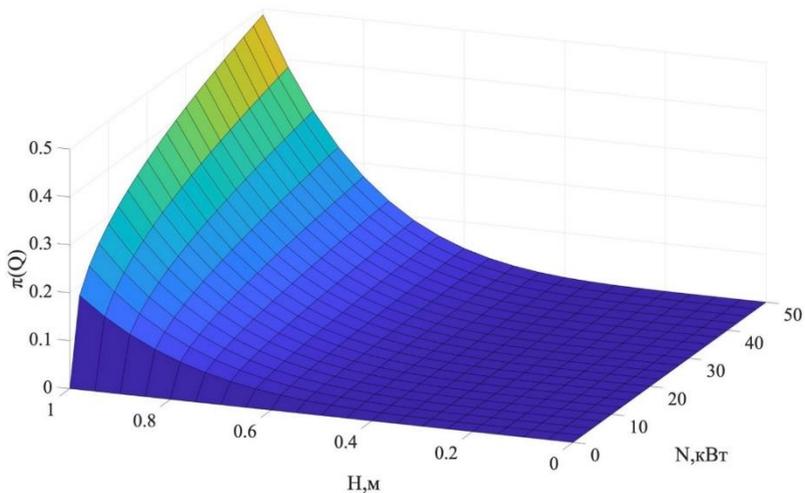


Рис. 1. График зависимости линейного размера навесного оборудования (бетономесителя) H от мощности погрузчика N и показателя качества $\pi(Q)$

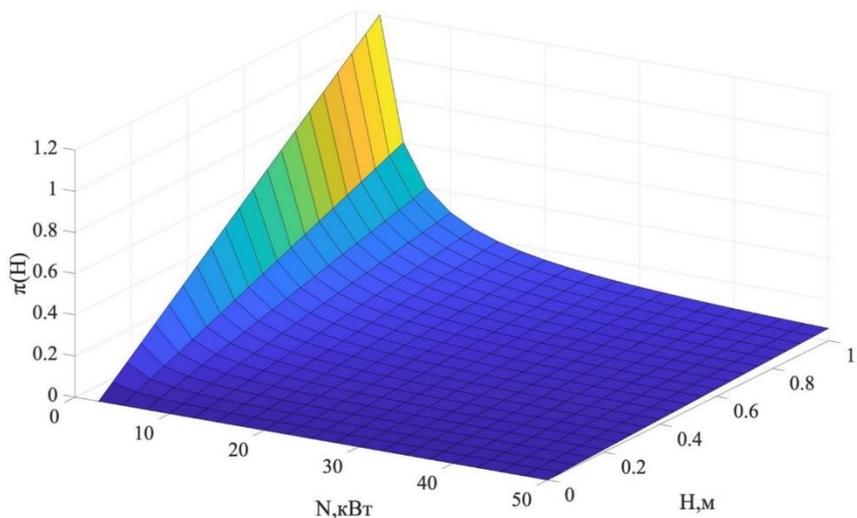


Рис. 2. График зависимости линейного размера навесного оборудования (бетономесителя) H от мощности погрузчика N и показателя качества $\pi(H)$

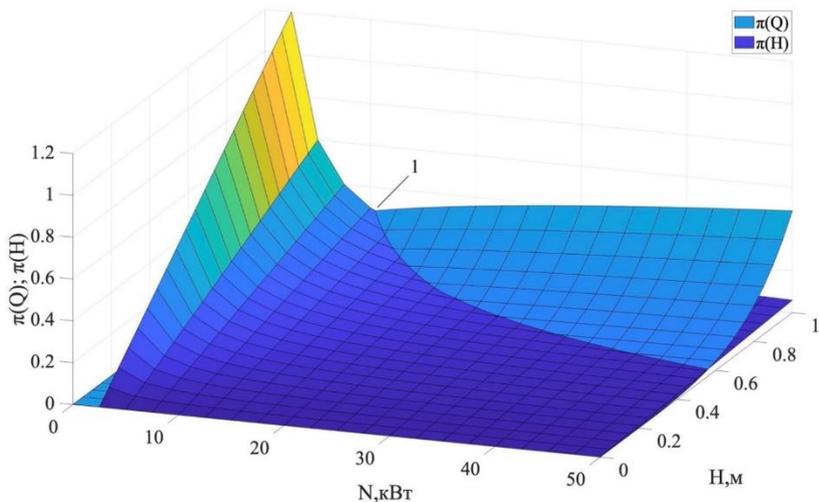


Рис. 3. График зависимости двух функций $\pi(Q)$ и $\pi(H)$ для бетоносмесителя с границей пересечения – 1

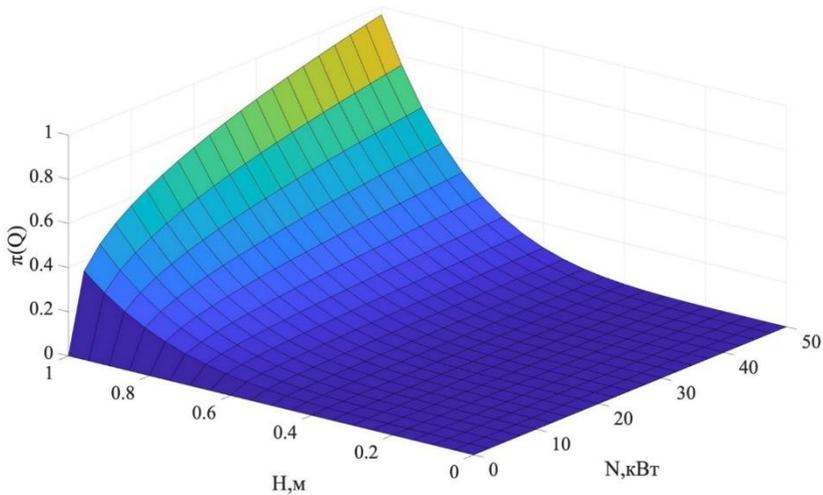


Рис. 4. График зависимости линейного размера навесного оборудования (дисковая фреза) H от мощности погрузчика N и показателя качества $\pi(Q)$

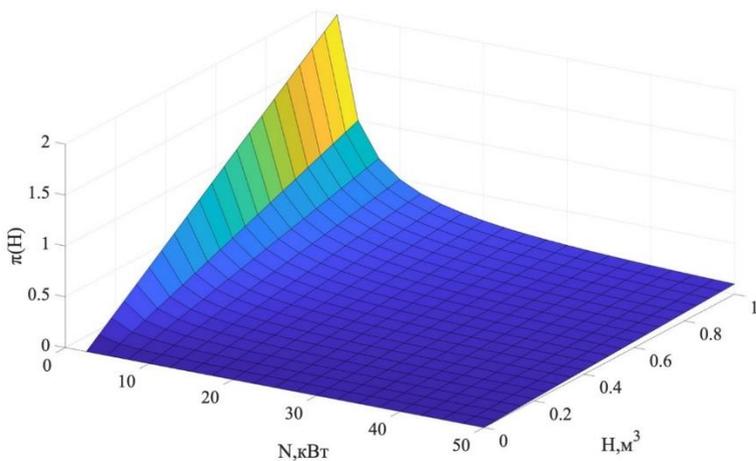


Рис. 5. График зависимости линейного размера навесного оборудования (дисковая фреза) H от мощности погрузчика N и показателя качества $\pi(H)$

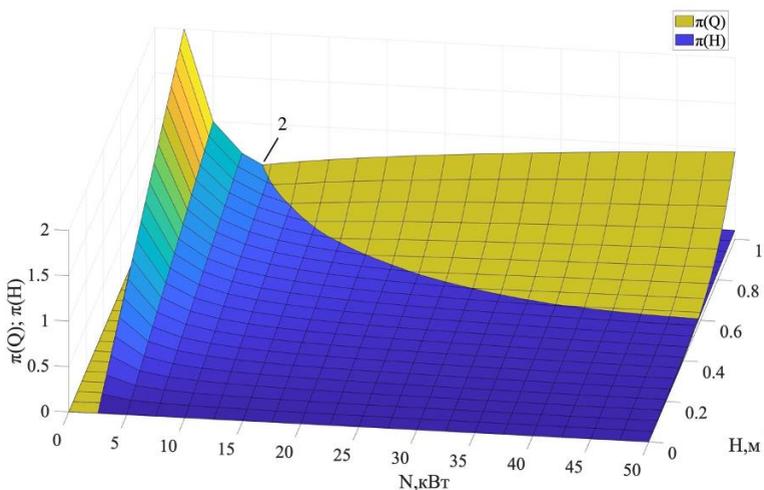


Рис. 6. График зависимости двух функций $\pi(Q)$ и $\pi(H)$ для дисковой фрезы с границей пересечения – 2

Границы пересечения графиков обозначены цифрами 1 и 2 для бетоносмесителя и дисковой фрезы соответственно. Полученные закономерности 1 и 2 указывают на параметры УМП, при которых достигается макси-

мальная производительность малогабаритного погрузчика согласно критерию π_Q .

Для определения наиболее эффективного варианта машины при работе с парой навесного оборудования, закономерности 1 и 2 были выведены на отдельный график (рис.7). Полученное пересечение указывает на величины параметров УМП, которые необходимы для эксплуатации погрузчика с достижением максимальной производительности, при использовании бетоносмесителя и дисковой фрезы.

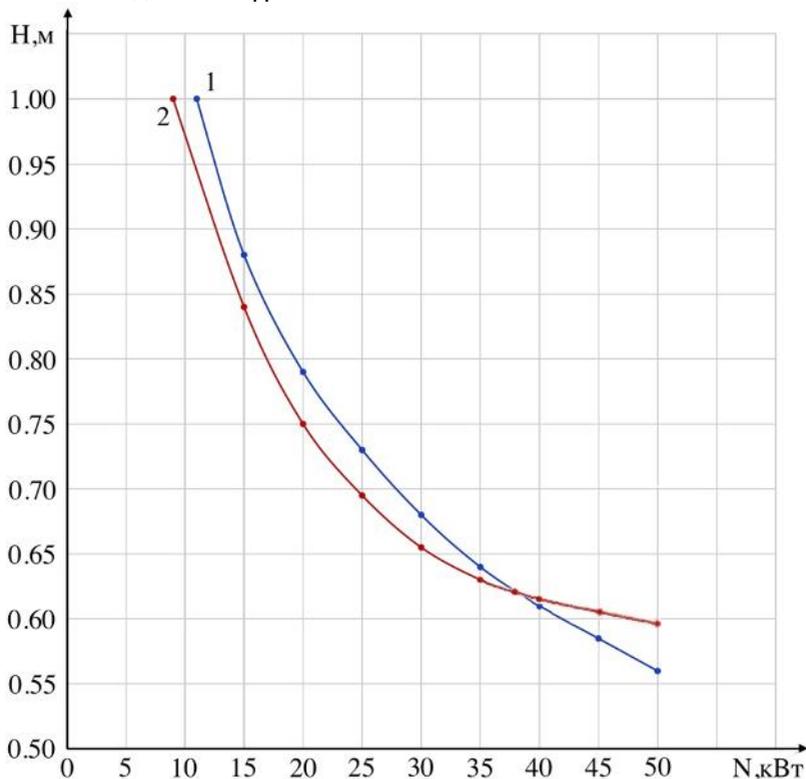


Рис. 7. График зависимости линейного размера навесного оборудования H от мощности погрузчика N ; 1 – зависимость бетоносмесителя, 2 – зависимость дисковой фрезы

Полученные данные рекомендуются к использованию для эффективной эксплуатации универсальных малогабаритных погрузчиков при использовании пары навесного оборудования в виде бетоносмесителя и дисковой фрезы, при массе машины, не превышающей 4000 кг.

Список литературы

1. Минин, В. В. Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков: монография / В.В. Минин. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – 304 с.
2. Баловнев В.И. Оптимизация инновационной строительной и транспортной техники, экспериментальная оценка результатов: учебное пособие / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов, М.Д. Герасимов; – Москва; Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – 284 с.
3. Кудрявцев Е. М. Строительные машины и оборудование: учебник / Е.М. Кудрявцев. – М.: Издательство АСВ, 2012. – 328 с.
4. Галицков С. Я. Математическое описание процесса подготовки керамической массы в двухвальном глиносмесителе как объекта управления / С.Я. Галицков, К.А. Иванов, М.А. Назаров, П.А. Сабанов, Е.К. Пименов // Научное обозрение. – 2014. – No 6. – С. 84-89.
5. Минин, В. В. Определение рациональных параметров бетоносмесителей для малогабаритных машин / В. В. Минин, С.Ф. Зяблов // Интерстроймех 2014 : сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., Самара, 9–11 сент. 2014 г. – Самара : СГАСУ, 2014. – С. 55–58.

С.В. Савельев, В.В. Михеев

Обоснование критерия эффективности уплотнения грунтовых оснований вибрационными катками в строительном производстве

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Уплотнение грунтов земляного полотна автодорог, является важнейшей операцией, обеспечивающей прочность и работоспособность данного инженерного сооружения. В практике дорожного строительства основными машинами, которые её выполняют, являются дорожные катки. Очевидно, что эффективность процесса взаимодействия рабочих органов катков с деформируемой грунтовой средой напрямую влияет на производительность, и себестоимость производства строительных работ [1].

Результаты теоретических и экспериментальных исследований уплотнения грунтовых сред вибрационными дорожными катками [2, 3] показывают, что активная область грунта, вступающая во взаимодействие с вальцом, обладает существенными резонансными свойствами. Это определяет

условия выбора рациональной частоты вынуждающей силы вибровозбудителя катка и других его параметров.

Уплотняемым объемом грунта, может приниматься усечённая призма, с верхней поверхностью, являющейся пятном контакта вальца с деформируемым грунтом [4, 5], так называемая активная область деформируемого грунта.

В качестве критерия оценки энергоэффективности процесса уплотнения рассмотрим механический импеданс - характеристика, описывающая интенсивность с которой поглощается энергия вибровозбудителя активной областью грунта. Импеданс характеризует полное сопротивление виброуплотняемой грунтовой среды воздействию от рабочего органа дорожного катка. Воздействие катка на грунт опишем гармонической силой $F(t)$.

$$F(t) = F_0 \sin(\omega t) = F_0 \sin(2\pi ft) \quad (1)$$

Ещё одним существенным фактором, влияющим на процесс уплотнения грунта является вес катка M . Имеется в виду та его часть, которая приходится на рабочий орган. Она статически нагружает активную массу грунта m , обеспечивая непрерывный контакт вальца с поверхностью деформируемого грунтового слоя. Опишем этот процесс уравнением

$$m\Delta\ddot{z} + b(\Delta z)\Delta\dot{z} + c(\Delta z)\Delta z + \frac{\partial c(\Delta z)}{\partial \Delta z} \frac{(\Delta z)^2}{2} + \frac{\partial b(\Delta z)}{\partial \Delta z} \frac{(\Delta \dot{z})^2}{2} = F(t) + Mg + mg \quad (2)$$

В линейном приближении уравнение движения поверхности грунта примет вид:

$$m\Delta\ddot{z} + b(\Delta z)\Delta\dot{z} + c(\Delta z)\Delta z = F(t) + Mg + mg \quad (3)$$

Учитывая условие, что уплотняемая среда имеет высокую вязкость и сравнительно небольшую жёсткость, вынужденные колебания начинают происходить уже в первоначальные моменты времени:

$$\Delta z(t) = \frac{F_0 \sin(\omega t + \phi)}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + k^2 \omega^2}}, \quad \phi = \arctan\left(\frac{k\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}\right) \quad (4)$$

где ϕ – фазовый сдвиг, $\omega_0^2 = c/m$ – собственная частота системы при отсутствии вязкого трения, $k = b/m$.

Определим амплитуду гармонических вынужденных колебаний:

$$\Delta z_{\max} = \frac{F_0}{m\sqrt{((\omega_0(y, \Delta z))^2 - \omega^2)^2 + k(y, \Delta z)^2 \omega^2}} \quad (5)$$

В этом уравнении учитывается зависимость коэффициента жёсткости k и собственной частоты от характеристик пятна контакта рабочего органа катка с грунтом и перемещения поверхности слоя грунта. Параметр импеданса является знаменателем.

$$Z = m\sqrt{((\omega_0(y, z))^2 - \omega^2)^2 + k(y, \Delta z)^2 \omega^2} \quad (6)$$

Именно эта величина характеризует эффективность поглощения колебательной энергии активной областью уплотняемого грунта [6].

Неупругая - пластичная деформация грунта за один цикл колебаний зависит от коэффициента восстановления α , который описывает долю энергии, расходуемой на неупругое деформирование обрабатываемой среды. Определим остаточную деформацию после полупериода колебаний.

$$\Delta z_{res} = \alpha \Delta z_{max} = \frac{\alpha F_0}{m \sqrt{((\omega_0(y, z))^2 - \omega^2)^2 + k(y, \Delta z)^2 \omega^2}}, \quad (7)$$

С качественной точки зрения на процесс уплотнения грунта, его необходимо рассматривать на установившемся режиме колебаний. До тех пор, пока процесс неупругого деформирования не заканчивается.

Для эффективного протекания процесса уплотнения необходимо добиться максимальной величины пластических деформаций за минимальное время.

Предполагая, что зависимости величин в уравнениях (3), (4) от параметра Δz относительно невеликими, то производными по параметра Δz пренебрегаем. Таким образом, формируем подход к моделированию процесса уплотнения, когда параметры жёсткости и вязкости грунтовой среды на каждом цикле изменяются, примерно, на постоянную величину.

При предельном накоплении пластических деформаций этот подход меняется, т.к. существенно изменяется модуль деформации грунта, поэтому значения, изменяющихся жёсткости и вязкости необходимо пересчитывать.

Экстремум амплитуды (5) определится в виде функции многих переменных. В нашем случае, он зависит от частоты колебаний грунтовой среды и параметров пятна контакта поверхности с рабочим органом катка. Выведем условия для экстремумов выражениями:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta z_{max}}{\partial \omega} &= 0 \\ \frac{\partial \Delta z_{max}}{\partial y} &= 0 \end{aligned}, \quad (9)$$

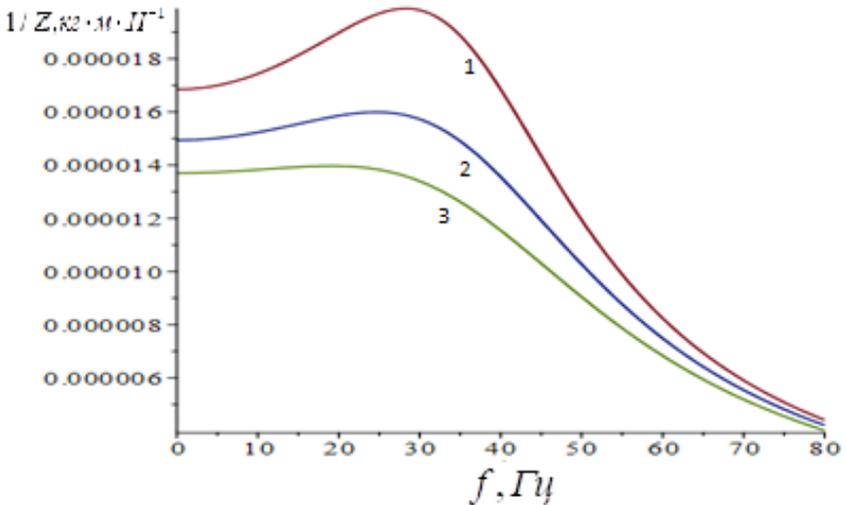
Первая часть характеризует резонансную частоту при постоянном «активном» объеме деформируемой среды и стабильной величине пятна контакта

$$\omega_{res} = \sqrt{\omega_0^2 - k^2/2}. \quad (10)$$

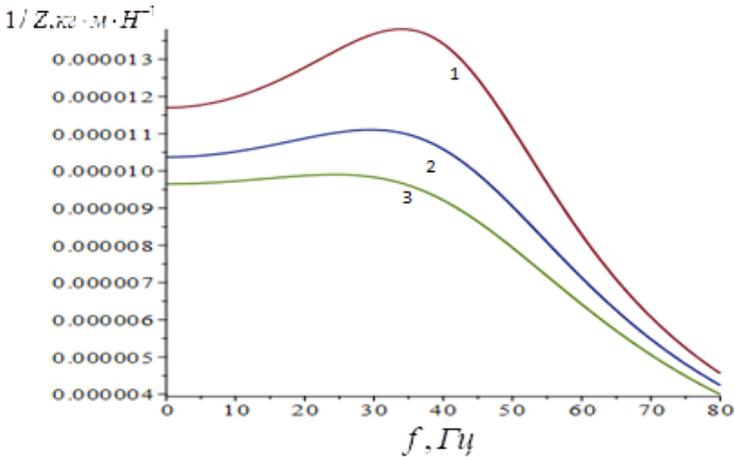
Вторая часть характеризует зависимость между амплитудой колебаний и размерами пятна контакта. Здесь, в свою очередь, необходимо учитывать зависимости жёсткости и вязкости деформируемой среды от параметров пятна контакта и физико-механических свойств грунта. В результате решения полученных уравнений, реализуется методика обоснования энергоэф-

фективных режимов работы вибрационных дорожных катков при уплотнении грунтов земляного полотна автомобильных дорог [7, 8].

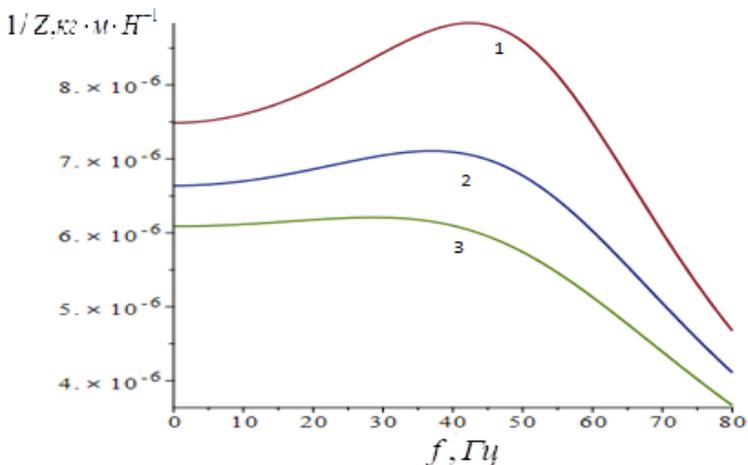
В результате проведённых расчётов были получены амплитудно-частотные характеристики (рис. 1) обратного импеданса активной области грунтового слоя при уплотнении катками разных типов (по массе).



а) 1- неуплотненный грунт; 2-среднеуплотненный грунт;
3-уплотненный грунт



б) 1- неуплотненный грунт; 2-среднеуплотненный грунт; 3-уплотненный грунт



в) 1- неуплотненный грунт; 2-среднеуплотненный грунт; 3-уплотненный грунт
 Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики обратного импеданса активной области деформации грунтового слоя при виброуплотнении уплотнении катками а) легкими, б) средними, в) тяжёлыми дорожными катками

Амплитудно-частотные характеристики обратного импеданса и зависимости их максимумов от частот значений колебаний, демонстрируют поведение деформируемой грунтовой среды, обусловленное характером эволюции её физико-механических свойств, изменяющихся в процессе уплотнения. Зависимость импеданса от частоты колебаний проявляется не только за счет абсолютных величин жесткости и вязкости деформируемой грунтовой области в заданный момент времени для текущего состояния, но и величины пятна контакта и толщины слоя.

Полученные зависимости для предложенного критерия эффективности процесса уплотнения и методика его определения могут быть использованы при обосновании режимных параметров дорожных катков. Здесь, подразумеваются не только высокие показатели производительности отдельных дорожных катков, но и возможность формирования комплекта средств механизации, обеспечивающего высокий темп и качество производства всех технологических операций дорожного строительства [9]. Это, в свою очередь позволяет значительно повысить производительность и снизить себестоимость работ при устройстве объектов транспортной инфраструктуры.

Список литературы

1. Баловнев В. И. Моделирование процессов взаимодействия со средней рабочих органов дорожно–строительных машин: учеб. пособие для студентов вузов / В. И. Баловнев. – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.: ил.

2. Блехман И.И., Лавендел Э.Э., Гончаревич И.Ф. Поведение сыпучих тел под действием вибраций // Справ. Вибрации в технике, т.4, М., Машиностроение, 1981. С. 78–98.
3. Баркан Д. Д. Динамика оснований и фундаментов/ Д. Д. Баркан. – М.: Стройвоенмориздат, 1948. – 411 с.
4. Савельев С. В., Бурый Г.Г. «Методика обоснования режимов работы дорожных катков с учётом массы уплотняемого грунта в зоне активного действия вибрации» «Строительные и дорожные машины».- № 3. - г. Москва, 2015 г. С. 48 - 51.
5. Дубровин А. Е. Определение эффективных частот колебаний рабочего органа виброуплотнителя/ А. Е. Дубровин// Исследования параметров и расчёты дорожно-строительных машин: науч. тр. – Саратов, 1972. – Вып. 52.– С. 40–43.
6. Mooney M. A. Intelligent Soil Compaction Systems/Mooney M. A., R/ V. Rinehart, N. W. Facas, O.M. Musimbi // NCHRP Report 676 .-Washington, D. C., 2010.– 166 P.
7. Кустарев Г. В. Анализ факторов, влияющих на качество процесса уплотнения/ Г. В.Кустарев, С. А. Павлов, П. Е. Жарцов// Механизация строительства. – 2013. – № 4 (826). – С. 6–10.
8. Saveliev S.V. Modeling of dynamic deformation of soil media by vibratory rollers in construction of transport objects / Published in: Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics) Date of Conference: 15-17 Nov. 2016 Date Added to IEEE Xplore: 19 January 2017. Electronic ISBN: 978-1-5090-4050-6 Print on Demand (PoD) ISBN: 978-1-5090-4051-3. DOI: 10.1109.
9. Кудрявцев Е.М. Комплексная механизация строительства: Учебник. Издание 3-е, перераб. и доп. – М: Издательство АСВ, 2013.- 464 с.: ил.

В.И. Скель

Погрешность и неопределенность при оценке результата измерений. Допуски и посадки в новой терминологии

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

Введение. Создание новой техники и модернизация существующей, любое производство машиностроительной продукции, а также экспериментальные исследования в области строительных, подъемно-транспортных, дорожных, коммунальных, специальных машин и оборудования сопровождается измерениями. Измерения разного рода сопутствуют продукции от производства до утилизации. Классификация видов измерений достаточно

объемна. В данной работе выделим однократные и многократные измерения.

В соответствии с названием однократные измерения выполняются один раз; многократные измерения – это несколько последовательно выполненных измерений (обычно более четырех).

Также еще можно говорить о неравноточных и равноточных измерениях и так далее, но здесь мы не будем углубляться.

Все привыкли к термину точности измерений, под которым понимают близость результата измерений к истинному значению измеряемой величины. Этот термин часто используют в качестве качественной характеристики средства измерений.

По действующей рекомендации по межгосударственной стандартизации [1] точность (средства измерений): качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешности.

Погрешность измерения – это разность между результатом измерения величины и действительным (опорным) значением величины [2]. В этом стандарте дана терминология, связанная с результатами измерений, и видами погрешностей: случайной, систематической, неисключенной систематической и грубой погрешности. Также описан довольно подробно порядок статистической обработки группы результатов прямых многократных независимых измерений. Результат измерений, например, при симметричных доверительных границах может быть записан в виде

$$x = x_{cp} \pm \Delta, P,$$

где x_{cp} – оценка измеряемой величины, за которую принимают среднее арифметическое значение исправленных результатов измерений,

Δ – погрешность измерений,

P – доверительная вероятность.

Здесь следует иметь в виду, что числовое значение оценки измеряемой величины должно оканчиваться цифрой того разряда, что и значение погрешности Δ .

В теоретической метрологии существуют три аксиомы: при подготовке к измерениям, при проведении измерений и при обработке измерительной информации. Первая аксиома гласит: без априорной информации измерение невозможно. Вторая аксиома: измерение есть сравнение. Третья аксиома: результат измерения без округления является случайным. По существу, эти аксиомы говорят о большой доле неопределенности (случайности) при выполнении измерений. Это и принято в основу разработки новых стандартов оценки точности измерений.

Таким образом, вместо оценки погрешности результата измерений теперь должны результат измерений записывать в оценках неопределенности измерений. Этим, по стандарту [3], оценивается сомнение в достоверности результата измерений.

Стандарт [3] о выражении неопределенности идентичен международному документу ISO/IEC Guide 98.3:2008 «Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement», IDT. Он описывает термины, основные понятия и оценки.

Неопределенность измерений. Приведем необходимые определения. Различают следующие виды неопределенности:

- стандартная неопределенность, выраженная в виде стандартного отклонения;

- неопределенность типа А выражает статистическую оценку ряда наблюдений;

- неопределенность типа В выражает отличие неопределенности от статистической оценки ряда наблюдений;

- суммарная стандартная неопределенность – это стандартная неопределенность результатов измерения, равная положительному квадратному корню взвешенной суммы дисперсий или ковариаций этих величин, весовые коэффициенты при которых определяются зависимостью изменения результата измерения от изменения этих величин;

- расширенная неопределенность определяет величину интервала вокруг результата измерения, как ожидается, содержит в себе большую часть распределения значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине;

- коэффициент охвата – это коэффициент, на который умножают суммарную стандартную неопределенность для получения расширенной неопределенности.

Если усматривать аналогию в привычных терминах погрешности, то неопределенность типа А оценивает случайную составляющую погрешности; неопределенность типа В характеризует систематическую погрешность; стандартная неопределенность дает оценку стандартного отклонения погрешности; расширенная неопределенность определяет доверительную вероятность; коэффициент охвата характеризует распределения погрешности [4]. Более того, ряд авторов проводят почти полную аналогию в классификации погрешности и неопределенности. Но в прикладном плане нас интересует правильная запись результата многократных измерений.

Однако в ГОСТ 34100.3-2017 [3] подчеркивается, что термины «погрешность» и «неопределенность» не являются синонимами.

В работе [4], например, приводятся следующие отличия понятий погрешности и неопределенности:

- «погрешность» привязана к некоторому «истинному» значению, которое точно неизвестно;

- «неопределенность» привязана к измеренному значению;

- «погрешность» относится к конкретному измерению, сделанному конкретным средством измерения;

«неопределенность» - это степень сомнения в истинности полученного результата измерения;

«погрешностью» характеризуются параметры точности средств измерений.

Результат измерений в концепции неопределенности может быть записан как

$$x = x_{изм} \pm U,$$

где $x_{ср}$ – измеренное значение величины,

U — расширенная неопределенность измерений.

Здесь дано только общее представление о неопределенности измерений и имеет целью обратить внимание на это и преподавателей, и обучающихся.

Допуски и посадки в новой терминологии. Появился ряд государственных стандартов в области допусков и посадок, которые направлены на изменение философии в области допусков и посадок и, например, в области геометрии деталей облегчают требования к точности изготовления без ухудшения функциональных качеств. Многие стандарты ориентированы на международный опыт и сотрудничество.

В ГОСТ Р 53090-2008 [5] установлены требования максимума и минимума материала при назначении геометрических допусков: «В том случае, когда требуется обеспечить собираемость деталей - требование максимума материала (MMR), а в случае необходимости ограничения минимальной толщины стенки - требование минимума материала (LMR), позволяют объединить ограничения, накладываемые допуском размера и геометрическим допуском, в одно комплексное требование, более точно соответствующее предполагаемому назначению детали. Это комплексное требование позволяет (без ущерба для выполнения деталью своих функций) увеличивать геометрический допуск нормируемого элемента детали, если действительный размер элемента не достигает предельного значения, определяемого установленным допуском размера».

Так же в [5] имеется уточнение: «Как одно (MMR), так и другое (LMR) требование (в тех случаях, когда это не повлияет на выполнение деталью других функций) могут быть дополнены требованием взаимодействия (RPR), позволяющим увеличивать допуск размера элемента детали, если действительное геометрическое отклонение нормируемого элемента не использует полностью ограничений, накладываемых каждым из этих требований (MMR или LMR)».

ГОСТ Р 53090-2008 [5] вместе с ГОСТ 31254-2004 [6] несколько упрощают требования, например, к зависимым допускам.

ГОСТ 53442-2015 [7] касается геометрических допусков и условных знаков допусков формы, ориентации, месторасположения и биения. Этим ГОСТ отменяются предыдущие аналогичные стандарты.

В ГОСТ 25346-2013 [8] имеется много интересного. Например, вместо поля допуска следует применять термин «**интервал допуска** (tolerance interval): совокупность значений размера между пределами допуска, включая эти пределы».

Также в этом ГОСТ 25346-2013 [8] есть такая фраза: в предыдущей версии международного стандарта ИСО 286-1 (опубликована в 1988 году) для интерпретации размера размерного элемента по умолчанию применялось требование прилегания (размер по сопряжению ограничен пределом максимума материала, а любой местный размер ограничен пределом минимума материала), однако положения стандарта изменили эту интерпретацию на правило двухточечного измерения (любой местный размер ограничен верхним и нижним предельными размерами). Это означает, что, при задании допуска размера по умолчанию, на отклонения формы теперь не накладывается каких-либо ограничений. Это отмечается идентификатором E в кружочке, например, **100 g6 E** или **100^{-0,012}_{-0,034} E**. То есть, если отдельно не указано требование по геометрии элемента, то изготовление можно сделать более дешёвым.

