

ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики»

**СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ:
ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

**СБОРНИК ТРУДОВ II ВСЕРОССИЙСКОЙ
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ)
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
НАУЧНЫХ, НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
РАБОТНИКОВ, АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

Челябинск
2018

УДК 656
ББК 39
С 56

Современные транспортные технологии: задачи, проблемы, решения: сборник трудов II Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов / [науч. ред. В.С. Кукис]. – Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики», 2018 – 182 с.

Научный редактор – профессор кафедры «Транспорт и электроэнергетика» ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики», доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ В.С. Кукис

Редактор-корректор – специалист редакционно-издательского отдела ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики» К.М. Фролова

В сборник включены статьи участников II Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов, состоявшейся в г. Челябинске 22 марта 2018 г.

ISBN 978-5-6040592-1-0

© ОУ ВО «Южно-Уральский институт
управления и экономики», 2018
© Коллектив авторов, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть 1. Силовые установки объектов транспортной энергетики

А.Е. Свистула, К.В. Коваленко, А.С. Арефьев. Исследование параметров топливной аппаратуры типа common rail транспортного дизеля при работе на рапсовом масле с дробным впрыском топлива	5
Р.Р. Гимазетдинов, А.А. Малоземов, В.С. Кукис, А.Г. Савиновских. Математическая модель термостата в составе имитационной модели когенерационной установки	11
Р.Р. Гимазетдинов. Расчетная оценка основных параметров газовой модификации дизеля с камерой сгорания ЦНИДИ для когенерационной установки	19
А.Н. Егоров. Оценка влияния циклического режима работы на ресурс водород-кислородного парогенератора	26
Р.Ф. Зиннатуллин, М.Д. Гарипов. Численное исследование рабочего процесса в компрессор-форсунке	35
А.А. Козлов. Анализ средств предпусковой подготовки дизелей объектов бронетанкового вооружения и техники	39
С.П. Кулманаков, С.С. Кулманаков. Согласование геометрии камеры сгорания с параметрами топливного факела двигателя ЧН13/14 с топливной аппаратурой common rail	46
Г.Д. Матиевский, А.Е. Свистула, М.А. Шишкалова. Анализ изменения коэффициента приспособляемости и его влияние на параметры скоростной характеристики моторно-трансмиссионного агрегата	51
Е.А. Омельченко. Возможный путь повышения удельных показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания	58
Л.В. Плотников, Б.П. Жилкин, Н.С. Кочев, М.О. Мисник. Влияние угла среза выходного отверстия сопла на распыл струи перегретой жидкости	65
П.К. Сеначин, А.П. Сеначин. Проблема самовоспламенения от сжатия в ДВС	70
А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, М.В. Логинова, А.С. Мигина. СВС-материалы для напыления износостойких покрытий поршневых колец двигателя внутреннего сгорания	75
А.Б. Стефановский. Регрессионная зависимость динамической вязкости не всепогодных моторных масел от температуры с учетом класса вязкости	81
В.А. Шаяхметов, М.Д. Гарипов. Численное исследование течения жидкости в системе охлаждения авиационного поршневого двигателя	87
О.В. Щербакова. Использование двигателей стирлинга для утилизации тепловых потерь на объектах транспортной энергетики	91
А.В. Собачкин, В.И. Яковлев, В.Н. Некрасов, А.М. Башук. Оценка износостойкости покрытий поршневых колец ДВС, полученных из СВС-механокомпозитов газодетонационным методом	100

Часть 2. Транспортные технологии

В.И. Аксёнкин, М.Л. Золотарёв, В.С. Краснов. О некоторых аспектах использования пневматического транспорта в материально-техническом обеспечении ВС РФ	107
В.И. Аксёнкин, М.Л. Золотарёв, В.С. Краснов. Инновации при обеспечении безопасности железнодорожных перевозок опасных воинских грузов	112

А.З. Джиоев, Ф.А. Гончаров. Система автоматической идентификации железнодорожного подвижного состава	121
А.З. Джиоев, Ф.А. Гончаров. Автоматизация процесса расчета и построения графического плана перевозок	129
Н.Г. Дупленко. Оценка уровня технологического развития автотранспортного комплекса приграничного региона на примере Калининградской области	136
В.А. Рыбицкий, С.И. Завальнюк. Применение моста-эстакады железнодорожного при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций	140
С.В. Кондаков, Е.И. Кромский, М.А. Асфандияров. Обоснование параметров ударно-вибрационного механизма уплотнения бетонной смеси для бетоноукладчика на гусеничном ходу	148
А.В. Мышин, А.Ж. Алимов. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения задач эксплуатации автодорог	156
В.А. Рыбицкий, С.И. Завальнюк. Роль строительства двухпутного электрифицированного железнодорожного участка Журавка–Миллерово в развитии Южного региона	161
А.А. Шаркова. Повышение эффективности деятельности предприятий на основе использования системы мониторинга и контроля транспорта	166
С.В. Кондаков, А.Г. Савиновских, С.М. Ахмедов. Кинематические параметры движения быстроходной гусеничной машины в переходных режимах входа-выхода из поворота	170
Д.И. Народовый, И.П. Трояновская. Экспериментальные результаты процесса рыхления.....	176

ЧАСТЬ 1. СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ТИПА COMMON RAIL ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА РАПСОВОМ МАСЛЕ С ДРОБНЫМ ВПРЫСКОМ ТОПЛИВА

А.Е. Свистула – д.т.н., профессор, зав. кафедрой двигателей внутреннего сгорания, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

К.В. Коваленко – аспирант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

А.С. Арефьев – магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Аннотация

Приведены результаты численного исследования параметров топливной аппаратуры типа CR транспортного дизеля при его работе на рапсовом масле с дробным впрыском топлива. Предложены оптимальные значения максимального давления впрыска топлива, диаметра сопловых отверстий распылителя, угла опережения впрыска топлива при наложении ограничений по выбросам окислов азота и дымности отработавших газов.

Введение. В связи с ужесточающимися экологическими требованиями в условиях сложившегося экономического кризиса и непредсказуемости цен на энергоресурсы под влиянием политических процессов все более актуальным становится поиск альтернативы нефтяному топливу. Одним из решений этой проблемы является использование топлив растительного происхождения, к которым можно отнести растительные масла, а именно рапсовое масло (РМ)¹. Учитывая тот факт, что Алтайский край является сельскохозяйственным регионом, то выращивание рапса и использование данного вида топлива является для региона перспективным². Непосредственному использованию РМ в дизеле мешает высокая вязкость, препятствующая обеспечению требуемой дисперсности распыленной струи, испаряемости топлива в процессе

¹ Васильев, И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. 240 с.

² Мысник, М.И. Свистула, И.А., Свистула, А.Е., Мысник, М.И. Перспективы применения биотоплив для транспортных средств агропромышленного комплекса Сибирского региона // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. – № 3 (6). – С. 53–56.

смесеобразования и др. Одним из путей улучшения показателей экономичности и токсичности дизелей является снижение неоднородности топливовоздушной смеси (ТВС) в камере сгорания (КС). В известной мере это может быть реализовано за счет применения топливной аппаратуры (ТА) повышенного давления типа *Common Rail (CR)* и ступенчатого или дробного впрыска³. Применение дробного (многоступенчатого) впрыска позволяет сократить задержку воспламенения, а также, в той или иной мере, разрушить переобогащенные топливом фронтальную и центральную часть распыленной струи РМ.

Результаты исследований, приведенные в работах⁴, показывают, дробный впрыск позволяет снизить вероятность образования зон, переобедненных и переобогащенных топливом, улучшить дробление впрыснутого топлива, а значит, качество смесеобразования и снизить скорость фронта основной порции, что приводит к уменьшению дальнобойности и вероятности попадания топлива на стенки КС, а значит к увеличению доли объемного смесеобразования, а в работах по исследованию рабочего процесса отмечается, что применение топливной аппаратуры CR и дробного впрыска РМ ведет к увеличению коэффициентов неиспользования теплоты цикла⁵, за исключением коэффициента неиспользования теплоты вследствие несвоевременности ввода тепла $\delta_{нс}$, что позволяет делать вывод о необходимости дальнейшего исследования характера рабочего процесса и параметров системы впрыска топлива с целью оптимизации.

Методика исследования. Для выполнения численного исследования выбран программный комплекс «ДИЗЕЛЬ-РК»⁶ (работа в удаленном доступе, НИРС, не коммерческое использование). Программный комплекс «ДИЗЕЛЬ-РК»

³ Мысник, М.И., Свистула, А.Е. Исследование характеристик струи рапсового масла, распыленного форсункой *Common rail* // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. – № 1. – С. 21–25; Eskov, A., Svistula, A., Dolmatov, A. Parameters of fuel jet extraction in video // *Transport*. – 2005. – Т. 20. – № 2. – С. 62–65; Свистула, А.Е., Мысник, М.И. Анализ работы дизеля на рапсовом масле с использованием топливной аппаратуры *Common rail* // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2012. – Т. 4. – № 12 (99). – С. 14–18.

⁴ Свистула, И.А. Опыт использования рапсового масла в качестве топлива для дизелей «ПО АМЗ» // В сб. Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики (ЭЭТПЭ); материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. Барнаул, 2008. С. 226–229; Свистула, А.Е., Матиевский, Г.Д. Двойная подача топлива в дизеле с топливной системой непосредственного действия разделенного типа // *Ползуновский вестник*. – 2009. – № 4. – С. 166–172.

⁵ Svistula, A., Matievsky, D. The influence of effective utilization degree of diesel engine cylinder air charge on soot emission and indicated efficiency // *Transport*. – 2005. – Т. XX. – № 3. – С. 96–98.

⁶ Кулешов, А.С. Программа расчета и оптимизации двигателей внутреннего сгорания ДИЗЕЛЬ-РК. Описание математических моделей, решение оптимизационных задач. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. 123 с.

предназначен для расчета и оптимизации комбинированных двигателей внутреннего сгорания. От аналогов он отличается тем, что имеет современную модель смесеобразования и сгорания в дизеле, а также аппарат многопараметрической оптимизации. Задачей расчётного исследования являлось определение влияния регулировок топливной аппаратуры при работе на РМ с применением дробного впрыска с использованием функции «Сканирование» выше упомянутого программного комплекса «ДИЗЕЛЬ-РК».

Когда задача оптимизации какого-либо процесса может быть охарактеризована как двумерная (число независимых переменных равно двум), или одномерная, тогда для решения такой задачи целесообразно использовать функцию сканирования. Возможность наглядного графического отображения целевой функции и ограничений сразу от двух аргументов помогает лучше осмыслить количественные закономерности происходящих процессов и принять наилучшее решение. Функция сканирования программного комплекса «ДИЗЕЛЬ-РК» позволяет произвольным образом выбирать пару аргументов для сетки сканирования и шаг их изменения. В каждой точке этой ортогональной двумерной или одномерной сетки будет автоматически производиться расчет рабочего цикла. После выполнения сканирования полученные параметры двигателя могут быть представлены как функции одной или двух переменных в виде плоских или объемных графиков, или семейств изолиний. Возможность наглядного графического отображения целевой функции и ограничений сразу от двух аргументов помогает лучше осмыслить количественные закономерности происходящих процессов и быстро находить эффективные решения при доводке рабочего цикла двигателей.

Объект исследования. В качестве объекта исследования выбран двигатель автотракторного назначения размерностью 13/14 с камерой сгорания типа ЯМЗ с частотой вращения номинального режима $n=1750$ мин⁻¹ и средним индикаторным давлением $P_i=1,3$ МПа⁷. В качестве изменяемых параметров выбраны: максимальное давление впрыска $P_{впр}$ и диаметр сопловых отверстий $d_{отв}$ распылителя, а также угол опережения впрыска топлива (УОВТ). Так как у базового двигателя максимальное давление впрыска $P_{впр}=150$ МПа и диаметр отверстий распылителя $d_{отв}=0,223$ мм, а УОВТ равен $\theta=16^\circ$, то для сканирования

⁷ Свистула И.А. Опыт использования рапсового масла в качестве топлива для дизелей «ПО АМЗ» // В сб. Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики (ЭЭТПЭ): материалы Второй Всероссийской научно-практической конференции. – Барнаул: Алтайский дом печати, 2008. – С. 226–229.

