

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

НАУКА И МОЛОДЕЖЬ

*Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(01-05 июня 2020 года, г. Барнаул)*

Часть 4

**ФАКУЛЬТЕТ ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЯ И АВТОМОБИЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА**

01-05 ИЮНЯ 2020 ГОДА

ISBN 978-5-7568-1343-2



Изд-во АлтГТУ
Барнаул • 2020

ББК 72.5

УДК 001.89+621.1+621.4+631.3+656.1

Наука и молодежь [Электронный ресурс]: материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (01-05 июня 2020 года, г. Барнаул) : в 8 ч. / АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,6 МБ). – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2020. – Ч. 4. – Режим доступа: https://journal.altstu.ru/konf_2020/2020_1/48/

ISBN 978-5-7568-1343-2 (ч. 4)

ISBN 978-5-7568-1339-5

Конференция посвящена актуальным вопросам научных исследований в области энергомашиностроения, транспортных и транспортно-технологических систем.

Сборник включает материалы конференции, проведенной 01-05 июня 2020 года в г. Барнауле. Материалы издаются в авторской редакции.

Ответственные редактор:

Сороченко Сергей Федорович - д.т.н., профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические системы» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Редакторы:

Таймасов Дмитрий Рашидович – заместитель заведующего кафедрой, старший преподаватель кафедры «Котло- и реакторостроение» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»;

Угаров Василий Андреевич – учебный мастер кафедры «Наземные транспортно-технологические системы» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

ISBN 978-5-7568-1343-2 (ч. 4)

ISBN 978-5-7568-1339-5

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

Беляева А.С., Жуков Е.Б. Преимущества котла, работающего по низкотемпературному вихревому методу сжигания топлив.....	5
Беляева А.С., Свистула А.Е. Анализ методов регистрации выбросов оксидов азота двигателей внутреннего сгорания транспортных средств	8
Игнатьев Д.С., Бахтина И.А. Анализ шлакования мокрой золоулавливающей установки	12
Кормачев Б.В., Меняев К.В. Реконструкция парового котла БКЗ-75-3,9ФБ с переводом на технологию НТКС и сжиганием кородревесных отходов	14
Ульрих С.А., Воронин А.С., Сеначин А.П., Сеначин П.К. Новая модель динамики топливной струи дизеля	16
Пермяков Е.Е., Загруднинов Р.Ш., Никишанин М.С., Сеначин А.П., Сеначин П.К. Новая модель процесса газификации в плотном слое	19
Черепанов А.Н., Бахтина И.А. Анализ параметров газоочистки в скрубберах Вентури	23
Черепанов Е.Н., Меняев К.В. Обоснование применения ультрасверхкритических параметров пара на угольных ТЭС	26

СЕКЦИЯ

«НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

Баранова Е.В., Баранов А.С. Способы повышения коэффициента сцепления шин с дорогой	29
Байбасаров Р.Р., Левин В.Ф. Методы диагностики электрических стеклоподъемников	32
Вариков И.С., Сыровежкин М.Р., Мозговая Я.Г. Исследование спеченного методом SPS порошкового материала состава TiAl для применения на поршне ДВС	35
Грефенштейн А.П., Псеровская Е.Д. Проблемы транспортно-логистических систем городов и мероприятия по их решению.....	38
Долматов И.В., Панин А.В. Использование ГЛОНАСС для диспетчерского управления автомобильным транспортом Алтайского края	42
Раззамазов Н.И., Сороченко С.Ф. Распознавание объектов при приствольной обработке почвы в плодопитомниках	44
Салеев Ф.И., Топеха Н.О. Обоснование программы ремонтного предприятия	47

Собачкин А. В., Ситников А. А., Яковлев В.И., Логинова М.В., Бадин С.В. Влияние термических факторов на получение функциональных покрытий из СВС-механокомпозитов	49
Кулешов Н.В., Шапошников Ю.А. Совершенствование методов обеспечения работоспособного состояния транспортно-технологических машин	52
Трунов В.С., Лоскутов Г.В., Баранов А.С. Практическое применение электро-гидравлического эффекта	55
Чуклин Н.М., Загородников А.И., Сороченко С.Ф. К вопросу сепарации зерна на ламельном решете без использования воздушного потока	59

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»

ПРЕИМУЩЕСТВА КОТЛА, РАБОТАЮЩЕГО ПО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ВИХРЕВОМУ МЕТОДУ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

А.С. Беляева, Е.Б. Жуков

В статье рассмотрена энергетическая стратегия России, в части планируемой дальнейшей работы тепловых электростанций. Проанализирована работа котла, работающего по низкотемпературному вихревому методу сжигания топлива, с учётом современного топочного устройства. Установлены преимущества данного метода сжигания топлива, относительно факельного метода.

Ключевые слова: Котёл, низкотемпературный вихревой метод (НТВ), факельный метод, реконструкция, новые технологии, энергетическая стратегия России, экономичность, эффективность, снижение токсичных выбросов.

Энергетической стратегией России на период до 2030 года, утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р, предусмотрено увеличение роста расхода угля на тепловых электростанциях (ТЭС), в связи с регулярным образованием новых теплопотребляющих объектов (жилые, производственные, общественные, административные, сельскохозяйственные и другие объекты).

Дальнейшее развитие теплоэнергетики, предусматривает: ужесточение экологических требований; экономию топлива; преодоление такой сложившейся тенденции, как превышение объёма оборудования, выработавшего свой парковый ресурс, над темпами вывода его из работы и обновления. Всё это требует внедрение новых технологий.

Предусматривается реконструкция и техническое перевооружение действующих мощностей ТЭС с внедрением новых технологий и применением экологически безопасных технологий сжигания. Для снижения токсичных выбросов в атмосферу рекомендуется использовать, прежде всего, технологические мероприятия, заключающиеся в воздействии на процесс горения, путём изменения конструкции и режимов работы топочных устройств, горелок, а также создание условий, при которых образование токсичных компонентов дымовых газов котлов будет минимальным.

Модернизация тепловой энергетики России на основе новейших технологий сжигания топлива, а также улучшение экологической обстановки (минимизация выброса вредных веществ в процессе сжигания твёрдого топлива) - очень актуальная и важная задача. Другой важной задачей является проведение реконструкций, замена физически изношенного и морально устаревшего оборудования ТЭС, экологические показатели которого - неудовлетворительны. С экономической точки зрения для ТЭС было бы выгодным проводить техническое перевооружение объекта с сохранением уже имеющихся элементов установок и обязательным повышением экологического состояния объекта - на базе новых методов и решений. При решении подобных задач основная сложность возникает в самой котельной установке ТЭС. [3]

В настоящее время для выработки энергии на ТЭС в основном сжигают твёрдое топливо в пылеугольных факельных котлах [1], имеющих ряд недостатков: с увеличением мощности котла растут и его габариты, повышается металлоёмкость, а следовательно, и затраты на изготовление и монтаж; увеличивается выброс вредных веществ в атмосферу; происходит сильное шлакование поверхностей нагрева; высокая взрывоопасность систем пылеприготовления (в связи с постоянным использованием); недожог топлива в местах пролёта по неактивным слоям воздушного потока и унос недожога.

Как альтернативу пылеугольному факелу можно использовать низкотемпературный вихревой метод сжигания более грубоизмельчённого твёрдого топлива (НТВ метод), разработку которого начали проводить в конце 60-х годов XX столетия под руководством доктора

технических наук В.В. Померанцева. В настоящее время данный метод активно развивается и является весьма перспективным.

Основная идея вихревого сжигания состоит в том, чтобы нижнюю часть топки вовлечь в активный топочный процесс - «растянуть» активную зону горения и увеличить объем топочного пространства. Это дает возможность снизить максимальную температуру в вихревой топке на 100–300 градусов и за счет активной аэродинамики выровнять уровень температуры во всём объеме зоны активного горения. В результате снижения температуры резко уменьшается образование токсичных оксидов азота (NOx). В отличие от традиционного факельного способа сжигания, при НТВ способе можно использовать топливо более крупного помола, тогда как факельный метод работает лишь с мелкими фракциями топлива, в связи с чем значительно упрощается система пылеприготовления, а аэродинамика топочных потоков такова, что создает условия выгорания даже очень крупных частиц, как следствие, частично решаются вопросы взрывобезопасности пылесистем.

Рассмотрим конструкцию новейшей НТВ топки (патент № 197 085 от 2020 года) [2] и структуру её работы (рисунок 1, рисунок 2, рисунок 3).

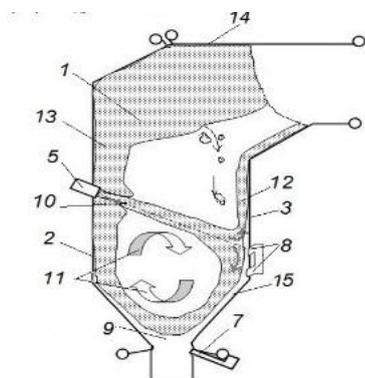


Рисунок 1 – Вертикальное продольное сечение НТВ топки

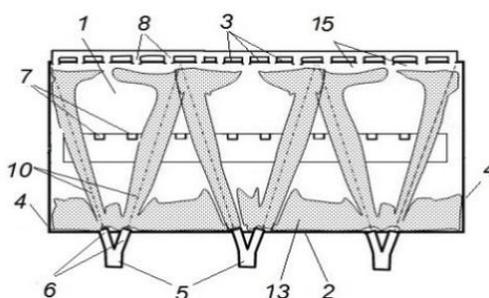


Рисунок 2 – Горизонтальное сечение НТВ топки

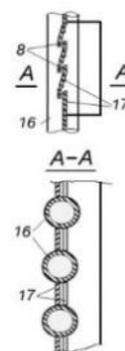


Рисунок 3 – Вариант выполнения сопел верхнего дутья на газоплотном заднем экране

Данная модель относится к организации камерного сжигания измельченного топлива и может использоваться как при реконструкции существующих, так и при создании новых промышленных и энергетических котлов.

НТВ топка (1) образована: фронтным (2), задним (3) и боковыми (4) экранами котла. На фронтном экране (2) расположены с наклоном вниз прямооточные горелки (5) – расположены V-образно и не менее 2х штук, с каналами топливовоздушной смеси (6). Сопла нижнего дутья (7) и сопла верхнего дутья (8) установлены на заднем экране (3). Причём сопла нижнего дутья (7) располагаются в нижней части холодной воронки (9), а сопла верхнего дутья (8) на уровне встречи топливовоздушных струй (10) с задним экраном (3), и они направлены вниз по экрану (3). Сопла нижнего дутья (7) и прямооточные горелки (5) направлены встречно и тангенциально к условному телу вращения и формируют горячий вихрь (11) с горизонтальной осью вращения (11). Кроме того, в топке формируются горячие потоки, такие как: восходящий поток по заднему экрану (12); основной поток (13); восходящий поток (14) по фронтальному экрану (2) до потолочного экрана (14) и далее, а также (15) пристенный слой воздуха (рисунок 1, рисунок 2).

Положительный технический результат при работе котла с данной топкой достигается следующим образом.

При работе НТВ топки (1) струи, истекающие из прямооточных горелок (5) и сопел (7) нижнего дутья, действуют в паре, создают горящий вихрь (11), заполняющий холодную воронку (9), топочный объём холодной воронки включается в активный топочный процесс и теплообмен. Топливоздушные струи (10) из крайних каналов (6) устремляются вниз в холодную воронку (9), и далее они с нижним дутьём восходят в угловых зонах между фронтальным (2) и боковыми (4) экранами. Струи из средних каналов (6) сталкиваются попарно и создают общие струи, которые восходят по фронтальному экрану (2) между прямооточных горелок (5). Таким образом, в НТВ топке (1) формируется восходящий горящий поток, поднимающийся по фронтальному экрану (2) до потолочного экрана (14) и далее (рисунок 1, рисунок 2).

На этом длительном участке пребывания частиц в пути (причём с удержанием крупных частиц топлива), горящий поток глубоко выгорает, активно охлаждается по мере выгорания топлива, эффективно обеспечивая низкотемпературный режим горения.

Весь горящий поток топливоздушной смеси, который поступает из прямооточных горелок (5), сначала натекает на задний экран (3), по нему движется вниз в холодную воронку, сливается с нижним дутьём, далее, как основной горящий поток (13) восходит по фронтальному экрану (2) до потолочного экрана (14) и покидает топку. Горящий вихрь (11) и восходящий основной горящий поток (13) зажигает исходящие из горелок (5) топливоздушные струи (1), причём горящий поток (13) почти не сталкивается с этими струями, не отклоняет их, что минимизирует поток (12) по заднему экрану. В свою очередь, зажигание исходящих из горелок (5) топливоздушных струй и отсутствие отклонений и столкновений струй, позволяет всей топливоздушной смеси двигаться по наидлиннейшему пути, что приводит к минимизации недожога топлива (рисунок 1, рисунок 2).

Предлагается, по меньшей мере, выполнить газоплотным - задний экран (3), путём сварки между труб (16) экрана проставок (17). На заднем экране (3) сопла верхнего дутья можно установить в один ряд, или более. Сопла верхнего дутья (8), которые располагаются на уровне встречи топливоздушных струй с задним экраном и ниже, причём эти сопла направлены вниз по экрану, предлагается выполнить в виде щелей между проставок (17), установленных с зазором. Расположенные на заднем экране (3) сопла (8) верхнего дутья (в том числе выполненные в виде щелей в варианте с газоплотным экраном) обеспечивают подачу воздуха с образованием на экране (3) пристенного слоя. Этот слой (15) воздуха защищает экран (3) от шлакования восстановительной средой, имеющейся в натекающих на задний экран горящих топливоздушных струях, что повышает надёжность данной топки (рисунок 3).

Конструкция этой топки такова, что возможно применять данную НТВ топку без аэродинамического выступа, поэтому она эффективна при реконструкции котлов, причём число горелок и соответственно мощностей может быть любой.

Рассмотрев энергетическую стратегию России, проанализировав работу котла, работающего по НТВ методу, с учётом современного топочного устройства, установили, что

НТВ метод и новейшая конструкция топочного устройства - соответствуют требованиям энергетической стратегии России, в части экономии топлива, улучшения экологических показателей и возможности реконструкции уже имеющихся мощностей ТЭС. Выявили ряд преимуществ в работе котла, работающего по НТВ методу, относительно факельного метода:

- экономичность (максимальное выгорание топлива; меньшие габариты котла относительно котла, работающего по факельному методу с такой же мощностью);
- эффективность теплообмена с поддержанием низкотемпературного топочного процесса (длиннейший путь прохождения топливоздушной смеси по объёму топки - повышенное время пребывания в топке), охлаждение горящего потока за счёт использования все-

го объема топочного пространства), уменьшение выбросов NOx в связи с низкотемпературным режимом горения.

– надежность работы (минимизация шлакования в районе заднего экрана топки); простота конструкции НТВ топки – не требует изменение экранов, возможность применения без аэродинамического выступа, число горелок и соответственно мощностей котлов может быть любой); возможность использования как при реконструкции существующих, так и при создании новых котлов;

– безопасность котельной установки, в связи с минимальным использованием системы пылеприготовления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галашов Н.Н. Технологические процессы выработки электроэнергии на ТЭС и ГЭС: учебное пособие/ Н.Н. Галашов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 200 с.

2. Патент № 197 085 от 2020 года. URL: https://fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=197085&TypeFile=html.doc (дата обращения: 21.04.2020).

3. Распоряжение Правительства Российской Федерации N 1715-р от 13.11.2009 «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/f50e5f99cb9b0fedce1e1e3378abc0dcb a942948/.doc (дата обращения: 21.04.2020).

Жуков Евгений Борисович, научный руководитель, к.т.н., заведующий кафедрой «Котло- и реакторостроения» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: kirs_barnaul@mail.ru

Беляева Александра Сергеевна, магистрант кафедры «Котло- и реакторостроения» Факультета энергетического машиностроения и автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: a.belyaeva-8em91@yandex.ru

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕГИСТРАЦИИ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

А.С. Беляева, А.Е. Свистула

В статье проанализированы основные физико-химические методы, заложенные в приборах для измерения концентрации оксидов азота. По каждому методу рассмотрен конкретный измерительный прибор и его показательные характеристики. Рассмотрены основные нормативные документы, регламентирующие методы измерения оксидов азота в отработавших газах различных транспортных средств, установлен основной метод измерения оксидов азота. Выявлены категории транспортных средств, для которых основной метод, является единственно возможным (и наоборот).

Ключевые слова: *Двигатели внутреннего сгорания, оксиды азота, ГОСТ, отраслевой стандарт, нормы ЕВРО, физико-химические методы, хемилюминесцентный метод, фотоколориметрический метод, спектрофотометрический метод, спектр, кулонометрический метод.*

Двигателями внутреннего сгорания транспортных средств (ДВС), в процессе эксплуатации, выбрасываются в атмосферу отработавшие газы (ОГ), включающие в свой состав токсичные вещества, оказывающие негативное влияющие на жизнь, здоровье людей и на состояние экологической обстановки. Одними из наиболее токсичных компонентов ОГ ДВС являются – оксиды азота (неорганические бинарные соединения азота с кислородом). Их образование связано с высокотемпературным окислением молекулярного азота в процессе горения топлива. [4] В ОГ ДВС присутствуют несколько соединений азота с кислородом (N₂O, NO, N₂O₃, NO₂, N₂O₄, N₂O₅), но в основном это оксид азота (NO) - около 98...99,5 %, и ди-

оксид азота (NO₂). По мере удаления от источника выбросов (при понижении температуры) все большее количество NO окисляется до более опасного NO₂. Обычно оксиды (NO + NO₂) обозначают как NO_x (рисунок 1).



Рисунок 1 – Оксиды азота NO_x

Евросоюзом были введены экологические стандарты ЕВРО, характеризующие все транспортные средства по количеству предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ, в том числе NO_x. Постепенно требования к ПДК ужесточались. Согласно последнему установленному стандарту ЕВРО - 6, концентрация NO_x в ОГ для легковых автомобилей (кат. М1) не должна превышать: для дизельных - 0,18 г/км, а для бензиновых - 0,06 г/км. Для транспортных средств (кат. Т, таких как: сельскохозяйственные тракторы, комбайны) – 9,2 г/кВт*ч; для судовых дизелей – не более 17 г/кВт*ч. [2] Требования к ПДК NO_x, так же устанавливаются и Российские стандарты - ГОСТы.

ОГ ДВС являются основной причиной превышения допустимых концентраций NO_x в атмосфере городов. К тому же, NO_x участвуют в процессе, ведущему к образованию смога, являющегося частой причиной отравления в замкнутых пространствах. В связи с чем, контролировать концентрацию NO_x в ОГ ДВС необходимо на законодательном уровне.

Существуют специальные приборы, измеряющие концентрацию NO_x, в работу которых заложены разные физико-химические методы. Рассмотрим основные методы.



Рисунок 2 – Физико-химические методы

Спектральные методы основаны на определении химического состава вещества по его спектру. Для обнаружения NO_x используют спектрометрию в ближней ультрафиолетовой области - от 200 до 400 нм. (УФ), видимой – от 400 до 760 нм и инфракрасной - более 760 нм (ИК) областях спектра (рисунок 1).

Фотоколориметрический метод. Основная идея – изменение интенсивности окраски цвета соединения, которое образуется в результате взаимодействия измеряемого NO_x со вспомогательным реактивом, где происходит реакция. Сравнивается полученная окраска с окраской раствора известной концентрации, и далее определяется содержание окрашенного NO_x в исследуемом растворе. Приборы метода – фотоколориметры (таблица 1). Характеристика метода: быстрый результат; лёгкость определений при достаточно высокой точности; не применим в УФ области.

Спектрофотометрический метод. Основная идея – избирательное поглощение монохроматического потока световой энергии в момент прохождения его через исследуемый рас-

твор. Приборы метода – спектрофотометры, анализируют зависимость интенсивности поглощения падающего света от длинна волны (таблица 1). Характеристика метода: точный результат; анализирует как окрашенные, так и бесцветные растворы; применим в УФ, видимой и ИК областях.

Кулонометрический. Основная идея – измерение количества электричества, израсходованного на электропревращение (окисление или восстановление) определяемого вещества (в основе - закон Фарадея). Приборы метода - кулонометрические газоанализаторы, в них ток электронной реакции несёт информацию о его концентрации (таблица 1). Характеристика метода – высокая чувствительность (применяют для определения малого количества вещества); погрешность зависит от концентрации вещества, в определённых концентрациях - очень высокая точность, компактность приборов, простота в обслуживании; возможны сбои при больших концентрациях вещества.

Хемилюминесцентный. Особенность метода – использование свойства оксида азота при взаимодействии с озоном или атомарным кислородом выделять квант света. В результате химической реакции NO с озоном (O₃) образуется - NO₂, при этом некоторое число молекул NO₂ находится в возбужденном состоянии – NO₂*. При возврате NO₂* в нормальное состояние излучается ИК квант света. Интенсивность излучения пропорциональна концентрации NO. Метод состоит из двух стадий - хемилюминесцентная реакция (образование продукта в электронном возбуждённом состоянии) и люминесценция (испускание кванта света): NO + O₃ → NO₂* + O₂; NO₂* → NO₂ + hν. Приборы метода – хемилюминесцентные газоанализаторы (таблица 1). Характеристика метода: высокая чувствительность (применяют для определения малого количества вещества); погрешность зависит от концентрации вещества, в определённых концентрациях очень высокая точность; разработан для контроля содержания NO_x в ОГ; простота исследования.

Рассмотрим основные Российские стандарты, регламентирующие способы и методы измерения концентрации NO_x в ОГ ДВС, для новых, либо после капитального ремонта транспортных средств, различных по назначению.

Отраслевой стандарт ОСТ 37.001.054-86 от 01.01.1987 для автомобилей с общей массой не менее 400 и не более 3500 кг, на большинство автобусов и т.п. Данным стандартом установлено, что измерение концентрации NO_x необходимо проводить - хемилюминесцентным методом. [5]

ГОСТ 31967-2012 от 01.07.2014 для судовых, тепловозных и промышленных поршневых дизельных ДВС. Данным стандартом установлено, что измерение концентрации NO_x рекомендуется проводить с помощью – хемилюминесцентно-фотометрического метода детектирования, однако стандартом допускается использовать и другие методы испытания [2].

ГОСТ 17.2.2.05-97 от 01.07.1999 для сельскохозяйственных, промышленных и лесохозяйственных дизельных тракторов (применяемых в коммунальном и лесном хозяйстве), самоходных сельскохозяйственных машин и т. п. Данным стандартом установлено, что измерение концентрации NO_x необходимо проводить при помощи газоанализаторов хемилюминесцентного типа [1].