Имеется понятие класса допуска (tolerance class) как сочетание основного отклонения и качества: D13; h9.

Список литературы

1. РМГ 29-2013. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. МЕТРОЛОГИЯ. Основные термины и определения
2. ГОСТ Р 8.736-2011 Национальный стандарт российской федерации Государственная система обеспечения единства измерений Измерения прямые многократные Методы обработки результатов измерений. Основные положения
3. ГОСТ 34100,3-2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения
4. <https://eco-e.ru/poleznoe/dokumentyi/neoopredelennost-izmerenij-v-metrologii/>
5. ГОСТ Р 53090-2008 (ИСО 2692:2006) Национальный стандарт российской федерации. Основные нормы взаимозаменяемости Характеристики изделий геометрические. Требования максимума материала, минимума материала и взаимодействия
6. ГОСТ 31254-2004 (ИСО 14660-1:1999, ИСО 14660-2:1999) Межгосударственный стандарт. Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения
7. ГОСТ Р 53442-2015 (ИСО 1101:2012) Национальный стандарт российской федерации. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристи-

ки изделий геометрические. Установление геометрических допусков. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения

8. ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010) Межгосударственный стандарт. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки

И.С. Тюремнов, А.С. Морев, Д.В. Фурманов

Экспериментальные исследования вертикальных ускорений колебаний рамы вальца вибрационного катка DM-617 при уплотнении грунта

Ярославский государственный технический университет,
г. Ярославль, Россия

Математическое моделирование взаимодействия элементов вибрационного катка при уплотнении грунта позволяет на основании исследования модели оптимизировать конструктивные параметры и технологические возможности вибрационных катков. Для верификации математических моделей необходимо сравнение результатов расчета по моделям с экспериментальными данными. В статье приведены результаты экспериментальных исследований значений вертикальных ускорений рамы вибровальца вибрационного катка DM-617 при уплотнении грунта в режиме установившейся вибрации и при включении и выключении вибрации. Установлено, что при уплотнении исследуемого грунта в диапазоне $E_{vd} = 14 \dots 25$ МПа, амплитудные значения вертикальных ускорений рамы вибровальца катка в режиме установившейся вибрации находятся в диапазоне $+6 \dots +8$ до $-6 \dots -8$ м/с² и не зависят от модуля динамической деформации грунта. При включении вибрации вертикальные ускорения рамы вальца в 1.5...2 раза, а при выключении вибрации в 1.5...1.8 раза превышают значения ускорений установившегося режима вибрации. Полученные результаты позволяют диапазон моделей вибрационных катков и условий работы для верификации математических моделей вибрационных катков при уплотнении грунта не только в режимах установившихся колебаний, но и в переходных режимах, включая прохождение резонансных областей при включении и выключении вибрации.

1. ВВЕДЕНИЕ

Вибрационные – наиболее распространенное средство механизации уплотнения грунтов в транспортном строительстве. При обосновании характеристик новых и модернизации существующих моделей вибрационных

катков необходимо решать комплекс задач, включающий обеспечение нагружения поверхности грунта статической и динамической нагрузкой, обеспечения прочности и надежности элементов конструкции, а также вибробезопасности оператора. Для анализа колебательных процессов в элементах конструкции вибрационных машин, взаимодействующих с материалом, свойства которого изменяются в процессе работы, применяются различные методы математического моделирования. Из многообразия методов математического моделирования, для исследования и описания взаимодействия элементов вибрационного катка между собой с уплотняемым грунтом, в основном, применяются подходы, основанные на применении метода конечных элементов [1-3] и на применении реологических моделей [4-9].

Для моделирования свойств грунта с использованием метода конечных элементов необходимо определение численных значений механических характеристик грунта [10], таких как коэффициент Пуассона, модель сдвига, модуль упругости, предел текучести и других. Однако недостаточное количество информации о влиянии вида грунта, его плотности и влажности, скорости деформирования и других факторов на численные значения вышеперечисленных характеристик грунтов [10-12], существенно снижает достоверность полученных при моделировании результатов.

При использовании реологического моделирования для исследования влияния характеристик грунта на особенности колебаний элементов вибрационного катка, свойства грунта моделируются идеализированными элементами упругого, вязкого, пластического и инерционного сопротивления, установленных в различном порядке [4-9, 14-20]. При этом также актуальна задача сопоставления реальных характеристик грунта (вида грунта, его плотности и влажности, модуля статической и динамической деформации и других) с соответствующими численными значениями коэффициентов элементов реологической модели (упругого и вязкого сопротивления грунта, предела текучести и приведенной массы грунта) [21-22].

Таким образом, при моделировании взаимодействия элементов вибрационного катка между собой в процессе уплотнения грунтов различных видов и состояний, необходимо выполнять верификацию математической модели на основании сравнения с результатами экспериментальных исследований. Для верификации нужно использовать параметры, с одной стороны, сравнительно просто и надежно измеряемые существующими техническими средствами, а с другой стороны, позволяющие оценивать корректность воспроизведения математической моделью основных процессов взаимодействия элементов вибрационного катка. К таким параметрам можно отнести ускорения и перемещения вальца вибрационного катка; ускорения и перемещения рамы вальца вибрационного катка. Ускорения и перемещения вальца вибрационного катка являются связующим звеном между характеристиками и режимами работы вибрационного катка и свойствами и

результатми уплотнения грунта. Ускорения и перемещения рамы вальца вибрационного катка, с одной стороны, влияют на динамику колебаний вальца вибровальца катка, а с другой стороны, во многом определяют характеристики вибрации, передаваемой на кабину и оператора вибрационного катка, а также узлы конструкции, что важно для решения задач вибробезопасности и надежности.

Результаты экспериментальных исследований вертикальных ускорений и перемещений вальца вибрационного катка DM-617 в режиме разгона вибровозбудителя, установившейся вибрации и выключения (останова) вибровозбудителя приведены в работе [23]. Данная статья содержит результаты экспериментальных исследований вертикальных ускорений рамы вальца вибрационного катка DM-617.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Экспериментальные исследования проводились с использованием вибрационного катка DM-617 (производитель - «Завод «Дорожных машин», г. Рыбинск, Россия) летом 2018 года. Характеристики вибрационного катка: эксплуатационная масса – 16.0 т; распределение массы по осям машины (передняя ось/задняя ось) – 8.8 т / 7.2 т; диаметр вальца – 1.55 м; ширина вальца – 2.0 м; линейная статическая нагрузка на ось – 43.5 кг/см; двигатель Cummins 6BTA5.9-C175 (номинальная мощность 128 кВт; номинальные обороты 2100 об/мин; рабочие обороты 1800 об/мин); частота колебаний вальца – 30/30 Гц; номинальная амплитуда колебания вальца – 1.15/1.6 мм; центробежная сила вибровозбудителя 170/230 кН; амортизаторы вальца - GMT 58200715 (20 шт.).

Уплотняемый грунт был: природная песчано-гравийная смесь (содержание зерен гравия свыше 5 мм – 40.5 %; песка среднего ($M_{кр}=2.24$) – 59.5 %; наибольшая крупность зерен гравия – 70 мм). Стандартная плотность скелета и оптимальная влажность грунта (в соответствии с ГОСТ 22733-2016 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности»), составили $\rho_{скст}=1750$ кг/м³ и $W_{opt}=8.22$ %. Толщина слоя грунта 0.5 м.

В процессе выполнения исследований вибрационный каток передвигался по участку (рис. 1) только вперед с максимальным вынуждающим усилием. Возврат к началу участка после каждого прохода осуществлялся по смежным полосам (рис. 1).



Рис. 1. Участок проведения исследований по уплотнению грунта вибрационным катком DM-617 и измерение динамического модуля деформации грунта E_{vd}

Измерение вертикальных ускорений рамы вибровальца катка DM-617 в процессе уплотнения грунта осуществлялось высокочувствительным пьезоэлектрическим акселерометром со встроенной электроникой модели AP99-100 производства ООО «Глобал-Тест» (г. Саров, Россия) с характеристиками: рабочий диапазон частот 0.5...5000 Гц; максимальное значение амплитуды измеряемого ускорения ± 50 g; частота установочного резонанса в осевом направлении > 15 кГц; среднеквадратичное значение уровня шума $< 5 \cdot 10^{-5}$ м/с². Акселерометр устанавливался на раму вибровальца продольной осью в вертикальном направлении в плоскости, проходящей через продольную ось вращения вибровальца (рис. 2). При обработке результатов измерений, коэффициент преобразования акселерометра устанавливался на основании выданного свидетельства о поверке.



Рис. 2. Место установки акселерометра рамы вибровальца катка DM-617

Регистрация показаний акселерометра AP99-100 осуществлялась анализатором спектра ZET 017-U8 производства компании ZETLAB. Частота опроса составляла 5000 Гц. Результаты измерения ускорений рамы вальца отображались в реальном времени на экране ноутбука в кабине оператора и одновременно записывались на жесткий диск ноутбука для последующей обработки. Питание анализатора спектра и ноутбука осуществлялось от бортовой сети вибрационного катка через преобразователь напряжения Ritmix RPI-6100С (12/220V, 600W, чистая синусоида).

Обработка показаний акселерометра осуществлялась при помощи инструмента «Галерея сигналов» («ZSignalGallery»), входящим в состав программного обеспечения анализатора спектра ZET 017-U8. Характерная осциллограмма ускорений рамы вальца приведена на (рис. 3).

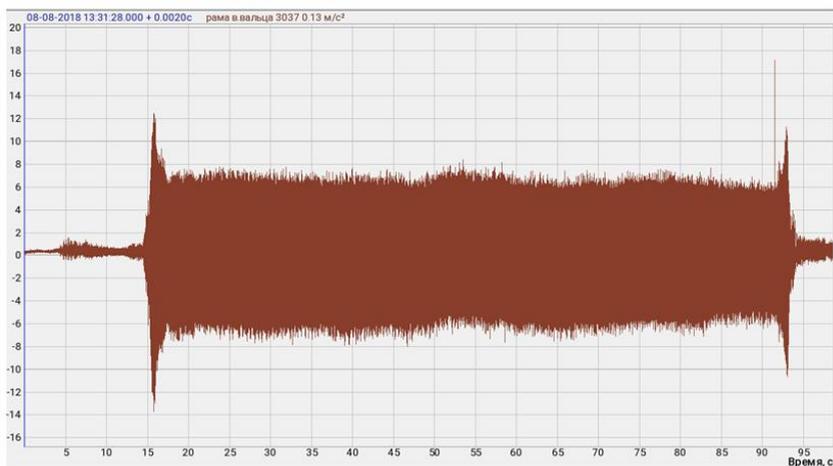


Рис. 3. Характерная осциллограмма ускорений рамы вибротальца катка DM-617

Изменение свойств грунта в процессе уплотнения оценивалось динамическим модулем деформации E_{vd} , измеряемым установкой динамического нагружения ZORN ZFG 3.0. Измерение динамического модуля деформации грунта E_{vd} осуществлялось после каждых 2-х проходов вибрационного катка в 3-х точках поперёк направления движения: с правого края, посередине и у левого края полосы уплотнения (рис. 1), а затем результаты усреднялись. Каждая серия измерений значений E_{vd} выполнялась со смещением участка взятия проб вдоль полосы уплотнения для того, чтобы измерения каждый раз выполнялись на новом участке грунта, ранее не подвергавшемся воздействиям штампа.

Исследования повторялись 3 раза с максимально возможным воспроизведением исходных свойств грунта и режимов уплотнения.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рисунках (рис. 4-6) представлены результаты измерений вертикальных ускорений рамы вибровальца катка ДМ-617 в процессе уплотнения грунта (повтор № 1) при движении вперёд в режиме установившейся вибрации (с максимальным вынуждающим усилием) (рис. 4), при разгоне вибровозбудителя (рис. 5) и при выключении (остановке) вибровозбудителя (рис. 6).

В осциллограммах ускорений (см. рис. 4) присутствуют колебания не только на базовой частоте (30 Гц), но и на других частотах, зашумляющих сигнал. Однако до выяснения источников высокочастотных колебаний рамы вибровальца, анализ вертикальных ускорений был проведен без применения технологий цифровой фильтрации сигналов.

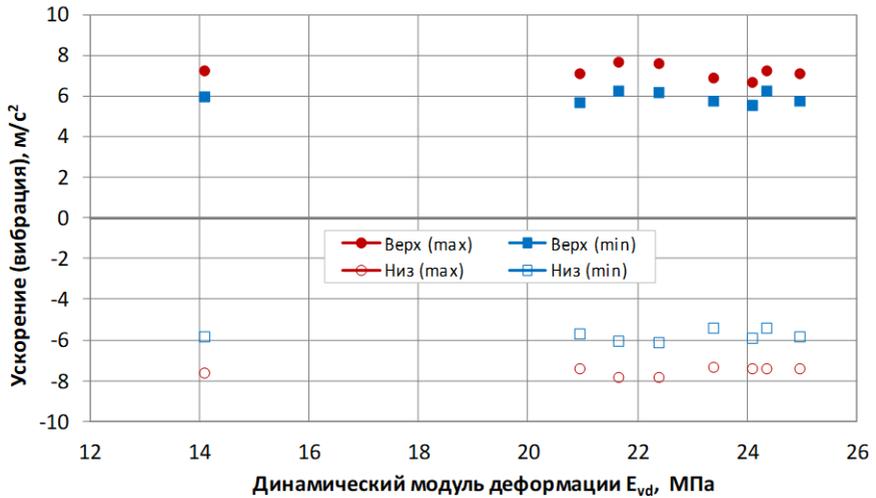


Рис. 4. Результаты измерений вертикальных ускорений рамы вибровальца в процессе установившейся вибрации при уплотнении грунта катком ДМ-617 (повтор № 1, движение вперед с максимальной вибрацией)

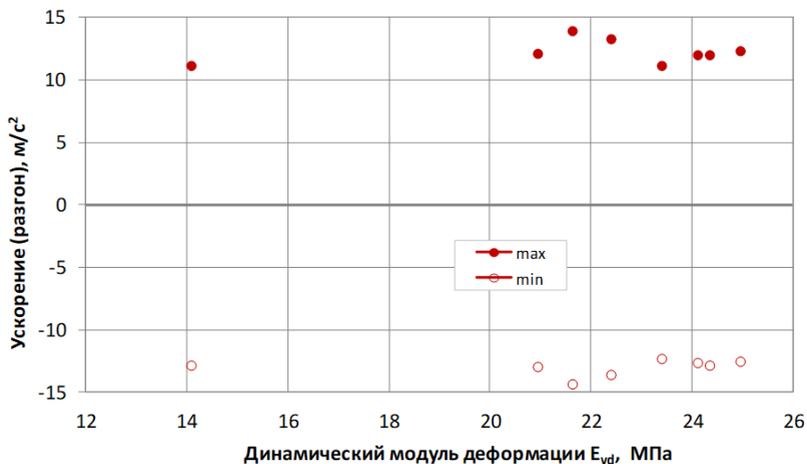


Рис. 5. Результаты измерений вертикальных ускорений рамы вибровальца в процессе разгона вибровозбудителя катка DM-617 (повтор № 1).

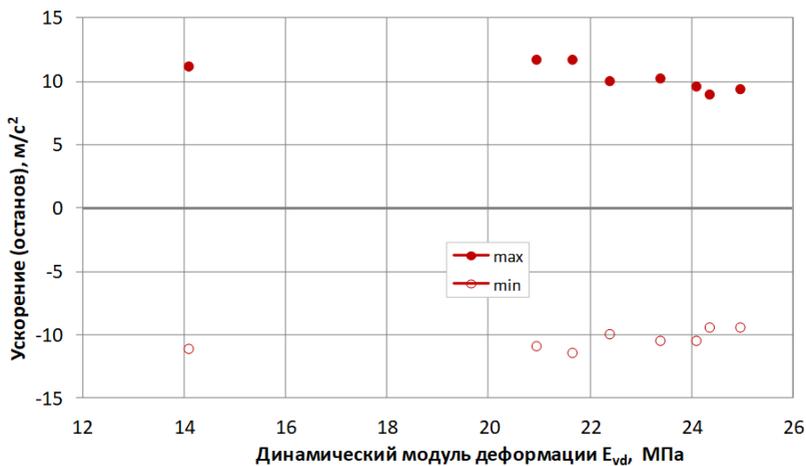


Рис. 6. Результаты измерений вертикальных ускорений рамы вибровальца в процессе останова вибровозбудителя катка DM-617 (повтор № 1).

Обработка результатов измерений вертикальных ускорений рамы вибровальца катка DM-617 в процессе уплотнения грунта с максимальным вынуждающим усилием (с учетом 3-х кратной повторности) в диапазоне значений динамического модуля деформации грунта $E_{vd} = 14 \dots 25$ МПа показала:

- Амплитудные значения вертикальных ускорений рамы вибровальца в процессе установившейся вибрации находятся, в среднем, в диапазоне от $+6...+8$ до $-6...-8$ м/с². При этом отсутствует корреляция между значениями E_{vd} и амплитудными значениями вертикальных ускорений рамы вибровальца;

- При разгоне вибровозбудителя амплитудные значения вертикальных ускорений рамы вибровальца находятся, в среднем, в диапазоне от $+10...+14$ до $-11...-14$ м/с², что в 1.5...2 раза превышает амплитудные значения вертикальных ускорений рамы вибровальца установившегося режима работы;

- При останове вибровозбудителя амплитудные значения вертикальных ускорений рамы вибровальца находятся, в среднем, в диапазоне от $9...+12$ до $-10...-12$ м/с², что в 1.5...1.8 раза превышает амплитудные значения вертикальных ускорений рамы вибровальца при установившемся режиме работы;

- Амплитудные значения вертикальных ускорений рамы вибровальца при разгоне и останове вибровозбудителя практически не зависят от значения динамического модуля деформации грунта E_{vd} .

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Независимость амплитудных значений вертикальных ускорений колебаний рамы вибровальца от плотности грунта (оцениваемой динамическим моделем деформации E_{vd}), коррелирует с результатами ранее проведенных экспериментальных исследований с вибрационным катком DM-614, также показавшими независимость амплитудных значений вертикальных ускорений колебаний рамы вибровальца от плотности грунта в диапазоне значений $E_{vd}=6.8...15.1$ МПа. Достоверность полученного результата также подтверждается его воспроизводимостью при 3-х кратном повторе испытаний.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные данные по амплитудным значениям вертикальных ускорений колебаний рамы вибровальца катка DM-617 при работе в различных режимах (установившиеся колебания, включение и выключение вибрации) позволяют верифицировать различные математические модели, описывающие колебательные процессы взаимодействия элементов вибрационного катка и грунта в процессе уплотнения. В том числе, полученные результаты расширяют диапазон моделей катков и условий, для которых получались экспериментальные данные по испытаниям вибрационных катков производства «Завод «Дорожных машин» (г. Рыбинск, Россия) и позволяют верифицировать разрабатываемую [22] реологическую модель по большему числу параметров и в более широком диапазоне грунтовых условий.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой и организационной поддержке ООО «Завод «Дорожных машин» (г. Рыбинск, Ярославская область, Россия).

Авторы благодарят директора ООО «Завод «Дорожных машин» П.А. Кузнецова и главного конструктора ООО «Завод «Дорожных машин» М.А. Шанова за помощь в организации и проведении экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Rouaiguia, A. Simulation of soil dynamic compaction / A. Rouaiguia, R. Al-Zahrani // The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran. – Vol. 3, December 2002. – P. 223-232.
2. Hügel, H.M. High-performance Abaqus simulations in soil mechanics / H.M. Hügel, S. Henke, S. Kinzler / Institute for Geotechnics and Construction Management, Hamburg University of Technology, Germany // Abaqus Users' Conference. – 2008. – P. 15.
3. Erdmann P, Adam D. Numerical simulation of dynamic soil compaction with vibratory compaction equipment . XV Danube - European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) H. Brandl& D. Adam (eds.) 9-11 September 2014, Vienna, Austria Paper No. 119
4. Yoo T-S and Selig E T 1979 Dynamics of Vibratory-Roller Compaction Journal of the Geotechnical Engineering Division 105 (10): 1211-1231.
5. Siminiati D and Hren D 2008 Simulation on vibratory roller-soil interaction J. Adv. Eng. 2, p. 111-120.
6. Anderegg R, Dominik A von Felten and Kaufmann K 2006 Compaction Monitoring Using Intelligent Soil Compactors Proceedings of GeoCongress: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age, p.41–46. [https://doi.org/10.1061/40803\(187\)41](https://doi.org/10.1061/40803(187)41).
7. Шабанова Г И, Савельев С В и Бурый Г Г 2013 Математическое описание колебательной системы «вибрационный рабочий орган – грунт» Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии № 3 (31) С. 102-107.
8. Van Susante P J and Mooney M A 2008 Capturing Nonlinear Vibratory Roller Compactor Behavior through Lumped Parameter Modeling Journal of engineering mechanics 134 P. 684-693.
9. Shen P H 2009 Dynamic characteristics of the intelligent compactor model with adjustable vibration modes International Conference on Transportation Engineering 2009 (ICTE 2009) p. 2322-2327 [http://dx.doi.org/10.1061/41039\(345\)384](http://dx.doi.org/10.1061/41039(345)384).
10. Будилов И.Н., Лукашук Ю.В., Белов Г. В. Исследование напряженно-деформированного состояния элементов конструкции сваебойного

трубчатого дизель-молота // ANSYS Advantage. Русская редакция. 2009. №12. С. 22-27. <http://www.ansysadvantage.ru/fileadmin/archive/ANSYS-ADVANTAGE-Rus-12.pdf>

11. Махмутов М.М., Сахапов Р.Л. О качестве уплотнения грунтов земляного полотна // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 2 (32). С. 289-294. (https://izvestija.kgasu.ru/ru/nomera-zhurnalazhurnal/arkhiv-zhurnalazhurnal?zod=sod2_2015&idizv=500)

12. Стригун К.Ю. Применение установок динамического нагружения для контроля степени уплотнения грунтов // В сборнике: Наука XXI века: опыт прошлого - взгляд в будущее. материалы II Международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)». 2016. С. 257-261.

13. Стригун К.Ю. Применение установок динамического нагружения для контроля степени уплотнения грунтов // Вестник магистратуры. 2016. № 5-2 (56). С. 88-90.

14. Briaud, Jean-Louis. Intelligent compaction: overview and research needs / Jean-Louis Briaud, Jeongbok Seo / Texas A&M University, December, 2003. – P. 84.

15. Михеев В.В., Савельев С.В. Ватематическая модель уплотнения упруговязкопластичной грунтовой среды при взаимодействии с рабочим органом дорожной машины в рамках модифицированного подхода сосредоточенных параметров // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2017. № 2 (54). С. 28-36.

16. Савельев С.В., Михеев В.В., Белодед А.С. Ватематическая модель процесса динамического деформирования уплотняемой упруго вязкой пластичной среды // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 3 (49). С. 99-105.

17. Русаков И.Г., Харкевич А.А. Вынужденные колебания системы, ударяющейся об ограничитель / Журнал технической физики. Т. XII, выпуск 11-12 с. 715-721.

18. Дудин В.М., Попова Н.Н. Анализ расчетной схемы вибратора на упруго-вязком ограничителе // Ярославль: «Строительные и дорожные машины». Сборник научных трудов Ярославского политехнического института. 1975. С. 11-14.

19. Баркан Д.Д., Шехтер О.Я. Теория поверхностного уплотнения грунтов в книге «Применение вибрации в строительстве». Москва: 1962. С. 5-26.

20. Попов Г.Н. Выбор параметров прицепных вибрационных катков для уплотнения грунтовых оснований // Труды Ленинградского политехни-

ческого института. Ленинград: Машиностроение: 1972, выпуск 327. С. 114-119.

21. Тюремнов И.С., Определение коэффициентов упругого и вязкого сопротивления грунта при его вибрационном уплотнении / Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-29 [текст]: сб. трудов XXIX Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т.8. / под общ. ред. А.А. Большакова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т; Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН; Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2016, с. 46-49.

22. Тюремнов И.С., Морев А.С., Фурманов Д.В. К вопросу обоснования значения присоединённой массы грунта при реологическом моделировании процесса уплотнения грунта вибрационным катком // В сборнике: ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ. материалы III Международной научно-технической конференции. 2019. С. 215-223.

23. Тюремнов И.С., Морев А.С., Фурманов Д.В. Экспериментальные исследования вертикальных перемещений и ускорений колебаний вальца вибрационного катка dm-617 при уплотнении грунта // В сборнике: Проблемы машиноведения. Материалы IV Международной научно-технической конференции. Научный редактор П.Д. Балакин. 2020. С. 121-128

И.С. Тюремнов

Обоснование подходов для разработки методики прогнозирования технологических возможностей мобильных грунтоуплотняющих машин виброударного действия

Ярославский государственный технический университет,
г. Ярославль, Россия

Среди грунтоуплотняющих машин наибольшее распространение получили мобильные машины: вибрационные катки и самоходные виброплиты. С учетом того, что вынуждающее усилие вибровозбудителей вибрационных катков и виброплит существенно превышает вес машины, при работе данных машин реализуются виброударный режим колебаний. Сложный характер взаимодействия рабочего органа с грунтом в виброударном режиме, а также изменяющиеся на каждом проходе свойства грунта осложняют разработку методики прогнозирования технологических возможностей виброударных грунтоуплотняющих машин при уплотнении грунтов в заданных условиях производства работ. Для разработки данной методики целесообразно всё многообразие процессов взаимодействия элементов грунто-

уплотняющей машины между собой и с уплотняемым грунтом, а также процессы изменения напряженно-деформированного состояния грунта разбить на несколько этапов. На первом этапе моделируется взаимодействие элементов грунтоуплотняющей машины между собой и с уплотняемым грунтом (ограничителем). Для этой цели целесообразно применение метода реологического моделирования. На втором этапе, при помощи методов динамической теории пластичности, исследуется распространение волн напряжений по глубине грунта и рассчитывается распределение напряжений по глубине. На третьем этапе рассчитываются деформации на различных глубинах грунта. Таким образом, появляется возможность расчета влияния технических характеристик и режимов работы грунтоуплотняющих машин на результаты уплотнения грунта в конкретных условиях производства работ.

1. Введение

При уплотнении грунтов в строительстве применяются грунтоуплотняющие машины. В зависимости от характера передвижения машины в процесс уплотнения грунта, грунтоуплотняющие машины разделяются на позиционные и мобильные. К позиционным можно отнести машины, находящиеся в неподвижном состоянии в процессе уплотнения грунта от рыхлого до плотного состояния. Обычно они оснащаются рабочим органом, установленном на базовую машину и осуществляющим уплотнение в одной точке поверхности: трамбующие машины, установки быстрого ударного уплотнения (RIC - Rapid Impact Compactor), навесные экскаваторные плиты и др. Данные машины взаимодействуют с грунтом, свойства которого постоянно изменяются в процессе уплотнения. В мобильных грунтоуплотняющих машинах уплотнение осуществляется при движении машины (совершении прохода) над выделенной точкой грунта. К таким машинам относятся вибрационные катки, самоходные виброплиты и др. Эта группа машин нашла наибольшее применение при уплотнении грунтов в транспортном, промышленном и гражданском строительстве. Для данных машин время воздействия на грунт во время прохода над выделенной точкой на поверхности грунта существенно меньше, чем при работе машин позиционного уплотнения, поэтому, с известной долей приближения, можно считать, что за время прохода машины свойства грунта постоянны.

По характеру воздействия рабочего органа грунтоуплотняющей машины на грунт выделяют машины статического, вибрационного и ударного действия. Грунтоуплотняющие машины вибрационного действия составляют, в настоящее время, основу парка машин для уплотнения грунтов в строительстве. К данной группе машин относятся вибрационные катки, самоходные виброплиты, навесные экскаваторные виброплиты, вибро-трамбовки и др. Анализ технических характеристик вибрационных грунтоуплотняющих машин показывает, что динамическая составляющая нагрузки, передаваемой рабочим органом машины на грунт, существенно превы-

шает статическую составляющую (вес машины). Так для вибрационных катков вынуждающее усилие, генерируемое вибровозбудителем вальца, в 2...5.5 раз превышает вес, приходящийся на вибрационный модуль катка [1]. Для навесных экскаваторных виброплит вынуждающее усилие в 4...23 раза превышает вес навесной виброплиты [2]. Для самоходных виброплит вынуждающее усилие в 10...24 раза превышает вес виброплиты [3-5]. Таким образом, режим работы вышеперечисленных вибрационных машин будет сопровождаться периодическим отрывом рабочего органа от уплотняемого грунта в процессе работы, что соответствует не вибрационному, а виброударному режиму [6]. При этом взаимодействие рабочего органа грунтоуплотняющей машины с грунтом может носить сложный характер [7]. Это приводит к существенным сложностям при решении задач проектирования (обоснования технических характеристик новых или модернизируемых моделей виброударных грунтоуплотняющих машин) и применения (обоснования выбора модели машины для обеспечения заданных результатов уплотнения в конкретных условиях производства работ и обоснования режимов работы) виброударных грунтоуплотняющих машин в строительстве.

Для повышения качества уплотнения грунтов, виброударные машины (вибрационные катки, самоходные и навесные виброплиты) оснащаются [8] системами непрерывного контроля качества уплотнения грунта (Continuous Compaction Control или, сокращенно, CCC). Однако это не решает в полном объеме задачи обоснования выбора модели грунтоуплотняющей машины для работы в конкретных условиях производства работ и обеспечения качества производства работ. Во-первых, данные системы дают только усредненную оценку результата уплотнения грунта по толщине слоя, в частности, не позволяют оценивать результаты уплотнения слоев грунта у нижней границы зоны уплотнения, труднее всего поддающихся уплотнению [9]. Во-вторых, на показания CCC влияет направление движения машины, режим работы вибровозбудителя, вид и толщина слоя уплотняемого грунта [9]. В-третьих, применение CCC не позволяет обеспечить требуемое качество уплотнения грунтов, если изначально была выбрана машина, неспособная по своим техническим характеристикам (массе, режимам вибрации, размерам рабочего органа) обеспечить требуемый результат в заданных условиях производства работ.

Таким образом, актуальна задача разработки методики прогнозирования технологических возможностей мобильных грунтоуплотняющих машин виброударного действия при уплотнении грунтов в заданных условиях производства работ.

2. Материалы и методы

Для разработки методики прогнозирования технологических возможностей мобильных грунтоуплотняющих машин виброударного действия при уплотнении грунтов в заданных условиях производства работ необхо-

димому учесть особенности конструкции, технические характеристики и режимы работы грунтоуплотняющей машины и особенности изменения напряженно-деформированного состояния уплотняемого грунта при воздействии на его поверхность динамической нагрузки.

На основании обзора исследований по уплотнению грунтов вибрационными катками [10] и самоходными виброплитами [11], можно сделать вывод, что наилучшее сочетание сравнительной простоты модели и учета основных конструктивных особенностей мобильной грунтоуплотняющей машины виброударного действия дает применение метода реологического моделирования. В данном методе рассматривается движение точек, имитирующих элементы машины с учетом характеристик связей между этими элементами (например, амортизаторов) и характеристик ограничителя (уплотняемого грунта). Данный метод позволяет анализировать особенности взаимодействия между основными элементами грунтоуплотняющей машины, решать задачи анализа характеристик колебаний и нагрузок на элементы машины, задачи вибробезопасности и др. При этом есть возможность верификации модели на основании экспериментальных данных по перемещениям и ускорениям элементов машины в процессе работы. Однако главной задачей грунтоуплотняющей машины является обеспечение требуемых изменений в свойствах уплотняемого грунта по всей толщине слоя. А метод реологического моделирования позволяет анализировать лишь характеристики движения точки на поверхности грунта (ограничителя движения рабочего органа) и не позволяет анализировать распределение напряжений и деформаций по всей толщине уплотняемого слоя.

Исследование процессов изменения напряженно-деформированного состояния в слое грунта возможно [10] при использовании метода конечных элементов [12-14] или методов динамической теории пластичности [15-16, 10].

Метод конечных элементов, потенциально, имеет наибольшие перспективы, поскольку обладает возможностью учета влияния переменных свойств грунта по толщине слоя и наличия нижележащего уплотненного основания, учета реальной геометрии рабочего органа, скорости движения машины, образования волны перед рабочим органом и других факторов. Однако для применения метода конечных элементов необходимо иметь численные значения характеристик грунта (например, модуля упругости, модуля сдвига, модуля пластичности и других) для грунтов различного вида, плотности и влажности. Отсутствие информации по этим характеристикам существенно ограничивает применение метода конечных элементов и снижает достоверность получаемых результатов.

Метод динамической теории пластичности менее требователен к необходимости определения численных значений различных характеристик грунтов, однако имеет ограничения, связанные с рассмотрением распро-

странения волн напряжений в столбе грунта и возможностью учета трения по боковым стенкам столба.

3. Результаты

Для разработки методики прогнозирования технологических возможностей мобильных грунтоуплотняющих машин виброударного действия при уплотнении грунтов в заданных условиях производства работ целесообразно моделирование всего многообразия процессов взаимодействия элементов грунтоуплотняющей машины между собой и с уплотняемым грунтом, а также процессы изменения напряженно-деформированного состояния грунта осуществлять в несколько этапов.