были приняты диапазоны поиска $P_{впр}=[60-160]$ МПа и $d_{отв}=[0,2-0,25]$ мм., УОВТ исследовался в диапазоне $\theta=[6-21]^\circ$. Для данной категории двигателей установлены предельные выбросы окислов азота $NO_x=9,2$ г/(кВт·ч) и количество твёрдых частиц $0,7$ г/(кВт·ч) согласно ГОСТ Р 41.96-2005. Соблюдение этих значений (задаваемые ограничения) и будет целью при выборе оптимальных регулировочных параметров двигателя.

Результаты исследования. *Изменение диаметра сопловых отверстий и УОВТ.* В результате сканирования выявлено, что P_i достигает своего максимума при УОВТ, равном 6 и 21° (рисунок 1), что соответствует минимальному и максимальному УОВТ в исследуемом диапазоне. Также при уменьшении диаметра отверстий распылителя и УОВТ равном 6° , P_i незначительно возрастает с $0,8$ до $0,81$ МПа, а при УОВТ, равном 21° , наблюдается обратная тенденция. Минимум P_i , наблюдается при УОВТ, равном 12° и $d_{отв}=0,24$ мм.

Индикаторный расход топлива g_i имеет обратную характеристику (рисунок 1). При минимальном УОВТ равном 6° и уменьшении диаметра отверстий распылителя происходит уменьшение индикаторного расхода топлива g_i и его рост при максимуме УОВТ, равном 21° в исследуемом диапазоне. Соответственно и максимум индикаторного расхода g_i наблюдается при УОВТ, равном 12° и $d_{отв}=0,24$ мм. Как видно на рисунке 1 при увеличении УОВТ наблюдается рост выбросов NO_x , минимум выбросов NO_x достигается при $d_{отв}=0,22$ мм и УОВТ, равном 6° . Минимум дымности C достигается при УОВТ равном 15° и $d_{отв}=0,2$ или $0,21$ мм, а также при УОВТ равном 21° и $d_{отв}=0,23$ мм.

Из всего выше изложенного следует, что для рапсового масла с применением дробного впрыска с точки зрения удовлетворения ограничительных параметров экономичности и вредных выбросов, рекомендуются следующие регулировочные параметры: $d_{отв}=0,22$ мм и УОВТ равном 18° . При данных параметрах достигаются следующие показатели: $NO_x=175$ ppm; $C=4,4$ Bosch; $g_i=0,276$ кг/(кВт·ч); $P_i=0,8$ МПа; максимальное давление сгорания $P_z=8,4$ МПа.

Изменение давления впрыска и УОВТ. По результатам проведенного сканирования (рисунок 2) можно сделать вывод о том, что максимум P_i достигается при УОВТ равном 18° и давлении впрыска $P_{впр}=60$ МПа. При указанных параметрах достигается минимум индикаторного расхода топлива

$g_i=0,267$ кг/(кВт·ч). Минимум NO_x достигается при УОВТ равном 6° и давлении впрыска $P_{впр}=120$ МПа.

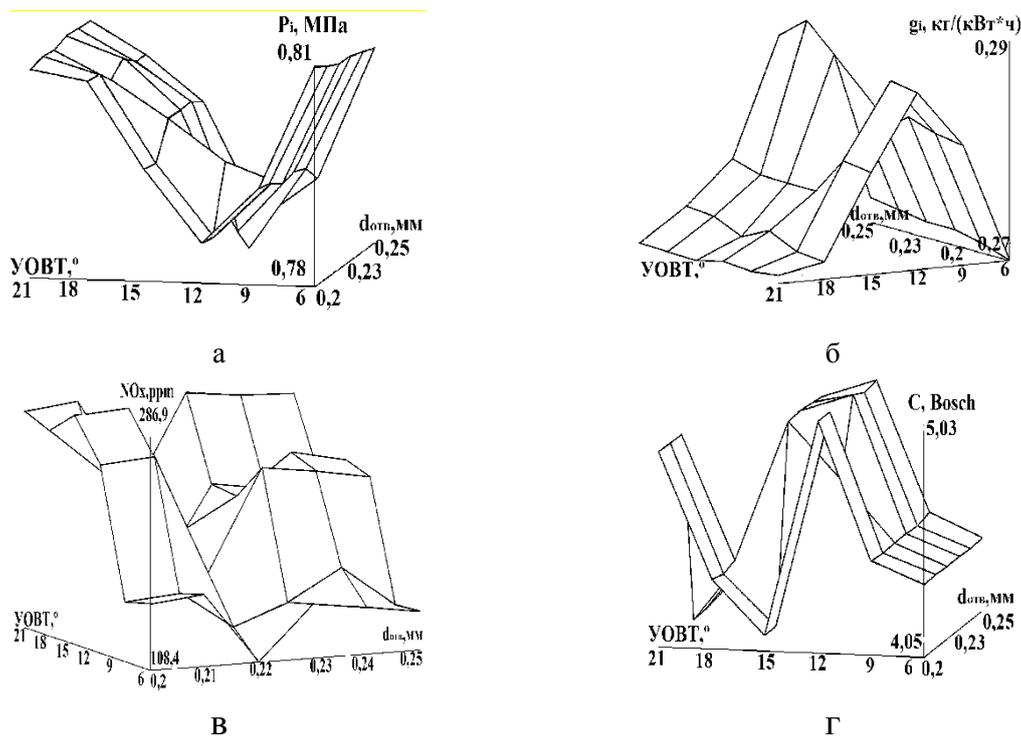


Рисунок 1. Результаты двумерного сканирования при дробном впрыске РМ

При этом минимум дымности возможен при УОВТ равном 15° и давлении впрыска $P_{впр}=100$ МПа.

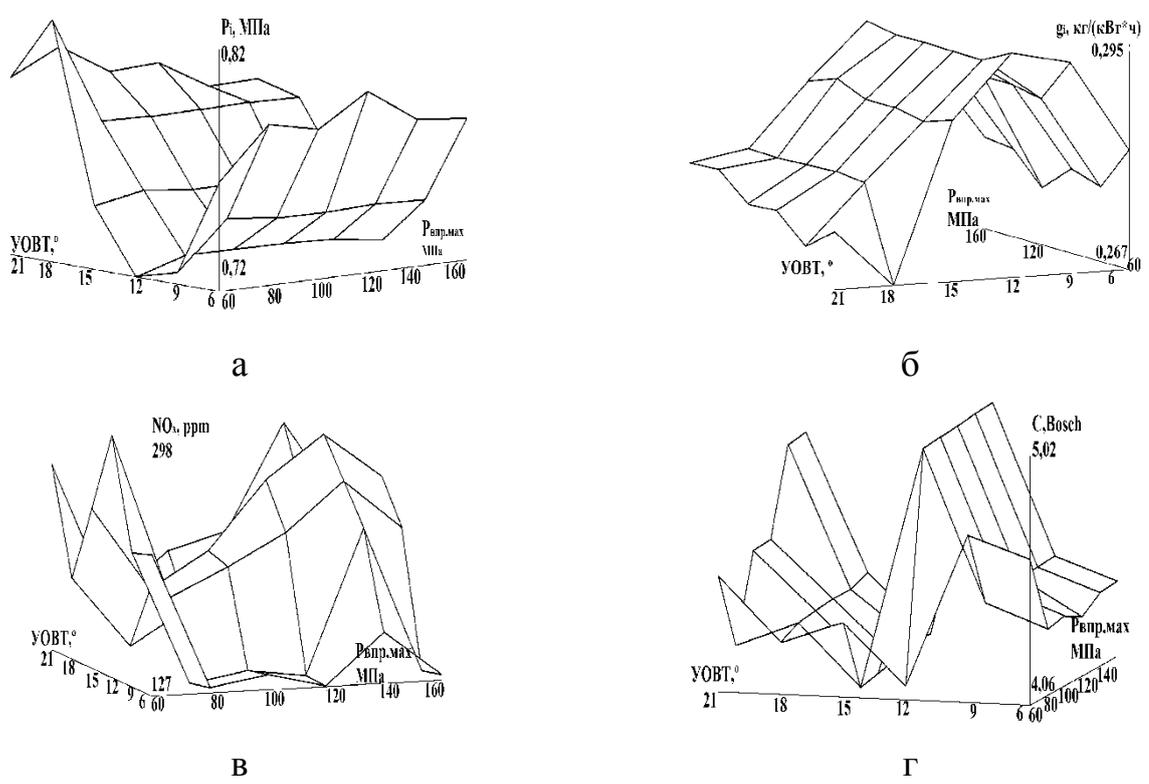


Рисунок 2. Результаты двумерного сканирования при дробном впрыске РМ

Для РМ с применением дробного впрыска с точки зрения обеспечения экономичности и снижения вредных выбросов (ограничительные параметры), рекомендуются следующие регулировочные параметры: $P_{впр}=120$ МПа и УОВТ равном 18° . При данных параметрах достигаются следующие показатели: $NO_x=120$ ppm.; $C=4,4$ Bosch; $g_i=0,278$ кг/(кВт·ч); $P_i=0,8$ МПа; максимальное давление сгорания $P_z=8,4$ МПа.

Заключение. В результате численного исследования определены наилучшие регулировочные параметры для дизеля 13/14 и камерой сгорания типа ЯМЗ с топливной аппаратурой повышенного давления типа CR при использовании дробного впрыска с учетом заданных ограничительных показателей топливной экономичности и токсичности ОГ. Наилучшие показания по выбросам окислов азота NO_x , среднему индикаторному давлению P_i , удельному индикаторному расходу топлива g_i и дымности достигаются исследуемыми регулировочными параметрами для топливной аппаратуры типа CR, работающей на рапсовом масле, при давлении $P_{впр}=120$ МПа и диаметре соплового отверстия $d_{отв}=0,22$ мм и угле опережения впрыска, равном 18° .

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОСТАТА В СОСТАВЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Р.Р. Гимазетдинов – директор ООО «Техноцентр Восток», г. Челябинск

А.А. Малоземов – д.т.н., профессор, доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики»

В.С. Кукис – д.т.н., профессор, ОУ ВО «ЮУИУиЭ»

А.Г. Савиновских – к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Транспорт и электроэнергетика», ОУ ВО «ЮУИУиЭ»

Аннотация

На основе теории бондграфов, методов энергетического и массового балансов, разработана математическая модель термостата в составе имитационной модели когенерационной установки с поршневым двигателем внутреннего сгорания. Модель отличается от известных применением акаузальных связей, что позволяет использовать её при моделировании существенно нестационарных процессов. Адекватность математической модели подтверждена экспериментально.

Введение. Генераторные установки на основе поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС) являются основой автономных систем энергоснабжения многих районов Сибири, Севера и Дальнего Востока Российской Федерации¹. От их технического совершенства зависит эффективность потребления топливных ресурсов, надежность энергоснабжения, стоимость энергии для населения.

Объектом исследования служили средства малой энергетики на базе ПДВС. Одним из актуальных направлений развития этих средств является создание когенерационных установок (КГУ), в состав которых входит система утилизации тепла двигателя (СУТД), а именно, сбросового тепла систем охлаждения, смазки, отвода отработавших газов и других систем². Это позволяет существенно снизить объём капитальных вложений в строительство автономных котельных и затраты на доставку топлива в удаленные районы РФ.

Методы исследования. Качество проектирования энергоустановок во многом зависит от применяемых расчетных методик, которые в настоящее время всё чаще реализованы в виде программного обеспечения (ПО). Одним из видов

¹ Ильковский, К.К. Дизельные электроагрегаты – база малой энергетики // Малая энергетика. – 2004. № 1. – С. 15–24.

² Ведрученко, В.Р. Выбор схемы утилизации тепла отработавших газов поршневых ДВС и оценка полезного теплоиспользования в составе когенерационной установки // Омский научный вестник, ОГТУ. – 2015. – № 137. – С. 114–119.

ПО являются имитационные модели³, которые позволяют частично заменить натурные эксперименты на опытных образцах энергоустановок виртуальными экспериментами и тем самым существенно сократить трудоемкость и время на их разработку и модернизацию.

Результаты исследования. В настоящее время существует большой выбор ПО для имитационного моделирования ПДВС (например, AVL Boost, Ricardo WAVE, OpenWAM и др.), в которых отсутствуют компоненты, позволяющие моделировать элементы СУТД. И наоборот, есть математические модели КГУ⁴, в которых применено упрощенное описание ПДВС, что не позволяет оценить влияние СУТД на показатели двигателя (например, на его температурное состояние, противодавление на выпуске, температуру и вязкость масла и т.д.). Поэтому были созданы математическая модель и ПО для имитационного моделирования КГУ, при разработке которых сделана попытка решить эту проблему⁵. Математическая модель была создана на основе теории ненаправленных графов связей (бондграфов⁶), что отражает физическую сущность энергетических и массовых потоков энергоустановки.