ГОСТ Р 17.2.2.07-2000 от 01.07.2001, для поршневых двигателей внутреннего сгорания небольших мощностей: дизели мощностью менее 18 кВт и двигатели с искровым воспламенением мощностью менее 19 кВт. и т. п. Данным стандартом установлено, что измерение NO_x следует проводить газоанализатором хемилюминесцентного типа, однако стандартом допускается использовать анализаторы других типов [3].

Рассмотрим конкретные измерительные приборы (Российского производства), в работу которых заложены физико-химические методы (таблица 1).

Таблица 1 - Приборы методов

Физико-химический метод анализа	Прибор	Погрешность измерения, %	Время установления показаний, с	Примечание
Фотоколориметрический	Фотоколориметр ЭКОТЕСТ-220	±2	не более 30	Рабочие длины волн 400-850 (видимая, ИК)
Спектрофотометрический	Спектрофотометр СПСКС ССП 705	в видимой области – не более ± 0,0,5; в УФ и УК областях, не более ± 1	не более 30	Рабочие длины волн 190-1100 нм., (УФ, видимая, ИК)
Кулонометрический	ИГС-98	Для NO ₂ : в диапазоне показаний до 10 мг/м ³ : от 0,01 до 1 около ± 0; от 1 до 10 около ± 25; в диапазоне показаний от 10 до 320: от 0 до 1, около ± 0; от 10 до 320, около ± 15	В диапазоне показаний до 10 мг/м ³ – 60. В диапазоне показаний от 1 до 320 мг/м ³ – 40	Погрешность и время, затраченное на измерение - зависит от концентрации NO (NO ₂)
Хемиллюминесцентный	Газоанализатор АС32М.RU	Рассмотрим для NO ₂ : в диапазоне показаний до 0,1 мг/м ³ , около ± 0; в диапазоне показаний от 0,1 до 10, не более ±15	40-300	Погрешность зависит от концентрации NO (NO ₂)

Проанализировав основные физико-химические методы, заложенные в приборах для измерения концентрации NO_x, рассмотрев конкретные измерительные приборы по каждому из методов, изучив их основные показательные характеристики, рассмотрев нормативные документы, регламентирующие методы измерения NO_x в ОГ различных транспортных средств, приходим к следующему выводу. Хемиллюминесцентный метод анализа концентрации NO_x в ОГ ДВС является основным и приоритетным методом, в некоторых случаях – единственным. Однако некоторыми нормативными документами, такими как ГОСТ 31967-2012 и ГОСТ Р 17.2.2.07-2000, для транспортных средств поднадзорных данным ГОСТам, допускается применять другие физико-химические методы, которые могут являться более актуальными, удобными и информативными в конкретных случаях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17.2.2.05-97. Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200005826.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
2. ГОСТ 31967-2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200104634.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).
3. ГОСТ Р 17.2.2.07-2000. Охрана природы. Атмосфера. Поршневые двигатели внутреннего сгорания для малогабаритных тракторов и средств малой механизации. Нормы и методы измерения выбросов вредных веществ с отработавшими газами и дымности отработавших газов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008653.pdf> (дата обращения: 20.04.2020).

4. Кульчицкий А.Р. Токсичность поршневых ДВС: Учебное пособие/ А.Р. Кульчицкий. – Владимир: Издательство Владимирский государственный университет, 2011. 116 с.

5. ОСТ 37.001.054-86. Автомобили и двигатели. Выбросы вредных веществ. Нормы и методы определения. URL: <https://base.garant.ru/5369072/>. doc (дата обращения: 20.04.2020).

Свистула Андрей Евгениевич, научный руководитель, д.т.н., заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: svistula_ae@mail.ru

Беляева Александра Сергеевна, магистрант направления подготовки «Энергетическое машиностроение» Факультета энергетического машиностроения и автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: a.belyaeva-8em91@yandex.ru

АНАЛИЗ ШЛАКОВАНИЯ МОКРОЙ ЗОЛОУЛАВЛИВАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ

Д.С. Игнатъев, И.А. Бахтина

Целью данной работы являлось выявление причин шлакования мокрых ЗУУ, а также предложение конкретных мер и рекомендаций по улучшению работы и предотвращению внеплановых остановов котлов из-за шлакования ЗУУ.

Ключевые слова: системы отопления, проектирование, программное обеспечение Revit, радиаторы, схемы подключения

Анализ работы мокрых золоуловителей, применяемых для очистки дымовых газов ТЭЦ, позволяет определять недостатки в их работе и путём устранения выявленных недостатков повышать эффективность работы оборудования [1]. Нами был проведён анализ работы мокрого золоуловителя типа МВ УО ОРГРЭС, установленного на ТЭЦ-2 г. Барнаула. Золоуловитель (ЗУУ) состоит из центробежных скрубберов диаметром и горизонтальных (уклон трубы 9 °) прямоугольных труб Вентури по 4 шт. на установку. Геометрические размеры горловины 515x1916 мм. Угол сужения конфузора 26°. Угол расширения диффузора 10°. Длина диффузора 3150 мм. Орошение труб Вентури осуществляется форсунками (по 3 шт. на трубу) с диаметром сопла 10 мм и производительностью 10 т/ч (при давлении 3,5 кгс/см²). Для предотвращения износа внутри ЗУУ выполнена футеровка из керамической плитки. На скрубберах установлены по 16 шт. сопел орошения. Для постоянства давления воды система орошения скрубберов снабжена напорным баком. Напорный бак снабжен поплавковым регулятором уровня. Вода подается из одной магистрали и в напорный бак, и на трубы Вентури. Из напорного бака вода поступает к кольцам орошения скрубберов. Золовая пыль, смешанная с водой (пульпа), удаляется из скрубберов через гидрозатвор в канал гидрозолоудаления (ГЗУ).

Осмотр скруббера показал, что стенки скрубберов относительно чистые. Нижняя коническая часть ЦС заполнена слоем мокрой золы толщиной около 10 см. Стены скрубберов орошаются водой неравномерно. В некоторых секторах наблюдается бóльшая скорость стекающей по стенкам воды по сравнению с другими секторами. В некоторых секторах стенки чистые и мокрые – но течь воды по стенке в таких секторах не просматривается. В некоторых местах стенки скрубберов сухие на них наблюдается небольшой слой золовых отложений.

Наблюдается неравномерная работа сопел орошения. У некоторых сопел длина выбрасываемой струи визуально 5-10 см. У других сопел - 30-40 см. Напор в разных соплах неравномерный. Наблюдаются значительные золовые отложения на козырьке (приложение 2), расположенном над кольцом орошения. Количество данных отложений неравномерно по окружности. В некоторых секторах толщина отложений более 10 см. Сопла орошения соеди-

нены с кольцевой магистралью резиновыми шлангами разной длины. На некоторых шлангах наблюдается неполный пережим.

Напорный бак наполнен наполовину. Гидрозатворы работают нормально, через все гидрозатворы пульпа уходит беспрепятственно в канал ГЗУ. Неплотных лючков на скрубберах и трубах Вентури не обнаружено. Все лючки снабжены уплотнительными резинками.

Наблюдаются одинаковые для всех 4-х труб Вентури затвердевшие золовые отложения в районе горловины, сразу после условного сечения в котором установлены распыляющие воду форсунки.

После проведения визуального осмотра выявлено, что очаг золовых отложений возникает в горловине трубы Вентури, приблизительно на расстоянии 5-10см от места нахождения форсунок, и далее отложения нарастают в углах диффузора. Замечено также, что большая часть отложений образовывается в нижней части горловины, по сравнению с верхней частью. Практически на всех 4-х трубах после побудительных сопел чисто. Отложения возникают между сечением, в котором расположены побудительные сопла и сечением, в котором расположены форсунки. То есть побудительные сопла не помогают смыть золовые отложения в данном месте. Отложения уменьшают проходное сечение горловины на:

1-я труба Вентури – около 30%;

2-я труба Вентури – около 15%;

3-я труба Вентури – около 35%;

4-я труба Вентури – около 40%.

Уменьшение проходного сечения способствует увеличению скорости газового потока. Это, в свою очередь, уменьшает способность улавливать твердые частицы золы распыленной водой, что приводит к тому, что увеличенное количество несоагулированной золы попадает в центробежный скруббер и значительно засоряет козырек над кольцом орошения. Также вследствие возросшей скорости газового потока возникает брызгоунос в промежуточный газоход.

Конус распыления (60°) не затрагивает некоторые участки на внутренних стенках трубы Вентури по периметру. Вероятно, что отложения начинают появляться из-за того, что на внутренних стенках труб Вентури появляются зоны, нерегулярно смачиваемые водой – назовём их «мертвые зоны» (рисунок 1).

То есть из-за нестабильной работы форсунок появляются отдельные струи (капли), отделившиеся от общего конуса распыления. Данные струи (капли) смачивают на короткий промежуток времени описываемые участки – «мертвые зоны» на внутренних стенках ТВ способствуя налипанию частиц золы, а в следующий момент времени смачивание данного участка прекращается, способствуя высыханию и затвердеванию налипших частиц золы. В следующий период времени данный цикл повторяется, и возникает новый слой отложений в мертвой зоне.

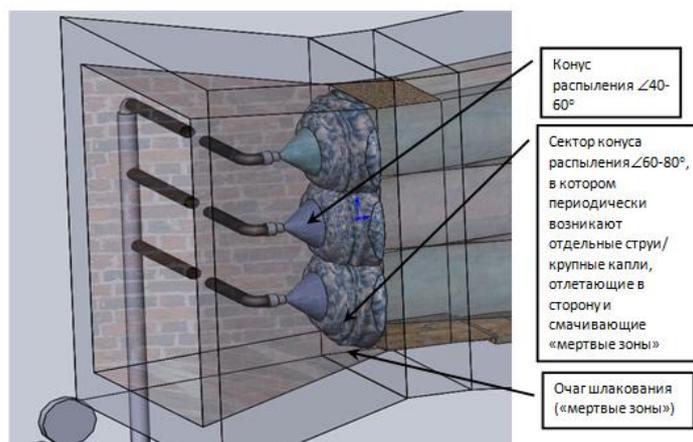


Рисунок 1 – Распыление форсунок и возникновение «мертвых зон»

Выше по тексту отмечено, что данные участки возникают сразу за сечением, в котором расположены форсунки. Далее отложения развиваются в углах диффузора, где скорость газового потока снижена, а смачивание водой происходит, вероятно, тоже нерегулярно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов А.Е. Исследование процессов газоочистки в скрубберах Вентури А.Е. / Дьяконов, М.Ю. Кузьмина, И.А. Бахтина. В сборнике: Наука и молодежь, Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2019. С. 1012-1014.

Бахтина Ирина Алексеевна, научный руководитель, к.т.н., доцент кафедры «Инженерные системы, теплотехника и гидравлика», ФГОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: bia-altai@mail.ru

Игнатьев Дмитрий Сергеевич, магистрант кафедры «Котло- и реакторостроения», Факультета энергетического машиностроения и автомобильного транспорта ФГОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: dima_ignatev@mail.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРОВОГО КОТЛА БКЗ-75-3,9ФБ С ПЕРЕВОДОМ НА ТЕХНОЛОГИЮ НТКС И СЖИГАНИЕМ КОРОДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Б.В. Кормачев, К.В. Меняев

Описаны особенности реконструкции котла БКЗ-75-3,9ФБ, преимущества технологии низкотемпературного кипящего слоя.

Ключевые слова: *низкотемпературный кипящий слой, воздухораспределительная решетка, кородревесные отходы, снижение вредных выбросов.*

Технология низкотемпературного кипящего слоя (НТКС) обеспечивает стабильное горение не только в объеме слоя, но и в топочном объеме. Технические решения, обосновывающие данную реконструкцию опробованы на малых котлах (паропроизводительностью 10 – 25 т/час) в коммунальной энергетике, а затем и на котлах 35 – 75 т/час, установленных на ТЭЦ г. Читы, г. Улан-Батора (Монголия) и г. Ткибули (Грузия). Результаты испытаний котлов показали высокие результаты в энергетической эффективности и экологической безопасности. Отмечены высокие экологические показатели работы котлов, простота обслуживания и снижение затрат на собственные нужды и вспомогательное топливо. Реконструкция имеет невысокую стоимость и позволяет сжигать кородревесные отходы [1].

В Информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным в России технологиям (ИТС 38-2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии») технология сжигания в кипящем слое названа наиболее доступно [2].

В качестве топочного устройства на котле БКЗ-75-3,9ФБ предлагается использовать реактор низкотемпературного кипящего слоя, который устанавливается в нижней части топки.

Основным элементом данного реактора является воздухораспределительная решетка, позволяющая равномерно распределять воздух, подаваемый под решетку. На решетке находится слой инертного материала с размером частиц от 0,6 до 2 мм.

Интенсивность данной технологии достигается за счет постоянного перемешивания, длительного нахождения топлива в слое и достаточного количества окислителя. Одновременно в слое находится по массе 1 – 3% топлива, поэтому котлы с НТКС мало чувствительны к изменению качества топлива. В одном котле можно сжигать топливо с раз-

ной калорийностью (от 1500 до 6500 ккал/кг), изменяя при этом лишь количество подаваемого под решетку воздуха и высоту слоя. Регулирование высоты слоя осуществляется либо дополнительной подачей наполнителя слоя, либо сливом слоя через сепаратор.

Так как горение происходит при температуре 800 – 900°C, практически не образуются термически опасные оксиды азота. При наличии в золе топлива оксида кальция он связывает оксиды серы. При его недостатке в золе топлива вместе с наполнителем в слой может быть добавлен известняк. Степень улавливания оксидов серы в топке НТКС достигает 90 – 95%. Стоит отметить, что в топках НТКС полностью отсутствуют подвижные механические узлы, работающие в зонах высоких температур. Данное решение позволяет значительно экономить средства при производстве ремонтов топочной камеры.

Топка НТКС открытого типа устанавливается под топочной камерой котла. Стены топки НТКС экранированы газоплотными панелями. Над колпачковой решеткой установлена поверхность нагрева, служащая для обеспечения требуемой температуры слоя. В нижней части топки НТКС организован низкотемпературный кипящий слой, который поддерживается беспровальной колпачковой решеткой. Под решеткой расположен короб подвода воздуха.

Вдоль фронтального экрана топки НТКС на воздухораспределительной решетке имеется провальная часть (сепаратор), через которую могут удаляться тяжелые и крупные куски шлака величиной не более 100 мм. Короба сбора удаляемых частиц снабжены шнековыми транспортерами с электроприводами. Наполнитель слоя приводится в кипящее состояние с помощью воздуха, который подается под беспровальную колпачковую решетку и через трубы сепаратора.

В разогретый до температуры воспламенения топлива наполнитель кипящего слоя через амбразуру, расположенную на фронтальной стене топочной камеры котла, с помощью пневмозабрасывателей подается топливо. В слое оно интенсивно перемешивается и сгорает. Часть мелкого топлива 30 – 40 % уносится из слоя и догорает в надслоевом пространстве.

Основное назначение воздухораспределительной решетки – обеспечить равномерное распределение воздуха по слою. Воздух подается в слой через колпачки, установленные на воздухораспределительной решетке, выполненные из труб диаметром 38 мм толщиной стенки 5 мм, из стали 20, оканчивающиеся конической формой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меняев К.В. Экспериментальное исследование реологических характеристик топочных устройств с кипящим слоем / К.В. Меняев, Е.К. Сарсембенов, Е.Е. Паутова, Е.Б.Жуков // Современные тенденции котлостроения : материалы II международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2018. С. 138 – 149.

2. ИТС 38-2017 Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и научно-технической документации / URL: <http://docs.cntd.ru/document/556173718> (дата обращения 22.04.2020)

Меняев Константин Викторович, научный руководитель, доцент кафедры «Котло- и реакторостроение» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: menyaev_kostya@mail.ru

Кормачев Борис Валерьевич, магистрант кафедры «Котло- и реакторостроение», Факультет энергомашиностроения и автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: egor_cherepanov_95@mail.ru

НОВАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ТОПЛИВНОЙ СТРУИ ДИЗЕЛЯ

С.А. Ульрих, А.С. Воронин, А.П. Сеначин, П.К. Сеначин

Рассматривается модель динамики нестационарной топливной струи дизеля, с системой топливоподачи высокого давления типа Common Rail. Модель базируется на динамике точки переменной массы, движущейся под действием импульса, полученного с впрыснутым под давлением топливом. От ранее принятой модели авторов данная модель отличается законом распределения топлива по длине струи. Численное моделирование показывает удовлетворительное соответствие с экспериментальными данными.

Ключевые слова: дизель, нестационарная топливная струя, математическая модель, численное моделирование.

Рабочий процесс транспортного дизеля тесно связан с самовоспламенением и горением заряда, состоящего из нескольких одиночных нестационарных топливных струй (НТС) дизельного топлива, впрыснутого под давлением в камеру сгорания. Процесс распыливания НТС и объемного смесеобразования определяет экономические и экологические характеристики двигателя, является важнейшим этапом рабочего процесса, влияющим на задержку воспламенения топлива и последующее горение заряда. С конца прошлого века началось внедрение систем топливоподачи повышенного давления типа Common Rail, для которых расчетные методики не достаточно развиты. При исследовании процессов смесеобразования обычно используют экспериментальные методы скоростной видеосъемки [1, 2]. В работе предлагается простая (для численного моделирования) математическая модель НТС, адаптированная под новые экспериментальные данные [1].

Дизельный факел представляется ансамблем одиночных НТС. Геометрически НТС представляется в виде усеченного конуса с неизменным углом при вершине 2β (где β - угол раскрытия конуса). Вершина конуса располагается внутри соплового канала на глубине $h = (d_0/2)/\text{tg}\beta$, а начало координат - на оси НТС на срезе сопла. НТС, впрыснутая в рабочий объем, представляется материальной точкой переменной массы (с координатой Z на оси струи), движущейся с переменной скоростью W в результате импульса I_f , полученного с впрыснутым форсункой топливом.

Объем V_f и масса жидкого топлива m_f в НТС, а также текущий импульс системы I_f в моменты времени $t_{\text{beg}} < t \leq t_{\text{end}}$ (или $0 < \tau \leq \tau_{\text{spr}}$) равны

$$V_f = S_0 w_0 \tau, \quad (1)$$

$$m_f = \rho_f V_f = \rho_f S_0 w_0 \tau, \quad (2)$$

$$I_f = m_f w_0 = \rho_f S_0 w_0^2 \tau. \quad (3)$$

Здесь $S_0 = K_S \pi d_0^2 / 4$ - эффективное сечение сопла; K_S - коэффициент эффективного сечения; d_0 - диаметр сопла; $w_0 = \sqrt{2(p_f - p) / \rho_f}$ - скорость струи на выходе из сопла; ρ_f - плотность топлива; p_f, p - давление в сопле и наружное давление в камере (при $p_f = K_P P_{ac}$); P_{ac} - давление в рампе аккумулятора; K_P - коэффициент эффективного давления.

Известно, что масса капель жидкого топлива распределяется по длине НТС неравномерно, причем плотность массы на фронте НТС, при $z = z_1$, максимальна, а при малых координатах z минимальна. В отличие от ранее принятой модели [3], примем следующую гипотезу о распределения массы капель топлива по длине струи «объемная плотность капель топлива в НТС постоянна в каждый момент времени и равна полной массе топлива деленной на текущий объем струи». Тогда функция распределения имеет вид

$$\left(\frac{dm_f}{dz}\right)_\tau = \rho_f S_0 w_0 \tau \left(1 + \frac{z}{h}\right)^2 \left/ \left[z_1 \left(1 + \frac{z_1}{h} + \frac{z_1^2}{3h^2}\right) \right] \right. \quad (4)$$

Функция (4) нормирована, так как согласно (2) интеграл по длине струи от этой функции равен текущей массе топлива в НТС (2).

Запишем уравнение центра масс Z НТС

$$mZ = m_f Z_f + m_{\text{air}} Z_{\text{air}}, \quad (5)$$

где $m = m_f + m_{\text{air}}$ - общая масса НТС; Z_f, Z_{air} - координаты центра масс капель жидкого топлива и вовлеченного в движение воздуха соответственно.

Координата центра масс жидкого топлива Z_f определяется интегралом

$$m_f Z_f = \int_0^{z_1} \left(\frac{dm_f}{dz}\right)_\tau z dz,$$

тогда, с учетом (2) и (4), получим координату

$$Z_f = z_1 \left(\frac{1}{2} + \frac{2z_1}{3h} + \frac{z_1^2}{4h^2} \right) \left/ \left(1 + \frac{z_1}{h} + \frac{z_1^2}{3h^2} \right) \right. \quad (6)$$

Найдем координату центра масс вовлеченного в движение воздуха Z_{air} . Очевидно, что при принятом нами распределении топлива по длине струи, распределение массы воздуха

$$m_{\text{air}} = \rho_{\text{air}} K_{\text{air}} S_0 \left[z_1 \left(1 + \frac{z_1}{h} + \frac{z_1^2}{3h^2} \right) - w_0 \tau \right],$$

также оказывается равномерным по объему струи. Поэтому центр масс воздуха Z_{air} совпадает с центром масс топлива $Z_{\text{air}} = Z_f$ (здесь K_{air} - массовая доля вовлеченного в движение воздуха от всего воздуха в НТС, $\tau = t - t_{\text{beg}}$ - время инжекции топлива). Итак, согласно (5) и (6) имеем для центра масс НТС

$$Z = Z_f = Z_{\text{air}}. \quad (7)$$

Полученное уравнение (7), так же как (6), является трансцендентной функцией, из которой можно найти координату фронта z_1 при известной координате центра масс Z . Решение возможно методами дихотомии, что не очень удобно для численного моделирования. Поэтому, дифференцируя (7) по времени, получим закон распространения НТС (скорости фронта струи)

$$w_1 = -W \left(1 + \frac{z_1}{h} + \frac{z_1^2}{3h^2} \right) \left/ \left[\frac{1}{2} + \frac{4z_1}{3h} + \frac{3z_1^2}{4h^2} - \frac{Z}{h} \left(1 + \frac{2z_1}{3h} \right) \right] \right. \quad (8)$$

Динамика НТС как материальной точки переменной массы определяется производной текущего импульса (3), обусловленного поступлением жидкого топлива из сопла форсунки

$$\frac{d}{dt}(mW) = m \frac{dW}{dt} + W \frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho_f S_0 w_0^2 t) = \rho_f S_0 w_0^2, \quad \frac{dW}{dt} = \frac{1}{m} \left(\rho_f S_0 w_0^2 - W \frac{dm}{dt} \right).$$

Откуда, с учетом (2), (5) и (7), имеем уравнение динамики (ускорения центра масс)

$$\frac{dW}{dt} = w_0 W \left[1 + R_f \left(\frac{w_0}{W} - 1 \right) - \frac{w_1}{w_0} \left(1 + \frac{z_1}{h} \right)^2 \right] \left/ \left[(R_f - 1) w_0 \tau + z_1 \left(1 + \frac{z_1}{h} + \frac{z_1^2}{3h^2} \right) \right] \right., \quad (9)$$

где $R_f = \rho_f / (K_{\text{air}} \rho_{\text{air}})$ - реальное отношение плотностей.