На первом этапе моделируется взаимодействие элементов грунтоуплотняющей машины между собой и с уплотняемым грунтом (ограничителем движения рабочего органа). При этом грунтоуплотняющую машину целесообразно представлять в виде реологической модели, содержащей рабочий орган (массой m_d), прикрепленный к раме (массой m_f) посредством амортизаторов (демпферов). Свойства амортизаторов и их количество характеризуются значениями коэффициентов упругого k_f и вязкого b_f сопротивлений. Свойства грунта (ограничителя рабочего органа) целесообразно моделировать элементами инерционного и упруго-вязкого (схема Фойгта) сопротивлений [17-18] (рис. 1).

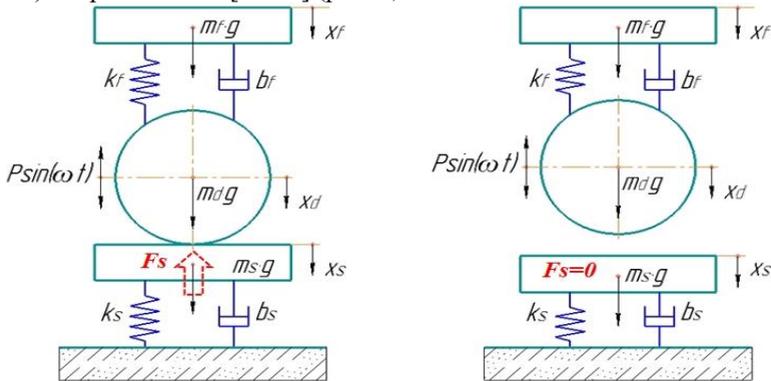


Рис. 1. Реологическая модель взаимодействия рабочего органа виброударной грунтоуплотняющей машины с уплотняемым грунтом

С учетом того, что для вибрационных катков и самоходных виброплит вынуждающее усилие вибровозбудителя существенно превышает вес рабочего органа (машины), реологическая модель должна учитывать возможность отрыва рабочего органа от грунта и последующего восстановления контакта. Результатом взаимодействия рабочего органа виброударной грунтоуплотняющей машины с конкретными характеристиками с уплотняемым грунтом (ограничителем) будет изменяющаяся во времени сила взаимодействия между рабочим органом и грунтом F_s (сила реакции грунта).

Значения изменяющейся во времени силы реакции грунта пропорциональны значениям контактных напряжений в зоне контакта рабочего органа с грунтом. Поскольку в процессе движения виброударной грунтоуплотняющей машины над выделенной точкой грунта, амплитудные значения контактных напряжений отдельных циклов воздействия будет сначала возрастать, а потом уменьшаться [19-22] (рис. 2), наибольший интерес представляет контактное напряжение с максимальной амплитудой. Данному случаю будет соответствовать установившийся режим работы реологической модели (рис. 1). Поскольку в пределах одного цикла воздействия продолжительность нагружения (нарастания напряжений) не равна продолжительности разгрузки (уменьшения напряжений) [22], то результатом исследования реологической модели будут являться не только амплитудные значения контактных напряжений (силы реакции грунта), но и продолжительность нагружения t_n и разгрузки t_r напряжений цикла с максимальной амплитудой.

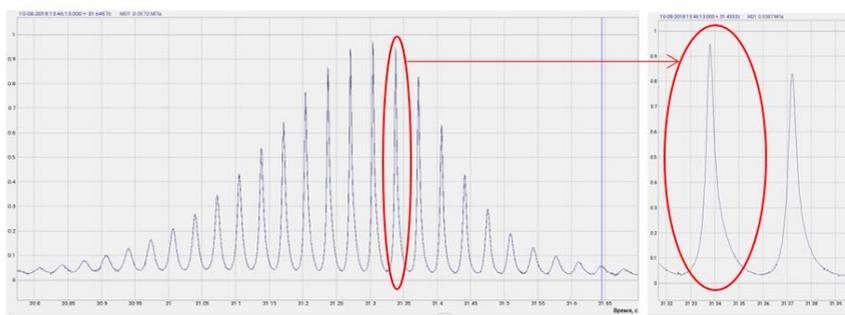


Рис. 2. Изменение во времени напряжений на глубине 0.15 м при уплотнении грунта вибрационным катком DM-617

На втором этапе с использованием положений волновой теории пластичности [15-16, 10], для выделенного цикла воздействия с максимальными контактными напряжениями (силой реакции грунта), рассчитывается распределение напряжений по глубине грунта.

На третьем этапе, для заданного распределения напряжений по глубине грунта, рассчитываются необратимые деформации грунта на различных глубинах. Для этого целесообразно применения полуэмпирических уравнений, полученных Н.Я.Хархутой на основе положений теории ползучести [23-24].

Таким образом, методика определения результатов влияния характеристик виброударной грунтоуплотняющей машины виброударного действия на результаты уплотнения грунта в конкретных условиях может быть представлена в виде схемы (рис. 3).

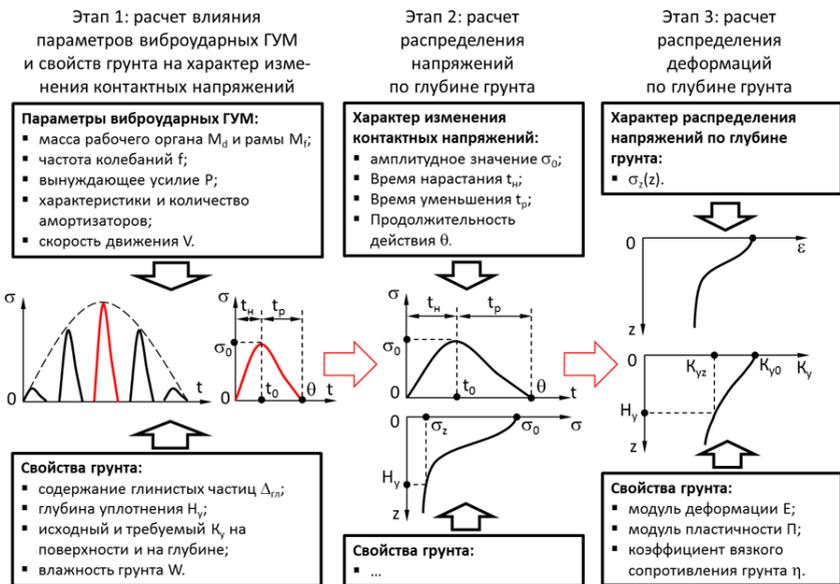


Рис. 3. Схема методики определения результатов влияния характеристик виброударной грунтоуплотняющей машины виброударного действия на результаты уплотнения грунта в конкретных условиях

4. Заключение

Представленный подход является развитием разработанных на кафедре «Строительные и дорожные машины» Ярославского государственного технического университета методик определения результатов уплотнения грунтов вибрационными катками [10] и самоходными виброплитами [11]. Отличием является переход к трёхмассной реологической модели с возможностью учета как режимов работы рабочего органа в контакте с грунтом, так и режимов работы с периодическим отрывом рабочего органа от грунта, что является важнейшей составляющей виброударных режимов работы, реализуемых современными грунтоуплотняющими машинами.

На результаты расчета по представленной методике существенным образом будут влиять обоснованность численных значений характеристик амортизаторов рабочего органа виброударной грунтоуплотняющей машины, а также значений приведенной массы грунта и характеристик упруго-вязких составляющих сопротивлений грунта. Для верификации реологической модели (этап 1), распределения напряжений по глубине грунта (этап 2) и расчета деформаций грунта на различных глубинах (этап 3) необходимо сравнение результатов моделирования с результатами экспериментальных исследований. Разбиение методики расчета на 3 этапа позволяет последовательно верифицировать методику на различных этапах по различ-

ным показателям (на этапе 1 - перемещения и ускорения рабочего органа и рамы; на этапе 2 – напряжения на различных глубинах грунта; на этапе 3 – плотность на различных глубинах грунта).

Благодарности

Автор выражает благодарность рецензентам данной работы.

Список литературы

1 Тюремнов И. С., Игнатьев А. А., Филатов И. С. Статистический анализ технических характеристик грунтовых вибрационных катков / Вестник ТОГУ, 2014, № 3(34), с. 81-88. <https://vestnik.pnu.edu.ru/vestnik/pub/articles/1987/>

2 Тюремнов И.С., Федорова Д.В. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАВЕСНЫХ ЭКСКАВАТОРНЫХ ВИБРОПЛИТ. Научный рецензируемый журнал "Вестник СибАДИ". 2019;16(2):122-133. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-122-133>

3 Тюремнов И.С., Новичихин А.А. Статистический анализ технических характеристик вибрационных плит / Механизация строительства, 2014, № 11, с. 32-35.

4 Евсеев Е.Ю., Куприянов Р.В., Зубков А.Ф. Анализ применения вибрационных плит для ремонта дорожных покрытий нежесткого типа // Механизация строительства. 2011. № 6 (804). С. 28–31.

5 Мусияко Д.В., Расулов Р.А. Самоходная вибрационная плита с вальцем // Вестник Ти-хоокеанского государственного университета. 2016. № 4 (43). С. 73–80.

6 Хархута Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет: учебник для вузов. Л: Машиностроение, 1976, 472 с.

7 Adam D., Kopf F. Operational Devices for Compaction Optimization and Quality Control (Continuous Compaction Control & Light Falling Weight Device) // Proceedings of the International Seminar on Geotechnics in Pavement and Railway Design and Construction, Athens, Greece. 2004. P. 97–106.

8 Mooney M. Vibratory Roller Integrated Measurement of Aearthwork: An Overview/ Mooney M., Adam D. // Seventh International Symposium on Field Measurements in Geomechanics. – Boston, Massachusetts, 2007. – P. 12

9 МАШИНЫ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА CAT®. Руководство по уплотнению грунта. QRBQ1705, 2013, 132 с. https://www.cat.com/en_US/articles/support/paving-application-guides.html

10 Тюремнов И.С., Игнатьев А.А. Уплотнение грунтов вибрационными катками: монография – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2012. – 140 с.

11 Уплотнение грунтов вибрационными плитами: монография [Электронный ресурс] / И.С. Тюремнов, А.А. Новичихин. – Ярославль: Издат. дом ЯГТУ, 2018. – 143 с. – 1 электрон. опт. диск.

- 12 Erdmann P, Adam D. Numerical simulation of dynamic soil compaction with vibratory compaction equipment. XV Danube - European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014) H. Brandl & D. Adam (eds.) 9-11 September 2014, Vienna, Austria Paper No. 119
- 13 Rouaiguia, A. Simulation of soil dynamic compaction / A. Rouaiguia, R. Al-Zahrani // The 6th Saudi Engineering Conference, KFUPM, Dhahran. – Vol. 3, December 2002. – P. 223-232.
- 14 Hügel, H.M. High-performance Abaqus simulations in soil mechanics / H.M. Hügel, S. Henke, S. Kinzler / Institute for Geotechnics and Construction Management, Hamburg University of Technology, Germany // Abaqus Users' Conference. – 2008. – P. 15.
- 15 Рахматулин Х. А. О распространении волны разгрузки. ПММ. 1945. Т.9, вып.1. С. 91–100.
- 16 Новацкий В.К. Волновые задачи теории пластичности, М., Мир, 1978, 304 с.
- 17 Cornelia Dobrescu The Dynamic Response of the Vibrating Compactor Roller, Depending on the Viscoelastic Properties of the Soil / Appl. Syst. Innov. 2020, 3, 25; doi:10.3390/asi3020025 (<https://www.mdpi.com/2571-5577/3/2/25>)
- 18 Van Susante P.J. and Mooney M.A. Capturing Nonlinear Vibratory Roller Compactor Behavior through Lumped Parameter Modeling // Journal of engineering mechanics. 2008. 134. Pp. 684-693.
- 19 Rinehart RV, Mooney MA, Berger JR. In-ground stress-strain condition beneath center and edge of vibratory roller compactor. In: Advances in Transportation Geotechnics - Proceedings of the 1st International Conference on Transportation Geotechnics. 2008. p. 737–41.
- 20 Rinehart RV, Mooney MA. Measurement depth of vibratory roller-measured soil stiffness. Geotechnique. 2009;59(7):609–19.
- 21 Rinehart RV, Berger JR, Mooney MA. Comparison of stress states and paths: Vibratory roller-measured soil stiffness and resilient modulus testing. Transportation Research Record. 2009. 8–15 p.
- 22 Тюремнов И.С., Фурманов Д.В. Экспериментальные исследования напряжений в грунте при воздействии вибрационного катка. В сборнике: Проблемы машиноведения Материалы IV Международной научно-технической конференции. Научный редактор П.Д. Балакин. 2020. С. 129-137. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_42738955_82405068.pdf
- 23 Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. М.: Транспорт, 1975, 288с.
- 24 Хархута Н.Я. Машины для уплотнения грунтов. Л.: Машиностроение, 1973, 176с

Расчёт храпового механизма гайковёрта

Сибирский государственный университет, политехнический институт,
г. Красноярск, Россия

Для работы в труднодоступных местах разрабатывается ручной механизированный гайковёрт (Рис. 1), основным элементом которого является храповый механизм.

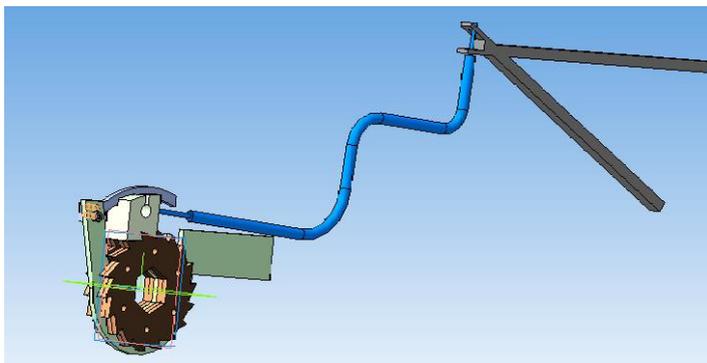


Рис. 1. Ручной механизированный гайковёрт

Математическое описание гайковёрта можно представить в виде баланса сил:

$$\frac{M_{кр}}{l_x} = F_{откр} = F_{тр} = F_{рыч} \quad (1)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент на храповом колесе; l_x – плечо храпового колеса; $F_{откр}$ – сила откручивания; $F_{тр}$ – сила, передаваемая тросиком; $F_{рыч}$ – сила, создаваемая рычагом.

Крутящий момент, требуемый для откручивания гайки размером под ключ 19 мм и с диаметром метрической резьбы 12 мм, составляет 147 Нм (Таблица 1). Увеличиваем крутящий момент до 200 Нм на заклинение, трение тросика, а так же сопротивление возвратной пружины.

Таблица 1. Усилия затяжки метрических болтов

Диаметр резьбы	Класс прочности									Размер под ключ, мм
	3,6	4,6	5,6	5,8	6,8	8,8	9,8	10,9	12,9	
	Усилие затяжки Н*м									
M8	7,11	9,48	11,9	15,8	19	25,3	28,4	35,5	42,7	13
M10	14,3	19,1	23,8	31,8	38,1	50,8	57,2	71,5	85,8	17
M12	24,4	32,6	40,7	54,3	65,1	86,9	97,7	122	147	19
M14	39	52	65	86,6	104	139	156	195	234	22

Для создания крутящего момента 200 Нм храповый механизм должен соответствовать рассчитываемым параметрам. А также проведём прочностной расчёт храпового механизма гайковёрта, для определения оптимальных размеров ключа.

Подбор параметров храпового механизма

Материал для изготовления принимаем сталь 45, так как она является достаточно прочной и распространённой.

Материал: Сталь 45, внешний диаметр храпового колеса 30 мм

Модуль колеса:

$$m = \frac{2M_k}{\psi D [q]} = \frac{2 \cdot 200}{2 \cdot 0,03 \cdot 4000} = 2 \text{ мм} \quad (2)$$

где M_k – крутящий момент (Нм); ψ – коэффициент отношения ширины зуба к модулю зуба, q – допускаемое линейное давление с учётом динамического характера нагружения (Н/см); D – диаметр храпового колеса (м).

Количество зубьев рассчитывается из формулы

$$\frac{2M_k}{D} = \frac{2M_k}{zm} \quad (3)$$

$$z = \frac{D}{m} = \frac{30}{2} = 15 \quad (4)$$

Высота сечения зуба:

$$a = 1,5m = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ мм} \quad (5)$$

Расчёт на прочность храпового колеса в Компас 3Д показал, что колесо в данных параметрах не выдержит прикладываемого к нему усилия 13333 Н (Рис. 2).

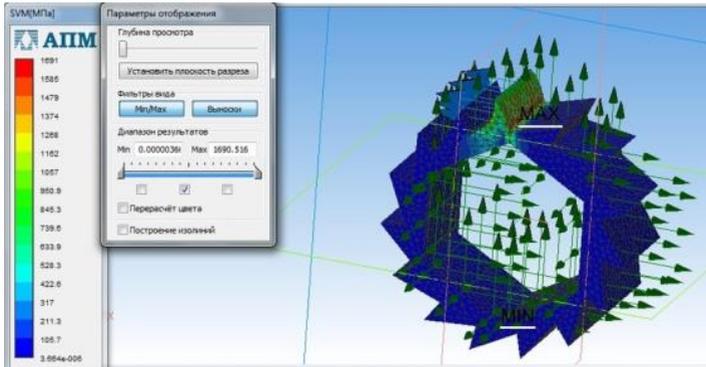


Рис. 2. Расчёт на прочность храпового колеса диаметром 30 мм

Материал: Сталь 45, внешний диаметр храпового колеса 50 мм

Модуль колеса:

$$m = \frac{2M_k}{\psi D [q]} = \frac{2 \cdot 200}{1 \cdot 0,05 \cdot 4000} = 2 \text{ мм} \quad (6)$$

где M_k – крутящий момент (Нм); ψ (1-2) – коэффициент отношения ширины зуба к модулю зуба, q – допускаемое линейное давление с учётом динамического характера нагружения (Н/см); D – диаметр храпового колеса (м).

Количество зубьев рассчитывается из формулы:

$$z = \frac{D}{m} = \frac{50}{2} = 25 \quad (7)$$

Из данной формулы можно вывести зависимость, показанную на рис.

3:

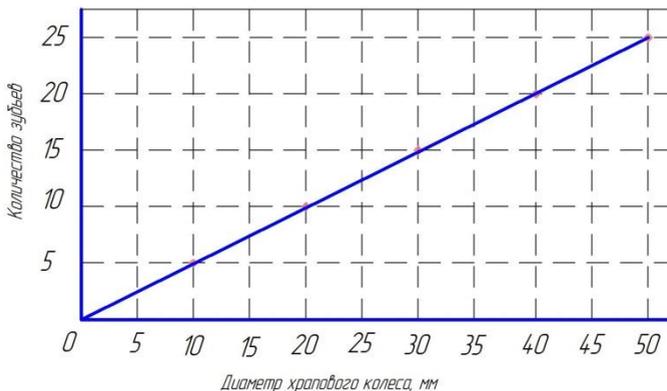


Рис. 3. График зависимости модуля от диаметра храпового колеса

Исходя из графика видно, что зависимость модуля от диаметра храпового колеса линейная, в данном случае количество зубьев в 2 раза меньше диаметра.

Высота сечения зуба:

$$a = 1,5m = 1,5 * 2 = 3 \text{ мм} \quad (8)$$

Усилие, развиваемое рычагом рукояти:

$$F_1 = \frac{M_k}{l} = \frac{200}{0,25} = 8000 \text{ Н} \quad (9)$$

Для определения длины рукояти необходимо составить систему рычагов:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \quad (10)$$

где F_1 – усилие, развиваемое рычагом; F_2 – усилие прикладываемое оператором; l_1 – расстояние до тросика; l_2 – длина рукояти.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{8000}{350} = 23 \quad (11)$$

Из этого можно сделать вывод, что один рычаг должен быть длиннее другого в 23 раза.

Длина зуба:

$$l_{\text{зуб}} = \frac{l_{\text{окр}}}{z} = \frac{2\pi R}{z} = \frac{2*3,14*0,025}{25} = 0,00628 = 6,3 \text{ мм} \quad (11)$$

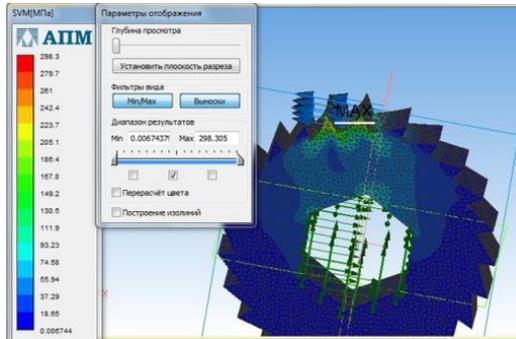


Рис. 4. Расчёт на прочность храпового колеса диаметром 50 мм

Расчёт на прочность в Комас 3Д показал, что при распределении нагрузки на 2 зуба, то колесо при заданных параметрах выдержит прикладываемое усилие (Рис. 4).

Проведя расчёты на прочность, мы получили зависимость диаметра храпового колеса от напряжения смятия (Рис. 5). Зависимость получилась гиперболической, так как при диаметре храпового колеса 0 мм, напряжение смятия никакого не может быть.

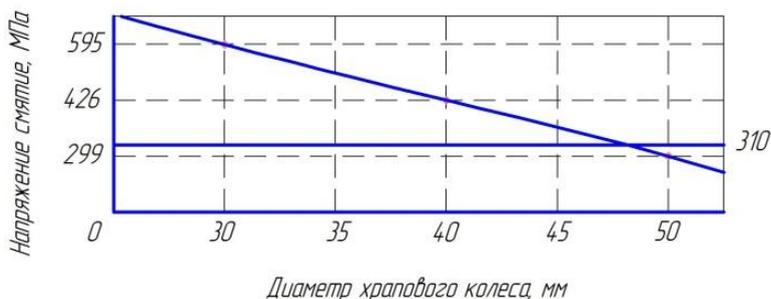


Рис. 5. Зависимость диаметра храпового колеса от напряжения смятия

Таким образом, исходя из расчётов, для изготовления выбирается храповое колесо с параметрами: диаметр храпового колеса $D = 50$ мм; количество зубьев $z = 25$; модуль $m = 2$ мм; высота зуба $a = 3$ мм; длина зуба $l = 6,3$ мм. Материал для изготовления: Сталь 45. С данными параметрами храповое колесо будет выдерживать прилагаемое на него усилие.

Список литературы

1. Министерство образования и науки [Методические указания]: - Режим доступа: <http://www.ma.cfuv.ru/>
2. Федеральный институт промышленной собственности [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <http://new.fips.ru/>
3. Яндекс. Патенты [Электронный ресурс]: - Режим доступа: <https://yandex.ru/patents>
4. Каверзин С.В., Байкалов В.А., Васильев С.И. Проектирование гидравлических приводов строительных и дорожных машин. Учебн. пособие. – Красноярск: Изд КПИ, 1983 – 95с.
5. В.М. Покровский., Г.Ф. Коротько. Физиология человека. Учебник 1997.
6. Допустимые напряжения и механические свойства марок сталей [Справочник] – Режим доступа: https://alexfl.pro/inform/inform_stali4.html.

РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МАШИНОСТРОЕНИИ

Э.Э. Амбарцумян, К.С. Галицков

К задаче автоматизации технологического процесса сушки сырца керамзита в сушильных агрегатах барабанного типа

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

При производстве керамзитового гравия большое значение уделяется добываемому глинистому сырью, качество которого устанавливается с помощью специальных исследований и соответствующих нормативных документов. Среди прочих можно отметить основные требования, предъявляемые к глине: возможность вспучивания при обжиге, легкоплавкость и определенный интервал вспучивания [1].

Для изготовления керамзита сухим способом используются однородные по составу высоковспучивающиеся камнеподобные глинистые породы, образующие при дроблении крошку 5-25мм. Применение высоковспучивающихся однородных пород, хорошо поддающихся размоканию и разрушению естественной структуры, позволяет производить качественный керамзит по пластическому способу, при условии соблюдения технологических ограничений, накладываемых на влажность глинистого сырья. Процесс производства керамзита пластическим способом включает в себя несколько технологических этапов, а именно: подготовка глинистого сырья, включающая предварительную переработку и измельчение; формирование, сушку, тепловую обработку и охлаждение [1]. В данной статье остановимся на процессе сушки керамзитового сырца, необходимом для предварительного подсушивания полуфабриката, с целью предотвращения появления в гранулах микротрещин, наличие которых приводит к снижению прочности или полному разрушению гранул керамзита в печи обжига.

В настоящее время сушка сырца керамзита осуществляется в сушильном агрегате барабанного типа, который представляет собой стальной цилиндр длиной 8 – 30м и диаметром от 1 до 2,8м, установленный с уклоном 2,5-6 градусов. Для лучшего перемешивания материала и увеличения поверхности теплопередачи в барабанах могут устанавливаться пересыпающие устройства, необходимые для увеличения поверхности соприкосновения дымовых газов и материала, а также повышения эффективности процесса сушки [1]. Однако при таком конструктивном исполнении гранулы сырца заполняют лишь нижнюю часть сечения; наличие лопастей и кресто-

вин по длине барабана приводят к измельчению и разрушению материала в процессе движения в сушильном агрегате [2].

В последнее время на керамзитовом производстве хорошо себя зарекомендовали сушильные барабаны с теплообменниками, конструктивной особенностью которых, в отличие от общепринятых, являются равномерно расположенные по внутреннему диаметру сушильного барабана трубы (со стороны выгрузки подсушенного материала) на расстояние 15% от общей длины агрегата [2]. В соответствии с технологией производства гранулы сырца керамзита с формовочной влажностью W_{ϕ} с участка формования поступают в сушильный барабан, в котором происходит их сушка до влажности W_c , окатывание и формирование предварительной прочности. Источником тепла служат отходящие от печи обжига дымовые газы, температура которых не превышает 800 градусов. Продолжительность сушки составляет 20-40 минут, при этом остаточная влажность материала 7-15%. Для каждого материала режим сушки устанавливают опытным путем [1].

В процессе сушки сырца керамзита возникает ряд сложностей, связанных с неэффективностью процесса сушки в связи с отсутствием контроля поступающих дымовых газов; остаточная влажность высушенных гранул не всегда достигает требуемого значения, что в дальнейшем может привести к низкому вспучиванию в печи обжига [2, 3].

В рамках исследования сформулируем задачи, направленные на стабилизацию влажности сырца керамзита на выходе из сушильного агрегата при его сушке, путем регулирования подачи дымовых газов, контроля показателей влажности высушиваемых гранул, а также регулирования скорости вращения барабана.

Получение керамзита заданной влажности на выходе из сушильного агрегата может быть получено путем оснащения его комплексом систем автоматического управления, где в качестве объекта управления будет рассматриваться процесс сушки гранул сырца керамзита в сушильном барабане. Состояние объекта управления опишем следующими координатами (рис.1): W_c – влажность высушенных гранул; $\rho_{гр}$ – плотность гранул сырца на выходе из сушильного барабана. Управляющим воздействием на объект управления приняты: $\omega_{об}$ – скорость вращения сушильного барабана; W_{ϕ} – формовочная влажность гранул, поступающих в сушильный барабан; $T_{дг}$ – температура отходящих дымовых газов. Возмущающим воздействием в данном случае является изменение температуры наружного воздуха $T_{нв}$, окружающего сушильный барабан.



Рис.1 Структура процесса сушки как многомерного объекта управления

Проведенный анализ известных работ [4], направленных на совершенствование процесса сушки, показал, что используемые средства автоматизации не решают в полной мере задачу стабилизации влажности гранул сырца керамзита. Таким образом, для поддержания заданной влажности керамзита в процессе сушки необходимо решить следующие задачи: создать математическую модель процесса сушки керамзита как объекта управления с распределенными параметрами; выполнить структурный синтез системы автоматического управления влажностью сырца керамзита; провести экспериментальные исследования разработанной системы, обеспечивающей формирование гранул заданной влажности.

Список литературы

1. Онацкий С.П. Производство керамзита / Москва, 1971. С. 137-161.
2. Сыромятников В.А., Якшаров О.Ю., Токарева С.А. О режимах сушки при производстве керамзита.// Керамзит и керамзитобетон. Сб. научных трудов ВНИИСтром.М. 1978. -В.11-С. 31-41.
3. Самохвалов О.В. Автоматизация технологического процесса обжига при производстве керамзита заданной прочности// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2018
4. Амбарцумян Э.Э. Анализ публикаций по автоматизации технологического процесса сушки сырца при производстве керамзита// Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Сборник статей академии строительства и архитектуры самарского государственного технического университета. 2020. С. 556-559.

Исследование температуры внутри автоклава при гидротермальной обработке гипсового щебня

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Производство высокопрочного гипса представляет собой комплекс последовательно выполняемых технологических операций, включающий процесс автоклавирования гипсового щебня с последующей сушкой в сушильном барабане. В зависимости от конкретного вида производства время обработки полуфабриката варьируется от 4 до 6 часов и сопровождается высокими энергозатратами. За данный период загруженный в автоклав гипсовый щебень должен прогреться до температуры 120 - 130°C, достигнуто давление 0,1 – 0,13 МПа и данные параметры должны поддерживаться [1-6].

Несоблюдение данных требований негативно сказывается на качестве обрабатываемого гипсового щебня и, как следствие, на качестве конечного продукта.

Цель промышленного эксперимента:

- Установить температурные характеристики пара в паропроводе перед автоклавом;
- Определить фактическое распределение температуры внутри автоклава на разных высотных отметках при обработке гипсового щебня;
- Выполнить анализ полученных температурных характеристик.



Рис. 1. Общий вид автоклава

Технологический процесс автоклавной обработки гипсового щебня в автоклаве вертикального типа включает в себя следующие временные этапы (рис. 2): I – удаление конденсата, II – пропаривание, III – выдержка и IV – сброс давления.

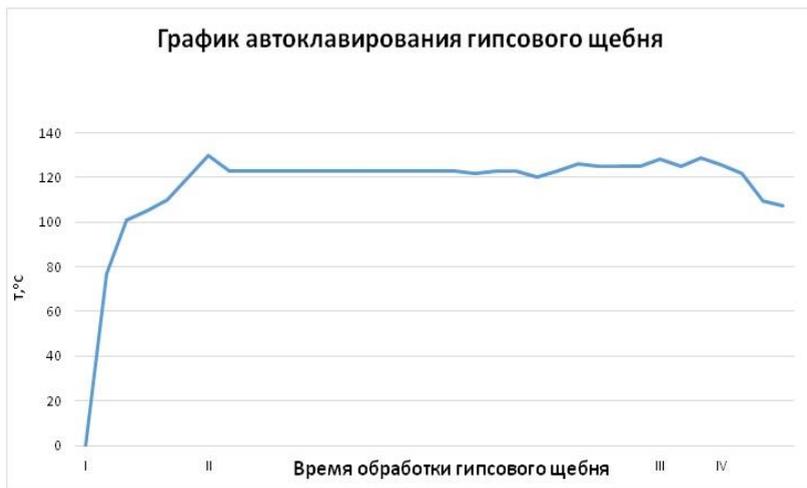


Рис. 2. Технологический процесс автоклавирования гипсового камня

На I этапе, продолжающемся до 30 минут, в загруженный гипсовым щебнем с размерами кусков 10 - 60мм и загерметизированный автоклав подается пар через магистраль подачи пара, при этом задвижка удаления конденсата находится открытой, за счет чего пар, проходящий через щебень, удаляет с него поверхностную влагу и нагревает его. Конденсат отводится через магистраль отвода конденсата.

Этап II протекает в течение 200 - 250 минут, с момента закрытия задвижки удаления конденсата и начала набора давления, при этом в автоклаве должно поддерживаться определенное давление и температура обработки.

На III этапе прекращается подача пара, закрываются все задвижки и обеспечивается выдержка гипсового щебня в течение определённого времени.

Для сброса давления из автоклава (этап IV) используется задвижка отвода конденсата, которая открывается происходит снижение давления до 0 МПа, после чего обработанный гипсовый щебень выгружается из автоклава через нижний люк.

Для проведения исследования выбрано следующее оборудование:

1. Термопары ДТПЛ014-10.20/20, вмонтированные в металлическую трубу $\frac{3}{4}$ дюйма для определения температуры на разных высотных отметках внутри автоклава;

2. Термопара ДТПК045-0111.500В, установленная в гильзу и вмонтированная в магистраль подачи пара до автоклава для определения температуры пара в паропроводе;

3. Измеритель ПИД-регулятор восьмиканальный ТРМ138 для вывода показаний с датчиков температуры.

Порядок проведения эксперимента:

Для определения температуры внутри автоклава (рис.3) вначале устанавливалась труба с термопарами, затем оператором загружался в автоклав гипсовый щебень. Провода выводились к прибору ТРМ138 через крышку автоклава. Для предотвращения утечки пара и снижения давления в автоклаве, место вывода проводов герметизировалось высокотемпературным силиконовым герметиком. В ходе проведения эксперимента рассматривался весь цикл автоклавирования, начиная с гидротермальной обработки и заканчивая сбросом пара. Результаты измерений приведены в таблице 1.