Одной из составляющих имитационной модели КГУ является термостат, который позволяет автоматически управлять тепловым состоянием двигателя и, в зависимости от температуры охлаждающей жидкости (ОЖ), направлять её поток либо через СУТД, либо через систему охлаждения (например, при отсутствии тепловой нагрузки), либо по малому контуру системы (например, при прогреве ПДВС после запуска). Существует ПО, в котором есть возможность создать модель термостата. Например, в ПО GammaTech Suite термостат моделируется на основе шаблона «split», описывающего разделение потока жидкости на несколько, при этом площадь поперечного сечения каждого выхода задается табличной зависимостью от температуры жидкости. Аналогичные модели термостатов есть в AMESim (библиотека Cooling Systems),

³ Гимазетдинов, Р.Р., Малозёмов, А.А., Кукис, В.С. Проблемы и перспективы имитационного моделирования когенерационных энергетических установок на основе поршневых двигателей внутреннего сгорания // Научный диалог: Вопросы точных и технических наук. Сб. науч. трудов по материалам X международной научно-практической конференции 12 октября 2017 г. ЦНК МНИФ «Общественная наука», 2017. С. 31–37.

⁴ Skolnik, P., Hubka, L., Modrak, O., Nahlovsky, T. Cogeneration units simulation models library // International conference on process control, 2013. P. 252–256.

⁵ Гимазетдинов, Р.Р., Кукис, В.С., Малозёмов, А.А. Разработка имитационной модели для целей управления когенерационной энергетической установкой в составе НН-комплекса // Управление в современных системах: сборник трудов VII Всероссийской научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников и аспирантов. – Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики», 2017. С. 120–124.

⁶ Borutzky, W. Bond graph methodology. Development and Analysis of Multidisciplinary Dynamic System Models. – London: Springer-Verlag, 2010. 662 p.

учитывающие, в том числе, инерционность нагрева рабочего вещества (воска), нелинейность его расширения и явление гистерезиса. Однако, вышеупомянутые компоненты являются ориентированными (имеют входы и выходы), т.е. не могут быть применены в разрабатываемой имитационной модели КГУ на основе бондграфов. Подобные модели также не могут быть использованы при моделировании существенно нестационарных процессов, когда направление потока не является детерминированным.

Поэтому, для целей создания имитационной модели КГУ, была разработана математическая модель термостата, основанная на теории бондграфов, и соответствующий библиотечный элемент (класс) ПО на языке Modelica. Основой класса является ранее разработанное ПО «Internal Combustion Engine Research and Development» (ICE R&D)⁷, являющееся некоммерческим аналогом проприетарного ПО AVL Boost, Ricardo WAVE, AMESim, GammaTech и подобного.

Одним из двух базовых гидродинамических классов ICE R&D является «объём» несжимаемой жидкости, описываемый системой уравнений массового, энергетического балансов и состояния:

$$\sum_{p=1}^p \left(\frac{dG_p}{dt} \cdot c \right) + \sum_{i=1}^i \left(\frac{dQ_{ini}}{dt} \right) + \sum_{j=1}^j \left(\frac{dQ_{out j}}{dt} \right) + \frac{dU}{dt} = 0, \quad (1)$$

$$\sum_{p=1}^p \left(\frac{dG_p}{dt} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dU}{dt} \cdot \frac{1}{c \cdot G}, \quad (3)$$

где p – номер связи; $\frac{dG_p}{dt}$ – поток массы через связь; T – температура жидкости; G – масса жидкости; i – номер внутреннего источника или стока энергии; $\frac{dQ_{ini}}{dt}$ – поток энергии через внутренний источник или сток; j – номер внешнего источника или стока энергии; $\frac{dQ_{out j}}{dt}$ – поток энергии через внешний

⁷ Бондарь, В.Н., Малозёмов, А.А., Кукис, В.С. Математическая модель и программное обеспечение для имитационного моделирования дизеля на режимах предпусковой подготовки и пуска // Наукоеград. Наука, производство, общество. – 2017. – № 2 (12). – С. 54–62.

источник или сток; $\frac{dU}{dt}$ – изменение внутренней энергии жидкости; c – теплоемкость жидкости.

Вторым базовым классом является гидродинамическое «сопротивление», описываемое уравнением массового потока:

$$\frac{dG}{dt} = A \cdot C_D \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot (P_1 - P_2)}{\rho}}, \quad (4)$$

где A – площадь поперечного сечения; C_D – коэффициент потока; P_1 и P_2 – давление жидкости до и после сопротивления, соответственно (в зависимости от направления течения); ρ – плотность жидкости.

Гидродинамическая связь, согласно принятому подходу, основанному на методах теории бондграфов:

$$\sum_{p=1}^p \left(\frac{dG_p}{dt} \right) = 0, \quad (5)$$

$$P_1 = P_2 = \dots = P_p. \quad (6)$$

В данном случае давление является потенциальной переменной, а расход жидкости – потоковой. Гидродинамическая связь, как и любая другая физическая связь, является аказуальной (отсутствуют причинно-следственные отношения) и ненаправленной, поэтому нельзя говорить о входах или выходах элемента. Дополнительно через газодинамическую связь передаются значения переменных температуры (т.е. реализуются методы как физической, так и информационной связи), с учетом направления потока переменных. Функция f потока переменных:

$$\text{если } \frac{dG}{dt} > 0, \text{ то } f(x) = x_1, \quad (7)$$

$$\text{если } \frac{dG}{dt} < 0, \text{ то } f(x) = x_2, \quad (8)$$

где x_1 – параметр потоковой переменной за пределами элемента, x_2 – параметр потоковой переменной внутри элемента.

При $\frac{dG}{dt} = 0$, функция потока смысла не имеет.

Класс «объем», реализует метод расчета потенциальных переменных на основе известных потоковых переменных. И наоборот, класс «сопротивление»

реализует метод расчета потоковых переменных на основе известных потенциальных переменных.

На рисунке 1 показаны внешний вид и расчетная гидравлическая схема термостата. Согласно расчетной схеме, «типичный» термостат представляет собой объём с тремя сопротивлениями (два из них – с переменным сечением). Объём соединен с сопротивлениями тремя гидродинамическим связями. В свою очередь, сопротивления соединены с внешними элементами имитационной схемы также тремя гидродинамическим связями.

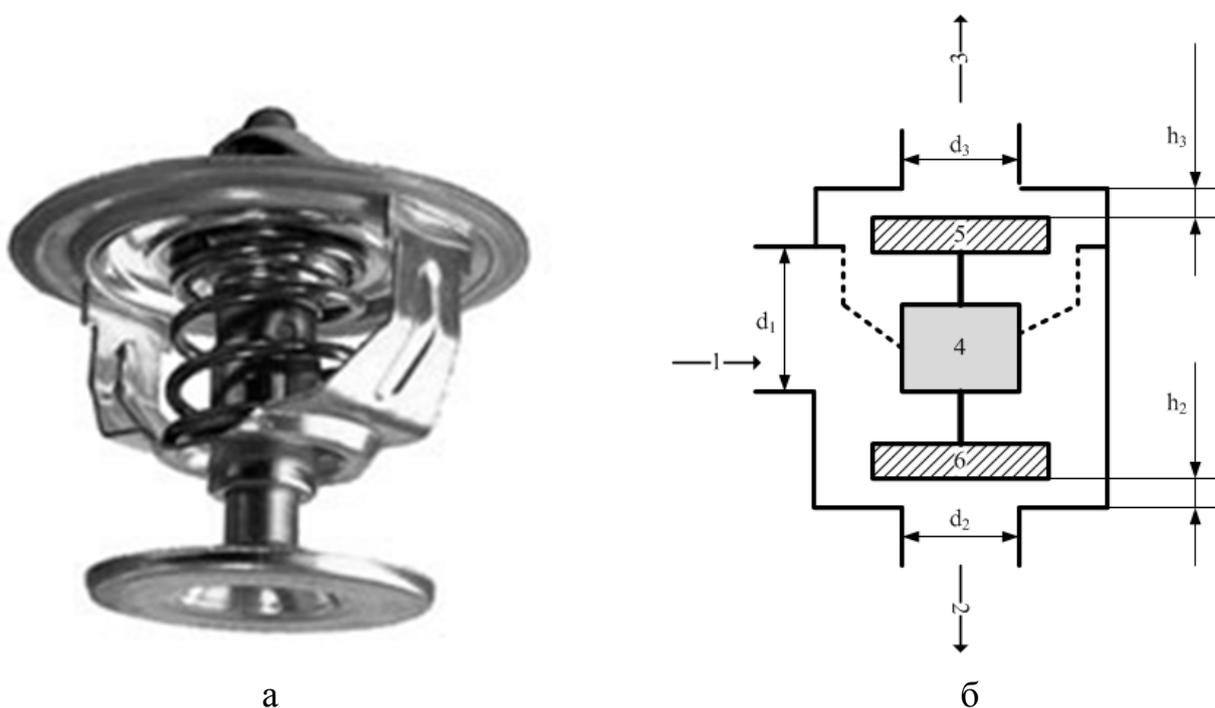


Рисунок 1. Внешний вид (а) и расчетная гидравлическая схема (б) термостата:

1 – вход ОЖ; 2 – выход ОЖ в малый контур; 3 – выход ОЖ в систему охлаждения; 4 – объём с рабочим веществом; 5, 6 – клапаны; d – диаметр; h – высота подъёма клапана

Для повышения адекватности имитационной модели необходимо учитывать теплообмен корпуса термостата с окружающей средой, для этого использованы классы «термодинамическая масса» и «термодинамическое сопротивление». «Термодинамическая масса» описывается уравнением Фурье-Кирхгофа в дивергентной форме:

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (9)$$

где λ – коэффициент теплопередачи; ρ – плотность; c – теплоемкость материала; x, y, z – координаты.

Размерность уравнения (9) зависит от решаемой задачи, для моделирования стенок термостата целесообразна одномерная постановка. Уравнение (9) решается методом конечных разностей.

Коэффициент теплообмена, характеризующий «термодинамическое сопротивление», определяется в зависимости от контактирующих сред и условий контракта. Для определения коэффициента конвективного теплообмена между рубашкой и блоком двигателя используется зависимость⁸:

$$\alpha_L = 0.453 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Pr^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{k_l}{L_b}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}), \quad (10)$$

где $k_l = f(T)$ – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·К); L_b – характеристическая длина внутренней поверхности корпуса термостата, м; Re – число Рейнольдса; Pr – число Прандтля.

Для расчета коэффициента конвективного теплообмена между блоком двигателя и окружающей средой применяется формула⁹:

$$\alpha_A = 7.8 \cdot |v_A|^{0.78}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (11)$$

где: v_A – скорость движения воздуха относительно термостата (при неподвижном воздухе $\alpha_A = \text{const}$).

Площадь поперечного сечения каждого из клапанов зависит от высоты его подъёма, которая, в свою очередь, зависит от температуры рабочего вещества T_w :

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h(T_w), \quad (12)$$

где: функция $h(T_w)$ может задаваться как аналитически, так и таблично.

Масса жидкости, находящейся в объёме термостата вытесняется при расширении рабочего вещества, чтобы учесть этот эффект вводится поправка к величине массы G в уравнении (3), которая вычисляется по формуле:

$$\Delta G = \rho \cdot \Delta V(T_w), \quad (13)$$

где $\Delta V(T_w)$ – изменение объёма рабочего вещества вследствие его расширения или охлаждения, как функция от температуры.

Динамика нагрева рабочего вещества:

⁸ Holman J.P. McGraw-Hill. Heat transfer, 8th edition, 1997. 720 p.

⁹ Fischer R. Elektrische maschinen, 10th edition. – Hanser-Verlag, 1999. 378 p.

$$\frac{dT_w}{dt} = \frac{A_w \cdot \alpha_l}{c} (T - T_w), \quad (14)$$

где A_w – площадь поверхности объёма с рабочим веществом.