Таким образом, до окончания впрыска топлива (при $t \leq t_{\text{end}}$), математическая модель, кроме (8) и (9), включает уравнения:

– координаты центра масс

$$\frac{dZ}{dt} = W, \quad (10)$$

– координаты фронта струи

$$\frac{dz_1}{dt} = w_1. \quad (11)$$

После окончания впрыска (при $t > t_{\text{end}}$), струя отрывается от сопла форсунки. Поэтому координата задней границы струи больше нуля $z_2 > 0$. Однако следует учитывать, что вслед за НТС в рассматриваемый конус втягивается окружающий воздух. Поэтому, с учетом незначительной массы топлива на задней границе струи, на небольших длинах струи (как в камере сгорания дизеля), координату задней границы можно положить равной нулю $z_2 = 0$.

В таком случае все основные формулы динамики НТС, включая уравнения (7) и (8), останутся прежними. Изменится только уравнение динамики (9), в котором переменная величина $\tau = t - t_{\text{beg}}$ заменяется постоянным параметром $\tau_{\text{spr}} = t_{\text{end}} - t_{\text{beg}}$.

Аналогично уравнению (9), с учетом

$$\frac{d}{dt}(mW) = m \frac{dW}{dt} + W \frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt}(\rho_f S_0 w_0^2 \tau_{\text{spr}}) = 0,$$

получим уравнение динамика НТС

$$\frac{dW}{dt} = - \left[W w_1 \left(1 + \frac{z_1}{h} \right)^2 \right] / \left[(R_f - 1) w_0 \tau_{\text{spr}} + z_1 \left(1 + \frac{z_1}{h} + \frac{z_1^2}{3h^2} \right) \right]. \quad (12)$$

Таким образом, после окончания впрыска топлива, математическая модель динамики НТС дизеля, кроме (8) и (12), включает уравнения (10 и 11).

Предложенная математическая модель НТС решается путем численного интегрирования, например, методом Рунге-Кутты 4-го порядка, по собственной программе.

На рисунке приведены результаты численных расчетов по модели, применительно к экспериментальным данным [1], полученным в лаборатории ЮУрГУ на стенде «Впрыск».

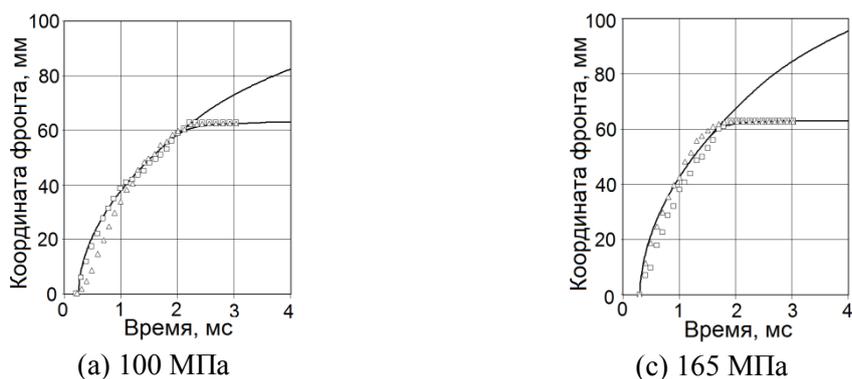


Рисунок – Результаты численного моделирования динамики НТС (сплошные линии - расчет, точки - эксперимент)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kamaltdinov V.G. Experimental Studies of Fuel Injection in a Diesel Engine with an Inclined Injector / V.G. Kamaltdinov, V.A. Markov, I.O. Lysov, A.A. Zherdev and V.V. Furman // Energies 2019, 12, 2643; doi: 10.3390/en12142643. (18 p.).

2. Сеначин П.К. Моделирование геометрических и динамических параметров топливной струи при впрыске в камеру сгорания дизеля на основе эксперимента в бомбе / П.К. Сеначин, С.А. Ульрих, В.В. Чертищев // Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 12(115). Сер. Процессы преобразования энергии и энергетические установки. Вып. 5. ВолгГТУ. Волгоград, 2013. С. 64-67.

3. Самарин А.В. Моделирование динамики нестационарной распыленной струи в ограниченном объёме / А.В. Самарин, С.А. Ульрих, С.В. Яковлев, П.К. Сеначин // Ползуновский вестник. 2016. № 4. Т. 2. С. 143-148.

Ульрих Сергей Александрович, к.т.н., соискатель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» (ДВС) Факультета энергомашиностроения и автомобильного транспорта (ФЭАТ), ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), e-mail: ulrihs22@mail.ru .

Воронин Андрей Станиславович, магистрант кафедры ДВС ФЭАТ АлтГТУ, e-mail: asvoronin71@mail.ru .

Сеначин Андрей Павлович, к.т.н., доцент кафедры ДВС, ФЭАТ, АлтГТУ, e-mail: senachin.ap@yandex.ru .

Сеначин Павел Кондратьевич, д.т.н., профессор кафедры ДВС, ФЭАТ, АлтГТУ; ведущий научный сотрудник Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, e-mail: senachinpk@mail.ru .

НОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ В ПЛОТНОМ СЛОЕ

Е.Е. Пермяков, Р.Ш. Загрутдинов, М.С. Никишанин, А.П. Сеначин, П.К. Сеначин

Рассматривается принципиальный технологический процесс и математическая модель физико-химических процессов получения генераторного газа в активной зоне газогенератора плотного слоя обращенного процесса (ГОП). Результаты численного моделирования показывают, что получаемый в ГОП синтез-газ пригоден для устойчивой работы газопоршневых двигателей мини-ТЭС.

Ключевые слова: газогенератор обращенного процесса, плотный слой, математическая модель, численное моделирование.

Внедрение газогенераторных технологий, основанных на использовании небольших и простых в эксплуатации газогенераторов, работающих на местных видах твердого низкосортного топлива, включая углеродосодержащие производственные и бытовые отходы, становится в настоящее время всё более актуальным. В рамках этих требований времени нами был разработан газогенератор обращенного процесса (ГОП) с тремя зонами горения для получения газа без смол и сажи, а ранее была создана математическая модель [1-4].

В работе приводится усовершенствованная, по сравнению с [5, 6], математическая модель газификации топлива в плотном слое для следующей макрокинетической системы уравнений с тепловым эффектом Q :

- 1) $C + O_2 \rightarrow CO_2 + 393,3 \text{ кДж/моль};$
- 2) $C + CO_2 \rightarrow 2CO -172,4 \text{ кДж/моль};$
- 3) $C + H_2O \rightarrow CO + H_2 -131,4 \text{ кДж/моль};$
- 4) $C + 2H_2 \rightarrow CH_4 + 74,9 \text{ кДж/моль};$
- 5) $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2 + 565,7 \text{ кДж/моль};$
- 6) $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + 483,7 \text{ кДж/моль};$
- 7) $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 + 41,0 \text{ кДж/моль}.$

Запишем уравнения, описывающие процесс газификации в активной зоне ГОП. Система включает:

- уравнения неразрывности в виде концентраций j -го компонента газовой фазы

$$\frac{dA_j}{dz} = \frac{W_j}{w_f + U_C} + A_j \left(\frac{d \ln p}{dz} - \frac{d \ln T}{dz} - \frac{RT/p}{w_f + U_C} \sum_j W_j \right), \quad (1)-(8)$$

$$W_{j=1} = -W_1 - W_5 - W_6, \quad W_{j=2} = 0, \quad W_{j=3} = -W_3 + 2W_6 - W_7, \quad W_{j=4} = 0,$$

$$W_{j=5} = W_1 - W_2 + 2W_5 + W_7, \quad W_{j=6} = 2W_2 + W_3 - 2W_5 - W_7,$$

$$W_{j=7} = W_3 - 2W_4 - 2W_6 + W_7, \quad W_{j=8} = W_4,$$

$$\sum_j W_j = \sum_j \sum_i \xi_{ij} W_i = \sum_i \chi_i W_i = W_2 + W_3 - W_4 - W_5 - W_6$$

(где i -е индексы обозначают соответствующие реакции; а j -е индексы относятся к компонентам газовой фазы: 1 – кислород, 2 – азот, 3 – пары воды, 4 – аргон, 5 – диоксид углерода, 6 – оксид углерода, 7 – водород, 8 – метан);

- макроскопический закон горения углерода

$$\frac{d\eta}{dz} = \frac{M_C}{\rho_C^0 u_C} (W_1 + W_2 + W_3 + W_4) \quad (9)$$

(где η – глубина выгорания углерода, ρ_C^0 , M_C – начальная плотность и молярная масса углерода, U_C – линейная скорость горения плотного слоя);

- общее для всей гетерогенной системы уравнение теплового баланса (изотермическое приближение для любой толщины плотного слоя от z до $z+dz$)

$$\left[(w_f + U_C) \sum_j C_{pj} A_j + U_C (c_C \rho_C^0 (1 - \eta) + c_b \rho_b) \right] \frac{dT}{dz} = \frac{d}{dz} \lambda \frac{dT}{dz} + \sum_i W_i Q_i - \frac{\alpha}{r_{gen}} (T - T_0) \quad (10)$$

(здесь C_{pj} – молярная теплоемкость j -го компонента газовой фазы; c_C , c_b – массовая теплоемкость угля и балласта; ρ_b – плотность балласта; Q_i – молярная теплота i -й гомогенной или гетерогенной реакции; λ – приведённый коэффициент теплопроводности пористой среды; α – приведённый коэффициент теплоотдачи между плотным слоем и стенкой реактора; r_{gen} – внутренний радиус реактора).

Скорость w_f и коэффициент k_f фильтрации определяется законом Дарси для пористых сред

$$w_f = -k_f \frac{dp}{dz}, \quad k_f = \frac{\varepsilon^3 d_0^2 RT}{162(1 - \varepsilon)^2 \nu M p} \quad (11)$$

(здесь ε – пористость среды; d_0 – средний диаметр брикетов; ν, M – вязкость и средняя молярная масса газа). Градиент давления dp/dz линейный по слою.

Скорость реакции горения кокса по i -м реакциям газификации углерода с j -ми компонентами газовой фазы ($i = 1, 2, 3$ и 4)

$$W_i = S_C K_{Si} K_{Wci} (1 - \eta), \quad (12)-(15)$$

$$S_C = \left(\frac{6(1 - \varepsilon)}{d_0} \right) \left/ \left(1 + \frac{\rho_C^0 / \rho_b}{100/A^r - 1} \right) \right., \quad K_{Si} = (A_{ij} / \xi_{ij}) / \sum A_j,$$

$$K_{Wci} = \beta_i A_{ij} \left/ \left(\frac{1}{k_{Wi}} + \frac{d_0}{\text{Nu}_D D_j} \right) \right., \quad k_{Wi} = k_i \exp \left(- \frac{E_i}{RT} \right)$$

(здесь входящие в правую часть уравнений (12)-(15) величины - относительная площадь поверхности углерода, коэффициенты площади реакций и обобщенные константы скорости i -х гетерогенных реакций соответственно). В последние входят константы скорости этих реакций и диффузионное число Нуссельта

$$k_{wi} = k_i \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right), \quad \text{Nu}_{Dj} = 2 + 2,22\text{Pe}_{Dj}^{2/3}.$$

Уравнения скорости i -х газофазных (гомогенных) реакций ($i = 5, 6, 7$)

$$W_i = k_i \prod_j A_{ij}^{\xi_{ij}} \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right). \quad (16)-(18)$$

Для контроля точности счета химических компонентов в задачу целесообразно ввести баланс атомов элементов, участвующих в процессе, поэтому в задачу введены относительные доли компонентов смеси $a_j = A_j / \sum A_j$.

При этом число атомов элементов в одном моле смеси в (единицах числа Авогадро) равно

$$N_O = 2a_1 + a_3 + 2a_5 + a_6, \quad N_N = 2a_2, \quad N_H = 2a_3 + 2a_7 + 4a_8, \quad N_{Ar} = a_4.$$

Отношение числа атомов кислорода (O), азота (N), водорода (H) к числу атомов аргона (Ar) в одном моле смеси есть константы данной задачи, которые можно использовать для контроля счета

$$\beta_O = (2a_1 + a_3 + 2a_5 + a_6)/a_4, \quad \beta_N = 2a_2/a_4, \quad \beta_H = (2a_3 + 2a_7 + 4a_8)/a_4.$$

Система (1)-(18) дополняется двумя замыкающими уравнениями - уравнением альтернативного условия прекращения горения и кинематическим условием стационарности процесса (скорости горения на фронте пламени) относительно стенки реактора

$$p(1-\eta) = 0, \quad u_C - w_{flame} = 0. \quad (19)-(20)$$

Граничные условия учитывают, что рассматривается цилиндрический прямоточный реактор, с секцией отводящего генерируемый газ устройства и зольной подушкой, нарушающими сплошность движения твердофазных компонентов, то есть имеем:

- на входе в реактор (при $z=0$)

$$\eta = 0, \quad u_C = w_{flame} = \text{const}, \quad A_j = A_j^0, \\ T = T^0, \quad dT/dz = 0, \quad p = p^0, \quad dp/dz = (p_0 - p^0)/H; \quad (21)$$

- на выходе из реактора

$$p = p_0, \quad \eta = 1, \quad dT/dz = 0. \quad (22)$$

Кроме того, на фронте пламени имеем

$$z = z_{flame}, \quad dT/dz = 0, \quad A_1 = 0. \quad (23)$$

Система уравнений (1)-(20), с граничными условиями (21)-(23), решается прямым численным интегрированием методом Рунге-Кутты по собственной программе. На диаграмме приведен пример расчета концентраций генерируемого газа (рисунок).

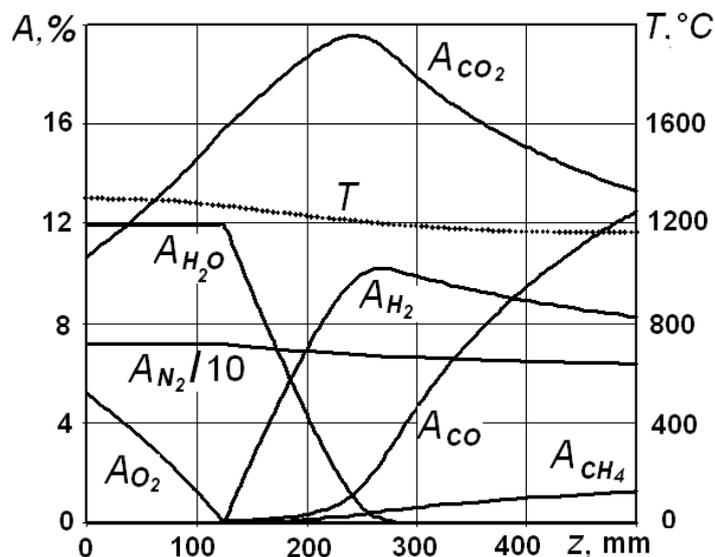


Рисунок – Концентрации компонентов неочищенного газа на выходе из активной зоны газогенератора (остальное до 100% - аргон Ar в объеме до 1%)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Загруткин Р.Ш. Технологии газификации в плотном слое: Монография / Р.Ш. Загруткин, А.Н. Нагорнов, А.Ф. Рыжков, П.К. Сеначин; под ред. П.К. Сеначина. Барнаул: ОАО "Алтайский дом печати", 2009. 296 с.
2. Загруткин Равиль, Сеначин Павел, Никишанин Михаил. Газификация в плотном слое: Цикл статей. Изд-во "LAP LAMBERT Academic Publishing" / Германия, 2016. 168 с. Электронный ресурс: www.lap-publishing.com.
3. Загруткин Р.Ш. Введение в теорию газификации в плотном слое: Монография / Р.Ш. Загруткин, П.К. Сеначин, Б.Т. Ермагамбет; под ред. Р.Ш. Загруткина. Республика Казахстан, Астана: ТОО "Институт углекислотной химии и технологий", 2019. 249 с.
4. Zagrutdinov R.Sh., Negutorov V.N., Maliykhin D.G., Nikishanin M.S. and Senachin P.K. Design of structure and simulation of the three-zone gasifier of dense layer of the inverted process // Journal of Physics: Conference Series, Volume 891, 2017. - The International Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering" (PTPPE-2017), 9–11 October 2017, Moscow, Russian Federation, Table of contents – 012120. Электронный ресурс: <http://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/891/1>.
5. Маришин Н.С. Моделирование газификации угля в плотном слое / Н.С. Маришин, Д.Р. Таймасов, Е.Е. Пермяков, П.К. Сеначин // III Всерос. научная конф. с междунар. участием «Энерго – и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий» / 21-23 марта 2017 года, Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск. Новосибирск: ИТ СО РАН, 2017. С. 338-342. ISBN 978-5-89017-048-4. http://www.itp.nsc.ru/conferences/mzhz_2017.
6. Загруткин Р.Ш. Исследование процессов газификации в плотном слое казахстанских углей в трехзонном газогенераторе обращенного процесса / Р.Ш. Загруткин, Б.Т. Ермагамбет, Ж.М. Касенова, Е.Е. Пермяков, П.К. Сеначин // Всероссийская конференция «XXXV Сибирский теплофизический семинар» / Институт теплофизики СО РАН, 27-29 августа 2019 г., Новосибирск, Россия. 2019. С. 235.

Пермяков Егор Евгеньевич, аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» (ДВС) Факультета энергомашиностроения и автомобильного транспорта (ФЭАТ), ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ), e-mail: egor.permyakov.1991@mail.ru .

Загруддинов Равиль Шайхутдинович, к.т.н., зам. директора ООО ИЦ «Новые энергетические технологии», Рязань, e-mail: ravzag@yandex.ru .

Никишанин Михаил Сергеевич, зам. директора ООО «ЭнергоРесурс», Алтайский край, р.п. Тальменка, e-mail: mc17@yandex.ru .

Сеначин Андрей Павлович, к.т.н., доцент кафедры ДВС, ФЭАТ, АлтГТУ, e-mail: senachin.ap@yandex.ru .

Сеначин Павел Кондратьевич, д.т.н., профессор кафедры ДВС, ФЭАТ, АлтГТУ; ведущий научный сотрудник Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, e-mail: senachinpk@mail.ru .

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ГАЗООЧИСТКИ В СКРУББЕРАХ ВЕНТУРИ

А.Н. Черепанов, И.А. Бахтина

Рассмотрен принцип действия скруббера Вентури и приведены основные параметры, влияющие на эффективность очистки в скрубберах. Для дымовых газов и скруббера Вентури, установленного на ТЭЦ-2 г. Барнаула определена расчётным путём оптимальная скорость движения газа.

Ключевые слова: очистка газов, скруббер Вентури, дисперсный состав, скорость движения газа, эффективность очистки

Охрана окружающей среды, в том числе атмосферного воздуха от вредных выбросов промышленных предприятий связана с комплексом экологических проблем, решение которых гарантирует безопасность всей планеты в целом. Одним из путей решения данных проблем является использование газоочистного и пылеулавливающего оборудования, которые являются составной частью хорошо отлаженного производства. Ужесточающиеся требования к охране окружающей среды вынуждают предприятия всё большее внимание уделять вопросам и схемам газоочистки, поэтому оборудование для газоочистки становится более востребованным.

Предприятия теплоэнергетики (ТЭЦ, котельные) выбрасывают с дымовыми газами достаточно большую гамму загрязняющих веществ: твёрдые частицы, пары воды, оксиды азота, оксиды серы, безнз(а)перен, оксиды углерода и др. Для очистки дымовых газов применяют различное оборудование: циклоны, рукавные фильтры, электрофильтры, различные типы мокрых пылеуловителей, в том числе скрубберы Вентури.

На сегодняшний день скрубберы с трубами Вентури являются наилучшими санитарными пылеочистными аппаратами комплексной газоочистки, т.к. они одновременно позволяют очищать газы от большой гаммы взвешенных фракций (пыль, туман, возгоны, аэрозоли), а также задерживать многие оксиды газов. Общий вид скруббера Вентури приведён на рисунке 1 [1].

Скруббер Вентури относится к аппаратам мокрой очистки газов. Процесс очистки в данном аппарате основан на интенсивном дроблении жидкости, контактирующей с газом за счёт большой скорости газового потока в трубе-распылителе (трубе Вентури). Принцип очистки представлен на рисунке 2 [1].



Рисунок 1 – Устройство газоочистки со скруббером Вентури

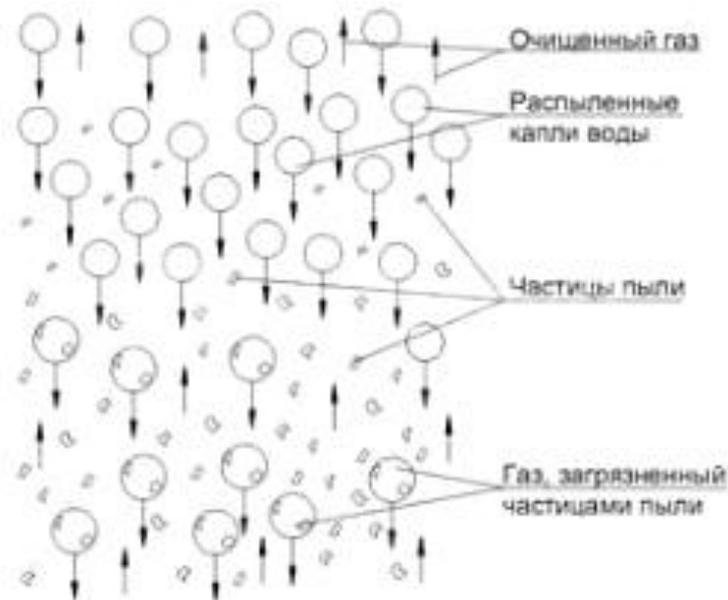


Рисунок 2 – Принцип очистки в скрубберах Вентури

Труба Вентури конструктивно представляет собой сочетание конфузора и диффузора. Очищаемый газ подаётся в конфузор, далее он движется к горловине трубы, при этом скорость движения газа увеличивается. Затем он смешивается с промывочной жидкостью, а частицы пыли осаждаются на каплях при поступлении в диффузор. Для улавливания частиц жидкости совместно со скрубберами Вентури используют сепаратор или укороченные циклоны. В каплеуловителе происходит сепарация, при этом скорости потока жидкости не превышают скорости потока пыли.

Основными параметрами, влияющими на эффективность газоочистки в скрубберах Вентури являются: площадь контакта пыли и капель воды, размер капель распыливаемой воды, скорости движения потока газа.

В данной работе проведено исследование параметров скруббера Вентури, установленного на ТЭЦ-2 города Барнаула. Преимущественно сжигают уголь марки Д с Минусинского угольного разреза Республики Хакасия. На первом этапе проанализирован дисперсный состав золы, отобранной из бункера циклона. Дисперсный состав золы приведён в таблице 1.