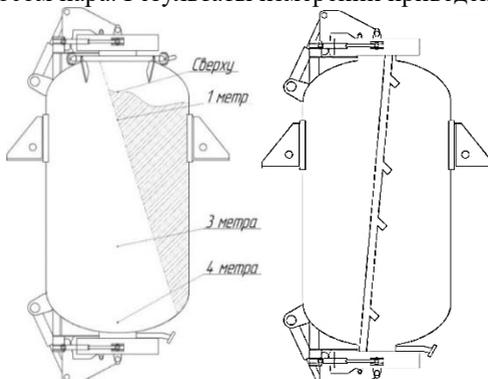


Рис. 3. Точки замера температуры в автоклаве

Таблица 1. Результаты экспериментов

№ измерения	Давление		Температура (термопара), °С				Температура пара, °С
	Атм.	МПа	T1 (сверху)	T2 (1 метр)	T3 (3 метра)	T4 (4 метра)	
<i>Гидротермальная обработка гипсового щебня</i>							
1.	0,6	0,061	107	98,4	30,7	42	220,8
2.	1,49	0,15	109,5	117	115	22,5	220,2
3.	1,13	0,11	119,9	118,2	111,4	16	216,0
4.	1,27	0,13	122,7	118,8	113	21	214,4
5.	1,37	0,138	123,1	118,9	112	41,4	214,1
6.	1,4	0,14	122,2	119	110	47,8	210,7
7.	1,46	0,147	117,8	118,9	101	48,8	217,9

№ измерения	Давление		Температура (термопара), °С				Температура пара, °С
	Атм.	МПа	T1 (сверху)	T2 (1 метр)	T3 (3 метра)	T4 (4 метра)	
8.	1,36	0,137	118	119,1	102	49	221,5
9.	1,34	0,136	118,1	119,1	107	49,3	222,3
10.	1,37	0,139	117,7	120,5	109	49,4	222,8
11.	1,42	0,144	119,7	121,5	109,1	49,6	223,0
12.	1,53	0,155	116,7	122,1	111	49,5	222,0
13.	1,39	0,14	119,7	123,2	110,8	49,8	221,9
14.	1,56	0,158	121,7	124,2	109,2	49,8	222,3
15.	1,29	0,13	116,3	124,7	110	49,3	222,5
16.	1,24	0,126	117,9	125	109,8	49,1	222,7
<i>Завершение пропарки, выдержка</i>							
17.	1,22	0,124	119,1	123,6	112	48,7	224,9
<i>Сброс пара</i>							
18.	1	0,1	116,2	116,2	109	48,5	225,1
19.	0,54	0,055	113,5	113,5	109,8	65,7	224,4
20.	0,22	0,022	107,2	107,2	110	71	223,1
<i>Завершение цикла</i>							

Выполнен сравнительный анализ данных, приведенных в таблице 1 и построены зависимости распределения температуры гипсового щебня внутри автоклава (рис.4).

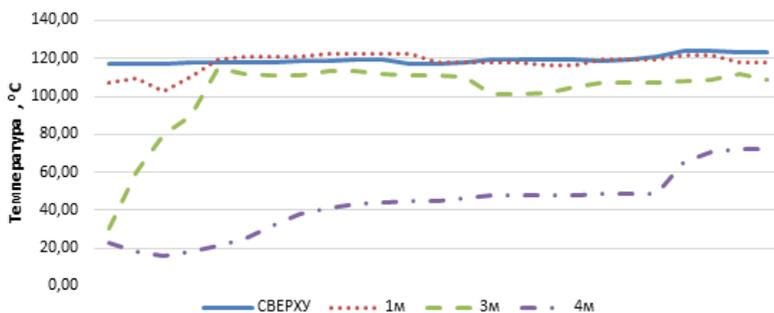


Рис. 4. Сравнительный график температур в автоклаве

Как видно из полученных данных (рис.4) гидротермальная обработка гипсового щебня в зависимости от глубины загрузки протекает неоднородно, что существенно влияет, в первую очередь, на качество конечной продукции.

Выводы:

1. Проведенные эксперименты подтвердили теорию о неравномерности обработки гипсового щебня в вертикальном автоклаве. Это связано, на

наш взгляд с тем, что подача пара осуществляется только в верхней части автоклава, гипсовый щебень загружается в автоклав через верхнюю крышку автоклава и укладывается неравномерно с образованием пустот и уплотнений.

2. Несмотря на удовлетворительные результаты, полученные при промышленном эксперименте, нельзя утверждать, что процесс гидротермальной обработки гипсового щебня протекает именно так, как представлено в результатах проведенного эксперимента. Поэтому данный вопрос требует более глубокого изучения и проведения дополнительных исследований в других вертикальных автоклавах, с соответствующими измерениями температур в различных точках и на разных глубинах.

Список литературы

1. Белецкий Б.Ф. Технология и механизация строительного производства. Ростов н/Д, 2004, 752 с.
2. Белецкий Б.Ф., Булгакова И.Г. Строительные машины и оборудование. Ростов н/Д, Феникс, 2005, 608 с.
3. Добронравов С.С., Дронов В.Г. Строительные машины и основы автоматики. М: Высшая школа, 2001, 375 с.
4. Дроздов Н.Е., Фейгин Л.А., Зеленский В.С. Строительные машины и оборудование, курсовое и дипломное проектирование. М: Стройиздат, 1988, 190 с.
5. Дроздов А.Н., Кудрявцев Е.М. Строительные машины и оборудование. М: Академия, 2012, 569с.
6. Строительные машины и основы автоматики, Красноярск, СФУ, 2007, 195 с.
7. <https://helpiks.org/3-87442.html> (дата обращения: 15.04. 2021)
8. <http://www.findpatent.ru/patent/236/2360875.html> (дата обращения: 10.05. 2021)

Актуальность применения автоматизированных систем в технологических процессах водоподготовки

¹Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Россия

² Федеральное казенное учреждение «Научно-исследовательский институт Федеральной службы исполнения наказаний», г. Москва, Россия

На сегодняшний день существует достаточное количество эффективных технологических процессов для получения питьевой воды, которая бы удовлетворяла всем санитарным нормам. Тем не менее, остается открытым вопрос автоматизации технологических процессов для подготовки питьевой воды [1-3]. В свете современных тенденций, в данной области представляет особый интерес применение современных методов машинного обучения, в частности, было рассмотрено применение методов, которые основаны на обучении искусственных нейронных сетей.

Исследуя вопрос автоматизации технологического процесса подготовки питьевой воды, в первую очередь следует рассмотреть преимущества и недостатки. Из преимуществ можно выделить [4, 5]:

- возможность выявления скрытых, ранее неизвестных для данного технологического процесса предприятия общих закономерностей;
- выявлять оптимальные параметры технологического процесса без экспериментальных исследований;
- сокращение затрат для проведения экспериментальных исследований для выбора оптимальных реагентов и их дозирования;
- возможность прогнозирования технологического процесса.

Из недостатков автоматизации процесса можно выделить:

- ограниченность применения в рамках одной технологической схемы т.е. разработанная система может не приводить к нужным результатам качества воды если будут внесены изменения в технологическую схему.
- вероятность отказа системы, либо ошибочное определение параметров. В этом случае следует разрабатывать дополнительную систему контроля качества питьевой воды, которая бы контролировала дополнительно процесс автоматизации.

Применение методов машинного обучения (в частности на основе обучения искусственных нейронных сетей) является одним из передовых опытов для разработки автоматизированных систем, управления информационными потоками и т.д. Для применения искусственной нейронной сети в системе автоматизации технологического процесса подготовки питьевой воды следует в первую очередь определить ее структуру, количество связей между нейронами, количество скрытых слоев, количество входящих и ис-

ходящих сигналов, функцию активации нейронов. В первую очередь рассмотрим распространение сигналов искусственной нейронной сети. Одной из основных формул, которые здесь следует рассмотреть – это распространение входящих сигналов (1). [6, 7]:

$$X = WI, \tag{1}$$

где I – матрица для значений входящих сигналов искусственной нейронной сети;

W – совокупность весов сигналов, которые преобразованы в матрицу;

X – матрица нейронов рассматриваемого скрытого слоя искусственной нейронной сети.

Для нейронной сети с одним скрытым слоем матричная форма будет выглядеть как (2):

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_{11} & w_{21} & w_{31} \\ w_{12} & w_{22} & w_{32} \\ w_{13} & w_{23} & w_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, \tag{2}$$

где w – веса связей искусственной нейронной сети, I_1, I_2, I_3 , – входящие сигналы, x – сигналы, которые поступают на каждый нейрон.

Обратное распространение ошибки на примере искусственной нейронной сети с двумя нейронами в скрытом слое можно выразить в виде формулы (3) [7, 8]:

$$E = \begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{w_{11}}{w_{11}+w_{21}} & \frac{w_{12}}{w_{12}+w_{22}} \\ \frac{w_{21}}{w_{21}+w_{11}} & \frac{w_{22}}{w_{22}+w_{12}} \end{pmatrix}, \tag{3}$$

где, e – ошибка каждого нейрона в скрытом слое, E – общая ошибка слоя искусственной нейронной сети. Рассмотрим структуру искусственной нейронной сети. На рисунке 1. Представлен пример передачи сигналов в искусственной нейронной сети [9, 10].

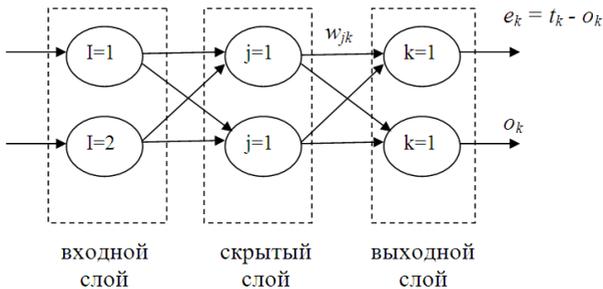


Рис. 1. Пример передачи сигналов в искусственной нейронной сети в графическом виде

Если рассматривать функции активации для каждого нейрона искусственной нейронной сети, то здесь их достаточно много – наиболее популярные при этом – функции гистерезиса, логистической функции, единичного скачка, и гиперболического тангенса (рисунок 2) [9-11].

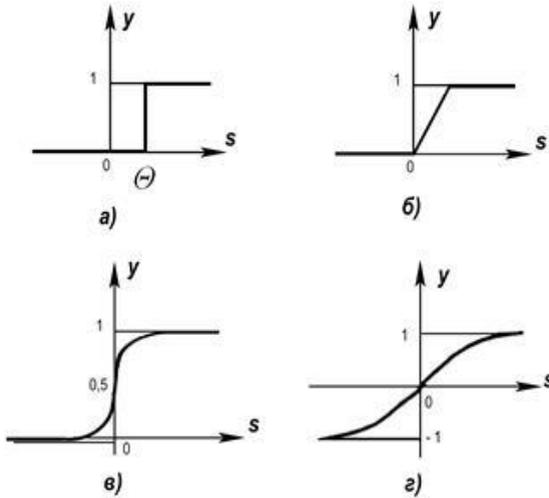


Рис. 2. Функции активации, которые наиболее часто применяются для нейронов

Что же касается функции активации нейронов, то здесь чаще всего (а наш случай не является исключением) применяется сигмоидальная функция активации. (функция S-образного вида) активации (4) [9-11].

$$F(s) = \frac{1}{1+e^{-x}}. \tag{4}$$

Применение сигмоидальной функции активации обусловлено тем, что она обеспечивает в первую очередь постепенное обучение каждого нейрона. Данная функция сглажена в переходной области т.е. функция непрерывна и, следовательно, дифференцируема.

Кроме того, следует обосновать количество нейронов, количество скрытых слоев и количество связей. Здесь может быть применено достаточно большое количество методик. На сегодня не существует универсальных методов по определению оптимального количества нейронов и количества скрытых слоев, очень часто применяется метод подбора. Однако в некоторых случаях можно воспользоваться формулой (5) [9, 10]:

$$\frac{mN}{1+\log_2 N} \leq L_w \leq m \left(\frac{N}{m} + 1 \right) (n + m + 1) + m, \tag{5}$$

где: n – размерность входного сигнала искусственной нейронной сети
 m – размерность выходного сигнала искусственной нейронной сети
 N – обучающая выборка; L_w – число синаптических весов.

Таким образом, исходя из всего вышесказанного – применение обученной нейронной сети для автоматизации технологического процесса подготовки питьевой воды является вполне реализуемым. Кроме того, внедрение данной разработки непосредственно на производстве не представляет особых трудностей.

Практическое применение и экономическая эффективность применяемой системы автоматизации, которая основана на обученной нейронной сети будет заключаться в более точном расчете наиболее подходящих параметров процессов водоподготовки (например, дозирование сорбента можно будет рассчитывать не экспериментально в лабораторных условиях, а на основе обученной искусственной нейронной сети). Кроме того, возможно сократить человеческие ресурсозатраты предприятия (на отбор проб воды, лабораторные исследования). Например, на одном из предприятий в десятилетний период ежегодная сумма остатка в среднем сорбента составляла 10,282 тонн, в то время как сумма остатка полученных на основе данных обученной искусственной нейронной сети составляла всего лишь 15 килограмм.

Таким образом, применение автоматизированных систем в технологических процессах водоподготовки является актуальным и перспективным направлением, которое позволяет сократить ресурсы на проведение лабораторных исследований, сократить остатки реагентов после проведения сезонной подготовки воды. Применение и внедрение данных систем является возможным и достаточно реализуемым за счет использования современных методов машинного обучения и искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Исаков В.Г., Пономарев Д.С. Регрессионное моделирование концентрации геосмина в питьевой воде на основании данных МУП "Ижводоканал" // Интеллектуальные системы в производстве. 2015. № 2 (26). С. 107-108.
2. Когановский А.М., Клименко Н.А. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
3. Исаков В.Г., Пономарев Д.С. Повышение эффективности методов удаления запахов при обработке природных вод // Молодые ученые - ускорению научно-технического прогресса в XXI веке. электронное научное издание: сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием. Министерство образования и науки Удмуртской Республики,

ФГБОУ ВПО "Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова". 2013. С. 883-887.

4. Благодатский Г.А., Бас А.А., Горохов М.М., Пономарев Д.С. Системный анализ показателей исходной воды при производстве питьевой воды в системе центрального водоснабжения // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. Т. 16. № 2. С. 84-96.

5. Пономарев Д.С. Нейрорегрессионная модель дезодорации воды на основе многослойного персептрона // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2015. Т. 71. № 5. С. 16-19.

6. Круглов В. В , Борисов В В , Харитонов Е. В. Нейронные сети конфигурации обучение, применение // Изд-во Моск. энерг. ин-та. фил-л. – Смоленск, 1998. – 215 с.

7. Рашид Т. Создаем нейронную сеть на Python – СПб.: ООО «Альфа-книга», 2018. – 272 с.

8. Борисов В. В., Круглов В. В., Харитонов Е. В. Основы построения нейронных сетей. - Смоленск: Изд-во Военного ун-та войсковой ПВО ВС РФ, 2002. - 193 с.

9. Борисов Ю., Кашкаров В., Сорокин С. Нейросетевые методы обработки информации и средства их программно-аппаратной поддержки// Открытые си-стемы. - 2001. - № 4. - 215 с.

10. Анил К. Джейн, Жианчанг Мао, Моуддин К. М. Введение в искусственные нейронные сети //Открытые системы - 1997. - № 4 - С. 31-44.

11. Круглов В.В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. -2-е изд., стереотип. - М.: Горячая линия-Телеком, 2002. - 382 с.

В.А. Пенчук

Современное строительство требует эффективных технологических машин

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка, Украина

В современных условиях технология (*techno* - искусство, мастерство, *logos* - мысль, слово) - это способ взаимодействия функционирующих систем, образующих простые и комплексные процессы, определяющим фактором которых является степень потенциала инженерного интеллекта, интеллектуального уровня развития строительной отрасли, наличие инновационных технологий и элементов нанотехнологий.

Концепция развития технологий строительного производства состоит в комплексном единстве развития составляющих элементов системы: -

строительных материалы и конструкции;- методов и средств производства работ;- организация, планирование и управление производством;- контроль качества СМР.

Таким образом, функциональные системы состоят из элементов (структурных блоков), таких как: строительные материалы, конструкции, машины и оборудования, методы организации работ. Многолетний опыт показывает, что строительно-технологическая система уже проходила несколько уровней развития. Переход на более высокий уровень технологии происходит при инновационном прорыве в одном или нескольких факторах технологической цепочки, когда количество переходит в новое качество. Динамичное развитие и появление новых инженерных идей, модернизация строительства, внедрение инноваций и нанотехнологий способствует прогрессу в области строительства и совершенствованию качества во всех элементах и звеньях технологической цепи.

Схематическое изображение «концептуального моста» между системным уровнем технологии строительного производства и элементами строительно-технологических систем предложена в методике академика Анохина П. К. [1], так же по результатам исследований авторов [2].

При длительном развитии общества оно из одного состояния качества переходит на новый более высокий интеллектуально развитый уровень. Всем известно, что общество уже проходило пять технологических уровней: от использования энергии животных, ветра, воды рек, через использование ДВС и электропривода. В конце XX века и начале XXI в промышленности наступил период пятого технологического уклада, когда повсеместно стали использоваться станки-автоматы, компьютеры. Казалось, что это надолго, но в 2012 году наступил новый технологический уклад - нанотехнологий, пик которого предположительно наступит в 2045 году [3].

Логистическое развитие функциональной системы предполагает соответствующую систему качества на каждом этапе жизненного цикла и дифференциальный критерий оценки качества имеет место в строительномонтажных работах.

О качестве технологии можно судить по критериям и значениям различных групп показателей: экологических, экономических, социальных, конструктивно-технологических.

Новые технологические идеи, воплощенные в прогрессивные строительные системы, уже качественно отличаются от прежних тем, что они ориентированы, наконец, на человека, на создание комфортных условий работы и проживания в новостройках. Технолог-строитель активно участвует в создании нанотехнологий и нововведений нового поколения строительной продукции.

Приоритетными направлениями в строительстве остаются: снижение тяжелых трудоемких операций, механизация, комплексная механизация и

автоматизация строительного производства, контроль качества СМР, жизнеобеспечение, экологические вопросы.

Ресурсосбережение есть основополагающая идея формирования новых технологий, но эта экономия ресурсов не должна идти в ущерб надежности, качеству, долговечности конструкций.

В общем случае наземные транспортно-технологические машины (НТТМ) классифицируются по основной их функции, используемой в строительстве: землеройные, землеройно-транспортные, грузоподъемные, сваебойные, буровые и т.д.

Объекты современного строительства и коммунального хозяйства характеризуются большим многообразием технологических процессов и объемов, требующих исполнения. Многообразие строительных объектов и технологий выполнения земляных, монтажных, кровельных, отделочных и других работ заставляет инженеров-механиков соответственно проектировать и создавать разнообразные НТТМ. Например, минимальное количество типов машин для строительства и реконструкции автомобильных дорог составляет примерно 98...100 единиц [4].

Парк НТТМ – это сложная техническая система, характеризующаяся высокой металлоемкостью, энергоемкостью, динамичной эксплуатацией и т.д. Производительность строительной машины, любой из НТТМ, определяется следующими основными факторами: тип объекта, на котором эксплуатируется НТТМ, коммунальное хозяйство, ремонтно-строительные работы, новые строительные работы и т.д.; производственные условия, в которых эксплуатируется НТТМ (объемы работ, вид разрабатываемого грунта, вид поднимаемого груза); состояние, сроки эксплуатации и ремонта НТТМ.

Модульный принцип построения машин позволяет разработчикам решать указанные выше задачи за счет расширения номенклатуры выпускаемых НТТМ; совершенствования конструктивного использования узлов и блоков на основе унификации и кооперации специализированных предприятий; повышения эффективности применения и обслуживания базовой машины.

При модульном проектировании рассматривается конкретная машина с рабочими органами различного функционального назначения. Детально основанные принципы модульного проектирования изложены в работах [5;6]. На рисунке представлена графическая интерпретация модульного принципа формирования многофункциональных машины.

Проектировщик может выбирать из i -количества функциональных модулей, при этом каждый из модулей может быть изготовлен в n -вариантах.

Варианты функционального исполнения модулей	Функциональные модули							
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	...	F _i
I	 F ₁₁	F ₂₁	F ₃₁	F ₄₁				F ₁₁
II	F ₁₂	 F ₂₂	F ₃₁	F ₄₂	 F ₅₂			F ₁₂
III	F ₁₃	F ₂₃	 F ₃₃	F ₄₃	F ₅₃	 F ₆₃		F ₁₃

Рис. 1. Модульный принцип формирования многофункциональных машин

В процессе проектирования рассматриваются согласование модулей между собой. Если принять, что имеется функциональных модулей в трех вариантах конструктивного исполнения, то можно получить 48 вариантов модульных машин, имеющих различные технико-экономические показатели.

Синтез многофункциональных машин из отдельных модулей требует значительной дополнительной как конструктивной, так и технологической проработки. Однако выигрыш может быть получен в дальнейшем, как заводом-изготовителем, так и эксплуатирующей организацией. Применение нескольких видов навесного рабочего оборудования на одной машине в рамках одного технологического процесса существенно позволяет снизить затраты на выполнение строительных и дорожных работ.

Сменные рабочие органы различаются не только по видам выполняемых работ и сложности устройства, но и по способам навески, дополнительным приводным устройствам, времени замены. Одинаковые по назначению сменные рабочие органы навешивают на машины разными способами, что по-разному проявляется в условиях работы.

Классификация сменного рабочего оборудования дорожно-строительных машин приведена в работах [7;8].

Первый тип – быстросменное рабочее оборудование, применяется чаще других. Характерной его особенностью является наличие переходных крепящих устройств для быстрой замены рабочих органов. Быстродействующие переходные крепящие устройства позволяют за короткое время (1-2 мин с учетом подъезда к стеллажам, местам хранения сменных рабочих органов) снять одно рабочее оборудование и установить другое.

Многофункциональные дорожно-строительные машины, получившие широкое распространение в строительстве, коммунальном и сельском хозяйстве, в отличие от специализированных машин выполняют не одну, а

несколько рабочих операций. Они эффективны при выполнении разнородных (многооперационных) работ на строительных объектах, особенно малообъемных..

На фоне технологического прогресса в области информации и технологий все указанные выше технические достижения в строительной отрасли выглядят относительно скромными. Это видно по тому, как до сих пор используются наземные транспортно-технологические машины и оборудование, предложенное еще много лет назад, которое все еще функционирует и даже с многофункциональными рабочими органами.

Однако технический прогресс в последние 20-30 лет разогнался до невиданных ранее скоростей – многие технологии, еще недавно казавшиеся фантастикой, сегодня становятся вполне обыденным делом. Многофункциональность работ строительных объектов предлагается реализовать в конструкциях строительных роботов, в основе которых тот же модульный принцип формирования технологической машины.

В природе модульный принцип в уникальной социальной системе термитов, в которой каждый отдельный термит действует как элемент общего механизма и обеспечивает работоспособность всей колонии. И ученым Гарвардского университета удалось воплотить эту особенность поведения насекомых в системе алгоритмов, на основе которых действуют разработанные роботы. Каждый из них снабжен системой датчиков, по которым они определяют место положения других «особей» – в результате роботы начинают действовать как единое целое.

Широко известная 3D-печать уже реализована в «строительном принтере». По своей конструкции он напоминает козловой кран, между опорами которого закреплена печатающая головка с трехмерным позиционированием. В результате можно быстро возводить надежные типовые сооружения, которые могут использоваться в качестве как маневренного фонда, так и доступного съемного жилья [9].

Выводы

1. Технологии в строительстве определяют уровень развития наземных транспортно-технологических машин.
2. В XXI веке наблюдаются тенденции в развитии:
 - эффективных однофункциональных органов для больших объемов работ;
 - НТТМ с многофункциональными рабочими органами для малообъемных и рассредоточенных строительных объектов;
 - строительных роботов и принтеров для массовых объектов.

Список литературы

1. Лапкин, М.М. П.К. Анохин – создатель теории функциональной системы (к 120-летию со дня рождения академика Петра Кузьмича Анохина)/ М.М. Лапкин, В.А. Киришин, Н.А. Козеевская// Российский медико-биологический вестник им. Академика И.П. Павлова.- 2018, Т.26, № 1.- С. 47-58.- Текст непосредственный.
2. Сахапов, Р.Л. Теория технических систем. Учебное пособие/ Р.Л. Сахапов, В.А. Пенчук.- Казань: КГАСУ, 2018.- 304 с.- Текст непосредственный.
3. Прогноз развития нанотехнологий с 2003 по 2050 гг ... [Электронный ресурс].- URL: <https://www.nanonewsnet.ru/help/nanotree?page=1> (Дата обращения 12.06.2021 г.).
4. Кириченко, И.Г. Модульная концепция проектирования технологических машин для строительного производства/ И.Г. Кириченко.– Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2002. – 119 с.- Текст непосредственный.
5. Основные тенденции развития дорожно-строительных... [Электронный ресурс].- URL: [https://cyberpedia.su>18\[28d5html](https://cyberpedia.su>18[28d5html) (lfnfj,hfotybz 11/03/2021)] (Дата обращения 14.06.2021 г.).
6. Липкович, Э.И. Основы системно-структурного синтеза блочно-модульных средств механизации/ Э.И. Липкович, Н.М. Беспамятнова, В.Б. Рыков// Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук, 1997. - № 4. - С. 68-72.- [Электронный ресурс].- URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21210541> (Дата обращения 15.06.2021 г.).
7. Прохорова, Е.В. Разработка моделей функционирования системы «квик-каплер – рабочий орган» на примере экскаватора/ Е.В. Прохорова// В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 160-летию со дня рождения В.Г. Шухова, 2013.- С. 1214-1218.- Текст непосредственный.
8. Прохорова, Е.В. Выбор и обоснование параметров быстросъемного соединительного устройства для рабочего оборудования экскаватора / автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.05.04 / Прохорова Елена Викторовна; [Место защиты: Моск. гос. автомобил.-дорож. ин-т (техн. ун-т)]. - Москва, 2014. - 19 с.- Текст непосредственный.
9. 10 невероятных строительных машин, которые способны заменить человека в самых неожиданных сферах.- [Электронный ресурс].- URL: <https://novate.ru/blogs/050617/41644/> (Дата обращения 19.06.2021 г.).

Прогнозирование удельной поверхности порошков в зависимости от их гранулометрического состава и формы частиц

Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, г. Москва, Россия

Производство цемента является базовой отраслью современного строительства [1-4]. Требования, которые предъявляются строителями становятся все жёстче и жёстче. Однако традиционные подходы при производстве портландцемента не всегда позволяют получить требуемый порошок. Одним из самых эффективных способов повышения марочности получаемого цемента – это совершенствование процесса тонкого измельчения цементного клинкера и добавок.

Для этого различные авторы предлагают разные типы измельчителей [5-8]. Однако, другие исследования [9-10] показывают, что управление зерновым составом портландцемента и других порошков позволяет управлять конечными прочностными показателями различных бетонов. Наиболее совершенной схемой управления зерновым составом порошков является схема с применением замкнутого цикла измельчения с использованием различных типов сепараторов [11-14]. Как показали многочисленные исследования, при одной и той же удельной поверхности тонкомолотые цементы, полученные в замкнутом цикле, в сравнении порошками, порученными традиционным способом, обладают большей эффективностью.

Таким образом, можно сделать вывод, что значительное влияние на значение удельной поверхности порошков оказывает форма частиц, в них входящих. При этом форма частиц цемента является их существенным, но трудно формализуемым свойством. Чтобы аналитическим способом определить параметры измельчаемого порошка, необходимо создать математическую модель распределения частиц с учетом их формы. Для создания математической модели в начале будем использовать такую классификацию получаемых в процессе сепарации частиц в зависимости от соотношения их основных размеров $d_1 > d_2 > d_3$. Здесь d_1 – максимальный размер частицы, который мы будем называть длиной частицы, мкм; d_2 – меньший размер, или ее поперечный размер, называемый ее шириной, мкм; d_3 – минимальный размер частицы, называемый ее толщиной или высотой, мкм. Для шарообразных изометрических частиц характерно то, что все три размера близки друг другу, т.е. ($d_1 \sim d_2 \sim d_3$, $\Delta d \leq 0,2 d_1$); для плоских частиц, имеющих пластинчатую или чешуйчатообразную форму, в которых два максимальных размера (длина и ширина) близки друг к другу. У этих частиц наблюдается значительное

превосходство этих размеров над другим размером (высотой) ($d_1 \sim d_2 \gg d_3$); удлинённые частицы, имеющие игольчатую или волокнистую форму. Эти частицы характерны тем, что они вытянуты в одном из направлений, назовем его длиной частицы, а в других направлениях и имеющие значительно меньшие размеры и близкие по значениям. При этом размеры в двух других направлениях по величинам близки, и значительно меньше другого, который был назван длиной, т.е. $d_1 \gg d_2 \sim d_3$.

Для дальнейших расчетов среднегеометрические величины близких по значениям размеров анизометрических (вытянутых и плоских) частиц исследуемых порошков будем называть их поперечным размером d_n , а другой их размер d_o – осевым. Отношение максимального или осевого размера к минимальному или поперечному, назовем коэффициентом анизометрии и определяется он из соотношения $a = d_o/d_n$. Этот параметр характеризует отклонение формы частицы от шарообразной или кубической. Для таких частиц $a \sim 1$, для плоских частиц $a < 1$, для вытянутых вдоль одной из осей частиц $a > 1$.

Следующим этапом для разработки математической модели формы частиц является их аппроксимация правильными геометрическими телами. Данный подход позволяет прогнозировать геометрические характеристики частиц измельчаемого материала по их размерам, определенных ранее. Для измельчаемых частиц, имеющих форму шара шаром, удельная поверхность будет минимальна и определится по формуле:

$$S(d) = 6/\rho d, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала частиц портландцемента.

Для частиц, имеющих не правильную форму, площадь их боковой поверхности увеличивается и с учетом выражения (1) может быть представлена в формулой:

$$S(d) = 6K(a)/\rho d, \quad (2)$$

где $K(a)$ – коэффициент, характеризующий увеличение боковой поверхности частиц из-за того, что их форма отличается от идеальной. При аппроксимации формы частиц измельчаемого материала в форме прямоугольного параллелепипеда, имеющего размеры $d_o \approx d_n \approx d_n$ получим соответствующее выражение:

$$K(a) = 0,41(1 + 2a)a^{2/3}. \quad (3)$$

Исследование данных микроскопического анализа измельчаемого цемента, представленного на рисунке, показывает, что среди частиц измельченного порошка преобладают частицы у одни максимальным размером. При этом коэффициент анизометрии (выражение 3) с уменьшением размера частиц возрастает от значения $a_{\max} \sim 1$ для самых больших частиц размером от $d_{\max} \sim 5d'$, до значения $a_{\max} \sim 10...15$ для мельчайших частиц размером $d_{\min} \sim 0,01d'$. Здесь d' для измельченного цемента составляет 10...30 мкм – характерный размер зерна цемента из уравнения RRBS.

В первом приближении зависимость коэффициента анизотропии от размера частиц может быть выражена линейной функцией

$$a(t) = a_{\max} - 0,2(a_{\max} - 1) t, \quad (4)$$

где $t = d/d'$.

Для определения удельной поверхности измельченного порошка можно допустить, что зерновое распределение частиц измельченного порошка подчиняется закону RRBS. Тогда величину удельной поверхности можно записать в виде:

$$S = \frac{6n}{\rho d'} \int_{0.01}^5 K(a(t)) \exp(-t^n) t^{n-2} dt. \quad (5)$$

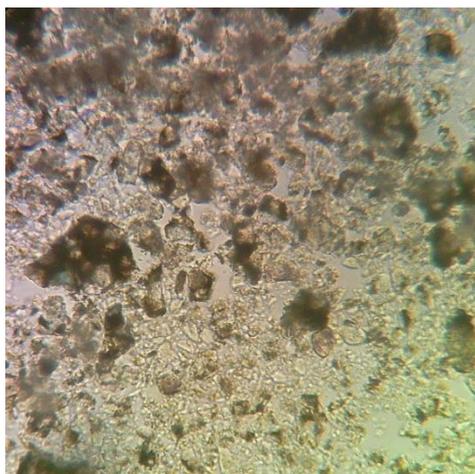


Рис. 1. Микрофотография частиц цемента

Выводы:

Полученное выше соотношение (5) для определения удельной поверхности измельченного порошка позволяет:

– аналитически точнее оспределять величину удельной поверхности измельченного цемента: отклонение результатов расчета от результатов экспериментальных исследований не **превышает 5,5 %**;

– исследовать зависимость параметров гранулометрического состава цемента а также формы их частиц на величину удельной поверхности получаемого порошка;

– более стабильно определять технологические параметры используемых шаровых мельниц, таких, как их производительность, энергоемкость процесса измельчения, активность готового цемента и т.д.

Список литературы

1. Дуда В. Цемент М. Стройиздат, 1981. 464 с.
2. Шарапов Р.Р., Уваров В.А., Орехова Т.Н. Теория наземных транспортно-технологических машин. Учебное пособие / Белгород, 2014.
3. A proven competitive advantage for grinding. *World cement*. 2003. Vol. 34. № 4. P. 35.
4. Gostout B. Five Years of Roller Press Operational Experience in Lixhe. Technical meeting HTC (Herdelberg Cement Technology Center). 15 May. 2001.
5. Богданов В.С., Семикопенко И.А., Шарапов Р.Р., Масловская А.Н. Дезинтегратор. Патент на изобретение RU 2291745 C1, 20.01.2007.
6. Kohan William J. North American roll crusher installation documents increased ball mill efficiency. *Pit and Quarry*. 1980. № 10. P. 21–22.
7. Reinhardt Y. Effective Finish Grinding. *World Cement*. March. 2008. P. 93–95.
8. Yang D, An Y. Grinding innovation. *World Cement*. March. 2008. P. 43–44.
9. Агарков А.М., Харламов Е.В. Разработка аспирационного оборудования для производства дорожно-строительных материалов В сборнике: Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Материалы Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Ш.М. Мерданов. 2018. С. 22-26.
10. Габдуллин Т.Р., Фазлеев И.А. Оптимизация процесса уплотнения щебеночно-мастичного асфальтобетона в покрытиях дорожных одежд. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 2(48). С. 280.
11. Харламов Е.В., Шарапов Р.Р., Степанов М.А. Метод разделения железосодержащего минерального сырья. Научное обозрение. 2013. № 12. С. 99-101.
12. Шарапов Р.Р., Прокопенко В.С., Агарков А.М., Бойчук И.П. Кинетика процесса разделения продукта в замкнутой системе с рециркуляцией. Механизация строительства. 2016. Т. 77. № 8. С. 47-51.
13. Prokopenko V.S., Orekhova T.N., Goncharov E.I., Odobesko I.A. Kinetics of process of product separation in closed system with recirculation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment. 2018. С. 042089.
14. Kapustin F.L., Perepelitsyn V.A., Ponomarev V.B., Loshkarev A.B. Enhancing efficiency of rock crushing screening utilization. *Journal of Mining Science*. 2017. Т. 53. № 3. С. 519-523.