Графическое изображение класса «термостат», созданное на языке Modelica с использованием базовых классов ПО ICE R&D приведено на рисунке 2,а. На рисунке 2,б показана тестовая имитационная модель гидравлической системы с термостатом и граничными условиями. Граничные условия на условных (т. к. связи аказуальные) выходах, обозначенных портами с идентификатором 2, постоянны, $P = 101300$ Па. Для инициализации потока на условном входе с идентификатором 1 установлено постоянное давление $P = 102000$ Па, при этом температура жидкости линейно возрастает в течении 100 с от 300 К до 400 К. Температуры начала открытия/закрытия клапанов горячего и холодного контуров установлены 95 °С и 65 °С, соответственно. Характеристика расширения рабочего вещества – линейная, геометрические размеры соответствуют термостату первичного двигателя ДГУ-100С Д-180 (4ЧН15/20.5).

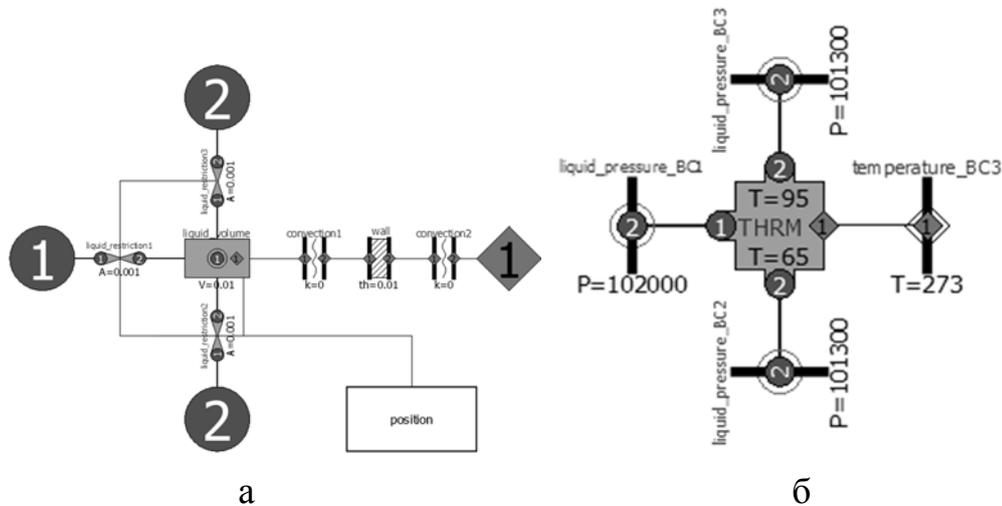


Рисунок 2. Графическое изображение класса «термостат» (а) и тестовая имитационная модель (б) гидравлической системы с термостатом (параметры – по умолчанию)

На рисунке 3 показан результат расчета тестовой имитационной модели. Как видно из рисунка, разработанная математическая модель корректно отражает особенности функционирования термостата. Нелинейное увеличение общего расхода ОЖ через термостат в диапазоне температур 65–95 С связано с тем, что диаметр отверстия для выхода ОЖ в систему охлаждения несколько

больше, чем для выхода ОЖ в малый контур. Верификация разработанной математической модели термостата и соответствующего класса ПО ICE R&D была проведена в составе имитационной модели КГУ на базе энергоустановки ДГУ-100С. Данные, полученные в ходе испытаний опытного образца КГУ и расчета имеют хорошую сходимость, что подтверждает адекватность как математической модели термостата, так и имитационной модели КГУ в целом.

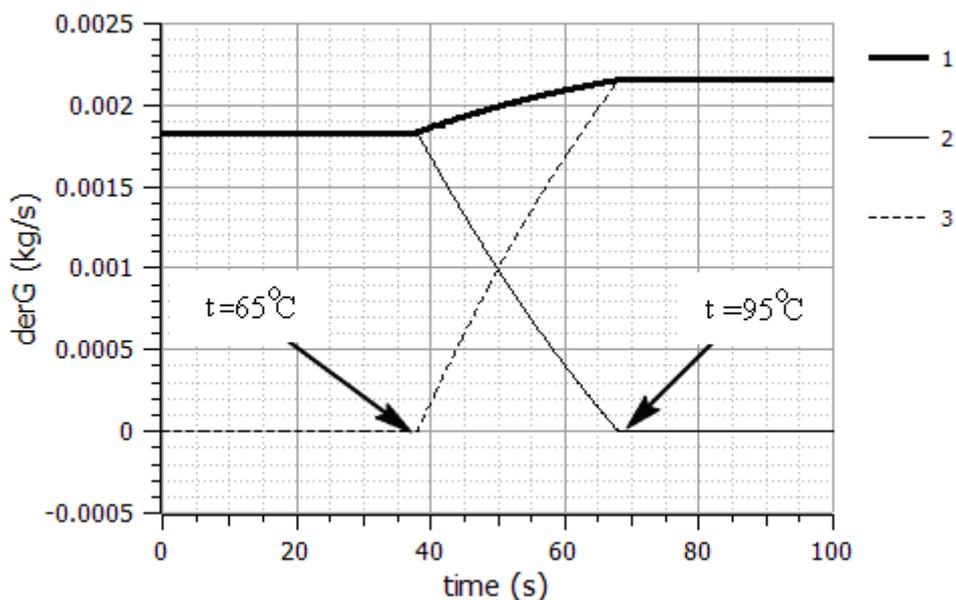


Рисунок 3. Результаты расчета тестовой имитационной модели:

- 1 – вход ОЖ; 2 – выход ОЖ в малый (холодный) контур; 3 – выход ОЖ в систему охлаждения (горячий контур); time (s) – текущее время, с;
 derG (kg/s) – расход ОЖ, кг/с

Заключение. Вышеизложенное свидетельствует о возможности применения разработанных математической модели термостата и ПО для целей создания имитационной модели КГУ. Созданная модель отличается от известных применением аказуальных связей, что позволяет использовать её при моделировании существенно нестационарных процессов. Адекватность математической модели подтверждена экспериментально. ПО, реализующее имитационную модель КГУ используется при проведении текущих научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в Южно-Уральском институте управления и экономики и Южно-Уральском государственном университете.

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЙ МОДИФИКАЦИИ ДИЗЕЛЯ С КАМЕРОЙ СГОРАНИЯ ЦНИДИ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Р.Р. Гимазетдинов – директор ООО «Техноцентр Восток», г. Челябинск

Аннотация

Приведены результаты расчетно-теоретического исследования параметров двигателя 4ЧН15/20.5, работающего на сжатом природном газе с искровым воспламенением и предназначенного для привода когенерационной установки. Расчетная методика основана на уравнениях массового и энергетического балансов рабочего тела в камере сгорания. В ходе исследования обоснован выбор рациональных конструктивных параметров двигателя.

Введение. Одним из актуальных направлений развития малой автономной энергетики является создание когенерационных установок на базе поршневых двигатель-генераторов¹. Как показывает практика, в зонах централизованного газоснабжения наиболее эффективно применение газопоршневых электростанций с системами утилизации сбросового тепла первичных двигателей внутреннего сгорания (ПДВС)². Переоборудование серийного дизеля в газовый двигатель не требует существенных изменений его конструкции. Эти изменения сводятся главным образом к установке газоподающей и регулирующей аппаратуры, системы зажигания, снижению степени сжатия, что вызвано необходимостью уменьшения тепломеханических нагрузок на детали газового двигателя из-за более высоких скоростей сгорания газа. Однако, при этом не всегда возможно сохранение максимальной мощности ПДВС на уровне базового дизеля из-за особенностей геометрии поршня, изначально рассчитанной на внутреннее смесеобразование, и высокой степени сжатия.

Объект исследования. Южно-Уральским государственным университетом и Челябинским тракторным заводом был проведен комплекс работ по разработке газодизельной модификации двигателя 4ЧН15/20.5 с камерой сгорания типа ЦНИДИ предназначенного главным образом для использования в составе дизель генераторных установок (ДГУ)³. В результате

¹ Ольховский, Г.Г., Тумановский, А.Г. Теплоэнергетические технологии в период до 2030 г. // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2008. – № 6. – С. 79 – 94.

² Ливинский, А.П. Проблемы и перспективы использования газового топлива для передвижных электростанций (электроагрегатов) на базе поршневых двигателей // Техника и технология строительства и эксплуатации автомобильных дорог. Сб. научн. тр. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. С. 24–39.

³ Малозёмов, А.А. Результаты экспериментальных работ по переводу двигателя Д-160 (Д 180) на газовое // «Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин» Научный вестник. – Челябинск: ЧВАИ. – 2001. – вып.12. – С. 87–91.

были определены оптимальные конструктивные и регулировочные параметры газодизеля, необходимые для обеспечения возможности его работы в составе ДГУ, проведены функциональные испытания газоподающей аппаратуры и системы регулирования, определены параметры токсичности и дымности отработавших газов. Однако, электрическая мощность 100 кВА, соответствующая уровню базовой ДГУ-100, достигалась только при запальной дозе дизельного топлива (ДТ) более 50 % из-за необходимости ограничить максимальное давление в камере сгорания (КС) величиной 11 МПа и исключить оплавление кромок горловины КС ЦНИДИ в поршне. Это обстоятельство существенно снижает экономический эффект от замещения ДТ газом. При снижении запальной дозы топлива до 25 %, максимальная мощность ДГУ, ограниченная условиями тепловой и механической напряженности, составляет 60 кВА, что лишает установку конкурентоспособности. Снижение степени сжатия влечет ухудшение эффективности рабочего процесса и пусковых качеств ПДВС при работе на ДТ.

Методы исследования. Поскольку внедрение газодизельного рабочего процесса для двигателя 4ЧН15/20.5 к КС ЦНИДИ сопряжено с компромиссными техническими решениями, целесообразность которых является сомнительной, было выполнено расчетно-теоретическое исследование, целью которого была оценка параметров двигателя 4ЧН15/20.5, работающего на сжатом природном газе (СПГ) с искровым воспламенением и предназначенного для когенерационной установки. Среди задач исследования был выбор рациональных конструктивных параметров ПДВС, систем подачи СПГ и зажигания.

При проведении расчета за основу был взят метод энергетического и массового балансов⁴. Относительная скорость выгорания СПГ описывалась уравнением Вибе⁵, при этом кинетические характеристики были определены экстраполяцией данных, полученных в ходе экспериментального исследования газодизельной модификации двигателя 4ЧН15/20.5, описанной выше. Теплоотдача в стенки цилиндра оценивалась по формуле Вошни⁶.

⁴ Малозёмов, А.А. Математическая модель двигателя на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов // «Научный вестник. Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин». Выпуск 18. – Челябинск: ЧВВАКИУ, 2006. С. 8–15.

⁵ Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателей. – Свердловск: Машгиз, 1962. 272 с.

⁶ Кватарадзе, Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. – М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. 520 с.

Значения цикловой подачи газа (рисунок 1) выбирались из условия обеспечения номинальной мощности ПДВС 111 кВт и максимальной мощности (с учетом возможной кратковременной перегрузки, коэффициента реактивности нагрузки – 0.8 и прочих условий) – 140 кВт, что необходимо для привода ДГУ максимальной электрической мощностью 100 кВА.

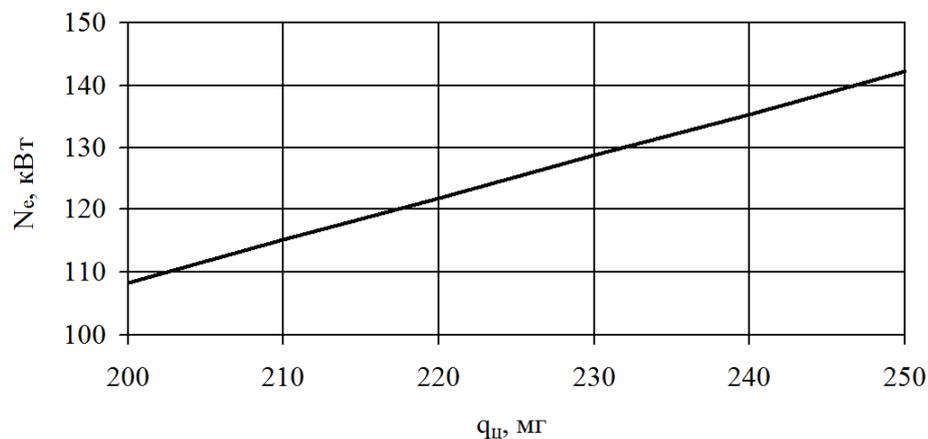


Рисунок 1. Зависимость эффективной мощности ПДВС от цикловой подачи газового топлива

Учитывая необходимость ограничения максимального давления газов в КС, при работе на СПГ на режиме номинальной мощности 111 кВт, величиной 11 МПа и сохранения удельного расхода топлива на режиме максимальной мощности 140 кВт на уровне, не превышающем величину, полученную при работе на ДТ, была выбрана степень сжатия 13 и угол опережения зажигания – 4 град. поворота коленчатого вала (ПКВ) до верхней мертвой точки (ВМТ).