Таблица 1 – Дисперсный состав

d, мкм	2,5	4,0	6,3	10	16,0	25,0	40,0
g,% (масс.)	99,5	98	92	80	65	40	15

Был произведён анализ влияние скорости движения газов на эффективность пылеулавливания. В основе лежала формула расчёте эффективности скруббера Вентури [2]. Результаты выполненных расчётов представлены на рисунке 3.

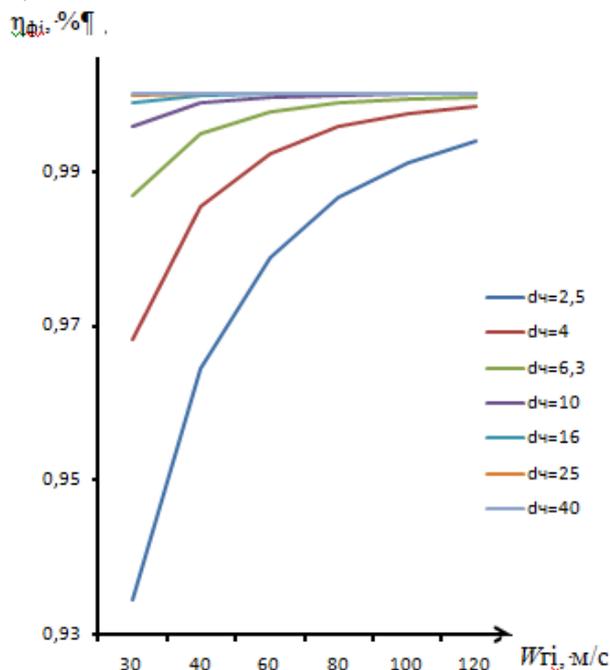


Рисунок 3 – Зависимость эффективности пылеулавливания от скорости газов для разной дисперсности частиц

Как следует из рисунка 3, оптимальной скоростью для частиц с различной дисперсностью является скорость 85 м/с. Дальнейшее увеличение скорости газа в горловине трубы Вентури не дает существенного повышения эффективности очистки, но при этом связано с высокими энергетическими затратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скруббер Вентури: принцип работы, характеристики, преимущества и недостатки. URL: <https://gas-cleaning.ru/article/skrubber-venturi-princip-raboty-harakteristiki-preimushchestva-i-nedostatki> (дата обращения 20.04.2020).
2. Ветошкин А.Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды (теоретические основы). Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004 – 325 с.

Бахтина Ирина Алексеевна, научный руководитель, к.т.н., доцент кафедры «Инженерные системы, теплотехника и гидравлика», ФГОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: bia-altai@mail.ru

Черепанов Александр Николаевич, магистрант кафедры «Котло- и реакторостроения», Факультет энергетического машиностроения и автомобильного транспорта ФГОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: cherepanov.sasha.95@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАСВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПАРА НА УГОЛЬНЫХ ТЭС

Е.Н. Черепанов, К.В. Меняев

Обосновано повышение параметров пара до сверхкритических, как способ повышения тепловой экономичности угольных энергоблоков.

Ключевые слова: *ультрасверхкритические параметры пара, угольные ТЭС, КПД ТЭС, снижение вредных выбросов.*

Экономическое развитие какой-либо страны характеризуется состоянием энергетической отрасли, для Российской Федерации в связи с территориальным расположением, экономика также связана с состоянием и развитием теплоэнергетического комплекса. Для любой энергетической системы базисом является добыча и потребление добываемого топлива. Также стоит отметить, что энергетические технологии использования углеводородного топлива являются наиболее развитыми и технологически отработанными перед другими видами топлив. Поэтому с экономическим и социальным развитием общества повышается потребление углеводородного топлива, что приводит к исчерпанию его запасов, а также к увеличению загрязнения окружающей среды, одной из причин изменения климата нашей планеты.

В угольной генерации России, так и во всем мире преобладают паротурбинные энергетические установки (ПТУ), работающие по наиболее отработанному термодинамическому циклу – циклу Ренкина. Уровень коэффициента полезного действия (КПД) электрических станций, работающих по такому циклу, достигает до 43 %.

Тем не менее, мощности ПТУ продолжают увеличиваться (рисунок 1) [1]. Это увеличение связано с тем, что многие страны имеют в своем наличии большие запасы твердого топлива, что сказывается на его сравнительно постоянной цене.

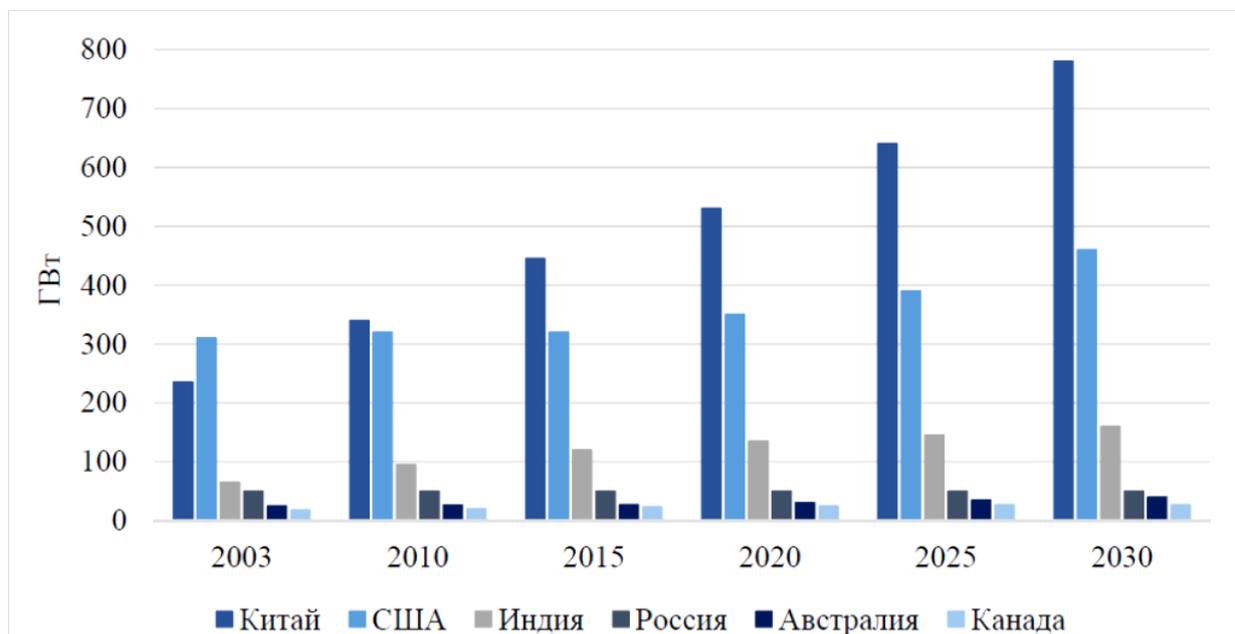


Рисунок 1 – Динамика увеличения установленной мощности угольных ТЭС

Соответственно, перед энергетиками всего мира всегда являлось и до сих пор является актуальной задача повышения тепловой экономичности (повышение термического КПД и, соответственно, уменьшение потребления условного топлива) и экологичности (уменьшение выбросов NO_x , CO_2 и SO_x) угольных энергоблоков.

Работы по повышению тепловой экономичности угольных блоков ведутся многими странами (Японией, США, Китаем, странами Европейского союза, Россией), разрабатываются и реализуются программы по освоению энергоблоков с повышенными параметрами пара с участием крупных производителей энергооборудования, генерирующих компаний, научно-исследовательских организаций. В современном мире паротурбинные энергоблоки, спроектированные на суперсверхкритические параметры (ССКП) пара (начальное давление $P_0 = 32$ МПа, начальная температура $t_0 = 600^\circ\text{C}$), уже освоены и выдают тепловую и электрическую энергию с показателями КПД до 47%.

Следующим шагом повышения экономичности является переход к увеличению уровня начальных параметров пара – ультрасверхкритическому (начальное давление $P_0 = 34$ МПа, начальная температура $t_0 = 700^\circ\text{C}$) [2]. Ожидаемый уровень эффективности энергетических блоков на ультрасверхкритических параметрах (УСКП) пара по оценкам ученых энергетиков будет достигать КПД в 50% и выше.

В связи с этим перед энергетической отраслью стоят следующие задачи:

- разработка энергоэффективных и экологически чистых технологий нового поколения;
- повышение эффективности тепловых электростанций путем вывода из эксплуатации старого, низкоэкономичного оборудования, замена его новым, обеспечивающим существенное снижение затрат на производство электрической энергии и тепла;
- снижение удельного расхода топлива и штатного коэффициента для установок и оборудования, которые находятся в эксплуатации на текущий момент;
- уменьшение различного рода выбросов, негативно сказывающихся на окружающей среде и человеке;
- создание новых надежных материалов с их технологией обработки, рассчитанных на УСКП пара и минимизация их участия в энергоблоке;
- уменьшение ремонтных затрат.

Исследования в области развития российской электроэнергетической отрасли, рассматривают перспективы применения паротурбинных энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара [3].

Однако, сдерживающий фактор в лице применяемых материалов, а именно создание сплавов и технологий их обработки, удовлетворяющих критериям надежности, а так же вытекающая из всего этого высокая стоимость, тормозит развитие энергетики в данном направлении.

Среди материалов, у которых есть потенциал быть использованными для создания новых энергетических котлов с УСКП пара в части изготовления высокотемпературных поверхностей нагрева, выделяют следующие сплавы: Inconel 617, Inconel 740H, HCM 12, HR 120, HR6W, выдерживающие температуру рабочей среды до 760°C . Вышеуказанные материалы, относятся к группе жаропрочных сплавов на никелевой основе с различными присадками, такими как титан, алюминий, молибден, вольфрам, ниобий, бор, образующие в совокупность материал пригодный для использования в котлах на УСКП пара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левина Э. Рынок угля и производство электроэнергии на угле: глобальные перспективы / Э. Левина // Сборник материалов 2-ой Международной научно-технической конференции «Использование твердых топлив для эффективного и экологически чистого производства электроэнергии и тепла». – М.: ОАО «ВТИ», 2014. – С. 17 – 30.

2. Рогалев Н.Д. Состояние разработок в области создания угольных паротурбинных электростанций с параметрами пара, превышающими 305 МПа и 700°С / Н.Д. Рогалев, А.Э. Голодницкий, А.Г. Тумановский // Электрические станции. – 2013. – № 3 (980). – С. 12 – 21.

3. Меняев К.В. Угольная энергетика в современном мире / К.В. Меняев, В.А. Устинов // Современные тенденции котлостроения : материалы II международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых / Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2018. – С. 183 – 187.

Меняев Константин Викторович, научный руководитель, доцент кафедры «Котло- и реакторостроение» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: menyaev_kostya@mail.ru

Черепанов Егор Николаевич, магистрант кафедры «Котло- и реакторостроение», Факультет энергомашиностроения и автомобильного транспорта ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: egor_cherapanov_95@mail.ru

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СЦЕПЛЕНИЯ ШИН С ДОРОГОЙ

Е.В. Баранова, А.С. Баранов

Сила сцепления протектора шины колеса с опорной поверхностью значительно влияет на безопасность движения. В работе выполнен обзор и анализ способов, позволяющих повысить значение этого параметра. Предложена разработка, позволяющая устранить недостатки существующих способов повышения коэффициента сцепления, повышающая эффективность и, следовательно, безопасность движения в различных условиях эксплуатации шин колесной мобильной машины.

Ключевые слова: эффективность торможения, протектор, коэффициент сцепления, взаимодействие шины с опорной поверхностью, прогрев шины

Взаимодействие колесной мобильной машины при движении происходит в контакте пневматических шин с опорной поверхностью. В результате этого взаимодействия на шину действуют силы, возникающие при торможении, и тяговые силы, силы, препятствующие движению, и реакции дороги. Эксплуатационные свойства мобильной машины, такие как тягово-скоростные и тормозные, зависят от силы сцепления протектора шины колеса с опорной поверхностью. Силу сцепления можно определить, как произведение нормальной нагрузки на шину на коэффициент сцепления.

Качество сцепления шины с опорной поверхностью в значительной мере влияет на безопасность движения. Многие инженеры разрабатывают различные способы повышения коэффициента сцепления, используя при этом различные устройства или приспособления.

Известно приспособление к колесам для увеличения силы сцепления с грунтом. Оно включает в себя диск на полуоси, в котором имеются направляющие для выдвигания грунтозацепов. Данные грунтозацепы при выдвигении сцепляются с опорной поверхностью и увеличивают силу сцепления [1].

Еще одной конструкцией для повышения коэффициента сцепления является устройство повышения сцепления колес автомобиля с ледяной дорогой [2]. Данное устройство повышает сцепление за счет металлических цепей, которые разматываются при помощи специального устройства в направлении непосредственно между ведущим колесом и дорожным полотном.

Иногда разрабатываются целые дополнительные тормозные системы. Например, дополнительная тормозная система автомобиля, используемая при движении по скользкой трассе, при съездах, въездах, при неуправляемом скольжении и других подобных экстремальных ситуациях [3]. Данная разработка содержит систему подачи абразива на поверхность автомобильных шин и резервуары с песком и/или землей, установленные перед каждым колесом автомобиля. Разработанная тормозная система обеспечивает дополнительное торможение автомобиля при скольжении, неуправляемом движении, на мокрой автотрассе, снежном покрытии и при наличии масляных пятен на дороге.

Основным недостатком всех вышеперечисленных систем является наличие на мобильной машине дополнительного устройства или приспособления, от корректности работы которого зависит возможность увеличения коэффициента сцепления.

Факторами, в основном влияющими на величину коэффициента сцепления, являются вид опорной поверхности и конструкция пневматической шины.

Существует способ, позволяющий повысить величину коэффициента сцепления шин с опорной поверхностью, который основан на зависимости коэффициента сцепления от характера рисунка протектора шины. В зависимости от состояния опорной поверхности осуществляется подбор рисунка протектора шины соответствующего вида. Невысокая эффектив-

ность данного способа обусловлена ограниченным количеством разновидностей рисунков протектора шины при условии достаточно большого разнообразия опорных поверхностей. Также опорная поверхность в процессе эксплуатации может менять свои характеристики.

Имеются разработки, связанные с изменением конструкции как элементов, расположенных на колесе, так и самого колеса. Например, шип противоскольжения покрышки колеса транспортного средства (варианты), покрышка с шипами противоскольжения [4]. Особенностью данной разработки являются оригинальные конструкции шипов противоскольжения. На разработанной конструкции покрышки имеются шипы противоскольжения, которые представляют собой корпус, имеющий фланец и твердосплавный наконечник, который выполнен в виде пластины. Поперечное сечение данной пластины имеет форму дуги. Недостатком данного способа является ухудшение по причине износа характеристик шипов противоскольжения и покрышки в процессе эксплуатации.

Хорошо известен способ повышения коэффициента сцепления шин автомобиля с опорной поверхностью, в основе которого лежит деформационный нагрев шины. Нагрев шины наиболее интенсивно происходит при разгонах, торможениях и поворотах, при этом наибольшая величина коэффициента сцепления будет наблюдаться в интервале температур 60-90 °С.

Указанный выше способ имеет ограниченное удобство реализации, поскольку его использование приводит к более интенсивному износу шин за счет повышенного проскальзывания ведущих колес автомобилей при проведении прогревания за счет трения о дорожную поверхность, особенно на спортивных соревнованиях.

Помимо этого, существует способ повышения коэффициента сцепления шин мобильной машины с опорной поверхностью, который тоже основан на прогреве протектора шины до оптимальной температуры до начала движения, но специальным съемным нагревательным элементом, который устанавливают на шине. Этот нагревательный элемент (чехол, который надевается на каждое колесо и снимается по окончании прогрева шины перед поездкой) подключен к внешнему источнику электрической энергии.

На наш взгляд, способ имеет следующие недостатки. Во-первых, эффективность нагрева невысока, поскольку после того, как нагревательный элемент будет снят, температура шины понижается. Во-вторых, недостаточно удобна реализация способа, поскольку движение автомобиля при наличии чехла на его колесе автомобиля невозможно. В-третьих, для прогрева требуется значительное время.

В основе разработки лежит техническая проблема обеспечения эффективного нагрева шин до требуемой температуры с повышенным удобством реализации процесса непосредственно во время движения автомобиля по мере необходимости, с использованием автономного источника энергии.

Решение этой технической проблемы достигается за счет прогрева протектора каждой шины до повышенной температуры электрическим нагревательным элементом, который устанавливают на шине под протектором. Для контроля температуры нагрева указанный элемент связан с датчиком. Блок управления обеспечивает подачу питания от электрической цепи автомобиля. Также нагревательный элемент подключен к регулятору установки уровня нагрева протектора шины и блоку экстренного включения нагрева протектора шины в случае необходимости [5].

Протектор шины прогревается в зависимости от условий движения во время перемещения мобильной машины. Водитель может включать, прогрев с помощью ручного управления. Он может также включаться автоматически и прогревать шину до необходимой температуры. Дополнительно имеется режим автоматического экстренного включения нагрева для быстрого достижения оптимальной повышенной температуры в случае экстренного торможения.

Нагрев шин до требуемой температуры обеспечивается нагревательными элементами, которые установлены на каждой шине мобильной машины под протектором шины. Нагревательный элемент соединен с электрической цепью мобильной машины [5].

На рисунке 1 изображена схема реализации способа повышения коэффициента сцепления шины колеса автомобиля с опорной поверхностью [6].

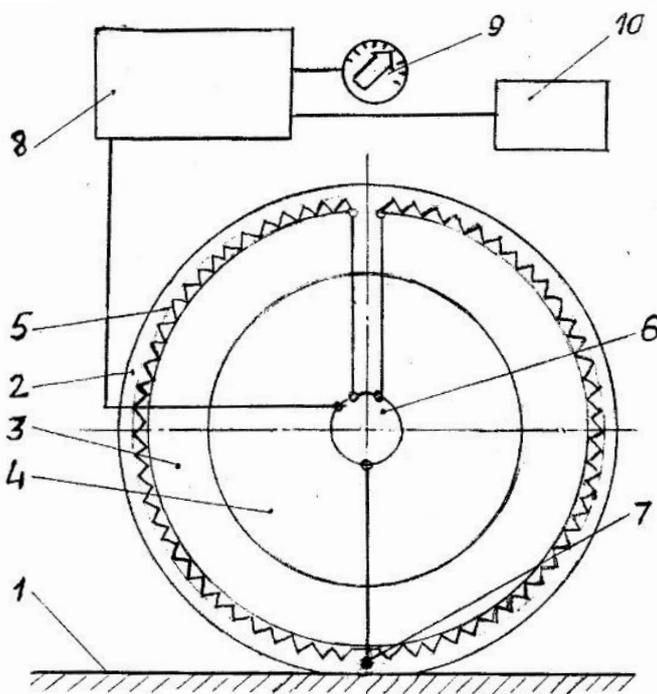


Рисунок 1 – Способ повышения коэффициента сцепления шин мобильной машины с опорной поверхностью:

- 1 – опорная поверхность; 2 – протектор шины; 3 – шина 4 – колесо;
5 – электрический нагревательный элемент; 6 - токосъемник; 7 – датчик температуры;
8 – блок управления; 9 – регулятор температуры; 10 – блок экстренного включения нагрева

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

Когда водитель собирается начать движение, он устанавливает в зависимости от типа и состояния опорной поверхности 1 величину прогрева протектора 2 шины 3 колеса 4, мобильной машины, а затем производит прогрев. Электрический нагревательный элемент 5 установлен под протектором шины. Этот элемент связан через токосъемник 6 с датчиком 7 температуры и блоком 8 управления. Данная цепь обеспечивает подачу питания на нагревательный элемент от электрической цепи мобильной машины. Регулятор 9 устанавливает степень прогрева протектора шины. В случае экстренного торможения в работу включается блок 10 экстренного включения нагрева [6].

Таким образом, предложенный способ обеспечивает установленный уровень нагрева протектора в процессе движения. При экстренном торможении данный способ обеспечивает повышенный нагрев протектора шины, пренебрегая возможным увеличенным износом шины. Отключить нагрев можно выключением зажигания.

Предложенный способ позволяет наиболее эффективно нагреть протектор шины до температуры, необходимой для движения в соответствии с типом и состоянием опорной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 2504480 Российская Федерация. Приспособление к колесам для увеличения силы сцепления с грунтом: № 2012126294/11: заявл. 22.06.2012 : опубл. 20.01.2014 / Сужаев Л. П., Агузаров А. М., Кудзиев К. Д., Кудзаева И. Л., Гассиев Д. : заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Горский государственный аграрный университет". 10 с.
2. Патент 2688089 Российская Федерация. Устройство повышения сцепления колёс автомобиля с ледяной дорогой: № 2017134089: заявл. 02.10.2017 : опубл. 17.05.2019 / Золотых Е. Д. : заявитель Золотых Евгений Дмитриевич. 8 с.
3. Патент 2686254 Российская Федерация. Дополнительная тормозная система автомобиля: № 2017116605: заявл. 12.05.2017 : опубл. 17.05.2019 / Ефимочкин А. П. : заявитель Ефимочкин Анатолий Павлович. 7 с.
4. Патент 2340463 Российская Федерация. Шип противоскольжения покрышки колеса транспортного средства (варианты), покрышка с шипами противоскольжения: № 2007114645/11: заявл. 18.04.2007 : опубл. 10.12.2008 / Евстифеев Д. С., Евстифеева С. И. : заявитель Евстифеев Дмитрий Станиславович. 7 с.
5. Баранов, А.С. Пути повышения эксплуатационных свойств мобильной машины / А.С. Баранов, А.С.Павлюк // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова / Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Бишкек, 2019. С.79-90
6. Патент 2652872 Российская Федерация. Способ повышения коэффициента сцепления шин мобильной машины с опорной поверхностью: № 2016139186: заявл. 05.10.2016 : опубл. 03.05.2018 / Павлюк А. С., Баранов А. С. : заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова". 8 с.

Баранов Алексей Сергеевич, к.т.н., доцент, декан факультета энергомашиностроения и автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова, e-mail: baranovas@mail.ru

Баранова Елена Владиславовна, магистрант группы 8НТК-91, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им.И.И.Ползунова, e-mail: elenbaranova@yandex.ru

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТЕКЛОПОДЪЕМНИКОВ

Р.Р. Байбасаров, В.Ф. Левин

Приведены методы диагностирования электрических и электронных стеклоподъемников. Разработана методика диагностирования стеклоподъемников контактного типа, автоматических и стеклоподъемников с резистивным управлением.

Ключевые слова: автомобиль, стеклоподъемник, автоматика, диагностика.

В настоящее время практически все автомобили снабжаются электростеклоподъемниками. Что именно происходит со стеклоподъемниками, как они устроены, и что нужно предпринимать заранее, чтобы работа этих механизмов была безупречной необходимо правильно проводить диагностику.