РАЗДЕЛ III. ПРОИЗВОДСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ, ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН

И.С. Болотников

Особенности механической обработки полимерных композиционных материалов при производстве деталей транспортно-технологических машин

ЗАО «Универсал-Аэро», г. Москва, Россия

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) нашли широкое применение в различных отраслях промышленности при производстве как относительно мелких, но конструктивно сложных деталей, так и крупногабаритных корпусных деталей, подвергающихся действию значительных нагрузок [1].

Несмотря на то, что производство изделий из ПКМ позволяет в значительной степени снизить объем механической обработки, обеспечение ее эффективности и достижение высокого качества обрабатываемых поверхностей остаются актуальными научно-производственными задачами.

Как правило, механическую обработку изделий из ПКМ выполняют при подрезке торцов и кромок, удалении и обработке технологических припусков, а также при получении отверстий под крепежные и резьбовые соединения. Данные виды работ в значительной степени влияют на долговечность изделия. Известно, что при обработке ПКМ резанием, в результате перерезания армирующих волокон, прочность изделия снижается до 20% [2].

Особое значение качество механической обработки ПКМ на основе волокнистых наполнителей имеет при изготовлении образцов композита для проведения механических испытаний. Наличие дефектов на кромках образцов может привести к повышению коэффициента вариации значений результатов испытаний, что, в свою очередь, может быть ошибочно истолковано, как нестабильность свойств исследуемого материала [3].

Основной проблемой при решении задачи выбора оптимальных режимов механической обработки является то, что, в отличие от традиционных конструкционных материалов, таких как металлы и сплавы, ПКМ обладают уникальными физико-механическими, триботехническими, теплофизическими и др. свойствами, которые зависят не только от используемых ком-

понентов и их соотношения в композите, но и от применяемой технологии и способа отверждения.

Так, малая теплопроводность большинства ПКМ приводит к разогреву режущего инструмента, а входящий в состав ПКМ армирующий материал (например, стекловолокно) вызывает его сильное абразивное изнашивание. Под воздействием механических и термических нагрузок в процессе механической обработки происходит деструкция компонентов ПКМ, что негативно влияет на качество получаемых изделий.

Одним из технологических дефектов, возникающих в процессе механической обработки ПКМ на основе волокнистых наполнителей является их расслоение под действием сил резания. Расслоение происходит из-за относительно невысокой прочности волокнистых ПКМ при межслоевом сдвиге, структурной неоднородности, высокой твердости материала наполнителя и низкой пластичности связующего. Кроме расслоения для ПКМ характерно появление ворса при перерезании волокон армирующего материала в процессе сверления отверстий. Расслоение и разрыв материала на входе сверла и расслоение и непрорезание волокон на выходе сверла обусловлено особенностями силового воздействия инструмента на заготовку. Такие дефекты в отверстиях способствуют снижению усталостной и статической прочности конструкции и являются недопустимыми при изготовлении изделий [4,5].

Для предотвращения возникновения дефектов разработку технологического процесса механической обработки ПКМ необходимо осуществлять на основании результатов комплексных исследований, учитывающих индивидуальные особенности ПКМ, типы и характеристики применяемого оборудования, допустимую продолжительности непрерывной обработки и требования к качеству обработанной поверхности [4, 6].

Наиболее распространенными способами механической обработки изделий из ПКМ являются точение, фрезерование и сверление, выполняемые при обработке как плоских, так и фасонных поверхностей, пазов, уступов, фасок и получении отверстий. Дорогостоящие лазерные и гидроабразивные методы обработки, как правило, используют в условиях массового производства изделий при повышенных требованиях к качеству обработки [7].

Режимы резания при фрезеровании должны обеспечивать качество обработки поверхности с учетом расположения направления волокон в ПКМ, а также входа и перемещения фрез. «Встречное» фрезерование приводит к повышенной шероховатости кромок и разрыву нитей. При обработке ПКМ необходимо использовать инструменты со специальными твердосплавными или алмазными покрытиями режущей кромки, а также учитывать качество, способы заточки, конструкцию рабочих зон и геометрическую форму режущих кромок, которые бы обеспечивали обработку высоковязкой полимерной матрицы и высокопрочного и высокомодульного наполнителя. [5].

Максимальную производительность и стабильное качество сквозных отверстий в ПКМ обеспечивает правильно подобранный инструмент и режимы резания при сверлении, а также конструктивная жесткость технологической оснастки. Большую роль в обеспечении качества поверхности отверстия играет стойкость и геометрическая форма режущих кромок инструмента. Так, для уменьшения расслоения на входе отверстия используют сверла с двойной заточкой, а также прибегают к использованию кондукторов, прижимаемых к поверхности с определенным усилием, достаточным для предотвращения расслоения [5, 8, 9].

Таким образом можно отметить, что в условиях существующего разнообразия типов волокнистых ПКМ, способов их механической обработки, применяемых инструментов, оснастки и оборудования, а также рекомендуемых режимов разработка технологического обеспечения механической обработки изделий из ПКМ с обеспечением высоких показателей их долговечности является актуальной научно-практической задачей [10].

Список литературы

1. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ, 2017. №6. С 61-68
2. Дударев А.С., Алексутин А.С. Проблемы моделирования процесса фрезерования полимерных композиционных материалов // Наука, теория, практика авиационно-промышленного кластера современной России; Материалы V Международной научно-производственной конференции, приуроченной ко Дню Российской науки. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2020. С. 48-56
3. Савицкий Р.С., Вешкин Е.А. Влияние механической обработки образцов при порезке на испытания композитов // Известия Самарского научного центра Российской Академии наук, 2017. Т.19. №4(2). С.2014-2019
4. Баурова Н.И., Макаров К.А. Механическая обработка деталей машин из полимерных композиционных материалов // Технология металлов. 2017. № 2. С.15-19.
5. Раскутин А.Е., Хрульков А.В., Гириш Р.И. Технологические особенности механообработки композиционных материалов при изготовлении деталей конструкции (обзор) // Труды ВИАМ. 2016. №9. С.106-118
6. Зорин В.А., Приходько В.М. Учет факторов технологической наследственности методами технологической механики // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 6. С.2-8.
7. Попок Н.Н., Кузьмич Е.В., Черневич М.В. Сверление комбинированного металлоглополимерного материала // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. 2017. №5. С.56-70

8. Дударев А.С. Повышение эффективности и качества обработки отверстий на основе стабилизации процесса сверления изделий из полимерных композиционных материалов: автореферат. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Александр Сергеевич Дударев; Пермский государственный технический университет. – Пермь, 2009. – 21 с.: ил.

9. Лупкин Б.В., Кошкина О.М., Класс А.Л. Сверление ПКМ сверлами с подрезающими режущими кромками // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. — Х.: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ", 2009. — С. 68-80

10. Болотников И.С., Косенко Е.А. Способы механической обработки деталей машин, изготовленных из волокнистых полимерных композиционных материалов (обзор) // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. №6. С.35-38

В.А. Габышева

Исследование влияния отрицательных температур на свойства кремнийорганических покрытий

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия

Кремнийорганические покрытия получили широкое распространение в качестве защитных покрытий, что обусловлено рядом их физико-химических характеристик: стойкостью к воздействию рабочих и агрессивных сред, ультрафиолетовому излучению, хорошими фрикционными и тиксотропными свойствами, широким диапазоном рабочих температур [1-6]. Особый интерес представляет применение данного типа покрытий с учетом климатических особенностей различных регионов, поскольку на территории Российской Федерации присутствуют регионы с резко континентальным климатом – как, например, Республика Саха (Якутия), где в зимний период температуры могут опускаться до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. В некоторых случаях ремонтные работы приходится проводить в условиях отрицательных температур, что может оказать существенное влияние на процессы полимеризации, а, следовательно, и на качество покрытия. Поэтому целью данной статьи является изучение свойств кремнийорганических защитных покрытий в условиях отрицательных температур.

Для исследования было подготовлено две стальных пластины, на которые наносили кремнийорганическое покрытие – однокомпонентный кремнийорганический герметик ВГО-1. Стоит отметить, что одна сторона каждого из образцов обезжиривалась с применением ацетона, а другая – с применением многокомпонентного растворителя 646.

Первый образец был нанесен 1 января 2021 года в г. Якутске, где среднесуточная температура на тот момент составляла $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 1, 2) [7].

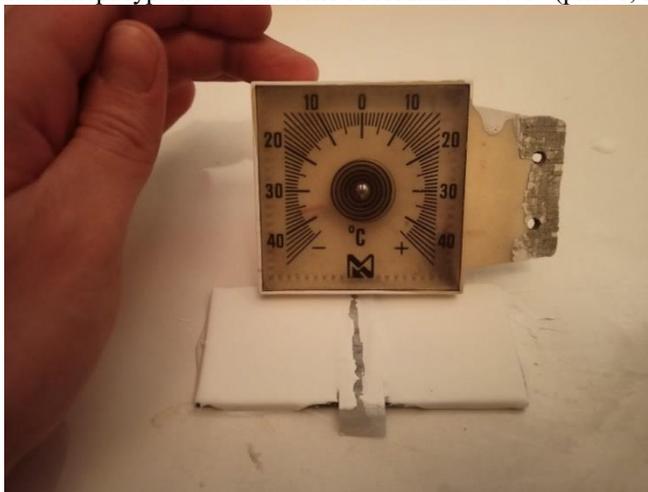


Рис. 1. Образец покрытия, нанесенный при $-36\text{ }^{\circ}\text{C}$

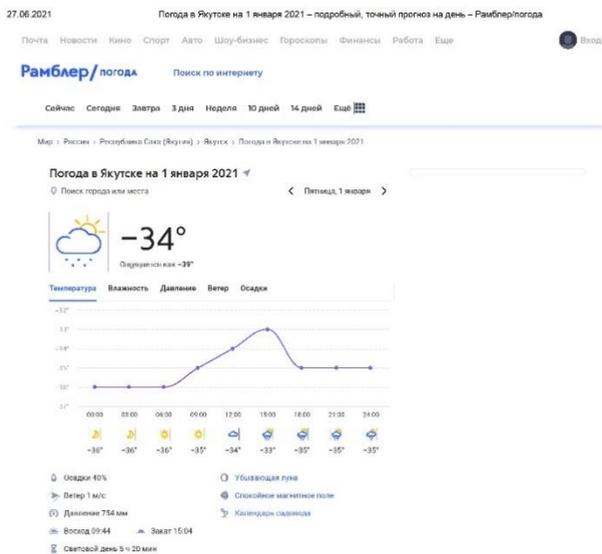


Рис. 2. Средняя температура в г. Якутске 1 января 2021 года

Второй образец был нанесен 3 января 2021 года, когда среднесуточная температура составляла $-41\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 3, 4) [8].

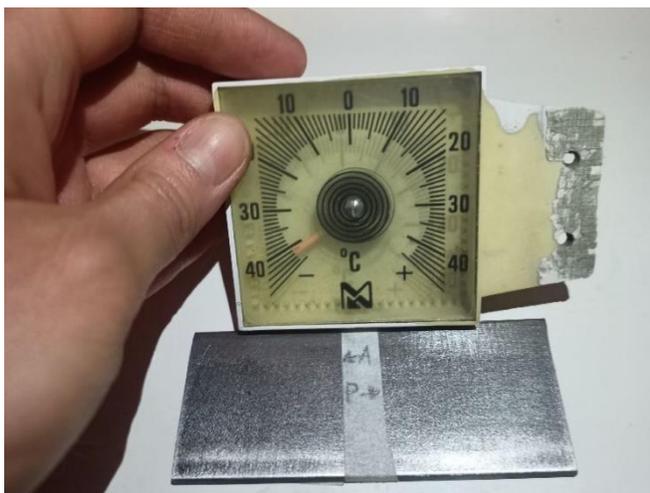


Рис. 3. стальная пластина перед нанесением второго образца покрытия при $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$

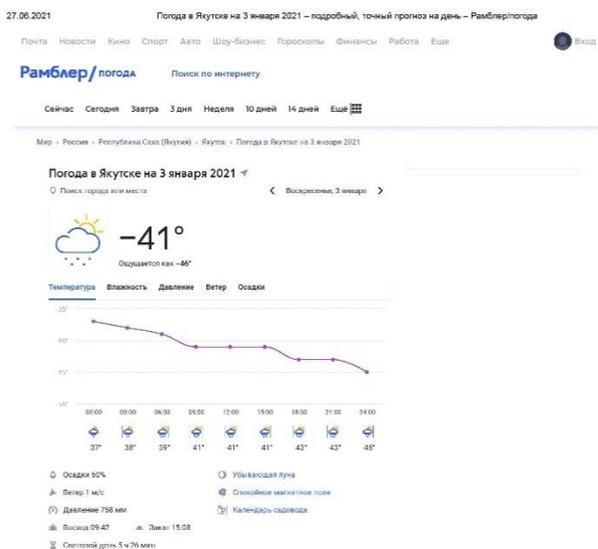


Рис. 4. Средняя температура в г. Якутске 3 января 2021 года

Последующее отверждение покрытий проходило в условиях отрицательных температур в течение недели, после чего данные образцы погружались в раствор противогололедного реагента Rockmelt и выдерживались в течение 90 дней (рис. 5). Стоит отметить, что полимеризация кремнийорганических покрытий в нормальных условиях занимает, в среднем, 24 часа,

в то время, как при отрицательных температурах отверждение покрытия заняло около трех суток.



Рис. 5. Образцы покрытия сразу после извлечения из реагентов после 90-дневной выдержки

Каждая из сторон образцов подвергалась скотч-тесту, в ходе которого ни на одном образце покрытия не была нарушена целостность покрытия, что говорит о хорошей адгезии покрытия к металлической поверхности (рис. 6).



Рис. 6. Образцы покрытия после проведения скотч-теста

На образце, нанесенном при температуре $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ заметно вспучивание покрытия. На образце, который был нанесен при температуре $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ вспучивания покрытия не наблюдается. После удаления покрытия с каждой из сторон образцов, как для образца, нанесенного при $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$, так и для образца, нанесенного при $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, большая площадь покрытия осталась на той стороне, которая предварительно была обезжирена с применением ацетона.

Выводы:

1. При температуре ниже $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ кремнийорганическое покрытие демонстрирует тенденцию к вспучиванию, что является недопустимым дефектом защитного покрытия.

2. Полимеризация кремнийорганического покрытия при отрицательных температурах занимает больший промежуток времени, чем полимеризация покрытия при нормальных условиях.

3. Кремнийорганическое покрытие, нанесенное на металлическую поверхность, предварительно обезжиренную ацетоном, при отрицательных температурах, обладало большей прочностью, чем покрытие, нанесенное на металлическую поверхность, предварительно обработанную растворителем 646.

Список литературы

1. Баурова, Н.И. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. – М.: МАДИ, 2016. – 265 с.

2. Габышева, В.А. Оценка технологичности использования антикоррозионных покрытий для защиты деталей НТТС / В.А. Габышева // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2019. № 1(19). С. 2.

3. Габышева, В.А. Исследование износостойкости антикоррозионных кремнийорганических покрытий в различных условиях эксплуатации / В.А. Габышева, К.О. Венюков, Г.И. Семенов, С.А. Батчаев // Ремонт. Восстановление. Модернизация, 2021. С. 17-21.

4. Савенкова А.В., Чурсова Л.В., Елисеев О.А., Глазов П.А. Герметики авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №3 (24).

5. Кольдюшов В.К., Баурова Н.И., Лосавио С.К. Выбор технологии окраски деталей машин из полимерных композиционных материалов на основании результатов климатических испытаний // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 4. С. 34-39.

6. Карташова В.В., Баурова Н.И. Сравнительный анализ полимерных покрытий с различными типами наполнителей для рабочего оборудования дорожных машин // Технология металлов. 2020. № 9. С. 9-15.

7. Погода в Якутске на 1 января 2021 // РАМБЛЕР/ погода URL <https://weather.rambler.ru/v-yakutske/1-january/?updated> (дата обращения: 27.06.2021).

8. Погода в Якутске на 3 января 2021 // РАМБЛЕР/ погода URL <https://weather.rambler.ru/v-yakutske/3-january/> (дата обращения: 27.06.2021).

А.О. Дворянкин, Н.И. Баурова

Выбор материалов для 3D-печати мастер моделей по результатам дифференциально-сканирующей калориметрии

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия

Главным требованием, предъявляемым при 3D-печати, мастер-моделей является высокая точность. Параметры, определяющие точность и качество получаемых моделей, закладываются еще на этапе проектирования в САД-программах [1-2]. При этом следует учитывать проблемы возникающее непосредственно в процессе печати, к ним следует отнести так называемую «температурную» погрешность. Температура плавления ABS пластика составляет $\sim 210^{\circ}\text{C}$ - 260°C , при низкой температуре ABS пластик будет застывать, что приведет к нарушению укладки нити или вовсе к остановке печати без возможности продолжении, при высокой температуре нарушится геометрия мастер-модели, а также появятся полости, что существенно повлияет на точность.

На сегодняшний день существует множество видов и типов ABS-пластика, и у каждого из них свои свойства и характеристики, в следствии чего требуется индивидуальный подход при работе с каждым из них [3].

Данные по температурным переходам различных марок ABS-пластиков – это параметр который необходимо учитывать еще до начала печати мастер-модели, так как каждая марка пластика начинает переходить из стеклообразного состояния в вязкотекучее при своей индивидуальной температуре. Игнорирование данного параметра может привести к нарушению размеров, перегреву, смещению и разделению слоев, изготавливаемых мастер-моделей

Рассмотрим влияние температуры на примере двух выбранных марок ABS-пластика.

Методика проведения эксперимента

Для проведения экспериментальных исследований, на основе результатов ранее проведенных экспериментов и литературного обзора [2, 4-5] было выбрано 2 марки ABS-пластика:

1. Print +Product ABS MS (ТУ 22.29.29-002-70629975-2018) – данный пластик не требует высокой температуры при использовании, изготовленные с его помощью мастер-модели можно сразу подвергнуть дальнейшей обработке;

2. 3D Printer Filament ABS (Black) Strong (ТУ 20.60.13-002-11757806-2017) – данный пластик отличается повышенной точностью печати, прочностью, жесткостью, термостойкостью с рабочим температурным режимом превышающим 100°C.

Образец термопластичного материала помещали в тигель из алюминиевого сплава и устанавливали на него крышку из такого же материала, которую герметично фиксировали с использованием специального оборудования для запрессовки. Масса образца составляла ≈ 15 гр и каждый образец исследуемых материалов взвешивался с точностью до 0,001 гр.

Нагревание проводили в атмосфере аргона с постоянной скоростью, равной 5°C/мин в интервале температур от комнатной до +200°C.

В процессе измерения происходит сравнение теплового потока эталона (в настоящей работе в качестве эталона использован пустой тигель) и исследуемого материала.

Измеряемыми величинами являются абсолютная температура образца и разница температур, возникающая между образцом и эталоном, которая пропорциональна разности теплового потока между ними. Для повышения точности измерений, перед проведением испытаний, проводилась калибровка прибора по температуре, что позволило получать значения температур фазовых переходов с точностью $\pm 0,1$ °C [6-7].

Исследования проводили на приборе DSC 204 F1 Phoenix® NETZSCH-GERAETEBAU GmbH.

Результаты и обсуждение

Экспериментально полученные кривые ДСК (рис. 1) представляют собой зависимость мощности компенсации теплового потока (мВт/мг) от температуры (°C).

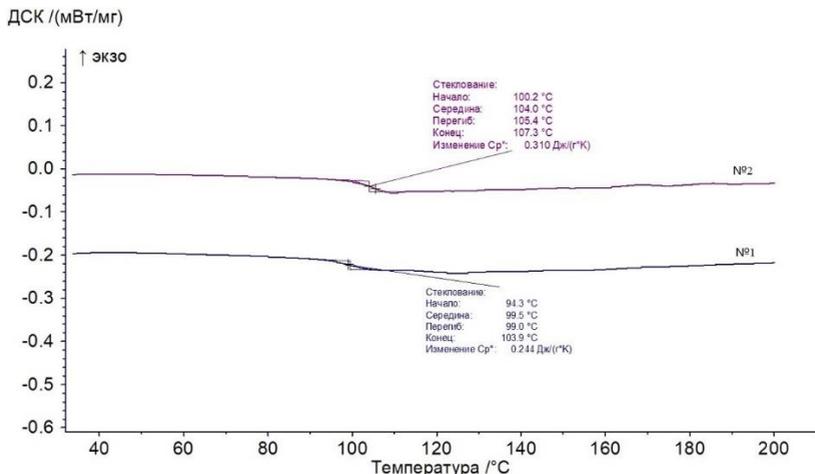


Рис. 1. Результаты ДСК для двух типов ABS пластика: 1 – Print +Product ABS MS, 2 – 3D Printer Filament ABS (Black) Strong.

Приведенные на рис. 1 кривые ДСК для рассматриваемых типов ABS-пластика, имеют характерные аномалии, которые позволяют оценить значение температуры стеклования (табл. 1).

Таблица 1 – Значения температур стеклования °С

Температура, °С	Марки ABS-пластика	
	Print +Product ABS MS (№1, нижняя ДСК-кривая)	3D Printer Filament ABS (Black) Strong (№2, верхняя ДСК-кривая)
Начало области стеклования	94,3	100,2
Середина области стеклования	99,5	104,0
Температура стеклования	99,0	105,4
Окончание области стеклования	103,9	107,3

Для образца №1 (нижняя ДСК-кривая) стеклование начинается при температуре 94,3°С и заканчивается при 103,9 °С, т.е. диапазон, при котором происходит ее изменение, составляет 9,6°С, тогда для образца №2 (верхняя ДСК-кривая) диапазон изменения температуры стеклования меньше и составляет 7,1°С.

Если определять значение температуры стеклования по ее средней величине, то для материала без наполнителя она составляет 103,9°С, а с наполнителями – 107,3°С, т.е. выше на 4,5°С. С одной стороны, такое повышение не оказывает никакого принципиального характера на теплостой-

кость материала, но с другой стороны, любое гарантированное увеличение значений температуры стеклования, при сужении диапазона, в котором происходит ее изменение, имеет положительное значение и позволяет расширять номенклатуру деталей, изготавливаемых из данных материалов.

На кривых ДСК показано значение изменения теплоемкости в процессе нагрева до температуры стеклования, величина которой для материала №1 составила 0,244 Дж/г·К тогда как для материала №2 она составляет 0,310 Дж/г·К, т.е. выше $\approx 30\%$.

Как следует из полученных данных, соблюдение температурных режимов позволит повысить точность и качество, а также расширить номенклатуру при производстве 3D мастер-моделей

Таким образом для дальнейших исследований, на основе ДСК-анализа выбран материал 3D Printer Filament ABS (Black) Strong (ТУ 20.60.13-002-11757806-2017), производства ООО «РЭК».

Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту №FSFM-2020-0011, экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

Список литературы

1. Зорин В.А. Надежность механических систем. – М.: Изд-во «ИН-ФРА-М», 2015. – 380с
2. Зленко М.А., Нагайцев М.В., Дробыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.
3. Рудской А.И., Попович А.А., Григорьев А.В. Композиционные материалы и покрытия: учеб. пособие. – СПб., 2017. – 223 с.
4. Jinwu Kang. The role and impact of 3D printing technologies in casting // www.researchgate.net (дата обращения: 12.02.2021).
5. Рудской А.И., Баурова Н.И. Технологическая наследственность при производстве и эксплуатации конструкционных материалов // Технологии металлов. 2019. № 2. С. 2-10.
6. Баурова Н.И., Сергеев А.Ю. Применение метода дифференциальной сканирующей калориметрии для изучения свойств наполненных клеевых материалов // Клеи. Герметики. Технологии. 2013. № 10. С. 40-44.
7. Malysheva G.V., Shablygin M.V., Guzeva T.A. Method for assessing aramide fiber microstructure features // Fibre Chemistry. 2015. Т. 47, №2. P.85-88.

Анализ и моделирование процесса транспортировки асфальтобетонной смеси от завода-изготовителя до места укладки

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия

Асфальтобетон является одним из наиболее распространённых материалов для устройства покрытий автомобильных дорог. Вместе с тем, анализ свидетельствует о том, что качество покрытий и существующая сеть автомобильных дорог не удовлетворяют требованиям практики [1–4].

Транспортировка асфальтобетонной смеси от асфальтобетонного завода (АБЗ) до места укладки оказывает значительное влияние на физико-химические и механические свойства смеси и асфальтобетона в готовом покрытии [3,5,6]. Доставка смеси осуществляется автомобильным транспортом, в качестве которого в настоящее время нашли наибольшее применение самосвалы. При этом на смесь будут влиять следующие факторы:

- характеристики транспортного средства;
- условия окружающей среды (температура воздуха, скорость и направление ветра);
- дальность и скорость транспортировки;
- эксплуатационное состояние дорожного покрытия на пути следования транспортного средства [7].

Процесс транспортировки можно разбить на три этапа:

- загрузка смеси в самосвал на АБЗ;
- процесс транспортировки смеси от АБЗ до места укладки;
- выгрузка смеси из автосамосвала в приёмный бункер асфальтоукладчика.

Перед загрузкой асфальтобетонной смеси в кузов транспортного средства последний должен быть обработан специальным раствором, предотвращающим прилипание смеси к кузову. Когда смесь погружена в самосвал, по его периметру немедленно начинаются потери тепла, что выражается в изменении свойств смеси. Параметры, которые формируются на данном технологическом этапе, представлены в таблице 1а [7,8].

Таблица 1. Параметры смеси на различных этапах транспортировки

Этапы и параметры	Обозначение параметра	Определение параметра	Примечание
а) Загрузка смеси в самосвал			
Температура смеси в момент загрузки	t_{SM}^1	$120 < M(t_{SM}^1) < 180$ °C $\sigma(t_{SM}^1)=1.2...10$ %	Температура всей массы смеси принимается однородной по объему
Температура воздуха в момент загрузки	t_B^1	$-10 < M(t_B^1) < 40$ °C $\sigma(t_B^1) = 1.2...10$ %	Моделируется с учетом фактора сезонности и дневных изменений
Тип транспортного средства	TR		
Масса загруженной смеси	m^l		
Схема загрузки	S^l		В зависимости от типа транспортного средства
Длительность загрузки	τ^1	В зависимости от схемы загрузки (из накопительного бункера или непосредственно из смесителя)	
б) Транспортировка			
Температура воздуха при перевозке	t_B^2	$-10 < M(t_B^2) < 40$ °C $\sigma(t_B^2)=1.2...10$ %	Моделируется с учетом фактора сезонности и дневных изменений
Скорость ветра	V_B^2	$0 \text{ м/с} < M(V_B^2) < 10$ м/с $\sigma(V_B^2)=1.5...20$ %	
Наличие тента	T		Наличие и тип тента
Дальность перевозки	L_i^2	$1 \text{ км} < M(L_i^2) < 100$ км $\sigma(L_i^2)=1.5...20$ %	
Время перевозки	τ^2	Рассчитывается	
Скорость перевозки	V_i^2	$1 \text{ км/ч} < M(V_i^2) < 80$ км/ч $\sigma(L_i^2)=1.5...40$ %	
Распределение температуры по объёму	$T(x,y,z,t)$	Рассчитывается	
Минимальная температура	T_{\min}	Рассчитывается	
Максимальная температура	T_{\max}	Рассчитывается	
в) Выгрузка смеси			
Время выгрузки	τ^3	$1 \text{ час} < M(\tau^3) < 2$ часа $\sigma(\tau^3)=0.10...50$ %	
Температура воздуха при выгрузке	t_B^3	$-10 < M(t_B^3) < 40$ °C $\sigma(t_B^3)=1.2...10$ %	Моделируется с учетом фактора сезонности и дневных изменений

Асфальтобетонная смесь при её транспортировке активно охлаждается. Причём происходит изменение температуры смеси по всему её объёму [9,10]. При транспортировке смеси после загрузки до места её укладки на свойства смеси влияют следующие параметры:

1. На температуру смеси: температура смеси в момент загрузки; масса смеси; температура окружающей среды; сила ветра.

2. Время в пути: дальность перевозки; средняя скорость доставки; тип транспортного средства.

3. На температурную однородность смеси: теплоотдача через свободную поверхность смеси в кузове самосвала; теплоотдача через дно и боковые стенки самосвала; наличие тента; температура окружающей среды; сила ветра; время в пути; скорость транспортного средства.

4. На другие свойства смеси (сегрегация): дальность перевозки; скорость перевозки; состояние покрытия дороги.

Параметры, которые формируются на данном технологическом этапе, указаны в таблице 1б.

На следующем этапе, то есть в течение времени выгрузки смеси происходит дальнейшее её охлаждение, но скорость охлаждения снижается, и температура по объёму смеси выравнивается. Это обуславливается снижением потерь тепла, так как скорость перемещения автомобиля становится нулевой (табл.1с).

Исходя из вышеуказанного, рассматривается следующая модель изменения температуры асфальтобетонной смеси в процессе её транспортировки (рис. 1).

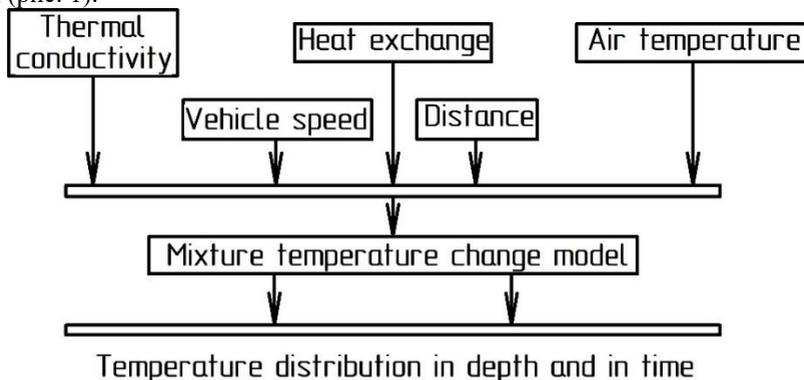


Рис. 1. Модель изменения температуры смеси в процессе транспортировки

На вход модели поступают основные теплофизические характеристики асфальтобетонной смеси, температура воздуха, скорость транспортного средства и расстояние перевозки.

Выходами модели являются:

- распределение температуры по толщине слоя смеси;

- изменение температуры во времени.

Предложенная модель позволяет оценить распределение температуры асфальтобетонной смеси в зависимости от:

- свойств самой смеси (вид смеси, масса смеси, начальная температура смеси, теплопроводность смеси);

- параметров транспортировки (вид транспортного средства, время и скорость транспортировки, условия теплообмена, температура окружающей среды, скорость ветра).

Моделирование и экспериментальная проверка показали, что в неподготовленном для перевозки асфальтобетонной смеси транспортном средстве (например, отсутствие в кузове укрытия для смеси) уже через шесть минут приблизительно 5...12 % асфальтобетона имеет температуру ниже допустимого порога [3,7].

Из проведённого анализа видно, что при транспортировке асфальтобетонной смеси на качество полученного в конечном результате асфальтобетона наибольшее влияние оказывает температурная сегрегация смеси [11–13]. Охлаждение смеси при транспортировке приводит к тому, что холодные куски смеси при укладке образуют «холодные пятна», имеющие температуру, меньшую, чем температура основной площади покрытия. Уплотняется такое дорожное покрытие неравномерно. «Холодные пятна» оказываются недоуплотнёнными, обладают пониженной прочностью, сдвигоустойчивостью и склонны к повышенному влагонасыщению, что отрицательно влияет на долговечность покрытия [14,15].

Установлено, что использование специализированных закрытых кузовов или кузовов с подогревом и закрывающим смесь брезентом позволяет снизить температурную сегрегацию смеси. Так, через час после начала движения температуру ниже допустимого порога будет иметь только от 0 до 3 % смеси [16].

С учётом вышеизложенного, используя систему Glonass/GPS, была разработана комплексная структура сбора и контроля параметров асфальтобетонной смеси в процессе её транспортировки (рис. 2). Зафиксированные параметры с помощью системы Glonass/GPS в режиме реального времени передаются в информационный центр АБЗ для корректировки температурного показателя смеси на выходе с завода (рис. 2).