Результаты исследования. Результаты моделирования нагрузочной характеристики приведены на рисунке 2, индикаторные диаграммы – на рисунке 3.

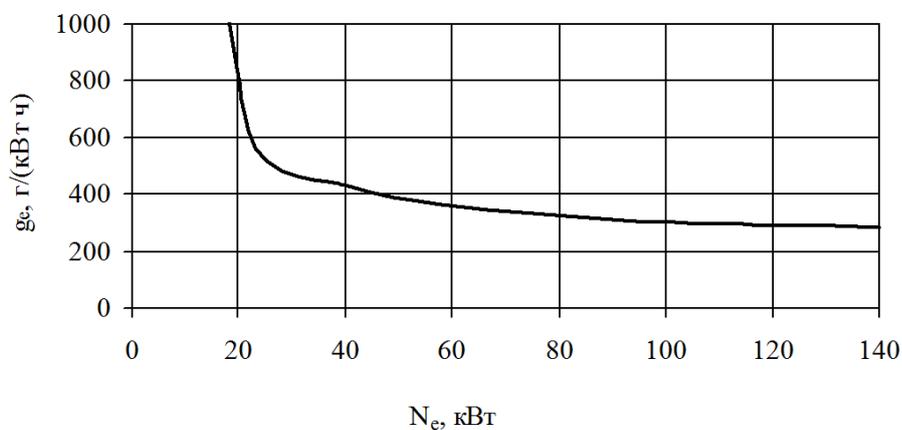


Рисунок 2. Нагрузочная характеристика газовой модификации дизеля 4ЧН15/20.5

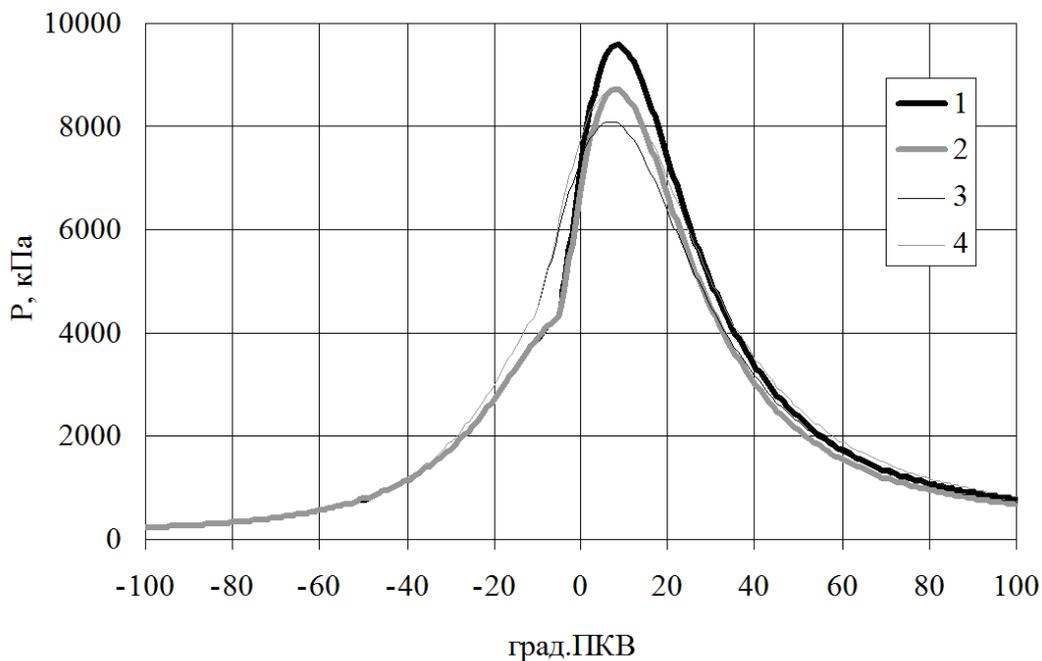


Рисунок 3. Индикаторные диаграммы давления:

1 – СПГ, 140 кВт; 2 – СПГ, 111 кВт; 3 – ДТ, 140 кВт, 4 – ДТ, 111 кВт

При работе в режиме перегрузки (диапазон 111–140 кВт), ограничивающие параметры рабочего цикла значительно ниже предельно допустимых для двигателя 4ЧН15/20.5. Расход СПГ на режиме холостого хода равен 9.3 кг/час.

Расчет показал, что наиболее рациональной для газовой модификации является степень наддува 1.5 (рисунки 4 и 5), так как она обеспечивает наименьший расход топлива, кроме того, увеличение степени наддува ведет к росту максимальных давлений сгорания выше допустимых значений.

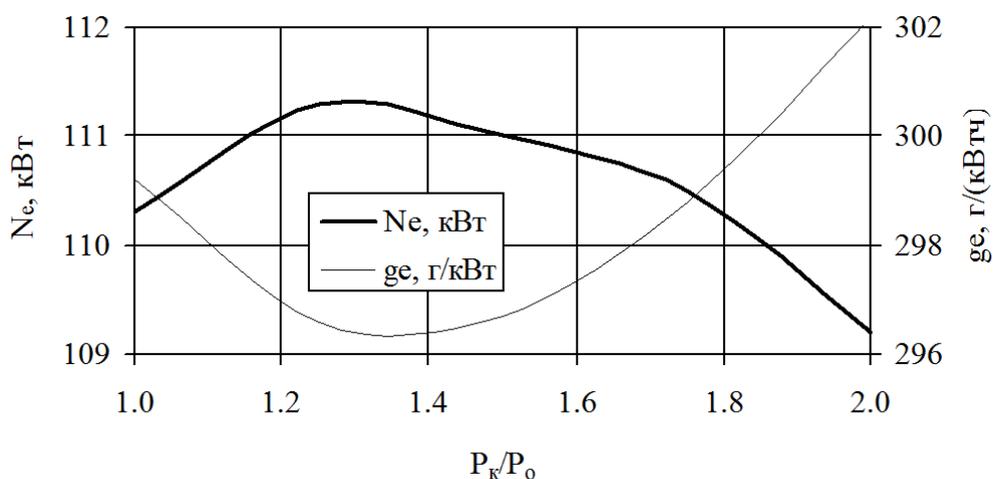


Рисунок 4. Зависимость эффективной мощности и удельного расхода СПГ от степени наддува

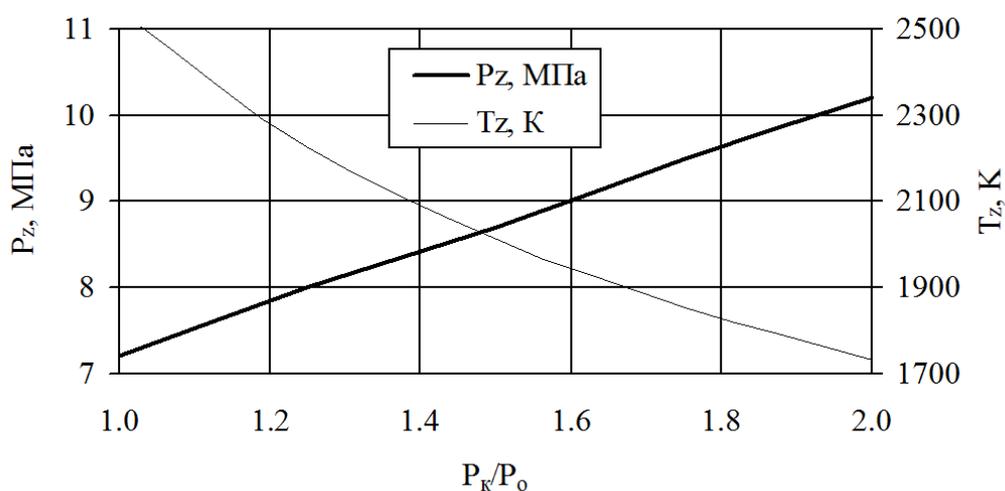


Рисунок 5. Зависимость максимального давления и максимальной температуры газов в КС от степени наддува

В таблице приведены основные характеристики газовой модификации двигателя 4ЧН15/20.5 в сравнении с базовым дизелем, работающим в режимах номинальной и максимальной нагрузки ДГУ-100.

Таблица 1 – Основные характеристики газовой модификации двигателя 4ЧН15/20.5 с искровым воспламенением

Параметры	Величина		
	СПГ		ДТ
	111 кВт	140 кВт	111 кВт
Цикловая подача топлива, мг	220	265	
Степень сжатия	13.0		14.5
Угол опережения воспламенения	4		10
Коэффициент избытка воздуха	1.39	1.14	1.95
Коэффициент остаточных газов	0.014	0.014	0.009
Среднее индикаторное давление цикла, кПа	927	1117	927
Температура рабочего тела в конце такта расширения, °С	859	1019	899
Давление рабочего тела в конце такта расширения, кПа	461	524	498
Индикаторный КПД цикла	0.441	0.442	0.425
Индикаторный удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	242.0	241.9	199.1
Среднее эффективное давление цикла, кПа	737	927	737
Эффективная мощность, кВт	111	140	111
Эффективный удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	296.7	284.2	244.2
Эффективный удельный расход энергии, МДж/(кВт·ч)	10.0	9.5	10.4
Максимальное давление цикла, МПа	8.7	9.6	8.1
Максимальная температура цикла, °С	1738	1959	1449
Максимальная скорость нарастания давления, кПа/град. ПКВ	123	123	306

Газовая модификация дизеля 4ЧН15/20.5 с рекомендуемыми регулировочными параметрами характеризуется более высоким уровнем экономичности, при этом ограничивающие параметры тепломеханической напряженности на режиме номинальной мощности двигателя (140 кВт) не превышают допустимых значений, а на режиме номинальной мощности ДГУ-100 (111 кВт) несущественно отличаются от базового дизеля.

Заключение. По результатам настоящего расчета можно рекомендовать выбор следующих основных конструктивных и регулировочных параметров газовой модификации двигателя 4ЧН15/20.5:

- степень сжатия – 13;
- угол опережения воспламенения топлива – 4 град. ПКВ;
- степень наддува – 1.5;
- цикловая подача СПГ на режиме номинальной нагрузки ДГУ-100 – 220 мг;
- цикловая подача СПГ на режиме максимальной нагрузки ДГУ-100 – 260 мг;
- цикловая подача СПГ на режиме работы ДГУ-100 без нагрузки – 62 мг.

Двигатель с данными регулировочными параметрами обеспечивает следующие основные характеристики топливной экономичности, которые либо соответствуют, либо превосходят аналогичные характеристики базового ПДВС:

На режиме номинальной мощности ДГУ-100 (111 кВт):

- удельный эффективный расход топлива – 296.7 г/(кВт·ч);
- удельный эффективный расход энергии (с учетом теплотворной способности топлива) – 10 МДж/(кВт·ч).

На режиме номинальной мощности первичного двигателя:

- удельный эффективный расход топлива – 284.2 г/(кВт·ч);
- удельный эффективный расход энергии – 9.5 МДж/(кВт·ч).

Параметры тепловой и механической напряженности для газовой модификации не превышают допустимых значений и составляют:

На режиме номинальной мощности ДГУ-100 (111 кВт):

- максимальное давление сгорания – 8.7 МПа;
- максимальная скорость нарастания давления – 123 МПа/град. ПКВ;
- максимальная температура газов в КС – 1738° С.

На режиме номинальной мощности первичного двигателя:

- максимальное давление сгорания – 9.6 МПа;
- максимальная скорость нарастания давления – 123 МПа/град. ПКВ;
- максимальная температура газов в КС – 1959° С.