Устройство и принцип действия автомобильного стеклоподъемника

Автомобильный стеклоподъемник состоит из системы электрических регуляторов, трапецевидной конструкции, которая обеспечивает плавное опускание стекла и кнопки включения и выключения, которая соединена с блоком управления. Механизм стеклоподъ-

емника устанавливается непосредственно в дверь и имеет отдельный электрический двигатель, который и приводит в действие весь механизм.

Для автоматического выключения, для каждого стеклоподъемника, в электрическую сеть внедрены выключатели, которые обеспечивают стабильную и исправную работу поднимающего и опускающего механизмов. Помимо этого, общая электрическая цепь имеет дополнительную защиту от неисправностей в виде плавкого предохранителя, который находится в монтажном блоке.

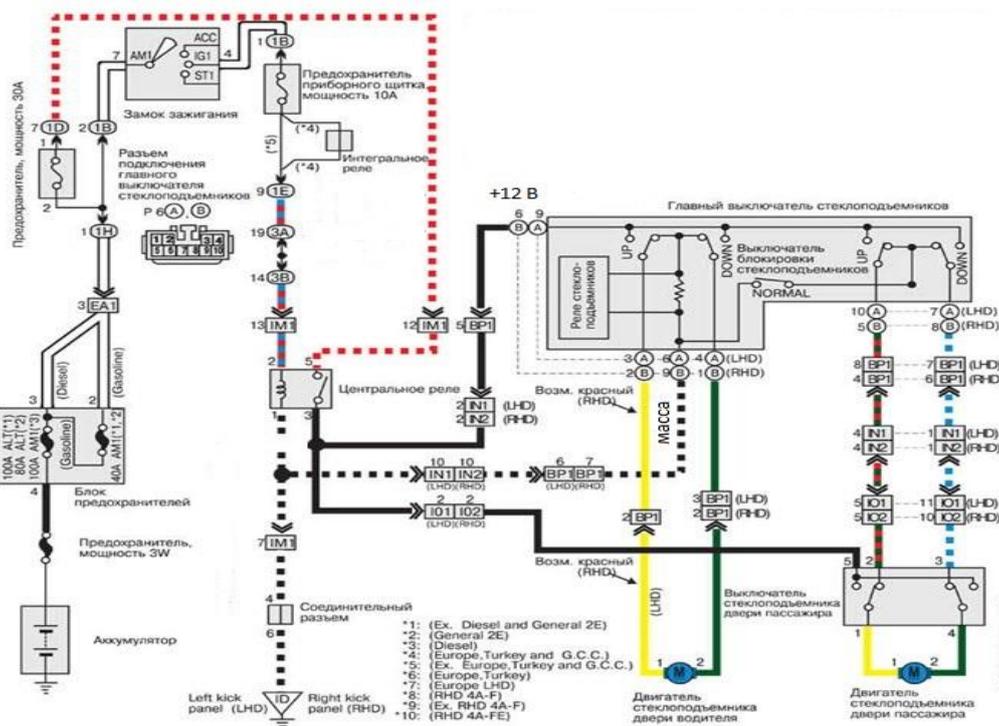


Рисунок 1 – Принципиальная схема управления стеклоподъемниками контактного типа

Диагностика и устранение неисправностей стеклоподъемника

Как правило, привести в действие стеклоподъемник можно только после того, как ключ зажигания будет повернут положение «ON». Если при нажатии на кнопку включения механизма стеклоподъемника ничего не происходит, скорее всего он вышел из строя, поэтому на этом этапе, чтобы быстро устранить неисправность, важно правильно ее диагностировать.

1. В случае полного отказа электростеклоподъемников необходимо выполнить ряд диагностических мер:

- Проверка плавкой вставки (предохранителя) в монтажном блоке салона.
- Проверка наличия «массы» на обоих выводах электромотора (в нейтральном положении выключателей оба вывода электромотора замкнуты на массу).
- Проверка питающего и массового провода, подходящего к главному выключателю стеклоподъемников вольтметром в положении замка зажигания «ON». Один щуп вольтметра присоединяется к плюсовой клемме АКБ, второй к выводу 6А (масса), далее проделываем то же самое только с минусовой клеммой АКБ и выводом +12В. В Обаих случаях должно быть 12В. Какой из них массовый, а какой нет можно определить омметром на наличие нулевого сопротивления между кузовом автомобиля и одним из выводов. Если сопротивление отсутствует, то проблема кроется в массовом проводе и необходимо искать обрыв. Если все напряжения находятся в норме, то проблема в главном выключателе стеклоподъемников.

2. Если не работает один из стеклоподъемников пассажира, ни с главного выключателя, ни с выключателя пассажира то выполняются следующие манипуляции: Омметром проверяется сопротивление проводов, идущих от главного выключателя к выключателю пассажиров, а это вывода 10А и 2 для одного, и 7А и 3 для другого. Сопротивление должно быть близко к нулю. Если сопротивления нет, то необходимо искать обрыв.

3. Если отказываются работать стеклоподъемник задних дверей и переднего пассажира автомобиля только со своих кнопок, но они включаются с центрального блока управления, то скорей всего неисправны кнопки включения механизмов поднятия стекол или отсутствует питание. Диагностика данной неисправности, следующая:

Плюсовой щуп вольтметра подключаем к выводу 5, а минусовой щуп на «массу» и в положении зажигания «ON» должно появиться 12В. В случае отсутствия питания необходимо проверить питающий провод от центрального блока управления стеклоподъемниками (часто происходит перелом провода в соединении стойка-дверь). Если напряжение есть, то неисправна кнопка: необходим ремонт или замена)

4. Если вся электропроводка целая и все напряжения присутствуют, то снимается дверная карта и на двигатель стеклоподъемника подается кратковременно 12В от батареи, меняя полярность.

На рисунке 2 представлена электрическая схема стеклоподъемников автоматического действия. В целях лучшей обзорности автоматическая функция открывания/закрывания представлена только для окна водительской двери.

Переключатели стеклоподъемников имеют по два положения включения для открывания и закрывания окон.

В первом положении переключения подача напряжения на соответствующий электродвигатель выполняется до тех пор, пока переключатель удерживается в нажатом положении.

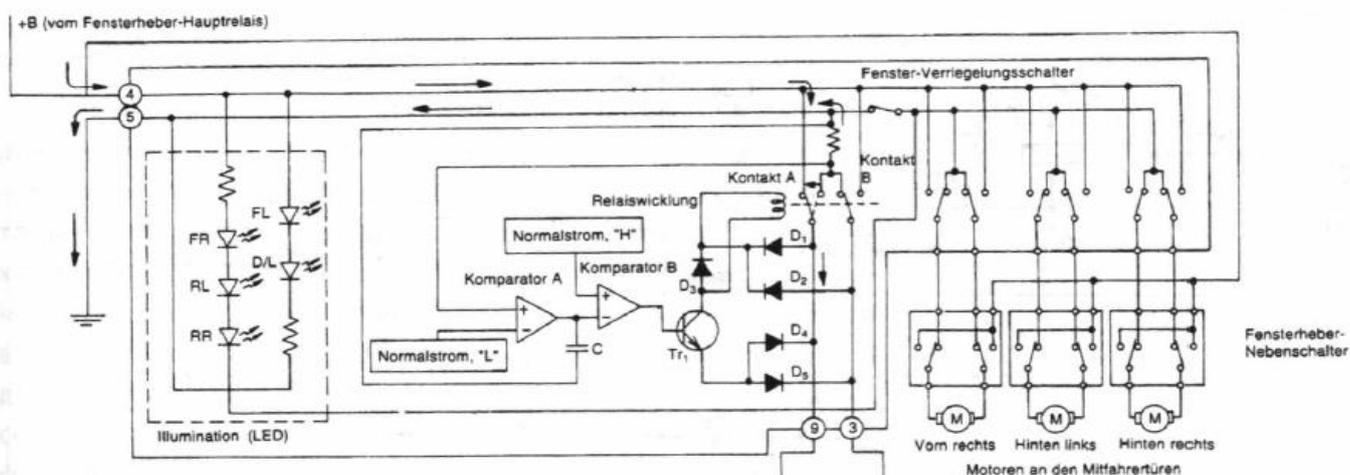


Рисунок 2 – Электрическая схема стеклоподъемников автоматического действия

Во втором положении переключатель автоматически удерживается в положении посредством обмотки реле, пока окно не достигнет своего конечного положения. Вследствие сильного повышения напряжения при блочной работе электродвигателя в конечном положении компаратор «А», который это фиксирует, выдает сигнал «высокое напряжение» на компаратор «В». Вследствие этого компаратор «В» блокирует транзистор, который прерывает подачу питания на обмотку реле, а переключатель стеклоподъемника возвращается в свое нейтральное положение.

Обычно при поломке автоматического подъемника меняется полностью блок выключателей, или выполняется более сложный ремонт и замена электронных компонентов блока.

Стеклоподъемники резистивного типа являются более новыми по сравнению со стеклоподъемниками контактного типа и отличаются наличием отдельного блока для каждого стеклоподъемника и кнопки с двумя резисторами внутри. В зависимости от значения сопротивления блок управления, либо подымает стекло, либо опускает. Управление стеклоподъемниками пассажиров осуществляется по CAN шине.

Диагностика стеклоподъемников такого типа заключается в следующем:

- Проверка плавких предохранителей в монтажном блоке салона.
- Проверка наличия напряжения на плюсовом проводе идущий от блока предохранителей к неисправному стеклоподъемнику.
- Проверка наличия массы на выводе блока управления неисправного стеклоподъемника
- Проверка кнопок. Осуществляется при помощи омметра путем замера сопротивления между выводами 1 и 2 для кнопок пассажиров и соответствующими выводами на главном переключателе (для каждой марки автомобилей сопротивление может отличаться).
- Если управление не осуществляется с главного переключателя, то проверяется целостность проводов CAN-шины согласно схеме между блоками пассажиров и водителя.

Если все вышеперечисленные операции не дали результатов, то неисправен либо блок управление стеклоподъемника, либо сам двигатель, а так как они находятся в одном физическом устройстве, то необходимо менять данный узел либо выполнять сложный ремонт компонентов блока или двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хернер А., Риль Х-Ю. Х39 Автомобильная электрика и электроника. Перевод с нем. ЧМП РИА «СММ-пресс». М. : ООО «Издательство «За рулем», 2013. 624 с.
2. Левин В.Ф. Электроника и электрооборудование транспортно- технологических машин и оборудования. Учебное пособие /АлтГТУ 2015 режим доступа; http://new.elib.altstu.ru/eum/download/Levin_etmo.pdf
3. Toyota Corolla. Леворульные модели 2001-2006 гг. выпуска с бензиновыми двигателями 3ZZ-FE (1,6 л), 4ZZ-FE (1,4 л), 1ZZ-FE (1,8 л), 2ZZ-GE (1,8 л VVTL-i). Серия "ПРОФЕССИОНАЛ". Каталог расходных запчастей. Характерные неисправности. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию. М. : Легион-Автодата, 2014. 392 с.

Байбасаров Руслан Рашидович, студент гр. ЭТМ-71, Факультет энергомашиностроения и автомобильного транспорта, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: baibassarov@mail.ru

Левин Виктор Филиппович, научный руководитель, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: vflevin@list.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЧЕННОГО МЕТОДОМ SPS ПОРОШКОВОГО МАТЕРИАЛА СОСТАВА TiAl ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ НА ПОРШНЕ ДВС

И.С. Вариков, М.Р. Сыровежкин, Я.Г. Мозговая

Проведено исследование распределения микротвердости и фазового состава на поверхности, спеченного методом SPS порошкового материала состава TiAl, для применения на поршне ДВС

Ключевые слова: SPS, микротвердость, порошковое соединение, фазовый анализ, TiAl

Поршень является наиболее нагруженной деталью ДВС. Под действием постоянных нагрузок и повышенных температур его прочность снижается, что ведет к истощению проч-

ностного запаса. Повышение жаростойкости и прочности деталей центрально-поршневой группы – одна из важнейших проблем, для успешного решения которой необходимо применение новых материалов, повышающих прочность.

Порошковые смеси на основе Ti-Al после высокоэнергетического механического воздействия подвергались электроплазменному спеканию в Научно-образовательном инновационном центре «Наноматериалы и нанотехнологии» ТПУ. Электроимпульсное плазменное спекание порошковых смесей осуществляли на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония) представленной на рисунке 1, в вакууме ($5 \cdot 10^{-2}$ мБар). Изменение линейных размеров керамического материала в процессе спекания регистрировалось встроенными средствами технологического оборудования. Температура в процессе спекания регистрировалась высокотемпературным пирометром (диапазон температур измерения 575 – 2500) через технологическое отверстие в боковой стенке пресс-формы.



Рисунок 1 – Установка электроимпульсного плазменного спекания SPS-515S (Syntex Inc., Япония).

На всех этапах экспериментальных исследований структурно-фазовый анализ образцов проводили на дифрактометре ДРОН-6, с $\text{CuK}\alpha$ -излучением ($\lambda = 15,418$ нм). Дифрактограммы всех образцов регистрировали в идентичных условиях, что позволяло более корректно сравнивать полученные величины. Шаг сканирования $h = 0,05^\circ$, время экспозиции $t = 3$ с, угловой диапазон съемки 2θ от 20 до 80° . Анализ форм дифракционных пиков, а также расчет вторых моментов и интервалов для их определения проводились с применением программы «Предварительная обработка PDWin» НПП «Буревестник».

Исследования микроструктуры и распределения элементов по всей поверхности проводили с помощью растрового электронного микроскопа *JSM-6390* с энергодисперсионным анализатором *JED-2300*.

Измерение микротвердости производили согласно ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007. Металлы и сплавы. Измерение твердости по Виккерсу. Используемая нагрузка на индентор 100 г (0,98 Н). Измерение микротвердости образцов осуществляли на приборе МН-6 (рисунок 2).

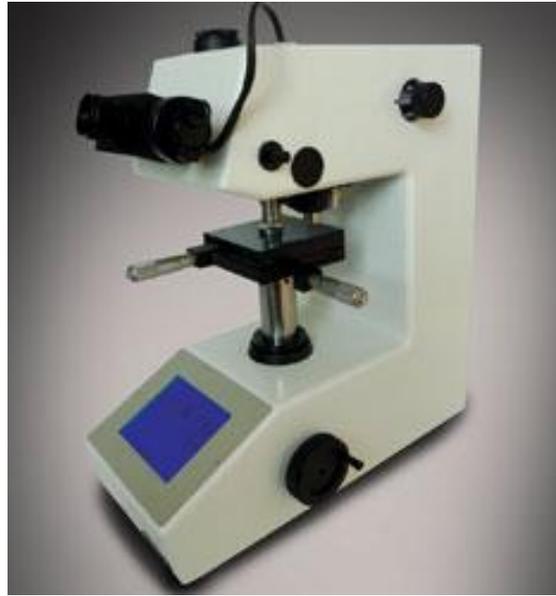


Рисунок 2 – Цифровой микротвердомер с автоматическим поворотом турели МН-6

Для получения результатов распределения микротвердости на образце были выполнены 630 уколов в 10 группах, по 63 укола в каждой. Таким образом после обработки полученных значений в программе Thixomet было выявлено, что распределение микротвердости на поверхности образца сильно отличается, ее диапазон составляет от 150HV до 1250HV. Это говорит о том, что структура имеет различный фазовый состав и скорее всего различную площадь этих фаз.

Фазовый анализ проводился при помощи программы ВИДЕОТЕСТ 5.2, которая определила наличие двух фаз исследуемого образца и присутствующую там пористость. Фазовый состав представлен на рисунке 3.

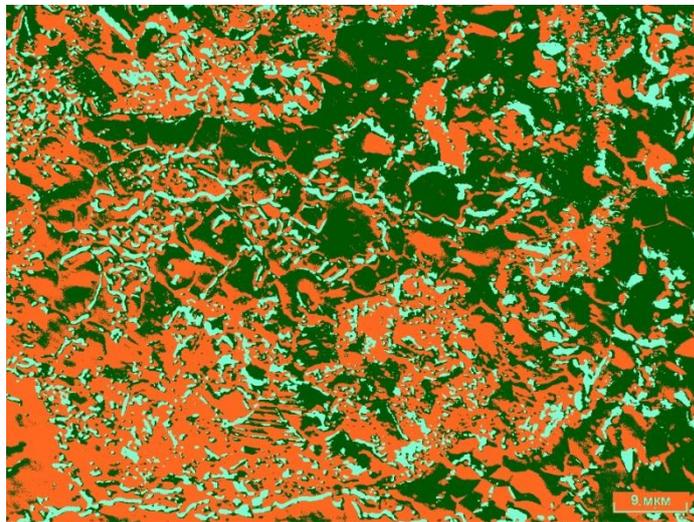


Рисунок 3 – Фазовый состав

Также в ВИДЕОТЕСТ 5.2 были посчитаны площади этих фаз, после их обработки в Excel было получено распределение микротвердости (рисунок 4) по всей поверхности исследуемого образца.

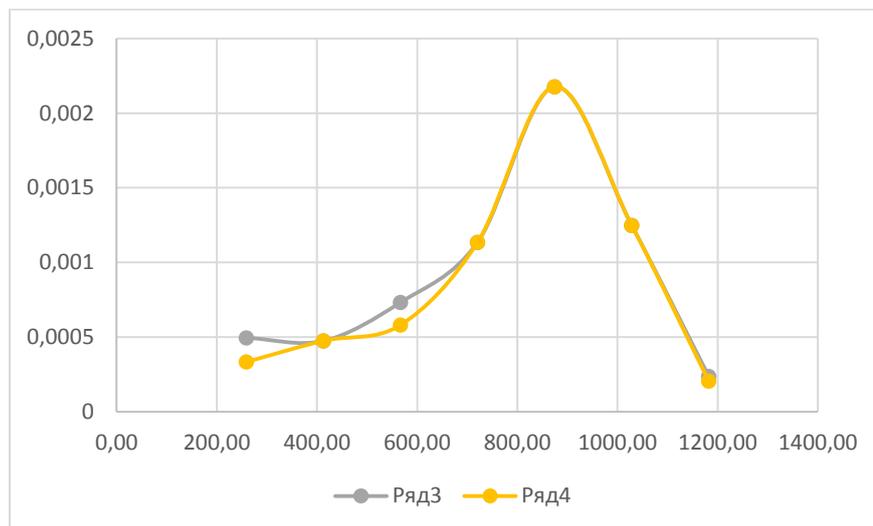


Рисунок 4 – Распределение микротвердости

Выводы:

1. Микротвердость имеет неравномерное распределение по поверхности образца.
2. Повышенную твердость имеют участки, где процентное содержание Ti в зерне больше, чем Al.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильин А.А., Колачев Б.А., Полькин И.С. Титановые сплавы. Состав, структура, свойства. М. : ВИЛС-МАТИ, 2009. 520 с.
2. Loginova M.V., Filimonov V.Yu., Yakovlev V.I., Sitnikov A.A., Negodyaev A.Z., Shreifer D.V. Analysis of the influence of high temperature synthesis parameters on the structure formation in the mechanically activated 3Ti+Al powder mixture // Applied Mechanics and Materials. 2015. V.788. P. 117–122.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания (FZMM-2020-0002).

Вариков Иван Сергеевич, магистрант группы 8НТК-81, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: Stronger-94@mail.ru

Сыровежкин Михаил Романович, магистрант группы 8НТК-81, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: ifscorpion@yandex.ru

Мозговая Яна Григорьевна, к.т.н., доцент кафедры «Технология и механизация строительства», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: yanagt@mail.ru

ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГОРОДОВ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ РЕШЕНИЮ

А.П. Грефенштейн, Е.Д. Псеровская

В статье представлен обзор основных проблем транспортно-логистических систем городов. Сформулированы принципы управления процессами перевозок в городах. Проведен сравнительный анализ методов управления грузовыми перевозками за рубежом и в нашей стране.

Ключевые слова: транспортная логистика, городская логистика, перевозка, груз

Эффективность процесса доставки грузов во многом зависит не только от работы транспортных предприятий (внутренних факторов), но и от множества внешних аспектов:

планировочных особенностей города, интенсивности движения и т.д. Иными словами, перевозка тесно связана со структурой города: транспортными сетями, зонами, узлами, а также с экологией [1]. В связи с этим управление грузовыми перевозками должно основываться на принципах, учитывающих особенности и взаимную связь транспортной и городской логистики («city logistic»).

Зарубежный опыт исследования и решения проблем повышения эффективности работы транспортно-логистических систем городов позволяет выделить несколько общих групп изучаемых вопросов, причем их значительная часть относится к работе грузового транспорта в городе (таблица 1).

Таблица 1 – Основные проблемы транспортно-логистических систем города [2]

Общие проблемы транспортно-логистической системы города	Проблемы доставки грузов
1) транспорт и экология; 2) маршрутизация движения транспорта; 3) концентрация транспортных средств (ТС) в центральной части города; 4) расширение транспортных связей отдельных территорий с центрами социальной активности; 5) реконструирование железнодорожных (рельсовых) путей и вокзалов в планировочной структуре города; 6) проблема парковки и хранения автотранспорта; 7) сервисное транспортное обслуживание (центры технического обслуживания, мойки, автозаправочные станции); 8) источники финансирования системы транспортного обслуживания; 9) разобщенность ведомств, занимающихся проектированием, обоснованием, расчетом, прогнозированием развития транспортного каркаса и системы общественного транспорта; 10) определение соотношения развития индивидуального и общественного транспорта; 11) организация пешеходного движения и велосипедных трасс в городе и др.	1) экология; 2) низкий коэффициент загрузки транспорта; 3) доставка «точно в срок»; 4) заторы и перегрузка участков улично-дорожной сети (УДС); 5) недостаток нужной инфраструктуры и парковочных мест; 6) удалённость складских помещений от мест доставки; 7) увеличение стоимости доставки; 8) низкий уровень транспортного обслуживания и др.

Практика показывает, что разнообразные меры, направленные на решение выше отмеченных проблем, можно разделить на две группы:

1) меры, относящиеся к нормативной политике властей (ограничительные и стимулирующие меры);

2) инфраструктурные меры (создание новых систем, организаций, технологий и т.д.).

Анализ научных публикаций позволил выделить основные аспекты и принципы управления процессами перевозок в городах [2, 3]:

1) ограничительные меры;

2) поиск альтернатив;

3) оптимизация работы транспортных предприятий города;

4) координация участников транспортного процесса;

5) консолидация перевозок.

Реализация ограничительных мер подразумевает введение интервалов времени (например, ночные поставки) и разделение УДС, когда и где проезд разрешен, либо – установление платы за въезд в конкретную зону города. Кроме этого ограничения могут применяться к длине, ширине, высоте, давлению на ось, весу, типу двигателя и коэффициенту загрузки грузового транспорта.