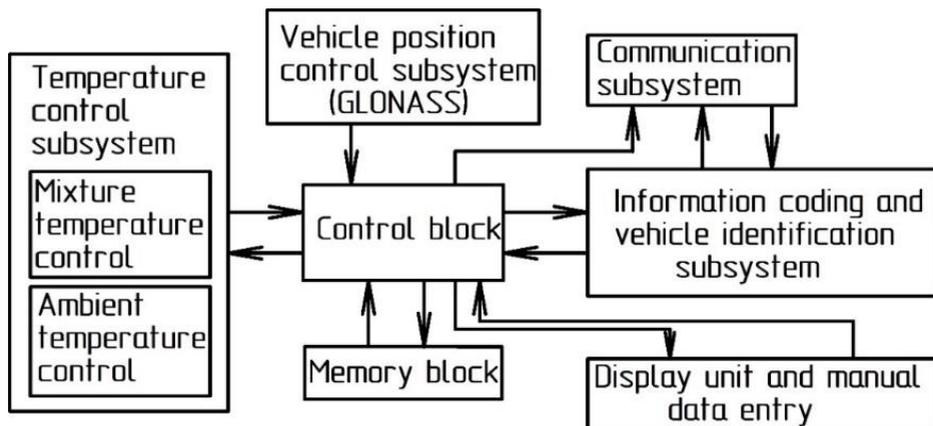


Рис. 2. Структура системы сбора и контроля параметров транспортного средства и асфальтобетонной смеси в процессе транспортировки

Указанная система включает в себя следующие подсистемы:

1. Подсистема контроля положения автомобиля, обеспечивающая оперативный контроль текущего положения каждого подключенного автомобиля.
2. Подсистема контроля температуры, обеспечивающая контроль температуры смеси в кузове автомобиля. Полученные при этом данные используются как для управления температурой отпускаемой смеси на АБЗ, так и для контроля качества смеси на возводимом объекте.
3. Блок управления, обеспечивающий реализацию всех необходимых функций подсистемы сбора данных при транспортировке асфальтобетонной смеси.
4. Подсистема кодирования информации и идентификации автомобиля, обеспечивающая шифрацию/дешифрацию данных и формирующая идентификационный номер транспортного средства.
5. Блок памяти, обеспечивающий упорядоченное хранение всех необходимых данных.
6. Блок индикации и ручного ввода данных, обеспечивающий вывод на индикацию необходимой информации. Это информация может предназначаться как водителю-оператору, так и представителям заказчика и потребителям смеси. Этот блок обеспечивает ручной ввод данных, например, код заказа.
7. Подсистема связи, обеспечивающая двухстороннюю связь между автомобилем и АБЗ [17].

С учётом проведённых исследований на кафедре «Дорожно-строительных машин» МАДИ было разработано специализированное транспортное средство для доставки асфальтобетонной смеси: самосвал с донной разгрузкой (рис. 3). Основным элементом конструкции этого само-

свала является бункер, в котором осуществляется перевозка асфальтобетонной смеси с возможностью максимального сохранения ее температуры. Конструктивное исполнение самосвала с донной разгрузкой препятствует передаче тепла в окружающую среду, что позволяет смеси дольше сохранять свои первоначальные физико-механические свойства [18–20].



Рис. 3. Самосвал с донной разгрузкой на испытаниях

Конструкция данного транспортного средства предполагает осуществление разгрузки гравитационным способом при открывании челюстных (грейферных) задвижек. Асфальтобетонная смесь при этом разгружается непосредственно на подготовленное основание для последующего подбора и перегрузки в асфальтоукладчик. Перед разгрузкой самосвал подъезжает задом как можно ближе к асфальтоукладчику или к ранее образованному валику; оператор, находящийся рядом с машиной открывает заслонку и смесь выгружается. Самосвал начинает движение на небольшой скорости и движется до полной разгрузки. Управление разгрузкой (регулирование объёма смеси) осуществляет оператор путём регулировки ширины заслонок. На имеющихся машинах, в основном, оператор идет рядом с машиной и при помощи пульта управляет положением заслонок. Пульт управления либо стационарно установлен на машине, либо вынесен на гибком кабеле, либо присутствуют оба варианта пультов, а оператор выбирает для себя наиболее оптимальный.

Технико-экономические расчёты показали, что производительность всего комплекта машин для скоростного строительства асфальтобетонного покрытия, включая транспортное средство, может достигнуть 720 т/ч. При этом: скорость транспортировки асфальтобетонной смеси автосамосвалом с донной разгрузкой составляет 30...45 км/ч; масса транспортируемого груза, равна 26...30 т; скорость перемещения перегружателя до 15 м/мин.

Таким образом, при эксплуатации самосвала с донной разгрузкой смеси суммарный годовой экономический эффект составит 3813 тыс. руб, а при использовании специализированного перегружателя асфальтобетонной смеси, работающего в комплекте с асфальтоукладчиком, суммарный эффект возрастёт до 12722 тыс. руб.[21]. Исследования показали, что использование предложенного транспортного средства позволит производить

укладку асфальтобетонной смеси непрерывно на протяжении всего строительного участка, что повышает качество готового дорожного покрытия, уменьшает число дефектов и значительно снижает температурную сегрегацию смеси.

Технико-экономический эффект при использовании комплекса дорожно-строительных машин, включающего в себя предложенный самосвал с донной разгрузкой, выше на 20 % в сравнении с традиционным способом укладки дорожных покрытий [21].

Список литературы

1. Лазарев Ю.Г., Симонов Д.Л, Новик А.Н. Формирование потребительских и эксплуатационных свойств автомобильных дорог // Техно-технологические проблемы сервиса. 2016. № 1 (35) С. 43-47.
2. Любченко А.С. Совершенствование системы содержания автомобильных дорог России с учетом опыта Германии // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура. 2014. № 36 (55). С. 149-156.
3. Доценко А.И. Комплексный мониторинг параметров дорожных машин и асфальтобетонной смеси - основа повышения качества покрытий автомобильных дорог // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2018. № 2 (53). С. 89-93.
4. Руденский А.В. Экспертная оценка состояния асфальтобетонных покрытий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2011. № 1 (144). С. 34-35.
5. Руденский А.В. Дорожные асфальтобетонные покрытия. М.: Транспорт, 1992. 253 с.
6. Гольнев Д. М., Суворов Д. Н. Автоматизированное управление производством асфальтобетона с использованием экспертных систем. Новое в инвестиционных процессах и технологиях строительного производства. М.: РИА, 2001. С. 134-141.
7. Доценко А.И. Система комплексного контроля и управления качеством асфальтобетонной смеси при строительстве автомобильных дорог // Механизация строительства. 2016. Т. 77. № 10. С. 5-9.
8. Куликов А. В., Карпушко М. О., Алексиков С. В. Анализ этапов технологической схемы процесса перевозки асфальтобетонной смеси // Сборник научных трудов SWorld. Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012: междунар. науч.-практ. конф. 2012. С. 20-31.
9. Соколов А. А. Модель теплообмена процесса транспортировки асфальтобетонной смеси для подсистемы управления // Механизация строительства. 2014. №. 1. С. 48-51.

10. Бунькин И. Ф., Воробьев В. А., Попов В. П., Горшков В. А., Суворов Д. Н., Александров А. Е. Моделирование и оптимизация управления составом асфальтобетонных смесей. М.: Изд-во РИА, 2001. 328 с.
11. Доценко А.И., Соколов А.А. Системы управления температурой асфальтобетонной смеси // Механизация строительства. 2012. № 7 (817). С. 14-18.
12. Minkyum Kim, Pranjal Phaltane, Louay N. Mohammad, Mostafa Elseifi Temperature segregation and its impact on the quality and performance of asphalt pavements // *Frontiers of Structural and Civil Engineering* volume. 2018. № 12 (4). Pp. 536–547.
13. Mohammad L. N., Hassan M. M., Kim M. Effects of paver stoppage on temperature segregation in asphalt pavements // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2016. No 29 (2). Pp. 04016200.
14. Шестаков В.Н., Пермяков В.Б., Ворожейкин В.М. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий. Омск: СибАДИ, 1999. 240 с.
15. Kandhal P. S., Khatri M. A., and Motter J. B. Evaluation of Particle Shape and Texture of Mineral Aggregates and Their Blends // *National Center for Asphalt Technology*. №. NCAT Report No. 92-4. Auburn: Auburn University, 1992. 30 p.
16. Доценко А. И., Соколов А. А. Оперативный контроль температуры асфальтобетонной смеси после ее транспортировки // Механизация строительства. 2014. №. 7. С. 49-53.
17. Dotsenko A. Complex information technology of quality control of an asphalt - concrete covering of highways // 2019 International Science and Technology Conference “EastConf”: сборник конференции. 2019. С. 8725320.
18. Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Ушков А.В., Ушкова Е.В. Оптимальное использование самосвалов с донной разгрузкой на строительстве автомобильных дорог // *Грузовик*. 2018. № 11. С. 29-33.
19. Кустарев Г.В., Павлов С.А., Селиверстов Н.Д., Ушков А.В. Определение показателей эффективности при укладке асфальтобетонной смеси комплексом “прицепной перегружатель-асфальтоукладчик” // *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2018. № 1. С. 41-44.
20. Антонова В.В., Ушков А.В. Влияние температурного режима на показатели качества укладки асфальтобетонной смеси // *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*. 2019. № 2 (20). С. 5.
21. Ушков А.В. Обоснование рациональных параметров автосамосвала с донной разгрузкой и перегружателя асфальтобетонной смеси: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М: МАДИ, 2017. 22 с.

Новые конструкционные материалы и технологии производства и ремонта строительных машин

Московский Автомобильно-дорожный Государственный Технический Университет (МАДИ), г. Москва, Россия

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к современной строительной технике, являются: повышение производительности и эффективности использования, увеличение надёжности, снижение массы, токсичности отработавших газов, вредного влияния на окружающую среду. Соответствие этим требованиям в значительной мере достигается за счёт применения полимерных композиционных материалов и новых технологий производства и ремонта машин. В настоящее время полимерные композиционные материалы применяются при производстве и ремонте порядка 20% деталей строительных машин. Очевидные преимущества этих материалов перед традиционными металлическими: меньшая плотность, обеспечивающая снижение массы детали при сохранении необходимых прочностных характеристик, значительное увеличение коррозионной и износостойкости, а следовательно, долговечности деталей – открывают большие перспективы в их применении в строительном машиностроении. Научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы, проводимые в МАДИ в последнее десятилетие, позволили обосновать рецептуру и методы производства десятков видов новых композиционных материалов, обеспечивающих возможность замещения металлов при производстве деталей строительных машин. При этом обеспечивается повышение прочности и надёжности деталей наряду со снижением производственных затрат.

Очевидно, что для изготовления деталей строительных машин из новых конструкционных материалов необходимо разрабатывать соответствующие технологические процессы и оборудование. Наибольшее распространение получили следующие технологические процессы:

- контактное формование из препрегов;
- пропитка под давлением (RMT – технология);
- вакуумная инфузия;
- пропитка пленочным связующим;
- аддитивные технологии.

После проведенного анализа различных деталей строительных машин, требующих ремонта в процессе эксплуатации, для использования в качестве иллюстрации целесообразности применения полимерных композиционных материалов и возможностей аддитивных технологий выбрана втулка шарнира рукоять – ковш экскаватора-погрузчика. В процессе эксплуатации машин втулки изнашиваются, подлежат коррозионному разрушению,

пластической деформации и периодически во время ремонта требуют замены. В настоящее время втулки строительных машин изготавливают из различных материалов, выбор которых, как правило, зависит от назначения, конструкции и нагрузочного режима работы машин. Чаще всего используют легированную сталь, сталь с большим содержанием марганца, а также бронзу. Для втулок экскаваторов массой до 75 тонн широко применяют сталь 20Х, а для экскаваторов массой от 75 тонн и выше сталь 20ХНЗ. Характерным примером предлагаемого полимерного композиционного материала для замены традиционных конструкционных металлических материалов при изготовлении втулки является АБС – пластик KUMHO ABS 750, включающий пудру алюминиевую ПАП-2 ГОСТ 5494-95 в качестве наполнителя, обеспечивающего улучшение эксплуатационных свойств детали.

В таблице 1 приведен химический состав гранул АБС – пластика марки KUMHO ABS 750 производства Kumho Petrochemical (Южная Корея)

Таблица 1 – Химический состав АБС пластика KUMHO ABS 750

Химическое название	CAS No./ECL No./EINECS No.	Содерж., (%)
Сополимер стирола бутадиена акрилонитрила	9003-56-9/KE-29398/-	97...100
Стабилизатор	Патентованный	0...1
Смазка	Патентованный	0...2
Мономер акрилонитрила	107-13-1/KE-29393/203-466-5	<0,1
Мономер бутадиена	106-99-0/KE-3719/203-450-8	<0,1
Мономер стирола	100-42-5/KE-35342/202-851-5	<0,1

В таблице 2 приведены основные характеристики материала. Испытания проводились по ГОСТ и стандартам ISO.

Таблица 2. Характеристики АБС пластика KUMHO ABS 750

Параметр	Ед. измерения	Испытания по ISO	Условия измерений	Значение
Предел прочности	[МПа]	527	23°C, 50мм/мин	44
Относительное удлинение	[%]	527	23°C, 50мм/мин	22
Модуль упругости при изгибе	[МПа]	178	23°C, 2мм/мин	2.300
Твердость по Роквеллу	-	2039-2	Шкала Роквелла	108
Ударная вязкость по Шарпи	[кДж/м ²]	179/1eA	23°C	26
Тепловая деформация	Температ. [°C]	75-2	1,8МПа, неотожженный	80
			0,45МПа, неотожженный	91
Температура размягчения по Вика	[°C]	306	50Н, 50°C/час	95
Индекс текучести расплава	[г/10мин]	1133	220°C, 10кг	35
Усадка	[%]	294-4	-	0,5...0,8
Удельный вес	-	1183	-	1,04

Первоначально осуществляется проектирование 3D-модели детали с использованием САД-программы в соответствии с техническим заданием и требованиями стандартов. Трехмерная модель втулки экскаватора-погрузчика была разработана в программном комплексе Компас-3D (Рис. 1). Прочностной анализ, проведенный с помощью метода конечных элементов, показал, что предложенный материал и конструктивные параметры детали отвечают предъявляемым требованиям.

Для изготовления детали выбрана аддитивная технология FDM (Fusing Deposition Modeling). Разработанная цифровая модель экспортируется из формата файла программы твердотельного моделирования в формат, воспринимаемый программой аддитивной машины - 3D-принтера PICASO 3D Designer.

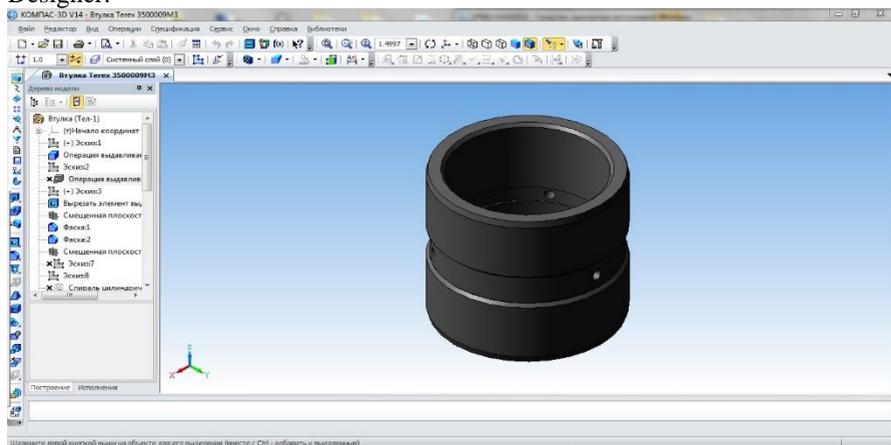


Рис. 1. 3D модель втулки экскаватора-погрузчика

Процесс производства изделий с применением аддитивных технологий схематично представлен на рис. 2.

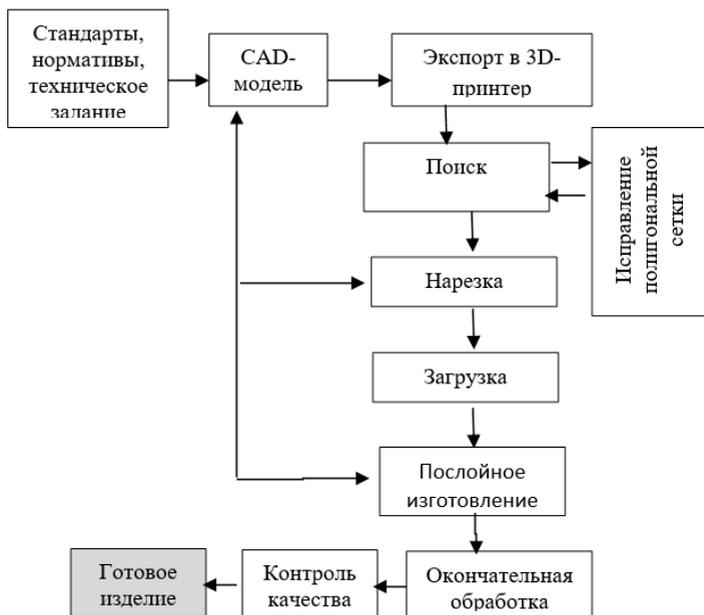


Рис. 2. Блок-схема процесса аддитивного производства

В процессе исследований была изготовлена модель втулки из композиционного материала, включающего 98% АБС – пластика и 2% алюминия. Результаты сравнительного анализа эксплуатационных свойств продемонстрировали принципиальную возможность создания деталей из композиционных материалов с помощью аддитивных технологий.

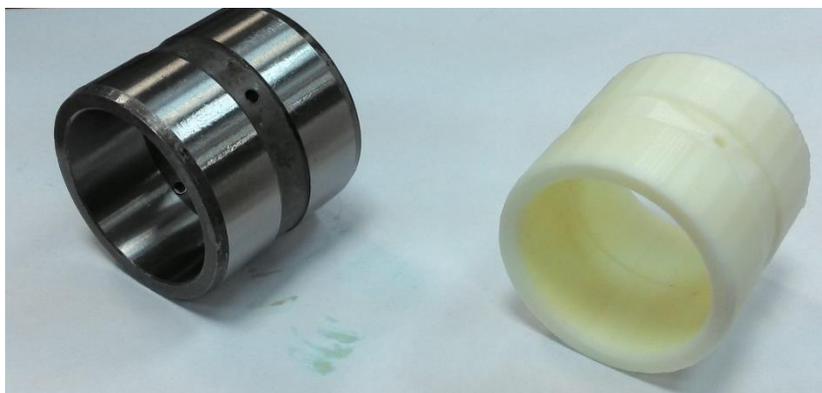


Рис. 3. Втулка Terex 3500009M3 и ее аддитивная копия

Выводы:

1. Полимерные композиционные материалы по своим эксплуатационным свойствам не уступают традиционным конструкционным металлическим материалам и могут быть использованы для производства деталей строительных машин.

2. Применение полимерных композиционных материалов в сочетании с аддитивными технологическими методами производства деталей машин обеспечивает: сокращение трудоёмкости изготовления конструктивных элементов машин; сокращение сроков проектирования и изготовления машин; снижение себестоимости проектирования и изготовления деталей; экономию машиностроительных материалов.

Список литературы

1. Баурова Н.И. Имитационное моделирование остаточных напряжений в материалах, применяемых для ремонта металлоконструкций [Текст] / Н.И. Баурова, В.А. Зорин, В.М. Приходько // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2015. — № 9. — С. 3-7.

2. Баурова Н.И. Оценка синергетического эффекта процесса накопления повреждений в полимерных материалах с использованием теории катастроф [Текст] / Н.И. Баурова, В.А. Зорин, В.М. Приходько // Теоретические основы химической технологии. — 2016. — Т. 50. — № 1. — С. 122.

3. Baurova N.I. Manifestation of a synergistic effect in technological heredity [Текст] / N.I. Baurova N.I., V.A. Zorin, V.M. Prikhodko // Polymer Science, Series D. — 2016. — Vol. 9. — № 2. — Pp. 209–211.

4. Гращенков Д.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов [Текст] / Д.В. Гращенков, Л.В. Чурсова // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 231–242.

5. Наполнители для полимерных композиционных материалов: справочное пособие [Текст] / пер. с англ. под ред. П.Г. Бабаевского. — М.: Химия, 1981. — 736 с.

6. Зорин В.А. Повышение стойкости полимерных материалов, применяемых при ремонте машин, к воздействию циклических нагрузок [Текст] / В.А. Зорин, Н.И. Баурова // Механизация строительства. — 2013. — № 4. — С. 25–27.

7. Каблов Е.Н. Стратегические направления материалов и технологий их переработки на период до 2030 года [Текст] / Е.Н. Каблов // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 7–17.

8. Баженов С.Л. Полимерные композиционные материалы [Текст] / С.Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 352 с.

Выбор критерия оптимальности периодичности технического обслуживания строительных машин

Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых,
г. Владимир, Россия

Проведение технических обслуживаний (ТО) регламентируются нормативными документами системы ППР строительных машин (4, 9). Документы разрабатывались более полувека тому назад. В них рекомендуется проведение ТО через равные промежутки наработки машин. Это делало систему ППР достаточно простой при практическом применении (5,7, 8). Однако, в настоящее время современные методы и средства управления дают возможность найти и использовать более рациональные режимы проведения ТО(1, 2, 3.6).

Принятие экономически целесообразных решений во многом зависит от выбора научно - обоснованного критерия оптимальности решения поставленных задач.

Рассмотрим показатели, которые могут быть выбраны в качестве критерия оптимальности при корректировании периодичности технического обслуживания. Такими показателями могут быть коэффициент технической готовности, общие затраты на проведение ТО, удельные приведенные затраты на проведение ТО и неплановых ремонтов. В определенных ситуациях эти критерии могут противоречить друг другу, в других - быть тождественными.

Рассмотрим в качестве критерия оптимальности минимум затрат на ТО.

Целевая функция имеет вид:

$$F = \sum C^{то}_i \rightarrow \min \quad (1)$$

где: $C^{то}_i$ - затраты на ТО i -ой строительной машины.

$$C^{то}_i = C'_i + E_n K \quad (2)$$

где: C'_i - себестоимость ТО;

E - нормативный коэффициент эффективности;

K - капиталовложения необходимые для организации ТО.

При использовании данного критерия получение оптимизированного варианта возможно в том случае, если обслуживаемые машины не работают в комплексе. При работе обслуживаемой машины совместно с другими этот критерий не учитывает потери от простоя объектного технологического наличия, работающего с i -ой машиной. Кроме того, поскольку не учитываются другие затраты - на плановые и неплановые ремонты - этот критерий нельзя считать удовлетворительным для оценки эффективности выбираемой периодичности ТО.

Принятие в качестве критерия оптимальности показателя технической готовности парка машин не дает возможности определить экономическую эффективность принимаемого варианта в полном объеме т. к. критерий выражается не через экономические, а через временные показатели и не имеет экономического смысла:

$$K_{\text{гот}} = T_3 / (T_3 + T_v + T_{\text{пр}}) \quad (3)$$

где: $K_{\text{гот}}$ - коэффициент технической готовности;

T_3 - время работы (час);

T_v - время восстановления (час);

$T_{\text{пр}}$ - время простоя в ожидании ремонта (час).

Этот критерий применяется при регламентной (стандартной) системе технического обслуживания и ремонта, когда потери от внезапных отказов связаны с крупными суммами или, даже, с человеческими жертвами. Кроме того, этот критерий применяется при работах обязательным условием выполнения которых являются точно установленные сроки.

Рассмотрим в качестве критерия оптимальности показатель минимума удельных затрат на производство ТО и на устранение отказов во время ТО.

Пусть стоимость проведения каждого ТО i -ой машины равна C'_i , потери при простое в случае внезапного отказа, устраняемого ТО i -ой машины равны C''_i .

Пусть машина i проходит ТО через X часов, тогда стоимость всех ТО за период:

$$C_i = C'_i K \quad (4)$$

$$K = t_n / x \quad (5)$$

где: t_n - наработка машины в планируемый период.

Но если машина имеет внезапный отказ до истечения срока между обслуживаниями, то

$$C_i = C'_i K \quad (6)$$

$$K' = (t_n - t_a) / x \quad (7)$$

где: t_a - наработка моторесурса от очередного ТО (ремонта) до аварийного отказа.

Удельные приведенные затраты будут соответственно;

$$C^{уд}_i = (C_i + E_n K) / V_i \quad (8)$$

где V_i - объем выработанной продукции данной машиной.

В этом критерии учитывается возможность проведения ТО одновременно с устранением отказа, (при учете потерь от простоя при отказе), что является обычным в практике строительных организаций. Однако, большинство отказов устраняется не при ТО, а при внеплановых ремонтах. Труднее учесть затраты на плановые ремонты. Так, например, первый капитальный ремонт экскаваторов и бульдозеров приходится, как правило, на четвертый год службы. В этот год, естественно, затраты на ремонт и ТО значительно выше, чем в предыдущие и ближайшие последующие. Поэто-

му наиболее целесообразно эти затраты на плановые виды ремонта соотнести равномерно на весь межремонтный период. Эта операция позволит учесть изменение удельных затрат на плановые ремонты в течение всего периода эксплуатации.

Следовательно, задача состоит в том, чтобы минимизировать функцию:

$$C_t = C' + C'' \rightarrow \min \quad (9)$$

где: C_t - затраты в планируемый период на проведение ТО, где учтены также затраты на плановые ремонты;

Общие затраты можно выразить через формулу:

$$\overline{C}_t = \sum_{i=1}^m (C^{ob})_i + \sum_{j=1}^k (C^p)_i \quad \min \quad (10)$$

где: C_i^{ob} - потери от простоя i - ой машины в ожидании ТО;

C_j^{ob} - потери от простоя j - ой бригады (средства) ТО в ожидании фонда работ.

Для получения более точных результатов, необходимо учитывать также стоимость доставки (перебазировки) машины с объекта в стационарный пункт профилактического обслуживания и стоимость перебазировки передвижных бригад по ТО (C_i^{nep}, C_j^{nep}).

Формула (10) принимает вид:

$$\overline{C}_t^{ob} = \left[\sum_{i=1}^m (C_i)^{np} + (C_i)^{nep} \right] + \left[\sum_{j=1}^k (C_j)^p + (C_j)^{nep} \right] \quad \min \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^m \overline{C}_i = \left[\sum_{i=1}^m (C_i)^{np} + (C_i)^{nep} \right] \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^k \overline{C}_j = \sum_{j=1}^k (C_j)^p + (C_j)^{nep} \quad (13)$$

$$ob = \sum_{i=1}^m \bar{C}_i + \sum_{j=1}^k (\bar{C}_j)^- \quad \min \quad (14)$$

Кроме того, необходимо учитывать возможный простой техники, работающей в комплекте с машиной, простаивающей в ТО или неплановом ремонте, тогда:

$$ob = \sum_{i=1}^m \bar{C}_i + \sum_{j=1}^k \bar{C}_j + \sum_{i=1}^m (\bar{C}_i)^{kom} \quad (15)$$

где: C_i^{kom} - стоимость простоя машин, работающих в комплекте с i -ой машиной, находящейся в ТО или неплановом ремонте;

Таким образом, наиболее подходящим критерием является минимум потерь от простоев обслуживаемых машин и комплектов, а также бригад по ТО и неплановым ремонтам.

При введении в функционал времени простоя целевая функция имеет вид:

$$ob = \sum_{i=1}^m \bar{C}_i + \sum_{j=1}^k \bar{C}_j + \sum_{i=1}^m (\bar{C}_i)^{kom} \quad (16)$$

где: C_i - убытки от часа простоя i -ой машины в ТО или неплановом ремонте;

C_j - убытки от часа простоя j -ой бригады по ТО;

t_i, t_i^{kom}, t_j - время простоя i -ой машины, комплекта машин; j -ой бригады ремонтников соответственно.

В настоящее время большинство машин работают в комплекте с другой техникой. Отсюда возникает задача минимизации потерь от простоя какой-либо машины в техническом обслуживании при неплановом ремонте. Многие авторы считают, что при проведении ТО в неплановые сроки потери от простоя минимальны и могут не увеличиваться. Практика показала, что при проведении плановых мероприятий по ТО не всегда удается избежать потерь от простоя комплектов машин, а убытки при этом могут

достигать значительных величин. Тем более, это относится к эксплуатационным отказам, время и объем которых невозможно предсказать с достаточной уверенностью.

Величина потерь при простоях техники из - за проведения ТО или устранения аварийного отказа какой - либо машины, комплекта (заранее условимся, что остановка этой машины обязательно ведет остановку части комплекта машин или всего комплекта), как указано в целевой функции будет равна:

$$\binom{\text{kom}}{\quad} = \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^m \binom{C_{ir}}{\quad}^{\text{kom}} \binom{t_{ir}}{\quad}^{\text{kom}} \quad (17)$$

Если учесть, что в ряде случаев возможно перераспределение части машин на другие участки (например, автотранспорта), то, выражение (17) можно заменить следующим уравнением:

$$\binom{\quad}{\quad} \approx \sum_{r=1}^R \sum_{i=1}^m \binom{C_{ir}}{\quad}^{\text{kom}} \binom{t_{ir}}{\quad}^{\text{kom}} + \binom{C_{ir}}{\quad}^{\text{nep}} \binom{l_{ir}}{\quad}^{\text{nep}} \quad (18)$$

где: C_i^{nep} - удельные затраты на перебазировку i - ой машины, комплекта на 1 км;

l_i^{nep} - расстояние перебазировки.

Таким образом, можно достаточно полно учесть потери от простоя какой - либо машины в неплановом ремонте или ТО.

Для парка машин формула (18) несколько видоизменяется:

$$\binom{\quad}{\quad} \approx \sum_{i=1}^m \binom{\quad}{C}^{\text{kom}} \quad (19)$$

Формула (19) позволяет достаточно полно определить потери от простоя техники при проведении ТО или устранении отказа.

Выводы.

При определении оптимальной периодичности ТО машин достаточным является учет затрат на выполнение технических обслуживаний и проведение неплановых ремонтов, поскольку потери от простоя комплектов

машин и ремонтных мощностей неизвестны. Вместе с тем, при решении задачи формирования графика ТО машин в качестве критерия оптимальности будут приняты удельные приведенные затраты, учитывающие весь комплекс затрат и потерь, отраженных в формулах (10) - (19).

Список литературы

1. Аринин И. Н., Коновалов С. И. Моделирование процессов ТО и ремонта автомобилей. Владимир. ВПИ, 1991, 86 с.
2. Бедняк М. Н. Моделирование процессов ТО и ремонта автомобилей. Киев Вища школа. 1983, 132 с.
3. Зорин В. А. Основы работоспособности технических систем. М. ООО Магист-пресс, 2005, 536 с.
4. Инструкция по проведению ППР и ТО строительных машин. СН 207-68. М. Стройиздат, 1969. 72с.
5. Каракулев А. В., Кириллов Г. Н. Организация ТО и ремонта машин в условиях Севера. Л. Стройиздат, 1978, 240 с.
6. Ким. Б. Г. Методика определения рациональной периодичности ТО машин. Материалы МНТК «Интерстроймех-2012». Ижевск. ИжГТУ. 2012, с. 258-261
7. Кудрявцев Е. М. Комплексная механизация строительства. Б. Изд.-во АСВ, 2016. 465 ч.
8. Кутузов В. В. Определение трудоёмкости ТО И ремонта строительных и дорожных машин. Вестник белорусско-российского университета. 2012, №2, с. 17-21.
9. Рекомендации по организации ТО и ремонта строительных машин. МДС 12-8.2007/ЦНИИОМТП. М. ФГУП ЦПП. 2007. 70 с.

А.Ю. Коноплин

Исследование влияния отрицательных температур на прочность клеёмеханического соединения

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия)

Клеевые технологии ремонта получили широкое распространение при восстановлении большой номенклатуры деталей, что связано с их минимальной себестоимостью и удовлетворительными механическими характеристиками [1, 2]. В настоящее время разрабатываются новые клеевые материалы и совершенствуются существующие, что позволяет увеличивать надежность и долговечность клеевых соединений.

Для проведения экспериментальных исследований использовались образцы из стали 08пс, из нержавеющей стали AISI 430 и из алюминия АМгЗМ. Выбор данных материалов объясняется их широким распространением в машиностроении. Образцы для испытаний представляли собой пластины размером 40х150, соединенные внахлест с использованием контактной точечной сварки без клея (традиционное соединение) и с использованием клеесварки по неотвержденному слою различных типов клеевых материалов. Площадь клеевого соединения составила 1600 мм².

В качестве клеевого материала использованы:

- эпоксидный клей ЭД-20 с отвердителем холодного отверждения ПЭПА;

- кремнийорганический герметик ВГО-1;

- анаэробный клей Анакрол 101;

- термопластичный клей Теплак-2П.

Режимы сварки при клеесварной технологии устанавливали экспериментальным путем. Основными критериями качества выполнения сварки были следующие показатели: длина околошовной зоны; шероховатость околошовной зоны, глубина вмятины; сплошность клеевого шва; качество электродов, после проведения сварки. Первые три показателя позволяют количественно характеризовать клеесварное соединение, два последних показателя являются его качественной оценкой.

В табл. 1 приведены режимы создания клеесварных соединений. Экспериментальным образом установлено, что режимы сварки следует выбирать в зависимости от материала свариваемых деталей, а тип клеевого материала (при одинаковой толщине) не влияет на изменение режимов.