Результаты исследования были использованы при конструктивной проработке основных узлов и систем опытного образца газовой модификации двигателя 4ЧН15/20.5 ООО «ЧТЗ-Уралтрак», предназначенного для привода когенерационной энергетической установки.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА РАБОТЫ НА РЕСУРС ВОДОРОД-КИСЛОРОДНОГО ПАРОГЕНЕРАТОРА

*А.Н. Егоров – к.т.н., научный сотрудник, Саратовский научный центр
Российской академии наук*

Аннотация

Проведена сравнительная оценка ресурса камеры сгорания водород-кислородного парогенератора с учетом снижения прочностных свойств различных металлов при циклическом изменении температурных условий работы. Проведено моделирование процесса сжигания и теплообмена в камере сгорания водород-кислородного парогенератора. Показано, что для достижения приемлемого ресурса в условиях циклического режима работы необходимо использовать низкоуглеродистые стали с коэффициентом теплопроводности не менее 45 Вт/(м·К)

Введение. Водород-кислородный парогенератор является неотъемлемой частью водородного энергетического комплекса. В парогенераторе происходит преобразование энергии водородного топлива в процессе его окисления кислородом в тепловую энергию в виде водяного пара высоких калорических параметров. Этот пар используется для генерации электрической энергии непосредственно в дополнительном паровом турбогенераторе либо для повышения параметров пара основной паротурбинной установки энергоблока АЭС. При этом в зависимости от требуемых условий применения водородного энергетического комплекса давление и температура неохлажденного генерируемого пара может достигать 6 МПа и 3600 К соответственно. Другой особенностью условий работы водород-кислородного парогенератора является циклический режим, что означает работу в течение нескольких часов днем с последующим остановам до следующих суток. Сочетание высоких температур и циклическости работы оказывает существенное влияние на механические свойства металла парогенератора и в связи с этим становится актуальным исследование влияния термоциклического режима на его ресурс.

Объект исследования. На рисунке 1 показана концепция устройства водородного перегрева пара в основном цикле парового турбогенератора АЭС¹. Надежная работа водород-кислородного парогенератора (позиции 1 и 3 на рисунке 1) невозможна без эффективного охлаждения металла, в данном случае основным паром из паропроизводящей установки АЭС за счет

¹ Аминов, Р.З, Байрамов, А.Н. Система сжигания водорода для паро-водородного перегрева свежего пара в цикле атомной электрической станции. Патент на изобретение № 2427048, Кл. МПК F:22B1/26.2006.01, G:21D5/16.2006.01, F:01K3/18.2006.01

непосредственного омывания снаружи и охлаждающей водой, поступающей по каналам охлаждения 6 внутри корпуса. Таким образом, основными факторами, влияющими на температурные условия работы металла водород-кислородного парогенератора, а значит и на возникающие термические напряжения, будут являться:

1. Температура охлаждающей среды и генерируемого высокотемпературного водяного пара (продуктов сгорания).
2. Эффективность теплоотдачи как со стороны охлаждающей среды, так и со стороны генерируемого высокотемпературного водяного пара.
3. Механические и теплофизические свойства металла.

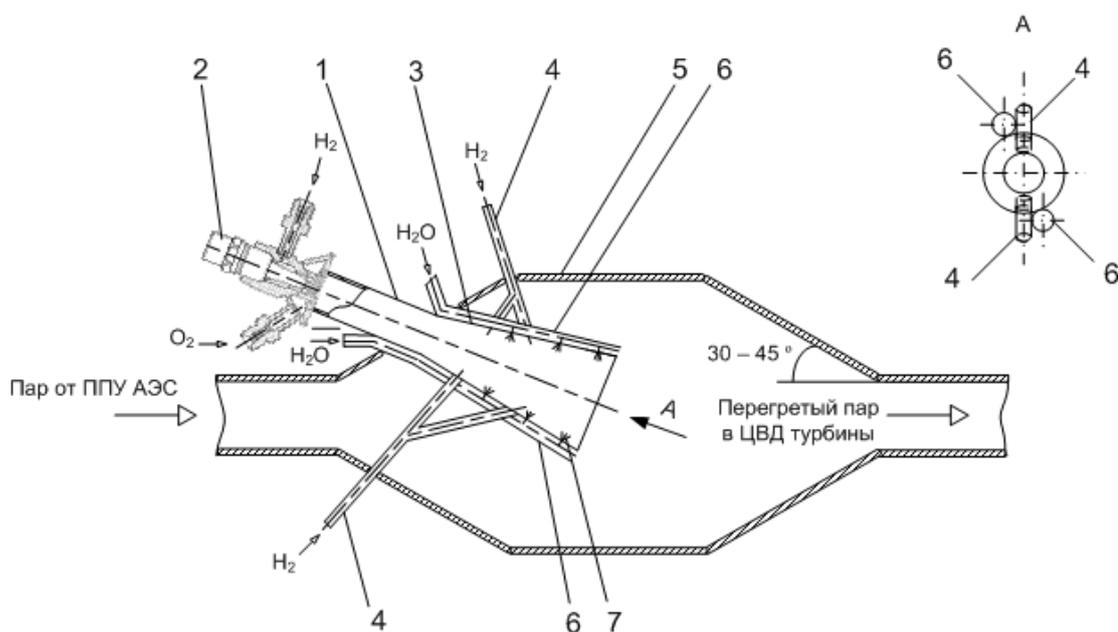


Рисунок 1. Двухступенчатая система сжигания водорода с регулированием температуры водород-кислородного пара: 1 – I ступень нестехиометрического сжигания; 2 – запальное устройство; 3 – II ступень стехиометрического сжигания; 4 – магистраль подачи водорода; 5 – паропровод; 6 – магистраль подачи охлаждающей воды; 7 – форсунки впрыска охлаждающей воды

Температура генерируемого высокотемпературного водяного пара в основном будет определяться полнотой сгорания водородного топлива и давлением в парогенераторе. При этом эффективность сжигания в основном зависит от способа подвода горючего и окислителя, а также конструктивных и геометрических параметров камеры сгорания парогенератора. На рисунке 2 показан вид исследуемой камеры сгорания парогенератора. Такой тип камеры сгорания применяется в экспериментальных исследованиях процессов горения

водорода в кислороде, которые, например, проводятся в ОИВТ РАН². При этом в расчетах приняты следующие геометрические размеры:

1. Длина – 600 мм.
2. Внутренний диаметр – 75 мм.
3. Толщина внутренней стенки – 3 мм.
4. Толщина корпуса – 5 мм.
5. Диаметр форсунок: топливо – 3 мм, окислитель – 26 мм.

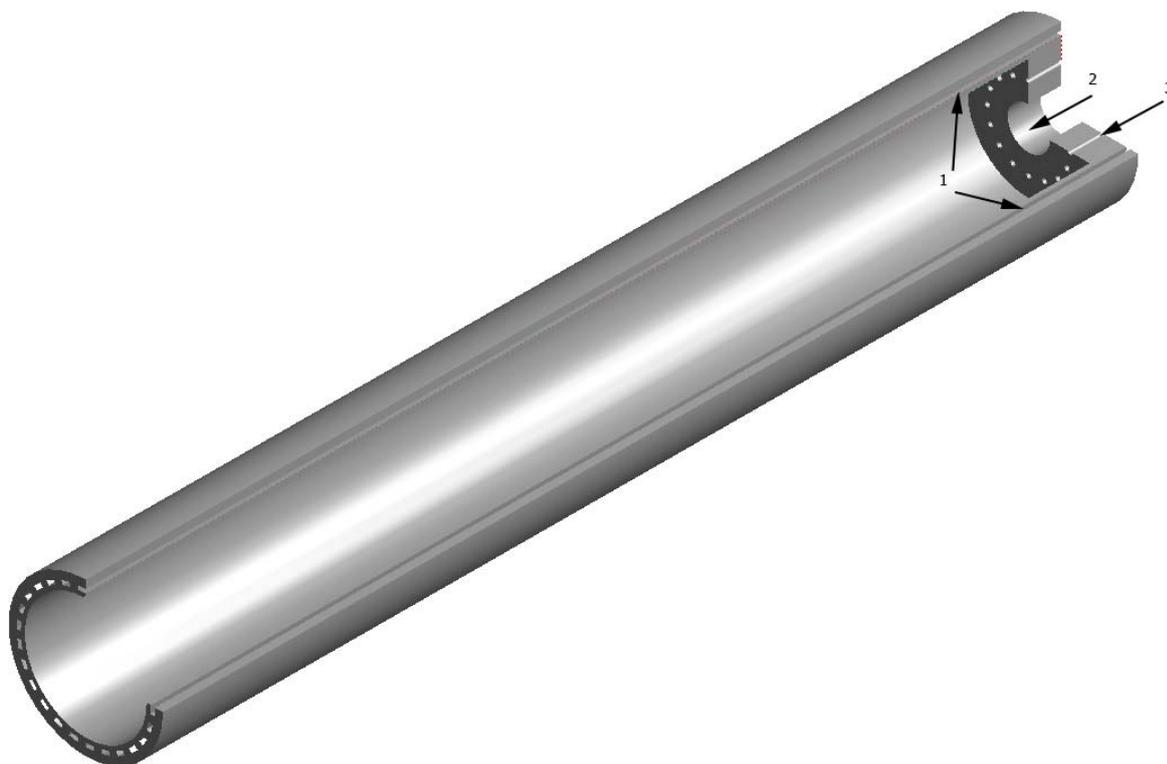


Рисунок 2. Разрез водород-кислородного парогенератора:

1 – каналы охлаждения; 2 – форсунка окислителя; 3 – топливные форсунки

Для оценки термодинамических параметров продуктов сгорания и охлаждающей среды, температуры стенок камеры сгорания использовался конечно-элементный метод расчета с использованием CFD кода³. Для расчета процесса горения и параметров продуктов сгорания (смеси водяного пара с продуктами диссоциации, а также несгоревшее топливо и окислитель) использовалась модель диффузионного горения предварительно не перемешанных горючего и окислителя⁴. При этом моделировался стационарный

² Бебелин, И.Н. Разработка и исследование экспериментального водородно-кислородного парогенератора мощностью 10 МВт(т) // Теплоэнергетика. – 1997. – № 8. – С. 48–52

³ D. Anderson, Jr. Computational Fluid Dynamics. The basics with applications. McGraw-Hill, Inc. –1995. 383р.

⁴ Франк-Каменецкий, Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука. –1987. 502с.

процесс горения водород-кислородной смеси, теплообмена и нагрева стенок камеры сгорания.

Как было сказано выше одним из факторов, влияющим на температурный режим парогенератора, являются также теплофизические свойства металла стенок. Для сравнительного анализа в расчетах использовались следующие марки низкоуглеродистой стали, низко- и высоколегированного сплава:

Таблица 1 – Теплофизические свойства металлов

Марка металла	Плотность, кг/м ³	Теплоемкость, Дж/кг·К	Теплопроводность, Вт/м·К
Ст.20 ⁵	7765	528	44,6
12ХМ ⁵	7758	589	48,7
12Х18Н10Т ⁶	7920	521	19,6

В расчетах приняты следующие теплофизические параметры охлаждающих сред:

Таблица 2 – Теплофизические параметры охлаждающей среды

	Расход, кг/с	Давление, МПа	Температура, °С	Скорость, м/с
Охлаждающая вода	1,6	6	22	5
Водяной пар	0,05	6	278	70

Результаты численного моделирования с использованием CFD кода применительно к вышеизложенным исходным данным представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты численного моделирования процессов горения и теплообмена в водород-кислородном парогенераторе при водяном охлаждении

Марка металла	Температура продуктов сгорания, К	Остаточное содержание водорода (по массе)	Средняя температура стенки со стороны продуктов сгорания, К
Ст.20	3393	0,0197	630,5
12ХМ	3411	0,0205	624,1
12Х18Н10Т	3468	0,0234	821,1

Как видно из таблицы 3, при использовании низколегированного металла марки 12ХМ, который имеет наибольший коэффициент теплопроводности (см. таблица 1), достигается минимальная температура стенки со стороны продуктов сгорания, при этом металл будет работать с наименьшими

⁵ ГОСТ 5520-79. Прокат листовой из углеродистой низколегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия. – М. – 1979

⁶ Жаропрочные стали и сплавы: Справочник. - М.: Металлургия. – 1983. 192с.