Поиск альтернатив подразумевает использование более экологичных («зеленых») транспортных средств, повышение роли рельсового транспорта при доставке грузов, использование рек или каналов для доставки баржами, организацию интермодальных перевозок внутри города (так называемые многоуровневые системы доставки) и т.д.

Практика лучшего управления предприятиями (транспортными) выражается в эффективном управлении парком транспортных единиц (минимум порожних рейсов, оптимальная загрузка, «доставка точно в срок» и т.д.). Речь идет о внутренних факторах компании или организации.

Принципы координации грузоотправителей и перевозчиков и консолидации перевозок лежат в основе идеи городской логистики. Изучение зарубежного транспорта показывает, что в европейских городах широко распространено создание специальной инфраструктуры и (или) организаций для грузоперевозок. В литературе употребляются следующие термины:

- 1) городские логистические организации (службы)
- 2) городские центры консолидации,
- 3) городские центры распределения,
- 4) логистические товарораспределительные центры,
- 5) городские терминалы и т.д.

Такие центры могут иметь различающиеся функции в транспортном процессе, однако основной смысл их создания заключается в увязке входящего грузового потока в город перед городской чертой и создании эффективных форм распределения путем кооперации всех участников транспортного процесса. Иными словами, грузы в город сначала должны прибывать на некие логистические платформы, имеющие оптимальное территориальное расположение, а в этом центре оператором или логистической организацией – перерабатываться, и только затем доставляться потребителю.

Германия была одной из первых стран Европы, в которых были разработаны такие системы городской логистики в начале 90ых годов 20 века [1]. Принятие таких мер, по данным [2, 4], позволило увеличить «среднюю загрузку автомобиля до 70-80 %; добиться высокой степени приватизации и добровольного сотрудничества между частными предприятиями; использовать автомобили малой грузоподъемности на городских территориях, сокращая их количество (55 % в среднем) и также транспортные затраты (20-30 %)».

Немаловажное значение в функционировании таких центров, «соединяющих воедино» перевозчиков и грузы, имеет использование цифровых технологий, позволяющих охватить коммуникационные и информационные потоки в цепях поставок. Поэтому в литературе также рассматривается необходимость создания информационных центров и применения интеллектуальных систем управления движением.

В нашей же стране широко используется нормативная политика при управлении грузовым движением. Кроме запрещающих движение знаков и «Правил дорожного движения РФ», оказывать влияние на процесс перевозок могут различные локальные нормативные акты, действующие в определенных регионах.

В качестве примера рассмотрим опыт Москвы. Территория столицы условно поделена на две зоны: 1 область – в пределах Третьего транспортного кольца (ТТК) и по нему; 2 об-

ласть – в пределах от ТТК до Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) и по ней.

В первой зоне запрещено движение на ТС ниже экологического класса «Евро-3», а в дневное время (06:00 – 22:00) в любые дни ограничен проезд ТС грузоподъемностью более 1 тонны (исключение по оформленному пропуску). Во второй зоне запрещено движение на ТС ниже экологического класса «Евро-2», а в дневное время – ТС с разрешенной максимальной массой (РММ) более 12 тонн (исключение по пропуску).

Кроме того в Москве внутри рассматриваемых зон улицы и дороги делятся на два типа:

1) жилые зоны, где запрещено движение грузовых ТС с РММ более 2,5 тонн, за исключением обслуживающих жителей и предприятия (право въехать в зону жилой застройки подтверждается документами);

2) грузовой каркас, где разрешено движение без ограничений.

В других крупных Российских городах регламент процесса доставки ограничивается «Правилами дорожного движения РФ» и государственными стандартами, то есть техническими средствами организации движения (знаками, разметкой и т.д.).

Подводя итог, сделаем соответствующие выводы.

Значительная доля проблем функционирования транспортно-логистических систем крупных городов связана с процессами грузовых перевозок и доставкой товаров. Мероприятия по улучшению данного вопроса в нашей стране относятся к нормативно-правовой группе и регламентируют процессы перевозок «Правилами дорожного движения РФ», ГОСТами, локальными нормативными актами и т.д. За рубежом широко распространено создание специальной инфраструктуры и (или) организаций для грузоперевозок. Это позволяет координировать грузоотправителей, консолидировать грузы, эффективнее управлять подвижным составом, использовать альтернативные способы доставки (не только автотранспортом).

Поэтому создание подобной инфраструктуры в нашей стране позволит сформулировать и связать в единую систему логистические задачи. В связи с этим в настоящее время актуальной темой исследования является разработка методических рекомендаций по проектированию системы доставки товаров и грузов в городской черте в крупных городах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серегина Д. А. Формирование инновационного механизма развития подсистем городского комплекса // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2013. №3. С. 127-135.
2. Сыздыкбаева Б. У., Раимбеков Ж. С., Сейдуалин Д. А. Организация грузовых перевозок в системе городской логистики товародвижения: зарубежный опыт // Бюллетень науки и практики. 2018. № 7. Т. 4. С. 388-398.
3. Айтбагина Э. Р. Различные взгляды на концепцию «Городская логистика» // Техника и технологии строительства. 2016. № 6 (2). Режим доступа: http://ttc.sibadi.org/wp-content/uploads/2017/01/TiTS_2_6_2016.pdf (дата обращения: 01.04.2020).
4. Тюрин А.Ю. Городские распределительные центры в концепции городской логистики // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2014. № 1 (101). С. 146 -148.

Псеровская Елена Дмитриевна, к.т.н., доцент кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», e-mail: eldr55@yandex.ru

Грефенштейн Анна Павловна, аспирант кафедры «Логистика, коммерческая работа и подвижной состав», ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», e-mail: anna_020295@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛОНАСС ДЛЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

И.В. Долматов, А.В. Панин

Показаны возможности применения Глобальной Навигационной Спутниковой Системы (ГЛОНАСС) для диспетчерского управления пассажирским автомобильным транспортом Алтайского края. Приведено краткое описание технологии автоматизированного диспетчерского управления на основе программных разработок ЗАО НПП «Транснавигация». Обосновывается экономическая эффективность использования такой технологии.

Ключевые слова: ГЛОНАСС/GPS, транспортная работа, диспетчерское управление, навигационный приёмник, оптимизация маршрутов

На всех краевых автобусных маршрутах успешно используется автоматизированная радионавигационная система диспетчерского управления (АСУ-Навигация), дающая возможность объективно контролировать и учитывать выполнение транспортной работы, оперативно определять места дорожно-транспортных происшествий, повышать оперативность оказания медицинской помощи и эвакуации пострадавших, проводить мероприятия по линии МЧС.

Технология такого управления реализована на основе программных разработок ЗАО НПП «Транснавигация». Транспортные средства оснащены навигационным оборудованием с использованием спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS.

Глобальная Навигационная Спутниковая Система (ГЛОНАСС) – уникальная разработка российских ученых и конструкторов. 24 спутника, находящиеся в заданных точках высоких орбит, постоянно излучают на Землю навигационные сигналы [1,2,3]. Любой объект, в том числе и автомобиль, оснащенный устройством для приема и обработки таких сигналов, может легко определить свое местоположение и скорость движения. С 2013 года эта системы обязательна и на грузовом коммерческом транспорте.

В США действует аналогичная по назначению американская «GPS» [4]. Подобные системы есть (по принадлежности спутников) в Индии, Китае и других странах.

Используемая на транспорте система непрерывно осуществляет сбор навигационной информации о нахождении автобусов на маршруте с помощью специальных бортовых навигационных приемников (рисунок 1). Это устройство может выполнять различные функции, например, прием и отправку текстовых сообщений, присутствует голосовая связь, кнопка SOS и 4-х строчный дисплей для расписания. Есть дополнительные функции для определения, пройденного автомобилем пути (внутренний цифровой одометр), подключение цифровых/аналоговых датчиков, в том числе и датчик топлива, встроенный автоинформатор остановок (полностью автоматическое объявление остановок в салоне автобуса без участия водителя), электронные аншлаги и бегущая строка.



Рисунок 1 – Приемник ГЛОНАСС/GPS «Гранит-Навигатор.07» производства компании «Глобал Ориент» г. Москва

Появляется возможность автоматически обнаружить и сформировать в «горячих окнах» диспетчерской программы всю информацию об отклонениях в работе автомобилей от запланированных параметров транспортного процесса (нарушения графиков движения, уход с запланированного маршрута). Эта информация позволит изменять интервалы движения автобусов, переключать их на другие маршруты, изменять режимы движения, оформлять сходы по конкретным причинам и восстанавливать контроль движения, изменять наряды и т.д. (рисунок 2).

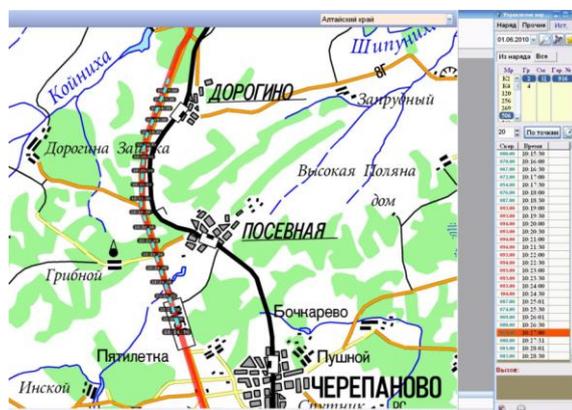


Рисунок 2 – История передвижения автобуса с нарушением ограничения скорости 90 км/ч

Диспетчер визуально отслеживает прохождение автобуса через контрольные точки маршрута на электронной видеограмме края в реальном масштабе времени (рисунок 3), при необходимости, принимает меры по регулированию транспортных процессов и устранению возникших помех. Информация о движении автобусов записывается в компьютерную базу данных и может быть воспроизведена за любой прошедший период времени. Установленное оборудование позволяет осуществлять прием и отправку текстовых сообщений типа «Осторожно: Гололёд», «Густой туман, скорость 5 км/ч», «Машина Службы безопасности движения выехала» и др. Возможно и обеспечение голосовой связи диспетчера с водителем. При этом все переговоры в эфире записываются в компьютерную базу данных и, при необходимости, могут быть воспроизведены по запросу.

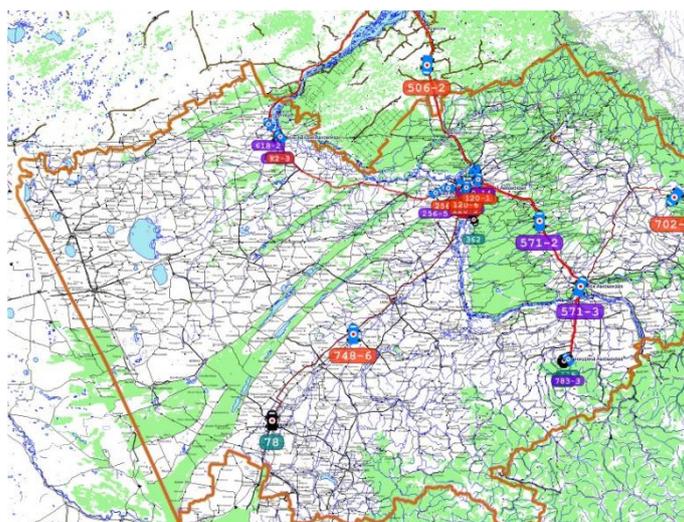


Рисунок 3 – Отображение автомобиля на карте в реальном времени

Легко решается проблема контроля водителя на линии. Установленная в салоне автобуса цифровая фотокамера для автоматической съемки в салоне автобуса позволяет диспетчеру контролировать наполняемость и отслеживать изменение количества пассажиров после промежуточных остановок. Встроенный в бортовой приемник датчик автоматически подсчитывает количество вошедших и вышедших пассажиров.

Система позволяет оптимизировать маршруты и расписания по информации о фактическом движении на маршрутах и данных обследования пассажиропотоков, отказаться от содержания линейных диспетчерских пунктов.

Внедрение АСУ-Навигации оправдано её экономической эффективностью:

- повышается собираемость оплаты проезда за счет внедрения фотокамер и датчиков подсчета пассажиров;
- сокращается время рейсов на междугородных маршрутах по информации о фактическом прохождении маршрута;
- исключаются «левые» рейсы;
- исключается хищение топлива водителями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования/ под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Москва : Радиотехника, 2010. 800 с.
- 2 Кашкаров, А.П. Система спутниковой навигации ГЛОНАСС/ А.П. Кашкаров. – Москва: ДМК Пресс, 2018. – 365 с.
- 3 Соловьев, Ю.А. Системы спутниковой навигации/ Ю.А. Соловьев. Москва : Эко-Трендз, 2000. 270 с.
- 4 Яценков, В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС/ В.С. Яценков. Москва : Горячая линия - Телеком, 2005. 272 с.

Панин Алексей Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: paninbar@yandex.ru

Долматов Илья Владимирович, студент гр. ЭТМ-71, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: ilya.dolmatov.44@mail.ru

РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПРИСТВОЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЧВЫ В ПЛОДОПИТОМНИКАХ

Н.И. Раззамазов, С.Ф. Сороченко

Показана возможность внедрения технологий искусственного интеллекта в агропромышленный сектор для решения задач по распознаванию объектов с целью автоматизации и оптимизации рабочего процесса. Предложены варианты полного и неполного замещения ручного труда в приствольной обработке почвы в плодopитомниках посредством задействования интеллектуальных систем, принципы работы которых относятся к таким направлениям, как классификация образов и контролируемое обучение.

***Ключевые слова:** агропромышленный сектор, приствольная обработка почвы, саженцы, искусственный интеллект, автоматизация, распознавание объектов.*

Искусственный интеллект (ИИ) находит все большее применение в народном хозяйстве, в том числе и в агропромышленном комплексе. В частности, одной из задач, которую можно решить при помощи ИИ, - распознавание объектов в сельском хозяйстве при прополке и прореживании посевов сельскохозяйственных культур, приствольной обработке почвы в садах и плодopитомниках.

Для начала необходимо ввести определение понятию «искусственный интеллект». На сегодняшний день существуют разные, но равносильные, определения. Для простоты в рамках данной статьи будем опираться на следующее: «Искусственный интеллект – это искусственно созданные машины, которые выполняют функции, требующие интеллектуальности при их выполнении людьми» [1]. Таким образом, отличие «обычных» машин от «интеллектуальных» заключается в способности последних обрабатывать поступающую информацию подобно человеку. Применение ИИ в технологической операции приствольной обработки почвы в плодopитомниках – это распознавание саженца культурного растения, который необходимо не повредить рабочими органами машины, и сорняка с последующим его механическим уничтожением. Одним из примеров применения ИИ для решения подобной задачи является разработка ученых Орхусского университета (Дания) – робот «Hortibot», способный распознать и уничтожить сорняк [2]. Заметим, что конкурентоспособность машины определяет не только выполнение главной функции машины, но и её стоимость.

Целью работы является определение приемлемого варианта применения ИИ при приствольной обработке почвы в плодopитомниках.

Рассмотрим, каким именно образом возможно применение технологий ИИ при приствольной обработке почвы в плодopитомниках.

В работе [3] отмечены направления распознавания объектов – классификация образов и контролируемое обучение. Рассмотрим каждое из них.

При классификации образов система получает набор положительных примеров изображений (группа А) и набор отрицательных примеров изображений (группа В). Задача системы состоит в том, чтобы определить с помощью обучения функцию, которая бы позволила отнести вновь полученные изображения к одной из этих двух категорий. Применительно к поставленной задаче в качестве изображений группы А могут выступать изображения выращиваемой культуры, а в качестве изображений группы В – изображения сорняков. В зависимости от того, с каким растением будет происходить взаимодействие, машина выберет алгоритм дальнейших действий. Методологически указанное направление вполне подкреплено. Однако, как отмечено в работе [3], при реализации данного направления из-за большого объёма изображений, освещенности, геометрической трансформации распознаваемых объектов возможны ошибки распознавания, большой объём вычислений.

Контролируемое обучение интеллектуальной экспертной системы основано на последовательности случаев и соответствующих им решений. Результат обучения – способность системы выводить правила и нормы, описывающие исходные случаи, и находить новое решение для нового случая [4].

Общее решение данной задачи, а именно обучение интеллектуальной системы уметь распознавать произвольный объект, довольно сложное, поскольку требуется написать такой алгоритм, который бы затрагивал широкий спектр возможных начальных условий (форму, размер, цвет, соотношения между различными параметрами культуры и др.).

Частное решение для конкретной культуры можно свести к тому, чтобы научить систему классифицировать только её одну. Безусловно, такой подход сильно ограничит нас в возможном распространении этой системы, так как каждая культура имеет уникальный набор параметров, отличающий её от всех остальных. И всё-таки это проще по сравнению с обучением системы быть способной самостоятельно распознавать изображения культуры как таковой, вне зависимости от её семейства, и изображения сорняков. В перспективе возможно создание общей базы входных данных и/или алгоритмов распознавания объектов для разных культур, доступ к которой могли бы иметь различные садоводства, агрофирмы и прочие сельскохозяйственные организации.

Более локальное решение данной задачи предлагается свести к распознаванию не собственно объекта обработки, а его, так называемых идентификаторов. Например, выберем в

качестве идентификатора цвет отдельной части объекта, который и будет являться входным данным. Если все части культуры содержат один и тот же цвет (в большинстве случаев это зеленый цвет), мы можем во время посадки культуры покрасить стволы саженцев (то есть конкретную часть этого растения, которую и будет сканировать система) в цвет, отсутствующий у культуры. Однако появляется проблема: что делать в том случае, если этот цвет будет иметься у какого-нибудь сорняка? В этом случае к входным данным добавим ещё какие-либо параметры: процент количества пикселей данного цвета в полученном изображении, яркость и т.д. Тогда необходимо произвести покраску таким образом, чтобы результат распознавания мог быть однозначным. Результатом данного способа внедрения ИИ в сельское хозяйство будет неполная автоматизация; перед запуском системы человеку будет необходимо заранее подготовить «рабочее место» этой системы. Однако всё же труд гораздо упрощается: достаточно провести определенные единоразовые мероприятия вручную, чтобы дальнейшие работы с культурой вела уже машина со встроенной системой распознавания.

Итак, выполнен анализ трёх вариантов внедрения в агропромышленный сектор искусственного интеллекта, работа которых относится к областям контролируемого обучения и классификации образов.

1. Создание обучающего алгоритма, работа которого основана на полном самообучении системы, которая сможет распознавать произвольно взятую культуру (или произвольный сорняк). Достоинства способа: возможность внедрения в любые сельскохозяйственные организации вне зависимости от их особенностей. Недостатки способа: сложный алгоритм обучения; большое количество обрабатываемой системой информации.

2. Создание обучающего алгоритма, работа которого основана на обучении системы распознавать определенную культуру, выращиваемую данной сельскохозяйственной организацией. Достоинства способа: более простой алгоритм, написанный для отдельно взятой культуры; меньший объем обрабатываемой информации. Недостатки способа: необходимость переобучения при необходимости распознавания новой культуры.

3. Создание обучающего алгоритма, работа которого основана на обучении системы распознавать отдельные элементы объектов. Достоинства способа: простой алгоритм; малое количество обрабатываемой информации. Недостатки системы: автоматизация труда неполная.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственный Интеллект. Системы и модели. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы (официальный сайт) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rriai.org.ru/obschee-opredelenie-iskusstvennogo-intellekta.html>. Загл. с экрана (дата обращения 15.04.2020).

2. Алферьев Д.А. Искусственный интеллект в сельском хозяйстве / Вологда: Издательство «АГРОЗООТЕХНИКА», Том 1, № 4, 2018. 10 с.

3. Искусственный Интеллект. Системы и модели. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы (официальный сайт) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rriai.org.ru/raspoznvanie-obektov.html>. Загл. с экрана (дата обращения 15.04.2020)

4. Игнаси Белда. Разум, машины и математика. Искусственный интеллект и его задачи. / Пер. с исп. – М. : Де Агостини, 2014. 160 с.

Сороченко Сергей Федорович, д.т.н., профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические системы», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: sorochenkosf@list.ru

Раззамазов Никита Иванович, студент группы ТТС-82, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: nyk0810@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ ПРОГРАММЫ РЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ф.И. Салеев, Н.О. Топеха

В работе рассмотрена методика и пример расчета количества ремонтов и технических обслуживаний машин и орудий в АПК (программы ремонтного предприятия) на основе анализа себестоимости. В основе этой методики лежит анализ себестоимости ремонта. Из четырех составляющих себестоимости ремонта машин одни из них прямо пропорциональны себестоимости, другие - обратно пропорциональны. В связи с этим за критерий оптимальности программы ремонтного предприятия принят минимум себестоимость ремонта машин.

Ключевые слова: АПК, себестоимость ремонта, техническое обслуживание, затраты на оплату труда, накладные расходы, транспортные расходы, оптимальность программы, средний радиус перевозок.

Производственная программа ремонтного предприятия в АПК определяется номенклатурой и количеством ремонтируемых машин, их составных частей, запасных деталей и прочей продукцией. Эта программа чаще всего устанавливается в денежном выражении по видам работ (числу технического обслуживания и текущих ремонтов по видам основных средств).

Программа ремонтного предприятия лимитируется себестоимостью ремонта машин и орудий таким образом, что некоторые затраты, входящие в расчет себестоимости ремонта, возрастают, тогда как другие – уменьшаются с увеличением программы ремонтного предприятия.

В связи с этим определение оптимальной программы ремонтного предприятия в АПК является актуальной задачей.

В общем случае себестоимость ремонта с/х машин и орудий определяется по выражению [2]:

$$C_p = C_{з.п.} + C_{н.р.} + C_з + C_m + C_T, \quad (1)$$

где $C_{з.п.}$ - затраты на оплату труда производственных рабочих на предприятии, с заданной программой; $C_{н.р.}$ - накладные расходы; $C_з$ - стоимость запасных частей, руб.; C_m - стоимость материалов, руб.; C_T - транспортные затраты, руб.

Затраты на оплату труда, входящие в выражение (1), определяются по формуле [1]:

$$C_{з.п.} = \left(\frac{A}{W} + B \right) C_{з.п.(1)}, \quad (2)$$

где $C_{з.п.(1)}$ – затраты на оплату труда производственных рабочих в исходном ремонтном предприятии, A – доля затрат на оплату труда, зависящая от программы ремонтного предприятия (в расчетах обычно принимают $A=71-74$); B – доля затрат на оплату труда производственным рабочим, не зависящая от программы ремонтного предприятия (в расчетах принимают $B=0,26-0,3$).

Накладные расходы вычисляются по формуле [2]:

$$C_n = C_{з.п.} \frac{\%Н.Р.}{100\%}, \quad (3)$$

где %Н.Р. – процент накладных расходов.