Таблица 1 – Режимы создания сварных и клеесварных соединений различных материалов

Режимы	Соединяемые материалы, тип соединения					
	Сталь 08пс		Сталь AISI 430		Алюминий АМгЗМ	
	Сварка	Клее-сварка	Сварка	Клее-сварка	Сварка	Клее-сварка
Сварочный ток, А	4300	3800	3200	2900	5700	4800
Усилие сжатия электродов, Н	750	900	600	830	750	900
Длительность сварного тока, сек	12	16	5	6	6	7
Длительность выдержки, сек	5		4		5	

Процесс испытаний состоял из двух этапов. На первом этапе клеесварные образцы выдерживали при температуре испытаний 30 дней. Для этих

целей использовался криостат LOIPFT-311-80, в котором обеспечивалось значение температур -50°C , с точностью поддержания данной температуры $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. На втором этапе проводили механические испытания клеесварных образцов, при комнатной и при отрицательных значениях температур.

Механические испытания клеесварных образцов проводились по ГОСТ 6996-66 на машине для испытания конструкционных материалов «УТС 110М-50» с использованием системы температурных испытаний «СТИ ТС 3». На панели управления СТИ задавалась температура испытаний -50°C и время выдержки образцов 40 мин. После закрепления образца в захваты машины, задается ГОСТ на проведение испытаний, тип и геометрические параметры образца, размер серии образцов.

В табл. 2,3 и 4 приведены значения разрушающей нагрузки для сварных и клеесварных образцов, после их выдержки при температуре -50°C в течение 30 дней, при проведении испытаний при различных температурах.

Таблица 2 – Результаты прочностных испытаний клеесварных соединений из нержавеющей стали марки AISI 430 с различными типами клеев при отрицательных температурах

Значения максимального разрушающего усилия, Н		
Тип соединения / клеевой материал	Температура испытаний, $^{\circ}\text{C}$	
	+20	-50
Контактная точечная сварка без клея (1 точка): - среднее значение разрушающих усилий, Н	2657	2895
Клеесварное соединение / эпоксидный клей - среднее значение разрушающих усилий, Н	5568	5741
Клеесварное соединение / анаэробный клей - среднее значение разрушающих усилий, Н	8678	7171
Клеесварное соединение / кремний-органический герметик - среднее значение разрушающих усилий, Н;	4975	8053

Таблица 3 – Результаты прочностных испытаний клеесварных соединений из стали марки 08пс с различными типами клеев при отрицательных температурах

Значения максимального разрушающего усилия, Н		
Тип соединения / клеевой материал	Температура испытаний, $^{\circ}\text{C}$	
	+20	-50
Контактная точечная сварка без клея (1 точка): - среднее значение разрушающих усилий, Н	4983	5400
Клеесварное соединение / эпоксидный клей - среднее значение разрушающих усилий, Н	7536	8095
Клеесварное соединение / анаэробный клей - среднее значение разрушающих усилий, Н	11320	7543
Клеесварное соединение / кремний-органический герметик - среднее значение разрушающих усилий, Н	6407	8601

Таблица 4 – Результаты прочностных испытаний клеесварных соединений из алюминия АМг3М с различными типами клеев при отрицательных температурах

Значения максимального разрушающего усилия, Н		
Тип соединения / клеевой материал	Температура испытаний, °С	
	+20	-50
Контактная точечная сварка без клея (1 точка): - среднее значение разрушающих усилий, Н	1023	769
Клеесварное соединение / эпоксидный клей - среднее значение разрушающих усилий, Н	3599	3779
Клеесварное соединение / анаэробный клей - среднее значение разрушающих усилий, Н	5497	3518
Клеесварное соединение / кремний-органический герметик - среднее значение разрушающих усилий, Н	3704	6933

В результате проведенных исследований установлено, что независимо от химической природы используемого клея (герметика), прочность клеесварных соединений выше, чем прочность сварных. Использование анаэробного герметика марки Анакрол-101 позволяет получать клеесварные соединения с наиболее высокими прочностными характеристиками, по сравнению с аналогичными сварными

Сверхнизкие значения температур (-50°C) не только не оказывают отрицательного влияния на механические характеристики клеесварных соединений, но даже наоборот, позволяют их повысить, по сравнению с аналогичными образцами, испытания которых проводили при комнатных температурах.

Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту №FSFM-2020-0011, экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ.

Список литературы

1. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное пособие / под общ.ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ. 2017. – 472 с.
2. Zorin V.A., Baurova N.I., Shakurova A.M. Investigation of the structure of an encapsulated anaerobic adhesive // Polymer Science – Series D. 2014. №7(4). pp. 303-305.
3. Rudskoi A.I., Baurova N.I. Technological heredity during the production and operation of structural materials // Russian Metallurgy. 2019. №13 pp. 1378-1383.
4. Сулов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.

5. Коноплин А.Ю., Баурова Н.И., Аноприенко А.К. Клеемеханические соединения при производстве и ремонте машин: учеб. пособие. М.: МАДИ. 2020. 200 с.

Е.А. Косенко

Исследование деформационных свойств полимерных композиционных материалов с гибридной матрицей, применяемых при производстве деталей транспортно-технологических машин

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия

Расширение областей применения изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) привело к необходимости разработки их новых составов, структур, а также технологий формования [1, 2]. В процессе создания новых композитных материалов решается сложная задача, заключающаяся в нахождении некоторого компромисса между взаимопротиворечивыми свойствами ПКМ. Так улучшение значений одной группы свойств (прочности, жесткости, теплостойкости) приводит к ухудшению значений другой группы свойств (пластичности, вязкости разрушения, ударной вязкости) [3-5].

Проведенные исследования показали, что добавление в состав матрицы ПКМ компонентов, сохраняющих свой «жидкое» состояние после формования изделий, оказывает значительное влияние на весь комплекс их свойств. «Жидкие» компоненты формируют самостоятельную фазу и вместе с основным материалом связующего образуют гибридную матрицу ПКМ. В качестве таких «жидких» составляющих матрицы были исследованы технический воск, кремнийорганический и анаэробный полимерные материалы.

Особенностью внедрения кремнийорганического полимерного материала в состав матрицы является обеспечение минимизации потери механических свойств ПКМ при переходе в область отрицательных температур, что связано с химическим строением кремнийорганических полимеров, определяющим их химическую и термическую стойкость. Добавление анаэробного полимерного материала в состав матрицы способствует повышению предела прочности ПКМ, при этом в значительной степени снижается коэффициент вариации значений результатов испытаний, что позволяет с высокой долей вероятности прогнозировать свойства изделий, изготовленных из таких ПКМ. Технический воск в составе матрицы негатив-

но влияет на прочностные свойства ПКМ, однако при положительных температурах у данных типов образцов наблюдается более высокое значение относительного удлинения при разрушении [6].

Важное значение для конструкционных материалов имеют не только прочностные свойства, но также и деформационные, в частности, модуль упругости [7, 8].

Зависимость основных характеристик упругости полимерных материалов от температуры при постоянной частоте воздействий или от частоты воздействий при постоянной температуре определяют методом динамического механического анализа (ДМА) [9-11]. Измерения методом ДМА проводят в соответствии с международными стандартами DIN 53513, DIN 53440, ASTM D 4065, ASTM D 4092 [12]

Для выполнения ДМА ПКМ с различными типами гибридных матриц были изготовлены образцы методом вакуумформования по препреговой технологии [6]. Всего было изготовлено 4 типа образцов на основе биаксиальной базальтовой ткани марки БТ 400 (4 слоя), пропитанной эпоксидным связующим марки Epolam 2017. Между вторым и третьим слоями вдоль нитей основы армирующей ткани наносились компоненты «жидкой» матрицы в виде валика шириной 3...5 мм: технический воск (1 тип), анаэробный полимерный материал (Loctite 638) (2 тип) и кремнийорганический полимерный материал (Юнисил-9628) (3 тип). Также был изготовлен контрольный образец без компонентов «жидкой» матрицы (4 тип). Отверждение образцов осуществлялось при нагреве с помощью установки Trommelberg IR3C Standard до температуры 80 ± 2 °С в вакуумном мешке.

В образцах 1-3 типов можно выделить две области: №1 – область у периферии образца, которая характеризуется наименьшим содержанием «жидких» компонентов в матрице; №2 – область, в которой «жидкие» компоненты в матрице располагаются непосредственно в середине образца (характеризуется максимальным содержанием «жидкого» компонента в матрице).

В результате ДМА изготовленных образцов были получены значения модулей упругости и потерь для образцов №1 и №2 (табл.1) при различной температуре (скорость изменения температуры 2 К/мин) и постоянной частоте воздействий (частота колебаний 1Гц, амплитуда 60 мкм, коэффициент пропорциональности 1,1). Образцы подвергались трехточечному изгибу с применением анализатора NETZSCH DMA 242.

Таблица 1. Значения модулей упругости и потерь образцов базальтопластиков №1 и №2 при изгибе

Материал жидкой матрицы	Модули при изгибе, МПа при температурах °С			
	≈ 28		≈ 75	
Модуль упругости				
Исследуемая область образца	№1	№2	№1	№2
Без компонентов жидкой матрицы	36512	–	34754	–
Технический воск	33946	30737	32320	28100
Кремнийорганический полимерный материал	36043	33991	34100	32100
Анаэробный полимерный материал	24377	15000	25246	11444
Модуль потерь				
Исследуемая область образца	–		№1	№2
Без компонентов жидкой матрицы	–		5050	–
Технический воск	–		4680	4190
Кремнийорганический полимерный материал	–		4850	4580
Анаэробный полимерный материал	–		3950	1180

Для всех типов образцов добавление в состав матрицы ПКМ «жидких» компонентов приводит к снижению упругих свойств композита.

При этом кремнийорганический полимерный материал в составе матрицы практически не влияет на изменение модулей упругости и потерь. Так для образца №1 наблюдается снижение модуля упругости менее чем на 2%, а для образца № 2 – на 7% как при умеренной (≈ 28 °С), так и повышенной температурах (≈ 75 °С). Модуль потерь для данного типа образца снижается на 4% и 9% при умеренной и повышенной температурах соответственно.

В наибольшей степени на потерю упругих свойств ПКМ оказывает влияние добавление в состав матрицы ПКМ анаэробного полимерного материала. Модуль упругости у образцов №1 и №2 при умеренной температуре снижается на 33% и 59%, а при повышенной – на 27% и 67% соответственно. Модуль потерь для образца №1 снижается на 21%, а для образца №2 на 76% по сравнению со значением данного показателя у контрольного образца.

Технический воск в составе матрицы ПКМ приводит к снижению модуля упругости при умеренной и повышенной температуре на 7% у образца №1, на 16% и 20% соответственно у образца № 2. Значение модуля потерь уменьшается на 7% у образца №1 и на 17% у образца № 2 по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом, по результатам проведенных испытаний образцов №1 и №2 можно сделать вывод, что добавление в состав матрицы кремнийорганического полимерного материала практически не влияет на упругие характеристики ПКМ по сравнению с образцами без «жидких» компонентов матрицы.

Увеличение количества «жидких» компонентов в матрице приводит к ухудшению упругих характеристик композиционного материала. В наименьшей степени ($\approx 5\%$) снижаются модули упругости и потеря при увеличенном содержании кремнийорганического полимерного материала. Если в качестве «жидкого» компонента матрицы использован технический воск, то его избыточное содержание приводит к большему снижению упругих характеристик. В наибольшей степени на величину упругих свойств оказывает влияние добавление в матрицу ПКМ анаэробного полимерного материала. При увеличенном содержании данного компонента в композите модуль упругости снижается на 38%, а модуль потерь на 70%, что не позволяет рекомендовать данный материал в качестве компонента гибридной матрицы при изготовлении изделий, к которым предъявляются высокие требования деформационных свойств.

Для обеспечения высоких упругих характеристик ПКМ с кремнийорганическим полимерным материалом в составе матрицы необходимо определить оптимальное количество данного компонента и схемы его локации в изделии на основании решения многокритериальной задачи, учитывающей характер и направление действия нагрузок.

«Материал подготовлен в рамках научных исследований по проекту №FSFM-2020-0011 (2019-1342), экспериментальные исследования проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования МАДИ»

Список литературы

1. Тимошков П.Н., Хрульков А.В., Язвенко Л.Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности (обзор) // Труды ВИАМ, 2017. №6. С 61-68
2. Каблов Е.Н. Композиты: сегодня и завтра // Металлы Евразии. 2017. №1. С. 36-39.
3. Берлин А.А., Пахомова Л.К. Полимерные матрицы для высокопрочных армированных композитов // Высокомолекулярные соединения. 1990. №7. С. 1347-1382
4. Баурова, Н.И. Технологическая наследственность и модели ее визуализации / Н.И. Баурова, А.Ю. Коноплин // Технология металлов. 2020. №1. С.38 – 42

5. Рудской А.И., Баурова Н.И. Технологическая наследственность при производстве и эксплуатации конструкционных материалов // Технология металлов. 2019. №2. С. 2-10.
6. Косенко Е.А., Баурова Н.И., Зорин В.А. Исследование механических свойств углепластиков с различными типами гибридных матриц при отрицательных температурах // Технология металлов. 2021. №1. С.7-11
7. Берлин А.А. Об усталостной прочности природных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. №7. С. 2-3.
8. Бартенев, Г.М. Физика и механика полимеров / Г.М. Бартенев, Ю.В. Зеленов. – М.: Высшая школа, 1983. – 391 с.
9. Аржаков, М.С. Высокомолекулярные соединения / М.С. Аржаков, А.Д. Антипина, А.А. Ефимова, А.Е. Жирнов и др. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 340с.
10. Аржаков М. С. Термомеханика полимеров. Montreal: Accent graphics communications, 2019 (электронное издание).
11. Высокомолекулярные соединения: учебник и практикум для академического бакалавриата / под ред. А. Б. Зезина. — М.: Издательство Юрайт, 2016. — 340 с.
12. Лапина Н.В., Баурова Н.И. Исследование свойств полимерных материалов, используемых при ремонте дорожно-строительных машин, методом динамомеханического анализа // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. - №4. – С.28-33.

В.И.Мусеев, Г.В. Селиверстов

Анализ роста трещины с учетом ее глубины

Тульский государственный университет, г.Тула, Россия

В настоящее время для определения характеристик трещиностойкости при статическом нагружении принято использовать лабораторные образцы с трещиноподобными дефектами или без них по ГОСТ 25.506-85, в частности, образец типа 5 с асимметричным V-образным вырезом с углом раскрытия 60° и радиусом скругления 0,5мм. Всем известно, что по нормативным документам наличие усталостной трещины в металлоконструкции мостовых кранов не допускается, а их эксплуатация при этом запрещается. Однако существуют эксплуатационные дефекты металлоконструкций, по своим свойствам подобные трещинам малого размера, которые легко не заметить, однако их наличие сокращает ресурс металлоконструкции, следовательно, такие дефекты необходимо учитывать расчетным путем. В классической механике разрушения существует линейная модель оценки

накопленной поврежденности Пальгрема-Майнера, она достаточно проста, но обладает рядом недостатков. В частности, для использования данной модели нам необходимо иметь точные данные амплитуды напряжений, асимметрии цикла, количества циклов, а также величину концентрации напряжений. Этот подход дает весьма точную оценку накопленной поврежденности, но является чрезмерно трудоемким, а также не учитывает изменение величины концентрации напряжений в связи с увеличением глубины дефекта. Для оценки трещиноподобных дефектов существуют справочные данные, но они характеризуют концентрацию напряжений только для сквозных дефектов, что доказывает необходимость проведения дополнительных исследований в данной области [1-8].

Поставленную перед нами задачу возможно решить с использованием соответствующего ПО, такого как САПР Solidworks. Данная система позволяет нам построить конечно-элементную модель лабораторного образца и провести его нагружения в соответствии с характеристиками дефектов, что позволит оценить концентрацию напряжений в каждый момент времени в течение всего прироста глубины трещины.

Т.к. размер данных дефектов мал, нецелесообразно использовать модель для обычной трещины. Для исследования роста малой трещины более логичным будет использование модели трещиноподобного дефекта с углом раскрытия 30° и радиусом скругления 0,5мм.

Для проведения машинного эксперимента за основу взят лабораторный образец прямоугольного сечения из листового проката толщиной 7 мм с краевым трещиноподобным дефектом в виде V-образного выреза с углом раскрытия 30° и радиусом скругления 0,5мм. Материал образца – сталь 09Г2С, которая широко распространена при изготовлении крановых металлоконструкций.

Нагружения решено производить в несколько этапов с различной глубиной дефекта на образце, шаг изменения глубины – 0,5мм.

На рисунке 1 показан образец с приложенной статической нагрузкой 14 кН и глубиной выреза 0,5мм.



Рис. 1. Карта напряжений образца при глубине выреза 0,5мм

По карте напряжений, представленной на рисунке можно рассчитать коэффициент концентрации напряжений.

Зная площадь поперечного сечения и номинальные напряжения, найдем значение концентрации напряжений $\alpha_{\delta 0,5}$ для глубины выреза 0,5мм

$$\alpha_{\delta 0,5} = \frac{\delta_{max}}{\delta_{ном}} = \frac{133,2}{50,9} = 2,61$$

На рисунке 2 показан образец с приложенной статической нагрузкой 14 кН и глубиной выреза 3,5мм.

$$\alpha_{\delta 3,5} = \frac{\delta_{max}}{\delta_{ном}} = \frac{3997,8}{57,1} = 6,9$$

Вычислив значение концентрации напряжений, можем сделать вывод об увеличении данного параметра с ростом глубины трещины.

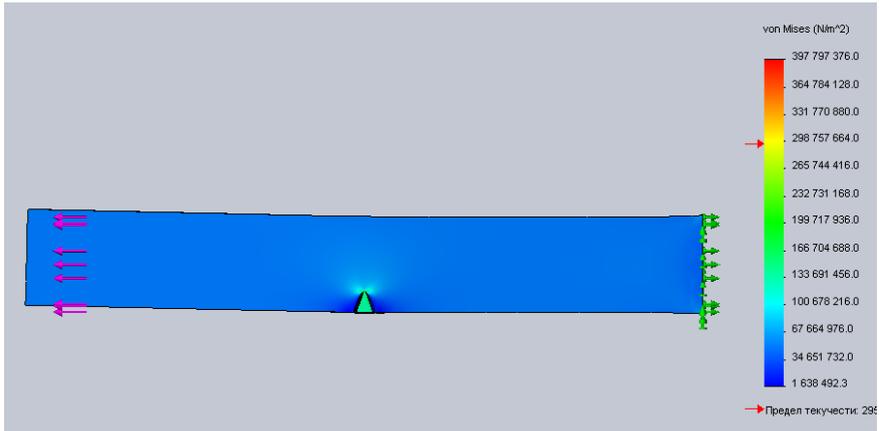


Рис. 2. Карта напряжений образца при глубине выреза 3,5мм

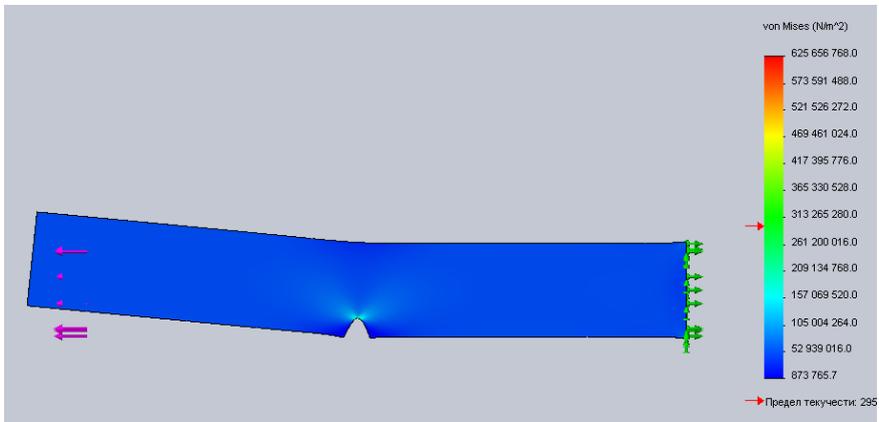


Рис. 3. Карта напряжений образца при глубине выреза 7мм(сквозной вырез)

На рисунке 3 показан образец с приложенной статической нагрузкой и вырезом глубиной 7мм(сквозной вырез)

$$\alpha_{\delta 7} = \frac{\delta_{max}}{\delta_{ном}} = \frac{625,66}{66,7} = 9,38$$

Рассчитав значение концентрации напряжений, мы видим, что прирост продолжается.

Данные значения позволяют говорить о постепенном увеличении концентрации напряжений в связи с ростом глубины трещины. Для нахождения регрессионной зависимости данные исследования со всеми промежуточными шагами были сведены в таблицу.

Таблица 1. Результаты исследования образца с различной глубиной выреза

№	Глубина выреза, мм	Относительная глубина выреза, мм	Площадь поперечного сечения, м ²	$\delta_{ном}$, МПа	α_δ
1	0,5	0,07	275	50,9	2,6
2	1	0,14	270	51,9	4,7
3	1,5	0,21	265	52,8	4,9
4	2	0,29	260	53,8	5
5	2,5	0,36	255	54,9	6,4
6	3	0,43	250	56	6,3
7	3,5	0,5	245	57,1	6,9
8	4	0,57	240	58,3	7,5
9	4,5	0,64	235	59,6	8,05
10	5	0,71	230	60,9	8,45
11	5,5	0,79	225	62,2	8,8
12	6	0,86	220	63,6	8,9
13	6,5	0,93	215	65,1	9
14	7	1	210	66,7	9,38

Исходя из экспериментальных данных, был построен график зависимости значения концентрации напряжений от относительной глубины трещины в образце

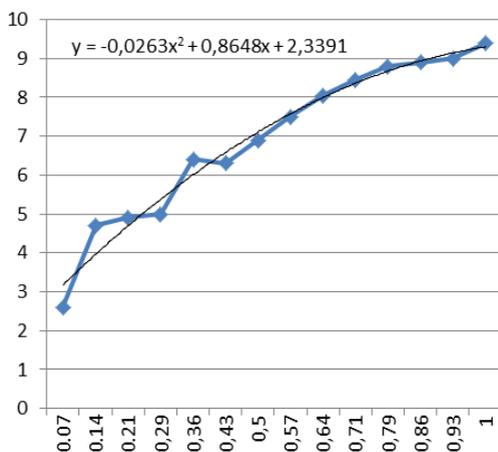


Рис.4. Зависимость концентрации напряжений от относительной глубины трещины

По данному графику была найдена регрессионная зависимость значения концентрации напряжений α_σ от относительной глубины трещины $h_{отн}$:

$$\alpha_\sigma = -0,0263h_{отн}^2 + 0,8648h_{отн} + 2,3391$$

Вывод:

Анализ полученных данных свидетельствует о постепенном росте концентрации напряжений по мере развития трещины вглубь материала, таким образом необходим переход от расчетных методов плоско-напряженного состояния к оценке объемно-напряженного состояния, для чего необходимо знание изменения концентрации напряжений в зависимости от глубины дефекта. Полученные значения концентрации напряжений, в зависимости от глубины трещины, позволяют точно оценить опасность данного дефекта и дают ответ на вопрос о необходимости проведения ремонта металлоконструкции, что значительно повышает безопасность её эксплуатации.

Список литературы

1. Механика разрушения: Учебное пособие / В.С. Дронов, Г.Г. Дубенский, И.В. Троицкий; Под ред. В.С. Дронова; Тул. Гос. Ун-т. Тула, 1999, 276с.
2. Селиверстов Г.В., Сорокин П.А., Толоконников А.С. Повреждаемость металлоконструкций в зонах концентрации напряжений при упруго-пластичном деформировании. // Тяжелое машиностроение, №1/2004. – С.14—15.
3. Кудрявцев П.И. Нераспространяющиеся усталостные трещины. М.: Машиностроение, 1982. 174 с.
4. Мураками Ю. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. Т. 1. М.: Мир, 1990. 448 с.
5. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение I. Сплошные детали // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1988. № 8. С. 22-26.
6. Павлов В.Ф. Влияние на предел выносливости величины и распределения остаточных напряжений в поверхностном слое детали с концентратором. Сообщение II. Полые детали // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1988. № 12. С. 37-40.
7. Трощенко В.Т., Покровский В.В., Прокопенко А.В. Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении. Киев: Наукова Думка, 1987. 256 с.
8. Владимиров В.И. Физическая природа разрушения металлов. –М.: Металлургия, 1984. – 280с.

Разработка технологического обеспечения ремонта пластиковых деталей машин с использованием методов 3D-печати

Московский автомобильно-дорожный государственный технический
университет (МАДИ), г. Москва, Россия

В современных дорожно-строительных машинах (ДСМ) большое количество деталей изготавливаются из пластмасс [4,8]. Они применяются для деталей экстерьера и интерьера, защитных кожухов, элементов различных систем техники и разнообразных мелкогабаритных деталей. Назначение подобных деталей может быть разнообразным: от декоративного до функционального.

При эксплуатации дорожно-строительных машин часто происходит повреждение пластмассовых деталей. Дефекты могут возникать в результате аварий, воздействия химических веществ, теплового воздействия и т.д. Особенно от этого страдают внешние детали машин.

Восстановление работоспособности дорожно-строительных машин, имеющих повреждения пластмассовых деталей, в настоящее время выполняется путем замены детали на новую, склейкой или сваркой горячим воздухом.

Одним из наиболее распространенных способов ремонта ДСМ – это замена поврежденной детали. Этот способ влечет за собой потери времени на изготовление (при необходимости), заказ новой детали и транспортировку до места проведения ремонта. Проведение ремонта дефектной детали позволяет не только сократить простой дорожной техники, но и уменьшить затраты по сравнению с покупкой новой детали. В большинстве случаев качество отремонтированной детали не снижается.

Хорошо изученными способами ремонта пластмассовых деталей ДСМ являются сварка и склеивание. Эти способы обладают рядом недостатков, которые заключаются в значительном термическом и химическом воздействии соответственно. Требуется высококвалифицированный персонал для выполнения ремонтных операций. Для данных способов характерна высокая трудоемкость и необходимость демонтажа детали с машины при ремонте.

Одним из наиболее часто проявляющихся дефектов пластмассовых деталей является повреждение крепежных элементов конструкции изделия. В ряде случаев соединение обломанного элемента с ремонтируемой деталью не представляется возможным в силу его потери или значительных повреждений. В таком случае применение традиционных методов ремонта не-

возможно либо приводит к существенному увеличению трудоемкости и себестоимости выполнения ремонта.

Аддитивные технологии (АТ) в настоящее время являются одними из перспективных технологий, используемых при изготовлении деталей [1,3, 7,9]. Они позволяют получать изделия из термопластичных материалов с различной конфигурацией пространственной геометрии. АТ широко применяются в различных отраслях промышленности, но в ремонтном производстве в настоящее время они не получили широкого распространения. В связи с этим, разработка технологии ремонта пластмассовых деталей машин с использованием методов 3D-печати является актуальной и современной задачей.

В настоящее время вопросы применения 3D-печати при ремонте деталей транспортных и дорожно-строительных машин мало изучены. Предлагаемая технология ремонта пластмассовых деталей дорожных машин заключается в восстановлении работоспособности изделий с использованием методов 3D-печати. На рисунке 4.8. представлена блок-схема технологии ремонта.

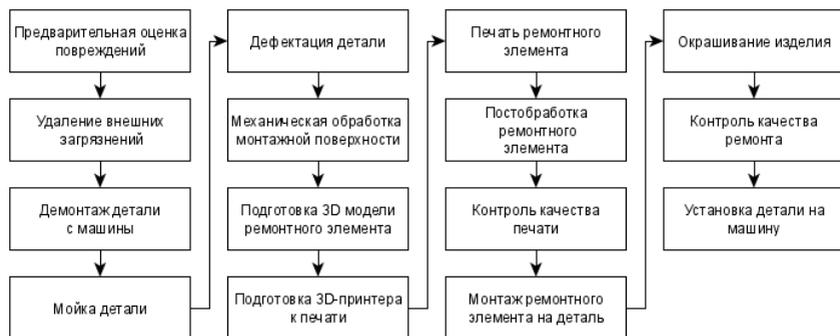


Рис. 1. Блок-схема технологического процесса ремонта пластмассовых деталей машин с применением аддитивных технологий

В соответствии с предлагаемой технологией, ремонт пластмассовых деталей начинается с предварительной оценки повреждений детали на машине. На этом этапе изучается конфигурация детали, способы ее крепления, действующие в процессе эксплуатации нагрузки.

Следующим этапом является демонтаж поврежденной детали с машины. При этом следует обратить внимание на наличие отдельных крепежных элементов, которые могли остаться на машины в результате разрушения детали.

После демонтажа деталь отправляется на мойку для удаления всех следов эксплуатационных загрязнений. По окончании мойки требуется провести сушку детали для удаления воды с поверхности. Эту операцию можно выполнить путем обдува детали сжатым воздухом.

Дефектация детали производится с целью установления точного перечня дефектов, их типа, размера, месторасположения. Она выполняется визуально либо с применением измерительных инструментов, если они необходимы. В процессе дефектации производится изучение маркировок детали.

Далее необходимо механически подготовить поверхность детали под будущий ремонтный элемент. Подготовка выполняется при помощи пневматического абразивного либо режущего инструмента. При этом следует быть внимательным и не перегревать деталь путем длительной обработки. Режимы механической обработки выбираются в зависимости от материала детали.

3D-модель ремонтного элемента восстанавливаемого изделия создается в любой системе автоматизированного проектирования. При моделировании следует учитывать коэффициент усадки материала и последующую постобработку, так это повлияет на действительные размеры напечатанного изделия.

Для печати ремонтного изделия прежде всего необходимо подготовить задание на печать. Выбирается оптимальная ориентация изделия в пространстве и задается опорная поверхность, которая будет являться базой для построения всей детали. При выборе расположения детали на столе 3D-принтера следует стремиться: к минимизации нависающих структур (элементов модели которые «висят» в воздухе и не имеют под собой опоры); к выбору в качестве базовой плоскости поверхность модели с наибольшей площадью; к отсутствию отверстий с горизонтально расположенными осями. Режимы печати определяются на основе ранее проведенных исследований [5].

После создания задания на печать необходимо подготовить 3D-принтер к печати. Подготовка заключается в загрузке филамента, калибровке стола и обработке стола составами, увеличивающими адгезию первого слоя материала к поверхности стола.

Печать ремонтного изделия должна осуществляться при постоянных режимах печати, определяемых на стадии подготовки задания на печать.

В конце печати изделие должно остыть вместе со столом 3D-принтера. После полного остывания необходимо снять напечатанный ремонтный элемент с поверхности стола 3D-принтера.

По окончании печати ремонтного элемента необходимо провести его постобработку с целью получения заданного качества поверхности удаления материала поддерживающих структур. Постобработка должна проводиться в три тапа. Первый этап заключается в удалении материала поддерживающих структур. Второй этап заключается в механической обработке детали с целью снижения шероховатости наружных слоев. Эта обработка проводится абразивным инструментом, например, наждачной бумагой с различной зернистостью в порядке снижения размера зерен абразива. Тре-

тый этап постобработки заключается в химической обработке ремонтного изделия.

В технологическом процессе ремонта предусматривается контрольная операция после проведения постобработки. Целью этой операции является установления соответствия полученной пространственной геометрии ремонтного элемента заданным техническим требованиям. Контроль может осуществляться как при помощи универсальных измерительных инструментов (микрометров, нутромеров, штангенциркулей и т.д.), так и с использованием методов сканирования геометрии изделия 3D-сканерами.

В случае соответствия ремонтного элемента техническим требованиям, он монтируется на восстанавливаемую деталь. Перед началом монтажа соединяемые поверхности обезжириваются. Перед началом проведения обезжиривания необходимо убедиться в том, что обезжириватель химически нейтрален к материалу деталей. Обезжириватель наносится на чистую хлопчатобумажную ткань и ею обрабатываются поверхности. После обработки необходимо выждать некоторое время для того, чтобы с поверхности деталей улетучились следы обезжиривателя. Затем ремонтный элемент устанавливается на предварительно подготовленную монтажную площадку детали и фиксируется в требуемом положении. Проверяется правильность установки элемента, после чего он соединяется с деталью методом 3D-сварки с режимами, определенными в [5].

При необходимости отремонтированная деталь окрашивается по известным технологиям [2].

Заключительный контроль качества проводится с использованием измерительных инструментов и специального оборудования (например, 3D-сканера). Если проведенный ремонт выполнен качественно, то производится монтаж отремонтированной детали на машину в соответствии с инструкциями завода-изготовителя.

Выводы:

Предлагаемая технология восстановления пластмассовых деталей машин позволит значительно сократить время простоя машин в ожидании поставки запасных частей, а также уменьшит материалоемкость ремонта.

Список литературы

1. Аддитивные технологии / А.И. Рудской [и др.]. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 297 с.
2. Бастиан М. Окрашивание пластмасс / М. Бастиан; пер. В.Б. Узденского. – СПб.: ЦОП "Профессия, 2011. – 424 с.
3. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

4. Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учебное пособие / В.А. Зорин, Н.И. Баурова. – М.: МАДИ, 2016. – 264 с.

5. Исследование влияния технологических режимов 3D-печати на прочностные свойства деталей / И.С. Нефёлов [и др.] // Механизация строительства. – 2018. – Т. 79. – № 2. – С. 25-30.