температурными напряжениями. При использовании жаропрочной высоколегированной аустенитной стали, имеющей наименьший коэффициент теплопроводности, температура стенки достигает 821,1 К, что приводит к повышению температуры продуктов сгорания и закономерному увеличению остаточного содержания водорода и других продуктов диссоциации. Стоит отметить, что явление высокотемпературной ползучести для углеродистых наблюдается только при температурах свыше 648К, для низколегированных – свыше 798К и для высоколегированных сплавов аустенитного класса при более высокой температуре⁷.

В процессе работы водород-кислородного парогенератора в циклическом режиме происходит попеременное повышение температуры металла стенок с последующим остыванием. Как известно при нагревании металлы имеют свойство расширяться, при этом в реальной металлической конструкции это расширение неравномерно, что приводит к локальным нелинейным деформациям металла. В результате сопротивления металла этим деформациям возникают термические напряжения, так как в данном случае они вызваны неравномерным расширением под воздействием высоких температур. При этом нужно учитывать, что разрушение деталей при циклических термических напряжениях возможно при значительно меньших уровнях напряжений, чем при статическом нагружении.

Если уровень переменных напряжений превосходит определенный предел, то при достаточно большом количестве циклов в результате накопления необратимых механических изменений в наиболее напряженном месте детали образуются субмикроскопические трещины. Длина этих трещин увеличивается, затем они объединяются, образуя первую макроскопическую трещину, под которой понимается трещина шириной 0,1–0,5 мм. У корня этой трещины возникает местное увеличение напряжений (концентрация напряжений), что облегчает ее дальнейшее развитие. Трещина, постепенно развиваясь в ослабленном сечении, вызывает внезапное разрушение. Накопление в материале необратимых механических изменений при действии изменяющихся во времени нагрузок называют усталостью, а разрушение в результате постепенного развития трещины – усталостным разрушением.

⁷ Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. Т.IV-12. – 2004. 832с.

Таблица 4 – Механические свойства металлов

Марка металла	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа	Коэффициент температурного расширения, 10^6 1/град	Температура плавления, К
Ст.20 ⁵	225	350	12,5	1515
12ХМ ⁵	245	410	12,1	1585
12Х18Н10Т ⁶	235	700	17,5	1732

При оценке ресурса той или иной детали широко применяется детерминистический подход. При этом используются зависимости между максимальным напряжением цикла и числом циклов до разрушения, которые называются кривыми усталости. Для построения кривой усталости проводят испытания образцов при нагрузках, периодически изменяющихся во времени (растяжение, кручение или изгиб). На каждом уровне нагружения испытывают 10–30 образцов⁸.

В случае воздействия термических напряжений под влиянием многократных нагревов и охлаждений возникает термическая усталость металла. Деформация, порождающая термическую усталость, представляет собой произведение коэффициента термического расширения на изменение температуры. При этом полную оценку сопротивления термической усталости можно получить только на основе результатов испытаний натуральных образцов в условиях близких к эксплуатационным⁹. На рисунках 3–5 показаны кривые усталости различных типов металлов при циклических нагрузках и температурах, не превышающих указанные, при этом по оси ординат отложены значения средних напряжений за цикл¹⁰:

⁸ ГОСТ 25.101-83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. – М. – 1983

⁹ Симс, Ч.Т. Суперсплавы II Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок Кн1. – 1995. 384с.

¹⁰ РД РТМ 26-01-141-82 Камеры греющие выпарных аппаратов с трубными решетками, имеющими отбортованные кромки отверстий. Расчет на прочность. – М. – 1982

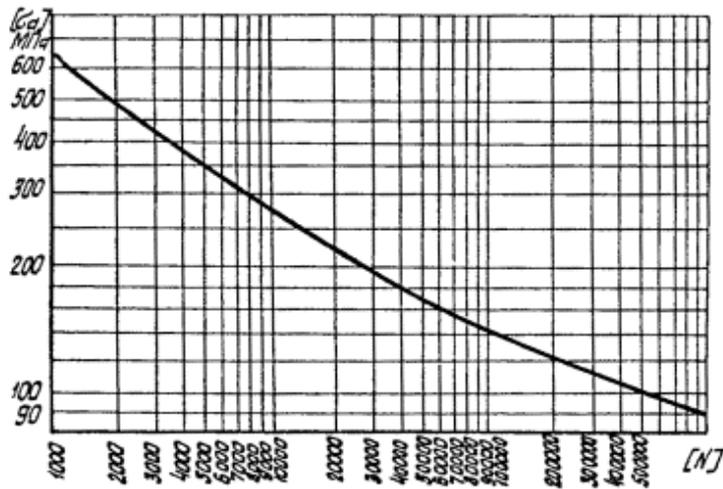


Рисунок 3. Кривая усталости для низкоуглеродистых сталей до температуры 630К

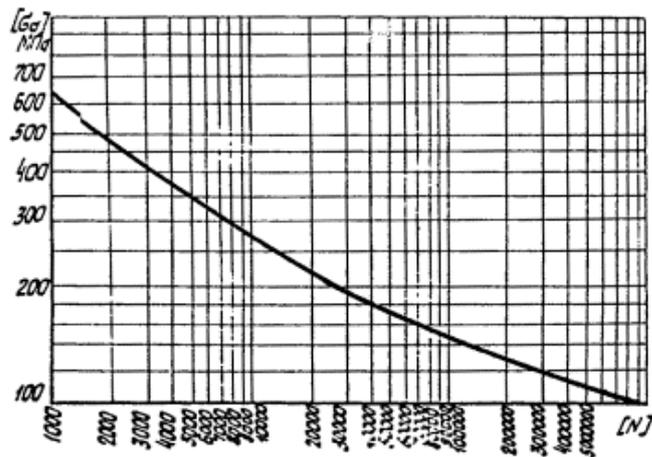


Рисунок 4. Кривая усталости для низколегированных сталей до температуры 670К

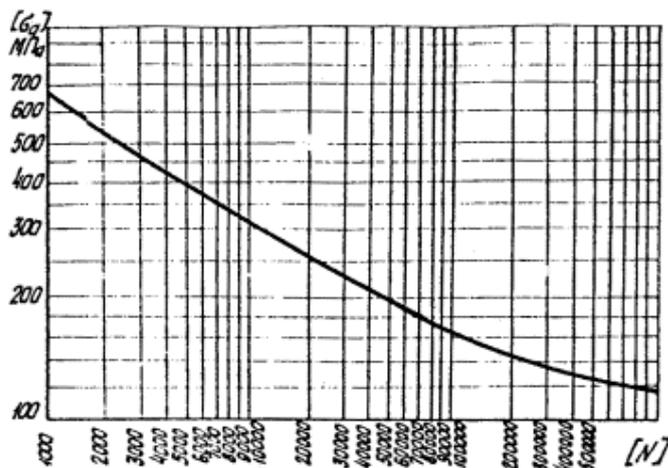


Рисунок 5. Кривая усталости для аустенитных сталей до температуры 810К

Режим циклических нагрузений, в котором работает водород-кислородный парогенератор принято называть пульсационным («отнулевым»), т. к. минимальное напряжение цикла равно нулю (останов парогенератора). При этом амплитуда циклических напряжений будет соответствовать максимальным термическим напряжениям за цикл. Для расчета внутренних термических напряжений, возникающих в результате работы водород-кислородного парогенератора, применялся конечно-элементный метод расчета¹¹ в соответствии с заданной геометрией (см. рисунок 2) и размерами. При этом для оценки числа циклов до разрушения использовались кривые усталости, изображенные на рисунках 3–5. В результате расчетов были получены следующие показатели:

Таблица 5 – Результаты расчета термических напряжений и ресурса водород-кислородного парогенератора

Марка металла	Максимальные термические напряжения за цикл, МН/м ²	Температура стенки, К	Число циклов до разрушения
Ст.20	771	731	3686
12ХМ	798	756	3404
12Х18Н10Т	1279	881	1182

Как видно из таблицы 5, число циклов до разрушения для низкоуглеродистой и низколегированной стали оказывается приблизительно одинаковыми. Это связано с тем, что эти металлы работают в приблизительно одинаковых условиях и имеют близкие теплофизические и механические свойства. Применение высоколегированной стали 12Х18Н10Т с низким коэффициентом теплопроводности приводит к увеличению средней температуры стенки и к закономерному увеличению термических напряжений и снижению ресурса камеры сгорания.

Выводы.

1. Рассмотрен водород-кислородный парогенератор с точки зрения температурного режима его работы и ресурса для марок металла стенок камеры сгорания.

2. В результате теплового расчета процессов горения и теплообмена с использованием CFD кода определены средние температуры металла стенок камеры сгорания водород-кислородного парогенератора. Использование

¹¹ Чигарев, А.В., Кравчук, А.С., Смалюк, А.Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. – М.: Машиностроение-1. – 2004. 512с.

низкоуглеродистых и низколегированных сплавов с высоким коэффициентом теплопроводности позволяет эффективно отводить тепло и поддерживать приемлемую среднюю температуру.

3. В результате расчета термоциклических напряжений с учетом средней температуры стенки по кривым усталости выбранных типов металлов определено число циклов до разрушения. Как показывают расчеты целесообразно использовать низкоуглеродистые стали с коэффициентом теплопроводности не менее $45 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В КОМПРЕССОР-ФОРСУНКЕ

Р.Ф. Зиннатуллин – аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет

М.Д. Гарипов – д.т.н., доцент, Уфимский государственный авиационный технический университет

Аннотация

Приведены результаты нульмерного математического моделирования рабочего процесса пневматической насос-форсунки многотопливного двигателя, проведено сопоставление с экспериментальными данными.

Введение. Применительно к малой авиации целесообразно использовать в качестве топлива керосин. Это приведет к снижению логистических издержек, связанных с поставкой топлива к местам заправки, и повышению пожаробезопасности по сравнению с использованием бензинов. Например, Министерства обороны США приняло концепцию, согласно которой, в качестве топлив для армии США рекомендуется использовать дизельное топливо и авиационный керосин.

Двигатели, работающие с воспламенением от искры (бензиновые двигатели), обладают низкой удельной массой, а двигатели с воспламенением от сжатия (дизели) обладают высокой топливной экономичностью. Целесообразно, чтобы многотопливный двигатель сочетал лучшие стороны этих двух видов двигателей. Для этого необходимо выполнить ряд основных требований к рабочему циклу¹. Данные требования были реализованы в рабочих процессах многотопливных двигателей с расслоением заряда¹. Воспламенение топливовоздушной смеси в таких двигателях обеспечивается системой зажигания повышенной мощности с множеством искр. Но для контролирования момента воспламенения необходимо использовать единичную искру. Для таких систем, критичным становится концентрация паров топлива в области искрового промежутка к моменту подачи искры. Особенно это важно при использовании трудно испаряемых по сравнению с бензином топлив, например, дизельное топливо или авиационный керосин.

¹ Heywood, J. Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill, USA, 1988; Ward Michael, A.V. Spark-ignited diesel engine. Approved for public release, 2003 1219023. Technical report no. 13502, November 1990. U.S. Army Tank-Automotive Command Research Development & Engineering Center, <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a230243.pdf>.

На кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» Уфимского государственного авиационного технического университета ведется разработка процессов смесеобразования и сгорания для многотопливного двигателя с расслоением заряда, которые позволили бы решить эту проблему². На рисунке 1 представлена схема топливной аппаратуры, далее компрессор форсунка (КФ). Она представляет собой поршневой насос, в который подается топливо и небольшое количество воздуха. Эта смесь сжимается поршнем и через каналы поступает к форсунке. При достижении необходимого давления начинается процесс впрыска топливовоздушной смеси (ТВС) в камеру сгорания двигателя. Для каждого скоростного и нагрузочного режима закон впрыска ТВС и момент электрического разряда должны быть согласованы с движением воздушного заряда и геометрией камеры сгорания. Достичь выше описанные требования возможно используя вычислительную гидродинамику.