Транспортные затраты по перевозке ремонтных объектов [2]:

$$C_T = a(1 - \eta_3 - \eta_m) R_c Q, \quad (4)$$

где Q – вес перевозимых объектов с/х техники, нуждающихся в ремонте, т; η_3 - коэффициент, учитывающий встречные перевозки запасных частей и металлолома, в расчетах η_3 принять

равным 0,15 ; η_m -коэффициент, учитывающий встречные перевозки материалов, η_m принять равным 0,075; R_c – средний радиус перевозок, а- тарифный коэффициент.

Средний радиус перевозок R_c определяется по формуле [2]:

$$R_c = \sqrt{\frac{W}{N_k}} \eta_T \eta_D, \quad (5)$$

где η_T - коэффициент, учитывающий конфигурацию территории;

η_D -коэффициент, учитывающий сеть дорог; N_k – количество ремонтируемых машин, приходящихся на площадь со средним расстоянием перевозки $R_c = 1$ км. [2]:

$$N_k = \frac{N_m}{F} \gamma, \quad (6)$$

где N_m – количество объектов с/х техники, находящихся на заданной территории и нуждающихся в ремонте, F- площадь территории, на которой сосредоточены объекты ремонта весом Q.

Для решения задачи «Расчет оптимальной программы ремонтного предприятия» нами была составлена программа «Microsoft Excel».

Ниже приведена последовательность реализации этой программы.

1. Действуя в следующей последовательности, установить соответствующую надстройку: Сервис – Надстройки..., в открывшемся окне (рис.1) поставить галочку напротив пункта «Поиск решения», нажать кнопку ОК.
 2. Открыть документ «Экс.xls».
 3. Заполнить таблицу исходных данных, отмеченную зелёным цветом.
 4. Активизировать левым щелчком мыши ячейку целевой функции «E8».
 5. Сервис – Поиск решения... В открывшемся окне «Поиск решения» (рис.2) поставить переключатель «Равной:» в положение «минимальному значению», в поле «Изменяя ячейки:» ввести «\$E\$9», в поле «Ограничения:» нажать кнопку «Добавить».
 6. В открывшемся окне «Добавление ограничения» (рис.3) в поле «Ссылка на ячейку» ввести «\$E\$9», в следующем поле открыть список и выбрать «цел», нажать кнопку **ОК**.
 7. В окне «Поиск решения» нажать кнопку «Выполнить».
 8. В появившемся окне «Результаты поиска решения» поставить переключатель в положение «Сохранить найденное решение» и нажать кнопку «ОК».
- ✓ Задача решена.

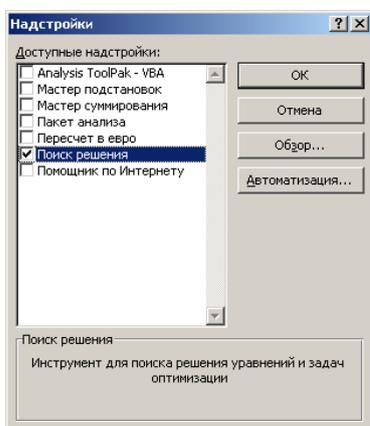


Рисунок 1 – Вид окна установки соответствующей надстройки: «Сервис – Надстройки»

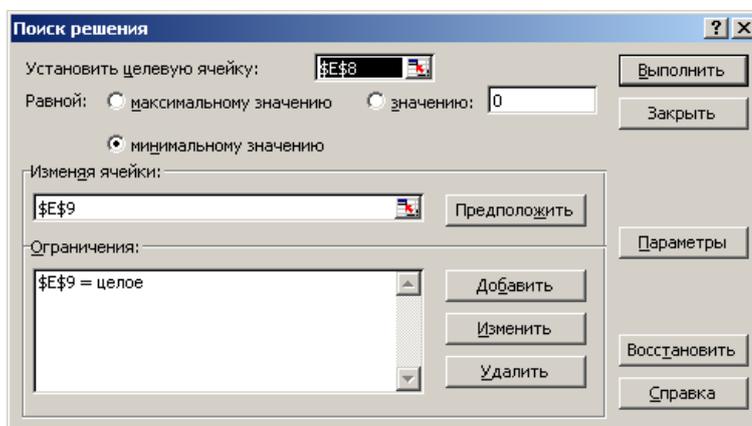


Рисунок 2 – Окно « Поиск решения»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Исходные данные			Полученные данные									
2	Nм	4800		Nк	0,933333								
3	%HP	110		Rc	175,4212								
4	Сзп	1750		Ст	95,7098								
5	Q	4,4		Сзп	547,7856								
6	a	0,16		Сн.р.	602,5642								
7	F	36000		Ответ:									
8	ηт	1,7		Ср	5746,06								
9	ηд	1,35		W	5453								
10													
11	Таблица значений точек для построения графика зависимости себестоимости ремонта (Ср) от программы ремонтного предприятия (W)												
12													
13	W	5448	5449	5450	5451	5452	5453	5454	5455	5456	5457	5458	
14	Ср	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	5746,06	

Рисунок 3 – Пример расчета программы ремонтного предприятия

Таким образом, анализируя полученные результаты, по минимуму себестоимости ремонта Ср, определяем оптимальную программу ремонтного предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левицкий, И.С. Практикум по эксплуатации машин / И.С. Левицкий. М. : Колос, 1974. 335 с.
2. Салеев, Ф.И. Расчеты по эксплуатации и ремонту с/х машин: метод. указания для практических работ по курсу «Эксплуатация ТС АПК» / Салеев Ф.И., Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2019. 21 с.

Салеев Фарид Исмаилович, к.т.н., доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические системы», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им.И.И. Ползунова», e-mail: faridaltgtu@mail.ru

Топеха Никита Олегович, студент группы ТТС-52, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПОЛУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТОВ

А.В. Собачкин, А.А. Ситников, В.И. Яковлев, М.В. Логинова, С.В. Бадин

В работе обсуждаются вопросы термического воздействия на напыляемую шихту в процессе газодетонационного напыления на примере системы Ti-Al-Nb. Установлено, что происходит распад интерметаллидных фаз, входящих в состав напыляемых порошковых материалов. Наиболее вероятное объяснение этому факту – нагрев частиц напыляемого материала до температур свыше 2000 °С при прохождении по стволу установки Катунь М.

Ключевые слова: порошковые материалы, механоактивационная обработка, высокотемпературный синтез, газодетонационное напыление, яркостная температура.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) является одним из способов получения новых материалов с использованием процессов горения [1]. Традиционный СВ-синтез обладает рядом недостатков, связанных со сложным структурным состоянием исходной шихты: в подавляющем количестве случаев синтез инициируется с появлением жидкой фазы, которая возникает либо при плавлении одного из компонентов,

либо при эвтектическом плавлении [1]. Этих недостатков лишен метод механически активируемого самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (МАСВС) [2], продуктом которого являются СВС-механокомпозиты заданного состава. В дальнейшем можно использовать эти целевые фазы для создания покрытий [3, 4]. Наиболее перспективным является применение СВС-механокомпозитов в процессах газодетонационного напыления, поскольку основным преимуществом данного способа является возможность сохранения фазового состава исходной шихты для напыления непосредственно в покрытии.

Однако в процессах газодетонационного напыления важным фактором, который влияет на получение качественного покрытия, является термический нагрев напыляемого материала. Данное термическое воздействие является крайне кратковременным. Однако в случае, если температура возрастает до предела распада фаз, то, как правило, покрытие не наследует уникальных свойств напыляемой шихты. В этой связи важно знать, до каких пределов нагреваются частицы напыляемого материала.

Экспериментальные исследования проводили с помощью установки для газодетонационного напыления «Катунь М». В качестве объектов исследования использовали СВС-механокомпозиты на основе Ti-Al-Nb. На рисунке 1 представлена характерная дифрактограмма напыленного покрытия. Оно характеризуется высоким диффузным фоном и отсутствием дифракционных максимумов. Наиболее вероятно происходит распад интерметаллидных фаз, входящих в состав напыляемых порошковых материалов, однако данную гипотезу необходимо проверить путем определения яркостной температуры частиц.

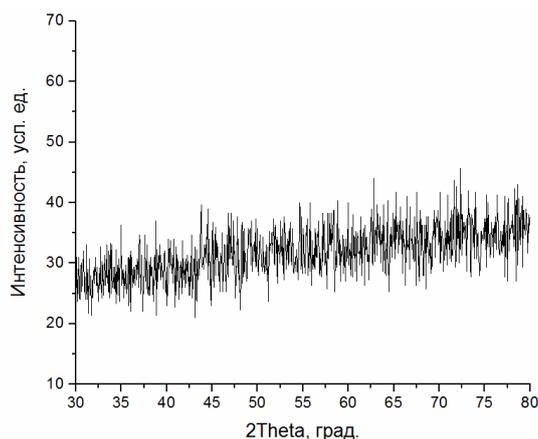
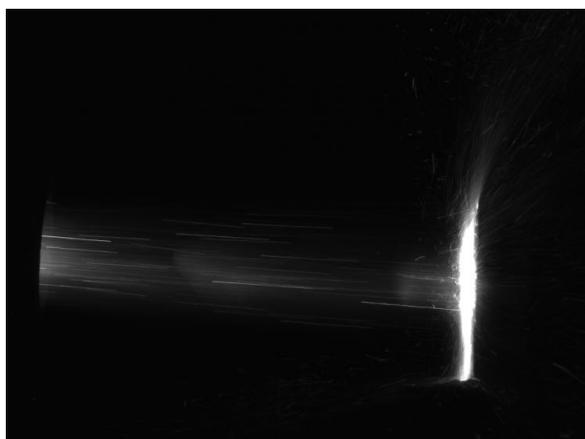


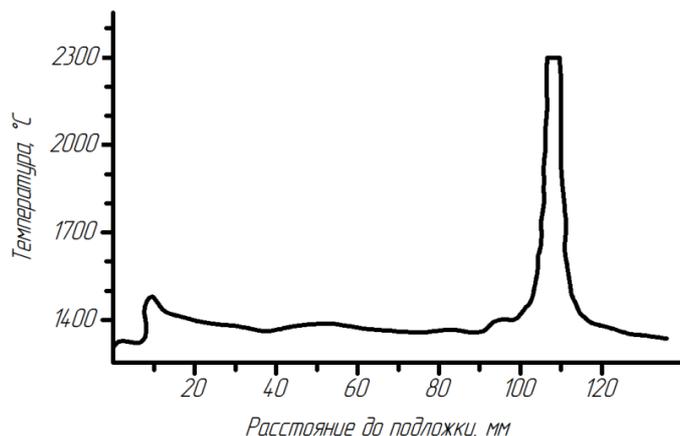
Рисунок 1 – Дифрактограмма напыленного покрытия на основе синтезированных порошковых материалов системы Ti-Al-Nb

Суть методики заключается в получении серии изображений двухфазного газодетонационного потока с помощью высокоскоростной камеры и анализе этих изображений. Путь, который проходит отдельная частица за время экспозиции камеры, называется треком, а чем сильнее нагрета частица – тем ярче оставленный ее трек на изображении. Предварительно в тех же условиях были получены изображения лампы, тарированной на яркостную температуру. Следовательно, сравнивая два изображения в специализированном программном обеспечении, можно определить распределение температуры частиц по длине газодетонационного потока на расстоянии от среза ствола установки до напыляемого образца.

В ходе работы проводилось четыре серии измерений. В заданном постоянном сечении на расстоянии 5 см от среза ствола УДГН «Катунь М» регистрировался вертикальный профиль яркости (рисунки 2, 3).



а)

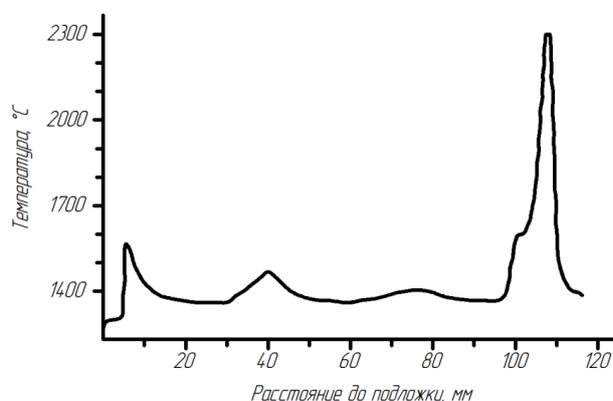


б)

Рисунок 2 – Изображение потока частиц при времени задержки 0,5 мс (а) и яркостная проекция изображения (б)



а)



б)

Рисунок 3 – Изображение потока частиц при времени задержки 2 мс через 180 циклов напыления (а) и яркостная проекция изображения (б)

Было получено 20 изображений с интервалом в 15 циклов. На начальных 5...7 циклах происходит установка рабочего режима и вылетает большое количество частиц с относительно невысокими скоростями до 75 м/с. По мере увеличения числа циклов уменьшается количество частиц в струе. После 180 цикла количество частиц уменьшается. Общее время 300 циклов напыления составляет 1,25 мин.

Таким образом, контроль яркостной температуры частиц в потоке показывает изменение яркости излучения частицами в различных частях потока: яркость излучения частицы на периферии потока монотонно убывает по мере удаления от среза ствола установки ДГН «Катунь-М», яркостная температура частиц в центре потока практически не изменяется и равна 1400 °С. Яркостная температура частиц при попадании на напыляемую поверхность возрастает скачкообразно до 2300 °С и выше. Проведенный рентгенофазовый анализ покрытий синтезированных порошковых материалов, полученных из предварительно облученных и необлученных порошковых смесей системы Ti-Al-Nb, свидетельствует о полном распаде интерметаллидных соединений, входящих в состав напыляемых порошковых материалов.

Работа проводилась в рамках государственного Задания (FZMM-2020-0002) и гранта Президента РФ (соглашение 075-15-2020-234).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогачев А.С., Мукасян А.С. Горение для синтеза материалов. М. : Физматлит, 2012. 400 с.
2. Ляхов Н.З., Талако Т.Л., Григорьева Т.Ф. Влияние механоактивации на процессы фазо - и сруктурообразования при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе. Новосибирск: Параллель, 2008. 168 с.
3. Sobachkin A.V., Sitnikov A.A. Features of the formation of various functional coatings of SHS mechanical composites using gas detonation spraying technology. Solid State Phenomena. 2020. V. 299. P. 879-886.
4. Собачкин А.В., Ситников А.А., Яковлев В.И., Логинова М.В., Мигина А.С., Башук А.М. Газодетонационное напыление покрытий поршневых колец двигателя внутреннего сгорания СВС-механокомпозитами на основе карбида титана. Научные технологии в машиностроении. 2018. № 6. С. 31-37.

Собачкин Алексей Викторович, к.т.н., ст. науч. сотр. ПНИЛ СВС им. В.В. Евстигнеева, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: anicpt@rambler.ru

Ситников Александр Андреевич, д.т.н., профессор, директор Производственного внедренческого комплекса прикладных исследований и разработок, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: anicpt@rambler.ru

Яковлев Владимир Иванович, к.т.н., доцент кафедры НТТС, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: anicpt@rambler.ru

Логинова Марина Владимировна, к.т.н., ст. науч. сотр. ПНИЛ СВС им. В.В. Евстигнеева, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: anicpt@rambler.ru

Бадин Сергей Валерьевич, магистрант группы 8НТК-81, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: anicpt@rambler.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Н.В. Кулешов, Ю.А. Шапошников

Совершенствование технологических процессов, обеспечивающих эксплуатацию транспортно-технологических машин в исправном состоянии реализуется методами модернизации производственных процессов, применением диагностического электронного оборудования, совершенствованием конструкции машин, формирование накопительной базы отказов.

Ключевые слова: транспортно-технологические машины, техническое обслуживание, ремонт, диагностическое оборудование, станция технического обслуживания, самодиагностика, программно-компьютерный комплекс, элементная база, датчики.

С каждым годом возрастает число эксплуатируемых транспортно-технологических машин (ТТМ). Сфера, предоставляющая услуги по продаже и обслуживанию ТТМ, так же неуклонно растет. Предприятия этой сферы обеспечивают предпродажную подготовку, техническое обслуживание и ремонт ТТМ. Предоставляют консультационные услуги, диагностирование, продажу запасных частей, эксплуатационных материалов. [1]

Обеспечение исправного состояния ТТМ, а также их регламентное техническое обслуживание (ТО) осуществляется предприятиями, обеспечивающими ремонт, обслуживание и снабжения эксплуатационными материалами. Предприятия подразделяются на специализированные и универсальные станции технического обслуживания (СТО), авторемонтные мастерские (АРМ), снабжающие и другие организации. Основные виды выполняемых работ этими предприятиями, это диагностирование технического состояния, обслуживание и ремонт, включая моечные, уборочные, заправочные, и другие. Большая разновидность ТТМ предполагает создание крупных универсальных, а также специализиро-

ванных предприятий по техническому обслуживанию. Востребованность технических услуг растет с каждым годом, в связи с увеличением количества ТТМ спрос на услуги сервиса, технического обслуживания и ремонта автомобилей.

Современная структура СТО и ремонтных предприятий ТТМ включает большое их разнообразие, как по видам выполняемых работ, так и номенклатуре предоставляемых услуг. Крупные СТО располагают широкими возможностями в предоставлении различных видов работ технического обслуживания ТТМ. Средние и малые СТО, как правило, специализируются на узких направлениях, выполняя работы по обслуживанию конкретных систем или агрегатов автомобиля. Такое разграничение по видам выполняемых работ позволяет организовать специализацию постов технического обслуживания и ремонта ТТМ, шире применять диагностическое оборудование. В некоторых случаях при проведении работ ТО и ремонта используются методы и организация труда имеющие существенные недостатки, что обуславливает необоснованные простои ТТМ, потери рабочего времени и низкое качество выполнения работ. [2]

Проведенные исследования практики производственной деятельности предприятий по ТО и ремонту ТТМ выявили ряд недостатков, связанных с организацией технологических процессов, квалификацией работников, качеством диагностических работ и другими факторами. Главным образом эти недостатки связаны с некачественным проведением, а зачастую с отсутствием диагностических работ по выявлению технического состояния систем и агрегатов автомобиля. Для устранения этих недостатков требуется проведения реконструкции предприятий по техническому обслуживанию и ремонту ТТМ. Рассмотрим основные направления совершенствования данного типа предприятий с целью совершенствования их работы. При этом необходимо учитывать, что предприятия зачастую специализируются по видам выполняемых работ на обслуживании топливной аппаратуры дизельных автомобилей.

Анализ технологических процессов, позволил выявить характерные признаки и, на основании этого, определены рациональные схемы проведения ТО и ремонта ТТМ. Выполнение работ рекомендуется проводить на специализированных постах по видам операций, агрегатам и системам. Виды выполняемых работ группируются по общности используемого оборудования, количеству исполнителей, месту и специфике, трудоемкости и коэффициенту повторяемости и др. В свою очередь технологические операции формируются в комплексы с учетом проведения возможного мелкого сопутствующего ремонта, и затем проверяется занятость постов и отдельных исполнителей. [3]

Актуальность реконструкции СТО и ремонтных предприятий обусловлена необходимостью внедрения нового оборудования, дальнейшего роста производительности труда на предприятии, повышения эффективности обслуживания. Для достижения намеченной цели решаются следующие задачи:

- проводится анализ работы существующего предприятия и намечаются пути его реконструкции;
- осуществляется технологический расчет предприятия;
- при необходимости намечается перепланировка и подбирается современное технологическое оборудование;
- рассчитывается экономическое обоснование целесообразности реконструкции СТО.

С целью повышения качества выполняемых работ ТО и ремонта, повышения производительности и приспособленности к технологическим процессам, уменьшения объема вспомогательных работ необходимо использовать накопленную информацию об износах и отказах элементов автомобиля. Элементная база, датчики, встроенные в конструкцию ав-

томобиля и фиксирующие изменение технического состояния автомобиля, существенно упрощают процесс диагностирования автомобиля. В перспективе совершенствования технологических процессов ТО и ремонта необходимо формировать конструкцию ТТМ как самодиагностируемого объекта с получением диагностических параметров о его техническом состоянии. Для этого в электрооборудовании ТТМ предусматривается система автоматического управления на базе бортового компьютера. Применение бортовых информационно-советующих систем дает возможность применять электронные элементы для автоматизированной компьютерной диагностики. С бортового компьютера информация передается по сетям для управления исполнительными механизмами ТТМ. [4]

При определении причин отказов ТТМ пользуются знаниями предметной области «диагностика и управление техническим состоянием машин». В процессе выявления неисправностей необходимо учитывать особенности их проявления. С одной стороны, отказ ТТМ (агрегата, системы) как любой механической системы всегда происходит по какой-либо причине (следствие поломки детали, у которой истек срок эксплуатации). С другой стороны, сама по себе наработка на отказ является случайной величиной и зависит от ряда факторов: первоначального качества материала, точности обработки, качества сборки, условий эксплуатации. [5]

Для выявления неисправностей и отказов необходима информация о закономерностях изменения технического состояния ТТМ, систем, отдельных агрегатов, деталей по наработке во времени или пробегу. От этих факторов зависит вариация параметров технического состояния и других случайных величин (продолжительность выполнения ремонтных и профилактических работ); формирование суммарного потока отказов за период эксплуатации ТТМ (группы ТТМ). Схематично соединение электронной диагностической системы «компьютер – ТТМ» выглядит как последовательное соединение элементной базы с диагностируемыми узлами и системами (рисунок 1). [6]

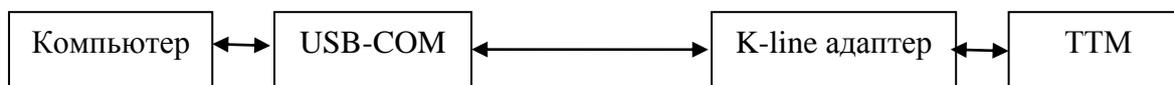


Рисунок 1 – Физическая цепь «компьютер – автомобиль»

Программно-компьютерный комплекс формирует накопительную базу, в которой хранятся данные о состоянии элементов ТТМ. Формализация накопленной базы фактов делает возможным последующий интеллектуальный анализ данных с помощью таких средств, как метод резолюции. Дополнением к автоматически собираемым в процессе диагностики ТТМ информации являются факты, на основе результатов диагностики неавтоматизированными методами (данные газоанализатора, износ узлов и агрегатов, результаты визуального осмотра, сведения о неисправностях, которые невозможно выявить при электронной диагностике). [6]

Так как алфавит предлагаемой формальной теории представляет собой конечное множество, то кроме метода резолюции для доказательства теорем можно использовать метод полного перебора. Задача полного перебора может быть решена за экспоненциальное время. Чтобы сократить время перебора предполагается разработать эвристические алгоритмы на основе правил вывода, имеющих интерпретации в исследуемой предметной области. Данные алгоритмы позволят реализовать механизм отсечения в процессе перебора, сократив время работы до полиномиального.