6. Barnatt C. 3D Printing: Third Edition / C. Barnatt. – ExplainingTheFuture.com, 2016. – 191 p.

7. Davies G. Materials for Automobile Bodies / G. Davies. – Oxford: Elsevier Ltd., 2012. – 426 p.

8. Smyth C. Functional Design for 3D Printing / C. Smyth; ed. A. Smyth. – 2. – 2015. – 135 p.

Е.П. Плавельский, Л.А. Бондарь

Вопросы технического регулирования продукции машиностроения на примере подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и спецавтотранспортных средств

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г.Москва, Россия

Вопросы технического регулирования продукции машиностроения остро встали после перехода страны от плановой экономики к рыночной и необходимостью вступления ее во Всемирную торговую организацию (ВТО). Вступление России в ВТО означает необходимость преобразования старого уклада хозяйственной системы страны [1]. Для развития отечественной экономики и, в первую очередь машиностроения, есть лишь один путь, отмеченный в Послании Президента. Это быстрый и устойчивый рост выпуска конкурентноспособной продукции путем повышения ее качества и в первую очередь безопасности. Внедрение системного подхода в управлении качеством продукции развивается в трех направлениях:

- внедрение систем качества на основе международных стандартов качества;

- устранение технических барьеров в международной торговле;

- обеспечение постоянного развития внутренней культуры качества.

Все вышеуказанные направления и, в первую очередь, снятие технических барьеров в торговле, относятся к сфере технического регулирования через деятельность государства в стандартизации требований и методов оценки соответствия продукции машиностроения, в том числе подъемно-

транспортных, строительно-дорожных машин и спецавтотранспортных средств. Таким образом, техническое регулирование представляет собой регулирование в техническом законодательстве, стандартизации и оценке соответствия. Закон РФ «О техническом регулировании», принятый в декабре 2002 г. и вступивший в силу в июле 2003 г. с учетом всех изменений явился определяющим в реформировании системы технического регулирования в РФ, а затем в Таможенном союзе и Евразийском экономическом союзе [2]. Структурная схема технического регулирования подъемно-транспортных, строительных, дорожных, горных машин и спецавтотранспортных средств приведена на рис.1.



Рис. 1. Структурная схема системы технического регулирования продукции машиностроения

Исследование существующих систем технического регулирования высветил предпочтение системы технического регулирования ЕС как наиболее совершенной с точки зрения минимизации технических барьеров и повышения ответственности производителя за качество выпускаемой продукции с соблюдением принципа презумпции соответствия и включения в процедуру оценки соответствия услуг уполномоченного (нотифицированного) органа по сертификации. Новый подход в стандартизации для целей технического регулирования заключается в том, что используемый здесь «гармонизированный» (взаимосвязанный) стандарт – это стандарт, требования которого признаны эквивалентными соответствующим обобщенным требованиям технического регламента. При этом обобщенное требование – это техническое требование технического регламента, представленное в виде описания существа необходимой безопасности, без детализации конкретных параметров (способов) обеспечения безопасности, назначение которого в цифрах отдается на «откуп» конструктору. Перечень вышеуказанных стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технических регламентов Евразий-

ского экономического союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» и ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств» и перечень стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований технических регламентов Евразийского экономического союза ТР ТС 010/2011 и ТР ТС 018/2011 и осуществления оценки соответствия подъемно-транспортных, строительно-дорожных машин и спецавтотранспортных средств приведены в виде приложений к вышеуказанным техническим регламентам и используются в качестве доказательной базы [3,4].

Обзор основных элементов нового подхода в ЕС показывает, что это:

- определение обязательных основных требований по обеспечению высокого уровня безопасности потребителей и окружающей среды;
- свобода выбора технического решения при условии соответствия основным требованиям безопасности;
- обеспечение презумпции соответствия по основным техническим требованиям.

Если два первых положения гармонизированы с процедурами ЕС, то третье положение далеко от этого. Внедрение положений презумпции соответствия в РФ далеко от реализации.

Новый подход в стандартизации для целей техрегулирования в ЕС дополнен глобальным подходом в оценке соответствия продукции машиностроения с использованием принципов:

- законодательно принят единый подход, состоящий из модулей различных этапов процедур оценки соответствия и критериев использования этих процедур, назначения органов, осуществляющих эти процедуры;
- использование стандартов, относящихся к гарантии качества (EN ISO 9000) и к организациям, гарантирующим качество;
- содействие заключению договоров о взаимном признании результатов испытаний и подтверждения соответствия;
- минимизация существующих различий между инфраструктурами обеспечения качества (метрологические системы, испытательные лаборатории, органы по подтверждению соответствия, органы по сертификации, аккредитации) как разных государств-членов содружества, так и разных отраслей промышленности.

Продукция подвергается оценке соответствия определенному модулю как на этапе проектирования, так и на этапе производства. Существует 8 основных модулей оценки соответствия (А - внутренний контроль производства, В - экспертиза с целью одобрения типа; С - типовое соответствие; D - гарантия качества производства; E - гарантия качества продукции; F - верификация продукции; G - верификация отдельного товара; H - полная гарантия качества. Результатом процедуры оценки соответствия является

декларация о соответствии продукции требованиям технического регламента (директивы) [5,7].

Опции применения основных схем (модулей) соответствия продукции машиностроения:

- без привлечения третьей стороны (уполномоченного органа) А, С
- с привлечением третьей стороны В, D, E, F, G, H
- стадия проектирования В
- стадия производства С, D, E, F
- опция охватывает обе стадии А, G, H
- обеспечение качества D, E, H

Модуль выбирается с учетом уровня риска причинения вреда, который заключен в продукции, уровня сложности проектирования, характера производства продукции. Продукция с низким уровнем риска обычно представляется на рынок без участия нотифицированного органа.

Анализ степени сближения технических регламентов ЕАЭС и директив ЕС показывает, что по требованиям безопасности и перечню гармонизированных стандартов сближение достигнуто по вертикальным техническим регламентам Евразийского экономического союза ТР ТС 010/2011 и ТР ТС 018/2011 [6]. То же самое можно сказать о горизонтальных технических регламентах Евразийского экономического союза ТР ТС 004/2011, ТР ТС 020/2011, ТР ТС 032/2013. Вышеперечисленные технические регламенты относятся к подъемно-транспортным, строительным, дорожным машинам и спецавтотранспортным средствам. Однако сближения по схемам (модулям) оценки соответствия перечисленной продукции пока не достигнуто. Кроме того, типовые схемы оценки соответствия ЕАЭС эквивалентизируются с модулями оценки соответствия ЕС. Потому можно сделать следующие выводы:

1. Необходимо внедрение статуса исключительной ответственности производителя продукции подъемно-транспортного, строительно-дорожного машиностроения и спецавтотранспортных средств за соответствие продукции требованиям соответствующих технических регламентов на базе принципа презумпции соответствия.

2. Во всех схемах оценки соответствия подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и спецавтотранспортных средств требованиям соответствующих технических регламентов разрешительным документом должна быть зарегистрированная декларация соответствия производителя.

3. Оценка соответствия продукции должна распространяться как на этап производства продукции, так и на этап ее проектирования.

4. Отсутствие уполномоченных органов по сертификации ведет к тому, что их функции в той или иной степени приходится выполнять межгосударственным техническим комитетам.

Список литературы

1. Техническое регулирование: Учебник / Под ред. В.Г.Версана, Г.И. Элькина. – М.: Экономика, 2008. – 678 с.
2. Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании» с изменениями.
3. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования».
4. Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств».
5. Шалин А.П., Батраков В.Н. Разница в подходах к оценке соответствия в ТР ТС и директивах ЕС // Контроль качества продукции. 2017. С. 16-22.
6. Плавельский Е.П. Новый этап развития технического регулирования строительных и дорожных машин в рамках Евразийского экономического союза // Строительные и дорожные машины. 2017. С. 3-6.
7. Пугачев С.В., председатель Комитета ТПП РФ по техническому регулированию, стандартизации и качеству продукции. Материалы презентации доклада 31.10.2017 г. на семинаре «Нотификация. Проблемы введения в России». М.: НИУ ВШЭ.

Я.С. Садовникова, К.П. Мандровский

Симметричный способ распределения противогололёдного материала: актуальность, преимущества, особенности

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г. Москва, Россия

В решении проблемы повышения качества распределения частиц твёрдого противогололёдного материала (ПГМ) по дорожному покрытию можно выделить несколько подходов. Первый подход заключается в обосновании рациональных параметров распределительного оборудования, в частности, в обосновании назначения размеров высевной щели [1]; в обосновании формы и размеров лопаток диска [2, 3].

Заслуживает внимания запатентованное конструктивное решение, направленное на повышение равномерности распределения твёрдых частиц, которое реализуется при помощи устройства для распределения ПГМ с щелевым способом подачи ПГМ на каждую область диска, ограниченную двумя лопатками. Устройство включает в себя зависимый трубчатый элемент, на нижнем конце которого с возможностью скольжения и телескопирования расположена цилиндрическая втулка. Втулка снабжена парой диа-

метриально противоположных продольных крюков для зацепления с диаметально противоположными наборами радиально вытянутых штифтов, которые расположены на постепенно увеличивающихся расстояниях от нижнего конца трубчатого элемента, посредством чего вертикальная высота муфты может быть изменяема. Нижний концевой край втулки снабжён множеством щелей для подачи ПГМ. В предлагаемой конструкции диск, приводимый во вращение валом, имеет множество вертикальных радиальных лопастей или рёбер, причём лопасти заканчиваются на вертикальных внутренних торцевых кромках, в результате чего цилиндрическая втулка трубчатого элемента может быть расположена в непосредственной близости к верхней поверхности диска или на некотором расстоянии от неё. От этого расстояния зависит скорость поступления ПГМ на диск. Щели втулки регулируют количество подаваемого на диск ПГМ [4]. Таким образом можно легко контролировать скорость и количество подаваемого ПГМ, обеспечивая экономию дорогостоящего материала. Частицы поступают одновременно на каждую область диска, ограниченную двумя лопатками, однако, щелевая подача вследствие недостатков конструктивного исполнения щелей может быть затруднена залипанием материала, движущегося к диску или попаданием крупных фракций в щель, что скажется на равномерности поступления частиц на диск и на характере распределения частиц по зоне обработки.

Второй подход заключается в попытке учёта эксплуатационных условий противогололёдной обработки покрытий [5, 6]. В качестве третьего подхода можно выделить метод рациональной организации работы машин для распределения ПГМ, подкреплённый расчётами технико-экономических показателей эффективности их работы [7, 8].

Традиционно при распределении твёрдых ПГМ применяют дисковое оборудование с несимметричным способом подачи ПГМ на поверхность диска (рис. 1).



Рис. 1. Дисковое оборудование [9]

Равномерное распределения частиц ПГМ при этом не может быть обеспечено, поскольку данный способ подачи ПГМ не обеспечивает одинаковых значений скоростей одновременного слёта частиц ПГМ с периферии диска. В итоге, для несимметричного способа подачи ПГМ характерно об-

разование на обрабатываемой поверхности дорожного покрытия полос из частиц ПГМ, при этом около 70 % подаваемого на диск ПГМ попадает на участок обработки, примерно 25 % ПГМ попадают за пределы установленной (требуемой) ширины полосы обработки и еще 5 % ПГМ входит в процент абсолютных потерь материала [10] вследствие эксплуатационных условий (ветровые потоки, потоки воздуха, создаваемые транспортным потоком) (рис. 2).



Рис. 2. Неравномерность распределения ПГМ по дорожному покрытию [10]

Для решения актуальной проблемы повышения равномерности распределения частиц твёрдых ПГМ предлагается к применению дисковое распределительное оборудование, реализующее симметричный способ подачи.

Основными элементами распределительного оборудования по-прежнему выступают: плоский диск 5 (рис. 3) с установленными на его поверхности лопатками 6, бункер 3 с ПГМ, направляющее устройство 4 (лоток) для подачи ПГМ на диск (рис. 3). Отличительной чертой лотка будет являться форма поперечного сечения выпускного отверстия. Для реализации симметричной подачи, при которой подразумевается поступление ПГМ из бункера одновременно на все секторы диска, ограниченные двумя соседними лопатками, выпускное отверстие лотка должно характеризоваться кольцевой формой поперечного сечения. Установка кожуха диска (отражателя) при данном способе подачи исключается в виду нецелесообразности.

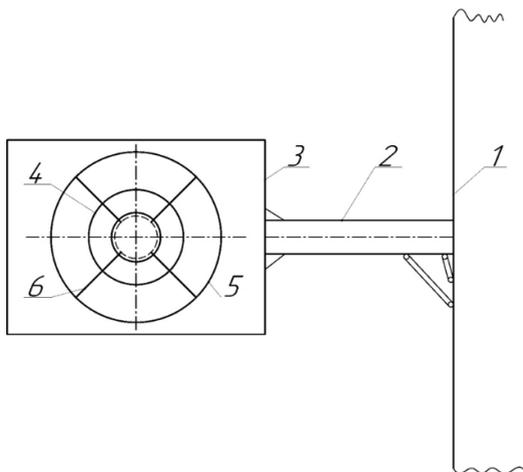


Рис. 3. Схема распределительного оборудования для реализации симметричного способа подачи ПГМ на диск: 1 - базовое шасси; 2 – манипуляторное оборудование; 3 – бункер; 4 – лоток; 5 – диск; 6 – лопатка диска

Для удобства реализации предлагаемого способа подачи ПГМ рационально организовать эксплуатацию распределительного оборудования путём установки его на манипуляторном оборудовании 2 (рис. 3), монтируемом на базовом шасси 1 (рис. 3). Принцип работы данного способа заключается в следующем.

Противогололёдный материал подаётся из бункера 3 (рис. 3) по лотку 4 в пространство между лопатками 6 диска 5 (рис. 3). При необходимости высоту установки диска над покрытием и расстояние от диска до контура машины можно регулировать при помощи выносной штанги манипулятора 2 (рис. 3).

При таком способе подачи частицы ПГМ слетают с каждого сектора диска с равными скоростями и попадают на поверхность покрытия на одинаковом расстоянии от центра диска. Экспериментально равномерность распределения частиц ПГМ при симметричном способе подачи подтверждена в работе [11].

При этом, внутренний и внешний радиусы выпускного отверстия лотка подобраны таким образом, чтобы было обеспечено поступление на диск массы ПГМ, необходимой для соблюдения плотности распределения ПГМ на 1 м^2 покрытия. Назначение значений радиусов выпускного отверстия лотка должно гарантировать обеспечение установленного (требуемого) значения ширины полосы обработки при заданных частоте вращения диска и высоте его установки над покрытием. Для расчёта геометрических и эксплуатационных параметров распределительного оборудования при данном способе подачи ПГМ целесообразно использовать методы имитационного компьютерного моделирования.

Технический аспект реализации предлагаемого способа подачи и механизм контроля показателей качества распределения ПГМ подробно изложен в работе [12]. Конструктивное исполнение предлагаемого оборудования предполагает целесообразность использования его для равномерного распределения ПГМ по тротуарам, пешеходным дорожкам, а также элементам мостовых сооружений.

Возможны следующие схемы эксплуатации оборудования: обработка элементов обустройства дорог (пешеходных дорожек, тротуаров) дисковым оборудованием, установленным на манипуляторе, совместно с обработкой проезжей части автомобильной дороги дисковым оборудованием стандартной комплектации (позади базовой машины); обработка исключительно элементов обустройства дорог (пешеходных дорожек, тротуаров) дисковым оборудованием, установленным на манипуляторе; совместная работа комплекта машин, одна из которых производит обработку элементов обустройства дорог и части полосы автомобильной дороги, вторая распределяет ПГМ по необработанной части полосы дороги.

Выводы:

1. Предложено к созданию и эксплуатации дисковое оборудование, реализующее симметричный способ подачи ПГМ на диск, преимущества которого перед традиционным несимметричным способом подачи доказаны экспериментально.

2. Для организации симметричной подачи, при которой подразумевается поступление ПГМ из бункера одновременно на все секторы диска, ограниченные двумя соседними лопатками, выпускное отверстие лотка должно характеризоваться кольцевой формой поперечного сечения. Установка кожуха диска (отражателя) при данном способе подачи исключается в виду нецелесообразности.

3. Для удобства реализации симметричного способа подачи ПГМ на диск рационально организовать эксплуатацию распределительного оборудования путём установки его на манипуляторном оборудовании, монтируемом на базовой машине для распределения ПГМ.

4. В качестве направлений для дальнейших исследований следует выделить: обоснование выбора и назначения конструктивных параметров дискового оборудования (значений высоты и длины лопатки, внутреннего и внешнего радиусов выпускного отверстия лотка); обоснование выбора и назначения эксплуатационных параметров дискового оборудования (значений частоты вращения диска, скорости движения машины, высоты диска над поверхностью покрытия); проведение технико-экономической оценки показателей эффективности эксплуатации данного оборудования.

Список литературы

1. Земдиханов М.М., Габдуллин Т.Р. Обоснование схемы и параметров центробежного разбрасывателя песка и реагентов // Известия КГАСУ. 2014. №4 (30). С. 484-489.
2. Бурдин А.А., Сахапов Р.Л., Земдиханов М.М. Исследование влияния формы поперечного сечения лопаток и диаметра разбрасывающего диска на равномерность рассеивания противогололедных материалов по поверхности дорожного покрытия // Техника и технология транспорта. 2019. № 1 (10). С. 2.
3. Белинский А. В. Обоснование параметров комбинированной лопатки центробежного диска // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. № 1. С. 5-8.
4. Material spreader for use on a dump truck: pat. 2969987 US. No 672331; date of search 16.07.1957; date of a publication 01.01.1961. 11 p.
5. Пенчук В.А., Клен А.Н., Диденко А.В. Влияние условий эксплуатации пескоразбрасывателя на процессы распределения противогололедных материалов // Теорія і практика будівництва. 2013. № 11. С. 52-54.
6. Пенчук В.А., Гусаков В.Н., Диденко А.В. К вопросу об эффективности распределения противогололедных материалов метательным диском // Инновации в науке – инновации в образовании. Международная научно-техническая конференция «Интерстроймех – 2013». Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013. С. 274-277.
7. Дорган В.В. Оптимальное планирование работ по ликвидации зимней скользкости внегородских автомобильных дорог: дис. ... канд. эконом. наук. М., 2005. 135 с.
8. Samodurova T.V., Gladysheva O.V. Estimated Blizzards Parameters For Winter Road Maintenance // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2016. № 4 (32). С. 52-58.
9. КДМ с распределителем сухих противогололедных материалов BUCHER KH. URL: <https://merkatorgroup.ru/equipment/dorozhno-kommunalnaya-tekhnika/kombinirovannye-dorozhnye-mashiny/bucher-kh/> (дата обращения 16.02.2021).
10. Новый реагент в Казани: фрикционный эффект и увеличенное сцепление с дорогой. URL: <https://m.business-gazeta.ru/article/361602> (дата обращения 12.03.2021).
11. Садовникова Я.С., Мандровский К.П. Экспериментальное исследование характеристик равномерности распределения по покрытию частиц противогололедного материала при различных способах подачи на диск // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. № 3 (62). С. 69-75.

12. Мандровский К.П., Садовникова Я.С. Технический аспект реализации способа контроля качества противогололёдной обработки автомобильных до-рог и элементов их обустройств // Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ» «Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации». Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. С. 25-29.

Ю.М. Фадин, О.М. Шеметова

Результаты исследований движения дисперсных материалов в пневмосмесителе со спиральной энергонесущей трубкой

Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

Процесс взаимодействия газовых струй с потоком дисперсного материала очень сложен. Поэтому на соответствующей модели пневмосмесителя был проведен комплекс экспериментальных работ с целью уточнения и корректировки, а также определения оптимальных условий организации движения дисперсных материалов в зависимости от назначения пневмосмесителя [1 -3].

Физико-механические свойства диспергированного материала (размер частиц, плотность, адгезия и др.) Существенно влияют на параметры потока смесителя и его стабильность. При проведении экспериментальных исследований с мелкодисперсными порошками определение количественных характеристик с учетом воспроизводимости результатов, как правило, было затруднено из-за значительного влияния стохастических факторов [4, 5]. Динамика процессов, происходящих в пневматических смесителях, достаточно точно наблюдалась и фиксировалась при проведении исследований с хорошо сыпучими материалами (например, песок, мраморная крошка, цемент) [6,7].

Экспериментальные исследования проводились на макетной установке с рабочим объемом $0,3 \text{ м}^3$, выполненной прозрачной, что позволяло также визуально контролировать процесс (рис. 3.1) [8].

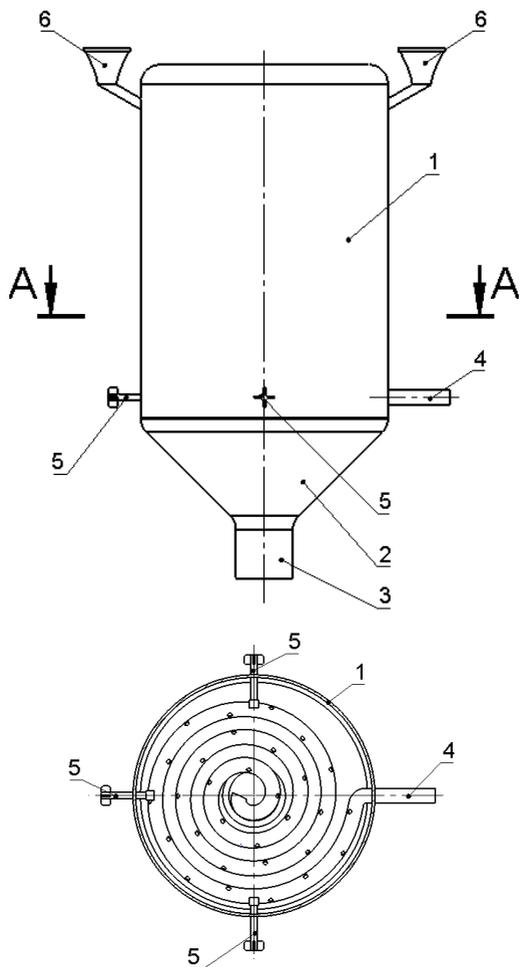


Рис. 2. Пневмосмеситель со спиральной энергонесущей трубкой

Производительность транспортирующего устройства пневматического смесителя можно найти как:

$$Q_{\tau} = \mu \cdot q$$

где q — расход газа через вертикальную трубу; μ расходная концентрация. Расходная концентрация сыпучего материала в вертикальной трубе зависит от целого ряда параметров и может быть представлена в виде следующей функциональной зависимости:

$$\mu = f(P_{\text{раб}}, P_{\text{к}}, P_{\text{с}}, d_{\text{с}}, d_{\text{т}}, l_{\text{с}}, l_{\text{т}}, \rho_{\text{г}}, \rho_{\text{т}}, d_{\text{э}}, \theta_{\text{г}}, \nu_{\text{г}})$$

где $P_{\text{раб}}$ - давление газа на входе в смеситель; $P_{\text{к}}$ - давление в смесителе; $P_{\text{с}}$ - противодействие насыпного слоя; $d_{\text{с}}$ - диаметр сопла; $d_{\text{т}}$ - диаметр камеры смешения; $l_{\text{с}}$ - расстояние между выходными отверстиями в пневмосмесителе; $l_{\text{т}}$ - длина спиральной трубки; $d_{\text{э}}$ - эквивалентный диаметр частиц; $\theta_{\text{г}}, \nu_{\text{г}}$ - температура и кинематическая вязкость газа.

Расход материала через смеситель определялся методом отсечки. Параметры газовых потоков регистрировались стандартными методами. Следует отметить, что для увеличения концентрации расхода необходимо как увеличение рабочего давления, так и увеличение расстояния между выходным участком отверстий спиральной трубки и входным участком спиральной трубки, что приводит к увеличению пусковых давлений. Поэтому при проектировании промышленных устройств требуются дополнительные меры по снижению пускового давления.

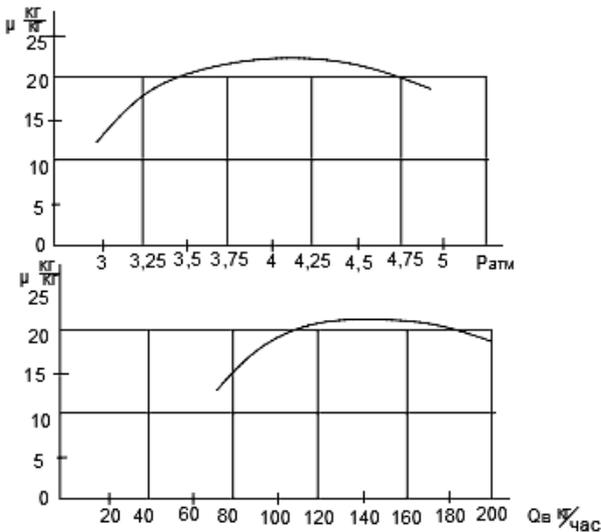


Рис. 2. Зависимость расходной концентрации материала от давления и расхода ра-

бочего газа: ($d_{\text{тп}}=12$ мм; $l_{\text{т}}=0,9$ м; $d_{\text{с}}=$ мм)

Как видно из рис. 2, в графике при увеличении давления и расхода энергоносителя расходная концентрация материала будет линейно возрастать.

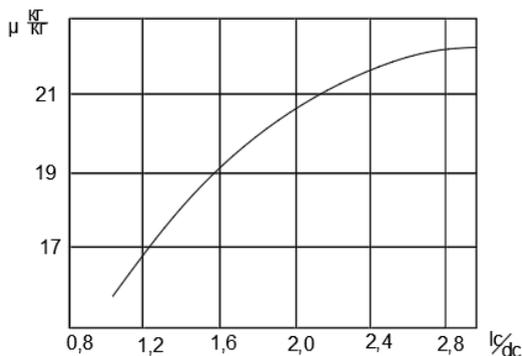


Рис. 3. Зависимость расходной концентрации от параметра $l_c/d_{тр}$

Как видно из рис. 3, в области значений $0,8 \leq l_c/d_c \leq 2,4$ при постоянном расходе газа расходная концентрация практически линейно возрастает. Данное обстоятельство, дает возможность определить геометрию приемной камеры, при которой обеспечивается необходимое распределение скоростей в насыпном слое материала и высокая эффективность процесса смешения.

Выводы:

1. Построение теоретической модели взаимодействия газовых струй и дисперсной среды, соответствующей реальному процессу движения потоков в пневмосмесителе, с учетом современного состояния механики течения - очень сложная задача, которая должна быть решена.

2. Делая вывод из графиков, видно, что при постоянном расходе газа и повышении давления и расхода энергии расходная концентрация материала увеличивается.

3. Экспериментальные исследования проводились на модельной установке, поэтому при проектировании промышленных устройств потребуются дополнительные мероприятия и дополнительные исследования.

Список литературы

1. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоунг Б.А. Эффективные мало-объемные смесители. Л.: Химия. 1989. 224 с.

2. Богданов, В.С., Несмеянов Н.П. Пироцкий В.З., Морозов А.И. Механическое оборудование предприятий промышленности строительных материалов. Белгород 1998. 180 с.

3. Борщевский, А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий М.: Высш. Шк. 1987. 368 с.

4. Баженов Ю.М. Технология бетона: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1987. 415 с.
5. Бродский Ю.А., Чурилин Б.Б. Оборудование для производства сухих строительных смесей. М.: Строит.мат. 2000. 14 с.
6. Гениев Г.А. Вопросы динамики сыпучей среды. М.: Строй-издат. 1958. 122 с.
7. Орехова Т.Н. Загороднюк Л.Х., Шкарин А.В. Пневматические смесители для приготовления сухих строительных смесей // Материалы и технологии XXI века: сборник статей X Международной научно-технической конференции. Пенза: Приволжский дом знаний, 2012. С.102-105.
8. Фадин Ю.М., Шеметова О.М. Сухие строительные смеси и смесительное оборудование для их производства // Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2020. С.145-150.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>А.Н.Дроздов, Д.В.Фёдоров, Е.Р. Белкина</i> Средства малой механизации строительства – резервы повышения эффективности строительных технологий. К десятилетию Корпоративной кафедры Малой Механизации.	4
<i>Е.М. Кудрявцев</i> Моделирование, проектирование, расчет и эффективное использование строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин	11
РАЗДЕЛ I. ТЕОРИЯ, КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ, ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ, ДОРОЖНЫХ, КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ	20
<i>Р.М. Авдеев, В.И. Емелин, Д.С. Игнатъев, О.Н. Губарь, В.А. Зеер</i> Исследование способа абразивоструйной очистки дорожного покрытия ото льда	20
<i>А.М. Агарков, Р.Р. Шарпов</i> Инерционный концентратор пыли с регулируемыми параметрами.....	24
<i>В.Ю. Анцев, Н.Н. Трушин</i> Модернизация одноступенчатого четырехколесного гидротрансформатора	29
<i>А.А. Асанов</i> Конструктивные особенности и результаты предварительного испытания пиролизной установки	33
<i>А.А. Гненный</i> Определение эмпирических параметров для математической модели пневматического монтажного пистолета....	39
<i>Ю.И. Густов, И.В. Воронина</i> Микрофотографические показатели поверхностей трения рабочих органов и сопряжений строительной техники	45
<i>М.Ф. Закиров, В.П. Баранчик</i> Определение сопротивлений на рабочих органах малогабаритных снегоочистителей	51
<i>И.А. Клочков, М.А. Степанов</i> Особенности применения канатов неустойчивых к вращению на строительных грузоподъемных машинах	55
<i>А.Г. Маслов, Ю.С. Саленко</i> Исследование динамики привода бетоносмесителя принудительного действия.....	60
<i>В.А. Нилов, В.А. Жулай, В.Л. Тюнин</i> Повышение эффективности работы катков тандемного типа.....	66

<i>И.В. Ромашов, С.А. Харив</i> Определение рациональных параметров малогабаритного погрузчика	68
<i>С.В. Савельев, В.В. Михеев</i> Обоснование критерия эффективности уплотнения грунтовых оснований вибрационными катками в строительном производстве	74
<i>В.И. Скель</i> Погрешность и неопределенность при оценке результата измерений. Допуски и посадки в новой терминологии	79
<i>И.С. Тюремнов, А.С. Морев, Д.В. Фурманов</i> Экспериментальные исследования вертикальных ускорений колебаний рамы вальца вибрационного катка DM-617 при уплотнении грунта	84
<i>И.С. Тюремнов</i> Обоснование подходов для разработки методики прогнозирования технологических возможностей мобильных грунтоуплотняющих машин виброударного действия	94
<i>И.А. Швалев, Р.М. Авдеев, О.Н. Губарь, Д.Л. Окладников</i> Расчёт храпового механизма гайковёрта	103
РАЗДЕЛ II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И МАШИНОСТРОЕНИИ	108
<i>Э.Э. Амбарцумян, К.С. Галицков</i> К задаче автоматизации технологического процесса сушки сырца керамзита в сушильных агрегатах барабанного типа	108
<i>К.С. Галицков, Л.Л. Баженов</i> Исследование температуры внутри автоклава при гидротермальной обработке гипсового щебня	111
<i>В.Г. Исаков, Д.С. Пономарев</i> Актуальность применения автоматизированных систем в технологических процессах водоподготовки	116
<i>В.А. Пенчук</i> Современное строительство требует эффективных технологических машин	120
<i>Р.Р. Шаранов, Е.В. Харламов, А.М. Азарков</i> Прогнозирование удельной поверхности порошков в зависимости от их гранулометрического состава и формы частиц	126
РАЗДЕЛ III. ПРОИЗВОДСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СТРОИТЕЛЬНЫХ, ДОРОЖНЫХ, ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ И КОММУНАЛЬНЫХ МАШИН	130
<i>И.С. Болотников</i> Особенности механической обработки полимерных композиционных материалов при производстве деталей транспортно-технологических машин	130

<i>В.А. Габышева</i> Исследование влияния отрицательных температур на свойства кремнийорганических покрытий	133
<i>А.О. Дворянкин, Н.И. Баурова</i> Выбор материалов для 3D-печати мастер моделей по результатам дифференциально-сканирующей калориметрии	138
<i>А.И. Доценко, К.П. Мандровский, Я.С. Садовникова</i> Анализ и моделирование процесса транспортировки асфальтобетонной смеси от завода-изготовителя до места укладки	142
<i>В.А.Зорин, Та Нгок Тханг</i> Новые конструкционные материалы и технологии производства и ремонта строительных машин	150
<i>Б.Г. Ким, З.Н.Ш. Шакир, Р.А. Насруллаева</i> Выбор критерия оптимальности периодичности технического обслуживания строительных машин	155
<i>А.Ю. Коноплин</i> Исследование влияния отрицательных температур на прочность клеємеханического соединения	160
<i>Е.А. Косенко</i> Исследование деформационных свойств полимерных композиционных материалов с гибридной матрицей, применяемых при производстве деталей транспортно-технологических машин	164
<i>В.И.Моисеев, Г.В. Селиверстов</i> Анализ роста трещины с учетом ее глубины	168
<i>И.С. Нефёлов</i> Разработка технологического обеспечения ремонта пластиковых деталей машин с использованием методов 3D-печати	174
<i>Е.П. Плавельский, Л.А. Бондарь</i> Вопросы технического регулирования продукции машиностроения на примере подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и спецавтотранспортных средств	178
<i>Я.С. Садовникова, К.П. Мандровский</i> Симметричный способ распределения противогололédного материала: актуальность, преимущества, особенности	182
<i>Ю.М. Фадин, О.М. Шеметова</i> Результаты исследований движения дисперсных материалов в пневмосмесителе со спиральной энергонесущей трубкой	188
ОГЛАВЛЕНИЕ	193