С целью повышения качества выполняемых работ ТО и ремонта ТТМ, повышения производительности и приспособленности к технологическим процессам, уменьшения

объема вспомогательных работ необходимо использовать накопленную информацию об износах и отказах элементов автомобиля. Элементная база, датчики, встроенные в конструкцию ТТМ и фиксирующие изменение технического состояния, существенно упрощают процесс диагностирования. В перспективе совершенствования технологических процессов ТО и ремонта необходимо формировать конструкцию ТТМ как самодиагностируемого объекта с получением диагностических параметров о его техническом состоянии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринин И. Н., Коновалов С. И., Баженов Ю. В. Техническая эксплуатация автомобилей / Изд. 2-е. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 314 с.
2. Кузнецов Е. С., Болдин А. П., Власов В. М. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4–е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 2001. 535 с.
3. Шапошников Ю. А., Левин В. Ф., Валекжанин А. И. Техническая эксплуатация автотранспортных средств: учебное пособие. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. 238 с.
4. Сосин Д. А. Автотроника. Электронное оборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей: учебное пособие. Москва: СОЛОН-Р, 2001. 272 с.
5. Pavlov K. S., Khobotov E. N. Models for equipment selection and upgrade in manufacturing systems of machine building enterprises // Automation and Control. 2015. Volume 76, Issue 2. P. 292-303.
6. Сергеев Д. В., Шапошников Ю. А. Применение средств логики предикатов для структурирования результатов диагностики автомобиля / Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. № 6. С. 3-7.

Шапошников Юрий Андреевич, д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», e-mail: u_shaposhnikov@mail.ru

Кулешов Никита Васильевич, студент группы ЭТМ-91, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

В.С. Трунов, Г.В. Лоскутов, А.С. Баранов

Предлагается использовать электрогидравлический эффект для воспламенения для воспламенения мало горючих жидкостей и газов, в частности, рабочей смеси в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания. Для реализации данного проекта была спроектирована и создана установка, состоящая из модуля генератора импульсов тока и генератора импульсов напряжения. В качестве рабочего объекта был использован двигатель от бензопилы «Дружба».

Ключевые слова: электрогидравлический эффект, разряд в жидкости, электрогидравлическая установка, воспламенение жидкости и газа, форсунки.

Электрогидравлический эффект (ЭГЭ) — это способ преобразования электрической энергии в механическую, совершающийся без промежуточных механических звеньев, с высоким КПД [1]. Впервые этот эффект был открыт и исследован Л.А. Юткиным.

Общеизвестно, что жидкости в большинстве своем электропроводны. Однако не в каждом случае, когда через жидкость пропускают электрический ток, внутри нее возникает электрогидравлический разряд. Амплитуда и длительность прохождения разряда являются главными факторами, влияющими на возникновение электрогидравлического эффекта. Только достаточная величина указанных параметров способствует развитию в жидко-

сти электрического пробоя. При этом важной особенностью длительности прохождения приложенного импульса тока разряда является ее величина от долей микросекунды до нескольких микросекунд.

Электрогидравлический эффект сопровождается выделением энергии на активном сопротивлении контура, близком к критическому, т.е. когда $1/C < R^2 4L$, где C — емкость конденсатора, R и L — активное сопротивление и индуктивность контура. Также возникновению электрогидравлического эффекта помимо указанных факторов способствуют форма и крутизна фронта напряжения. Выше было указано, что величина длительности прохождения импульса тока составляет микросекунды. В силу этой особенности мгновенная мощность разряда достигает сотен тысяч киловатт. Что касается ширины канала разряда, то скорость ее увеличения будет определять крутизна фронта импульса тока. Чем круче будет передний фронт напряжения, прикладываемого к разрядному промежутку в жидкости, тем выше вероятность возникновения электрогидравлического эффекта Л.А. Юткина. Чем короче будет длительность переднего фронта импульса, тем больше будет импульсный ток и пиковая мощность импульса.

Величина напряжения в несколько десятков киловольт, поданная на разрядные электроды, приведет к увеличению амплитуды тока в импульсе до десятков тысяч ампер. Указанные факторы обуславливают резкое возрастание давления в жидкости на значительную величину. Возросшее давление в жидкости способствует мощному механическому действию разряда.

Для импульса тока с заданными, необходимыми для возникновения электрогидравлического эффекта, значениями параметров, Юткин Л.А. использовал разрядный промежуток в газе, названный газовым разрядником, а для формирования определенной энергии импульса был использован накопительный электрический конденсатор.

Разграничение режимов работы электрогидравлических установок в зависимости от напряжения и емкости накопительного конденсатора было предложено Юткиным Л.А., и представляет собой следующее:

- мягкий режим, U меньше 20кВ, C больше 1 мкф;
- средний, U больше 20кВ, C меньше 1 мкф;
- жесткий, U больше 50кВ, C меньше 0,1 мкф.

Приоритетные направления развития электрогидравлического эффекта:

- проф. Сокоиков В.К., доц. Бекаев А.А., Мерзликин В.Г. Строков П.Ю., Мокринская А.Ю. предложили использование эффекта Л.А. Юткина в различных электрогидравлических устройствах [2];

- В.Ф. Ковалевский и С.Б. Скобелев занимаются вопросами использования электрогидравлического эффекта Л.А. Юткина для решения задачи обработки поверхности пластмассовых деталей, полученных литьем [3];

- Дудышев В.Д. описал теплонагреватель воды, в основу которого лег электрогидравлический эффект [4].

В АлтГТУ им. И.И. Ползунова также была предпринята попытка разработки практического способа применения электрогидравлического эффекта. В частности, использовать электрогидравлический эффект для воспламенения мало горючих жидкостей и газов.

Известно, что КПД бензиновых двигателей не превышает 30%, для дизельных двигателей достигается значение в 40%. Поэтому внедрение новых систем зажигания остается приоритетным. Использование электрогидравлического эффекта в системах зажигания позволит использовать трудно воспламеняющиеся жидкости и поднять КПД от их сгорания.

Экспериментальная установка

Для проведения экспериментальных исследований была сконструирована установка, на которой реализовано две цепи.

По одной переменной ток, подаваемый из сети, подается на повышающий трансформатор, где напряжение увеличивается до нескольких киловольт. Далее электрический ток выпрямляется диодами и подается на конденсатор.

Вторая цепь формирует необходимую длину и силу искрового разряда, посредством слабого импульса высокого напряжения, а затем в образовавшийся канал разряжается основной накопитель генератора импульса тока (рисунок 1). Одним из основных элементов экспериментальной установки явился двигатель бензопилы "Дружба 4" (рисунок 2).



Рисунок 1 – Модуль генератора импульсов тока и генератора импульсов напряжения



Рисунок 2 – Установка на базе бензопилы «Дружба 4»

Для создания мощного искрового пробоя необходим крутой фронт напряжения, для создания которого используется вторая цепь, где устанавливается расчетное напряжение для катушки зажигания с помощью регулятора напряжения (димера). Димер подает заданное напряжение на катушку зажигания. Катушка зажигания совершает пробой на разрядник, который связан с конденсатором, благодаря чему происходит резкое разряжение последнего. Данная цепь образует крутой фронт напряжения, который влияет на длину искры.

Момент искрового пробоя задается положением поршня в верхней мертвой точке. Чтобы определить необходимое положение поршня в момент искрового пробоя, был сконструирован датчик положения коленчатого вала, работающий по принципу "Холла".

Кривошипно-шатунный механизм приводится в действие электромотором посредством ременного привода. Когда в цилиндре поршень находится близко к верхней мертвой точке, металлическая пластина, закрепленная на шкиве коленчатого вала, проходит через датчик, который фиксирует этот момент и сигнализирует о нем на коммутатор. Коммутатор, получив импульс, отправляет выходной сигнал на реле и переключает контакты, идущие на димер и катушку.

Для подачи жидкости в цилиндр используется форсунка, в корпусе которой находится электрод (рисунок 3). Электрический ток, подводимый к форсунке, проходит по жидкости через форсунку и воспламеняет топливовоздушную смесь.

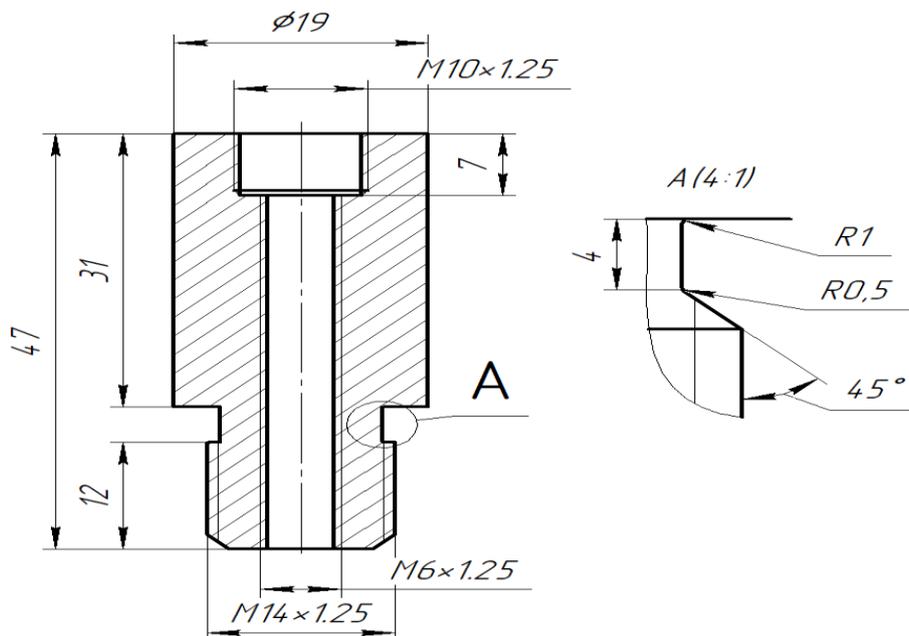


Рисунок 3 – Чертеж форсунки

Корпус форсунки изготовлен из текстолитовой пластины. В середине корпуса выполнено отверстие для размещения электрода и для подачи жидкости внутрь цилиндра.

Таким образом, разработанная установка и конструкция форсунки позволят реализовать электрогидравлический эффект на двигателе внутреннего сгорания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект. Москва : Машгиз, 1955. 52 с.
2. Бекаев А. А. Соковиков В.К., Мерзликин В.Г. (и др.) Использование эффекта Л.А. Юткина в электрогидравлических устройствах // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: материалы междунар. науч.-техн. конф. М., 2010. Кн 7. С. 10-12
3. Ковалевский В.Ф., Скобелев С. Б. Экспериментальные исследования применения электрогидравлического эффекта Л.А. Юткина для удаления облоя с выводов пластмассовых деталей / Омский научный вестник. 2018. С. 174-177
4. Патент 72308 Российская Федерация. Электрогидроударный теплогенератор: №2007141804/22: заявл. 12.11.2007 : опубл. 10.04.2008 / Дудышев В. Д., Афанасьева Л. В. ; заявитель Дудышев В. Д. – 12 с.

Баранов Алексей Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство», ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет им.И.И.Ползунова, e-mail: baranovas@mail.ru

Трунов Василий Сергеевич, студент группы ЭТМ-61, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет им.И.И.Ползунова, e-mail: vasilitrinov9@gmail.com

Лоскутов Григорий Владимирович, студент группы ЭТМ-61, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет им. И.И.Ползунова

К ВОПРОСУ СЕПАРАЦИИ ЗЕРНА НА ЛАМЕЛЬНОМ РЕШЕТЕ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

Н.М. Чуклин, А.И. Загородников, С.Ф. Сороченко

Показана возможность применения ламельного решета в зерноуборочном комбайне или в ворохоочистителе без использования воздушного потока. Исследовано движение компонентов зернового вороха по поверхности ламели. Сепарация зернового вороха на ламельном решете зависит от кинематических параметров решета, а также от угла наклона ламели. Определен рациональный угол наклона ламели к горизонту равный 15°.

Ключевые слова: зерно, система очистки, зерновой ворох, ворохоочиститель, ламельное решето.

При уборке зерновых культур в зерноуборочных комбайнах вместо установки жалюзийных решет возможна установка ламельных решет [1,2]. Отличие ламельного решета от жалюзийного состоит в том, что ламель выполнена в виде плоской пластины, имеющей соломоотбойные пальцы для ограничения движения назад крупных солоmistых частиц. Основными преимуществами ламельных решет в сравнении с жалюзийными решетами являются более эффективное использование площади решета и более рациональное использование воздушного потока [2]. Ламельные решета, так же, как и жалюзийные решета, легко регулируются с помощью электропривода. Наличие соломоотбойных пальцев на ламельном решете предоставляет возможность его применения в качестве обогатителя зернового вороха в системе очистки зерноуборочного комбайна, а также в ворохоочистителях без использования воздушного потока.

Целью работы является исследование движения компонентов зернового вороха по ламели, определение условий разделения зернового вороха на ламельном решете при отсутствии воздушного потока.

Движение зернового вороха по поверхности жалюзийного решета исследовано в работах [3-5]. Исследования проведены при следующих допущениях: объектом моделирования является одна частица зернового вороха – крупная солоmistая частица (сбоина) или зерновка; взаимодействие между частицами не учитывается; положение материальной точки совпадает с центром масс частицы; движение решета происходит по хорде, а не по дуге, так как радиус эксцентрика значительно меньше длины шатуна и подвесок [3].

Исследование движения частицы по ламели проведено за одно колебание решета, при этом учитывали, что движение сбоины назад ограничено длиной ламели.

Силы, действующие на частицу, находящуюся на ламели, приведены на рисунке 1.

Система дифференциальных уравнений, описывающих движение частицы по колеблющейся поверхности, имеет следующий вид [5]

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} = P_{ИИ} \cdot \cos(\beta - \alpha) - G \cdot \sin \alpha \mp F_T \\ m \cdot \ddot{y} = P_{ИИ} \cdot \sin(\beta - \alpha) - G \cdot \cos \alpha + N \end{cases}, \quad (1)$$

где \ddot{x}, \ddot{y} - проекции ускорения частицы в относительном движении на оси X и Y соответственно; верхние знаки применяются при движении частицы в положительном направлении оси X, нижние – в отрицательном.

Движение частицы по ламели описывается дифференциальным уравнением

$$\ddot{x} = \omega^2 r \cos \omega t \cos(\beta - \alpha) - g \sin \alpha \mp f(g \cos \alpha - \omega^2 r \cos \omega t \sin(\beta - \alpha)), \quad (2)$$

где ω - угловая скорость кривошипа (циклическая частота колебаний), рад/с; r – радиус кривошипа (эксцентриситет), м; g – ускорение свободного падения, м/с²; f – коэффициент трения частицы о поверхность ламели.

Начальные условия движения частицы:

- в положительном направлении оси X при времени $t = t_1$ перемещение и скорость частицы по оси X соответственно равны $X_{BB0} = 0$; $V_{BB0} = 0$;

- в отрицательном направлении оси X при времени $t = t_2$ перемещение и скорость частицы по оси X соответственно равны $X_{BH0} = 0$, $V_{BH0} = 0$.

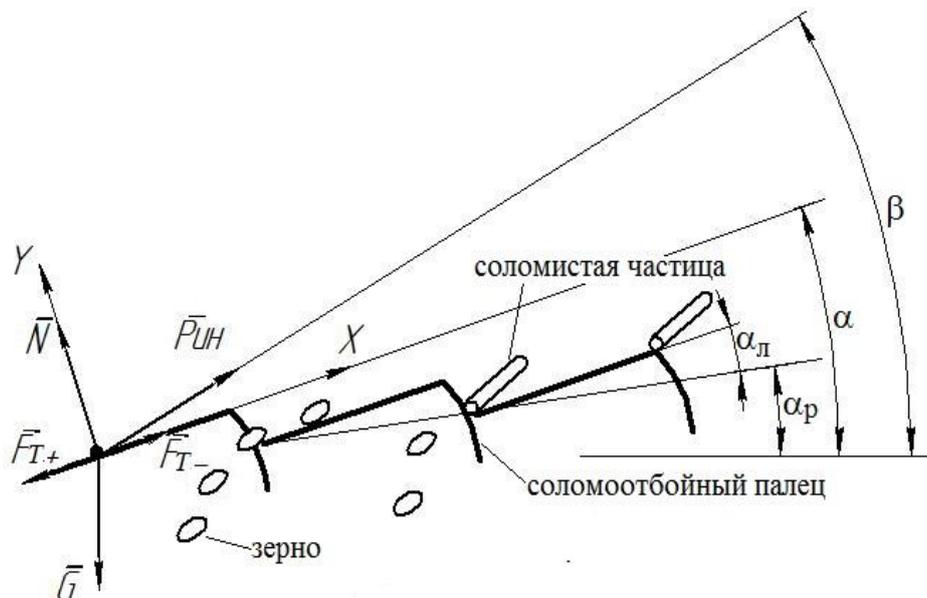


Рисунок 1 – Схема сил: N – нормальная реакция ламели; G – сила тяжести;

$P_{ин}$ – сила инерции частицы от колебаний решета; F_{T-} , F_{T+} – сила трения при движении в положительном и отрицательном направлении оси X ; α – угол наклона ламели к горизонту,

α_L – угол наклона ламели к решету; α_P – угол наклона решета к горизонту;

β – угол между колебаниями решета и горизонтом

Дифференциальное уравнение (2) решено графоаналитическим методом [5] в среде Mathcad при следующих параметрах: радиус $r=0,02$ м; угловая скорость кривошипа $\omega = 35 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ (кинематический режим решета $k = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} = 2,5$), угол α изменяли от 10° до 30° ; длина ламели $L=0,03$ м; значение угла колебаний приняты $\beta=18^\circ$ и $\beta=32^\circ$; коэффициенты трения для зерна $f_3=0,32$, для сбиины $f_c=0,38$.

Результаты расчета представлены на рисунке 2.

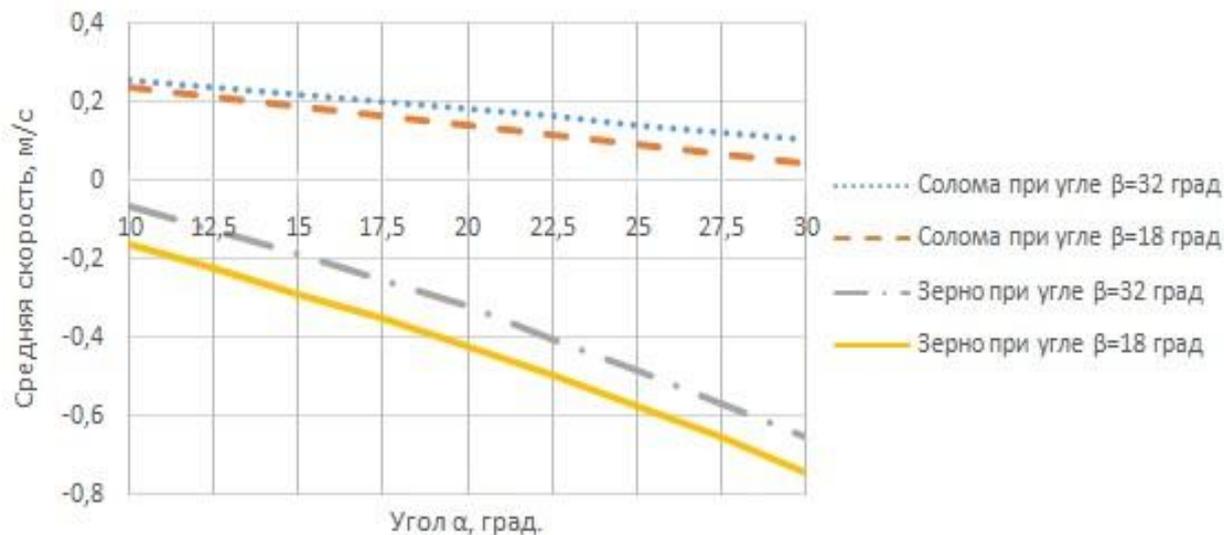


Рисунок 2 – График зависимости средней скорости частиц от угла α

Из графика видно, что средняя скорость частиц соломы в рассмотренном диапазоне угла наклона α имеют положительные значения, т.е. частицы соломы движутся вверх по ламели, оставаясь на поверхности решета, а средняя скорость зерна – отрицательная, зерно движется вниз, проходит через решето. Заметим, что с увеличением угла α средняя скорость частиц соломы уменьшается, а средняя скорость зерновки в отрицательном направлении увеличивается, причем более интенсивно. Угол наклона ламели к горизонту, при котором происходит разделение зернового вороха, находится в рассматриваемом диапазоне. Скорость зерна в отрицательном направлении отражает интенсивность выделения зерна, а скорость сбойны в положительном направлении – производительность ламельного решета. Примерное равенство абсолютных значений указанных скоростей происходит при угле наклона ламели к горизонту около 15° .

На сепарацию зерна оказывает влияние направление колебаний решета. Средние скорости соломистых частиц и зерна зависят от угла β , причем скорость соломистых частиц при угле $\beta=32^\circ$ больше, чем при угле $\beta=18^\circ$, а у зерна наблюдается обратная зависимость, средняя скорость в отрицательном направлении оси X при угле $\beta=32^\circ$ меньше, чем при угле $\beta=18^\circ$.

Таким образом, на ламельном решете происходит разделение зернового вороха без использования воздушного потока. Сепарация зернового вороха на ламельном решете зависит от кинематических параметров решета, а также от угла наклона ламели, который находится в интервале от 10° до 30° . Определен рациональный угол наклона ламели к горизонту – 15° . В дальнейших исследованиях необходимо определить рациональные кинематические и конструктивные параметры ламельного решета при его использовании в качестве обогатителя зернового вороха зерноуборочного комбайна или в ворохоочистителе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Astra-group: зерноуборочные комбайны Comia [Электронный ресурс]. URL: <https://astra-group.ua/uploadfiles/fckeditor/pdf/Sampo.pdf> (дата обращения 20.03.2020)
2. Ковальчук А.Н., Сузгаев В.К. Опыт внедрения универсальных высокоэффективных решёт на уборке зерновых культур / Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2014. №9. С.131-135.

3. Алферов, С.А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов. М.: Агропромиздат, 1987. 160 с.

4. Сороченко С.Ф. Исследование движения компонентов зернового вороха по решетку зерноуборочного комбайна при уборке зерновых культур на склонах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. №8(142). С.162-168.

5. Сороченко, С.Ф. Математическое моделирование объектов наземных транспортно-технологических средств: методическое указание / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. 28 с.

Чуклин Никита Михайлович, аспирант кафедры «Наземные транспортно-технологические системы» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова», e-mail: chuklin1996@gmail.com

Загородников Андрей Игоревич, студент кафедры «Наземные транспортно-технологические системы» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова», e-mail: andrei_zagor@mail.ru

Сороченко Сергей Федорович, д.т.н., профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические системы» ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова», e-mail: sorochenkosf@list.ru