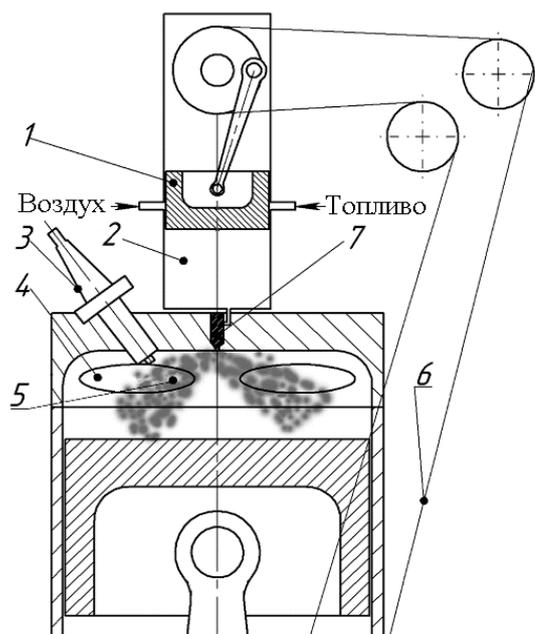


Рисунок 1. Схема топливной аппаратуры для многотопливного двигателя:
 1 – поршень; 2 – рабочая камера; 3 – свеча зажигания; 4 – клапан двигателя;
 5 – струя; 6 – ременный привод; 7 – форсунка

Цель и методика исследования. Для успешного моделирования процессов в камере сгорания двигателя, необходимо знать параметры струи в выходном сечении сопла форсунки, т.е. изучить процессы, происходящие в топливной системе для всего поля режимов работы двигателя.

² Гарипов, М.Д. Новая концепция организации бездетонационного сгорания низкооктановых топлив в ДВС с искровым зажиганием // Автомобильная промышленность. – 2010. – №4. – С. 8–11.

Целью данной работы является численное исследование рабочего процесса КФ при работе на авиационном керосине и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

В топливной системе: достигаются большие давления и температуры, гораздо выше критических точек компонентов топлива; объёмные доли топлива и газа приблизительно равны. В таких условиях паровую фазу необходимо рассматривать не как смесь идеальных газов, а как реальный раствор, и жидкую фазу также необходимо рассматривать как реальную жидкость. Поэтому используем предложенное в ³ для описания процессов в КФ уравнение состояния Брусилковского А.И. Оно обладает высокой точностью описания свойств ряда веществ, в том числе, углеводородов.

Моделирование было проведено для двух крайних случаев: термодинамического равновесия и отсутствия тепло- и массообмена между фазами.

Течение двухфазной смеси в обоих случаях описывается в приближении гомогенной модели, где течение двухфазной смеси рассматривают как однофазную среду, обладающую некоторыми осредненными характеристиками. В основе ее построения лежат следующие допущения: обе фазы находятся в механическом равновесии (давления и скорости фаз равны); фазы равномерно распределены одна в другой. ⁴

В эксперименте в качестве топлива использовался авиационный керосин ТС-1. Согласно работе⁴ авиационный керосин заменялся модельной смесью которая в основном состоит из н-додекана. Поэтому в данной работе для упрощения моделирования использовался только основной компонент этой смеси – н-додекан. Воздух заменялся азотом.

Результаты и выводы. На рисунке 2 приведено сопоставление результатов моделирования двух крайних случаев состояния двухфазной смеси с результатами экспериментального исследования.

³ Гарипов, М.Д. Многотопливный рабочий цикл поршневых ДВС: Дис. д. техн. наук. – Уфа, 2013. 271 с.

⁴ Bruno, T.J. Smith, B.L.. Evaluation of the physicochemical authenticity of aviation kerosene surrogate mixtures. Part 1: Analysis of volatility with the advanced distillation curve. Energy and Fuels, 24:426-4276, 2010.

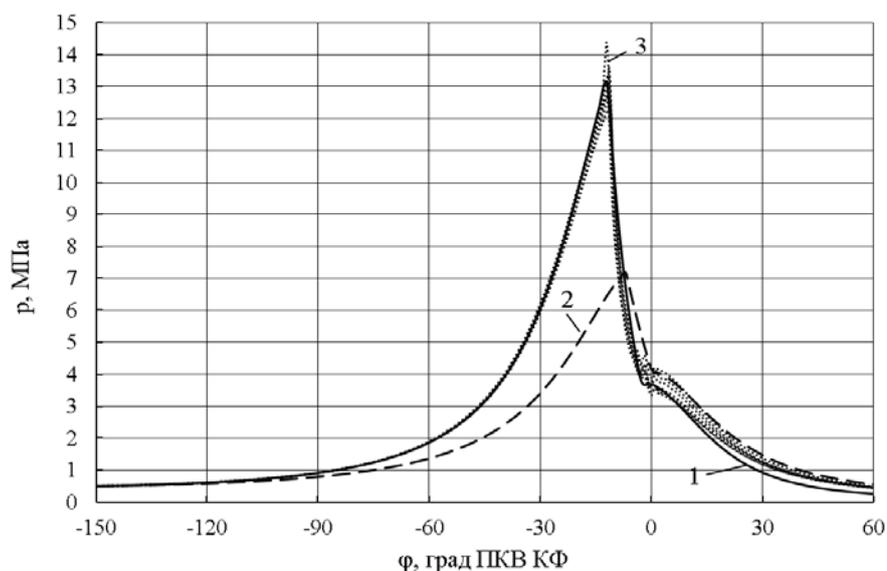


Рисунок 2. Давление в рабочей камере КФ в зависимости от угла поворота коленчатого вала КФ φ :

- 1 – модель, основанная на допущении об отсутствии тепло-и массообмена;
 2 – модель термодинамического равновесия; 3 – экспериментальные данные

В результате сопоставления экспериментальных и расчетных кривых давления в рабочей камере КФ, можно сделать вывод о том, что модель, базирующаяся на допущении об отсутствии тепломассообмена между фазами смеси, дает более близкие к экспериментам результаты.

Результаты данной работы планируется использовать в качестве граничных условия при трехмерном моделировании процессов в камере сгорания двигателя.

АНАЛИЗ СРЕДСТВ ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДИЗЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ И ТЕХНИКИ

А.А. Козлов – адъюнкт кафедры двигателей, Омский автобронетанковый инженерный институт

Аннотация

В статье приведен анализ существующих средств предпускового подогрева дизелей объектов бронетанкового вооружения РФ, средств предпусковой подготовки иностранного производства. Обобщена информация о перспективных средствах предпусковой подготовки и сформулирована концепция дальнейшего направления развития инженерной мысли с целью обеспечения надежного пуска.

Введение. Быстрота и надежность пуска двигателя в любых климатических условиях, определяющие техническую готовность бронетанкового вооружения и техники (БТВТ), являются одним из важнейших требований, предъявляемых к силовым установкам. Таким образом, существует необходимость в проведении анализа средств предпусковой подготовки дизелей БТВТ, на основании которого необходимо сформулировать основные положения приспособляемости объектов к низким температурам окружающей среды.

Основная часть. Под пуском понимается процесс раскрутки вала двигателя от состояния покоя до минимальной устойчивой частоты вращения, при которой двигатель способен работать без постороннего источника механической энергии, то есть при которой функционируют основные системы (топливная и смазки), а в камере сгорания создаются условия, достаточные для воспламенения топлива и обеспечения самостоятельной работы двигателя.

Предназначением средств предпусковой подготовки является создание условий, обеспечивающих надежный пуск дизеля при низких температурах окружающего воздуха, а именно:

– повышение температуры охлаждающей жидкости (ОЖ) для повышения температуры внутрицилиндрового пространства, и, как следствие, температуры на такте сжатия;

– разогрева моторного масла для снижения его вязкости, быстрого подвода к узлам трения и, как следствие, уменьшения момента сопротивления проворачивания коленчатого вала.

По виду источника энергии средства предпусковой подготовки классифицируются на топливные, электрические, тепловые аккумуляторы и другие.

При этом в роли нагреваемой среды может выступать как охлаждающая жидкость, так и моторного масла (либо комбинированно).

Одним из самых распространенных средств предпусковой подготовки являются жидкостные отопители–подогреватели, осуществляющие разогрев ОЖ (а от неё – масла и деталей двигателя). Для обеспечения надежного пуска дизелей используются подогреватели дизельного типа, являющиеся автономными системами¹.

Объекты и результаты исследования. Боевая машина пехоты БМП-2. Система подогрева – жидкостная, с принудительной циркуляцией. В систему подогрева входят подогреватель, насосный узел, топливный кран подогревателя и крышка лючка подогревателя.

Подогреватель – форсуночный, с жаротрубным котлом; он установлен в силовом отделении и предназначен для нагревания охлаждающей жидкости, а также для разогрева масла в масляном баке двигателя и картера КП в зимний период (при температуре окружающего воздуха ниже 5 °С). Он состоит из котла и камеры сгорания.

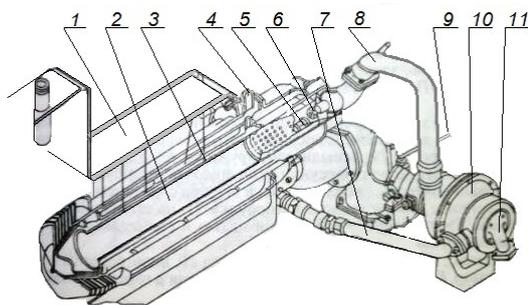


Рисунок 1. Схема подогревателя БМП-2:

1 – масляный бак, 2 – камера сгорания, 3 – продольные перегородки, 4 – патрубок отвода нагретой ОЖ из котла подогревателя, 5 – свеча накаливания, 6 – форсунка, 7 – трубопровод подвода ОЖ в котел подогревателя, 8 – трубопровод подвода воздуха с заслонкой, 9 – трубопровод подвода топлива, 10 – насосный узел, 11 – патрубок подвода ОЖ с системы охлаждения

Как видно на рисунке 1, подогреватель не обеспечивает подогрев воздушного заряда перед пуском двигателя в условиях низких температур².

¹ Исаков, П.П. Теория и конструкция танка. Том 4. Вопросы проектирования танковых силовых установок. – М.: Машиностроение, 1984. 348 с.

² Ивасенко, В.А. Боевая машина пехоты БМП-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть 2. – М.: Воениздат. – Москва, 2001, 320 с.

Боевая машина пехоты БМП-3. Система подогрева – комбинированная, с принудительной циркуляцией жидкости.

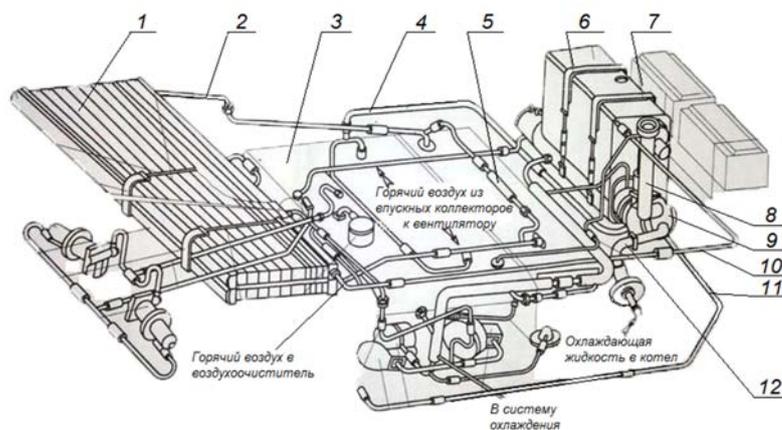


Рисунок 2. Схема БМП-3:

1 – масляный радиатор, воздухоочиститель, 2 – труба подвода масла, 3 – блок двигателя, 4 – труба отвода горячего воздуха от двигателя, 5 – перепускной клапан, 6 – бак масляный, 7 – блок аккумуляторных батарей, 8 – заливная горловина, 9 – котел подогревателя, 10 – труба слива масла в масляный бак, 11 – труба подвода горячего воздуха к двигателю, 12 – трубопровод охлаждающей жидкости

Подогреватель – форсуночный, с жаротрубным котлом; он установлен в силовом отделении и предназначен для нагревания охлаждающей жидкости и масла двигателя.

Котел подогревателя вмонтирован в масляный бак и в сборе с теплообменником закреплен на фланце передней стенки бака.

В состав котла подогревателя входит газоздушный теплообменник, он предназначен для подогрева впускного воздуха при пуске двигателя.

Теплообменник представляет собой кожух с пакетом трубок, соединенных патрубком с вентилятором и трубой с воздухоочистителем³.

Танк Т-72 и Т-90 (и их модификации). Система подогрева – жидкостная, с принудительной циркуляцией. В систему подогрева входят подогреватель, змеевики масляных баков, обогреваемые полости узлов двигателя, водяные рубашки маслозакачивающих насосов и трубопроводы.

³ Боевая машина пехоты БМП-3.Руководство по эксплуатации. Техническое описание Эр688-сб6-21РЭ: часть 1. – М. – Омск, 2001. 480 с.

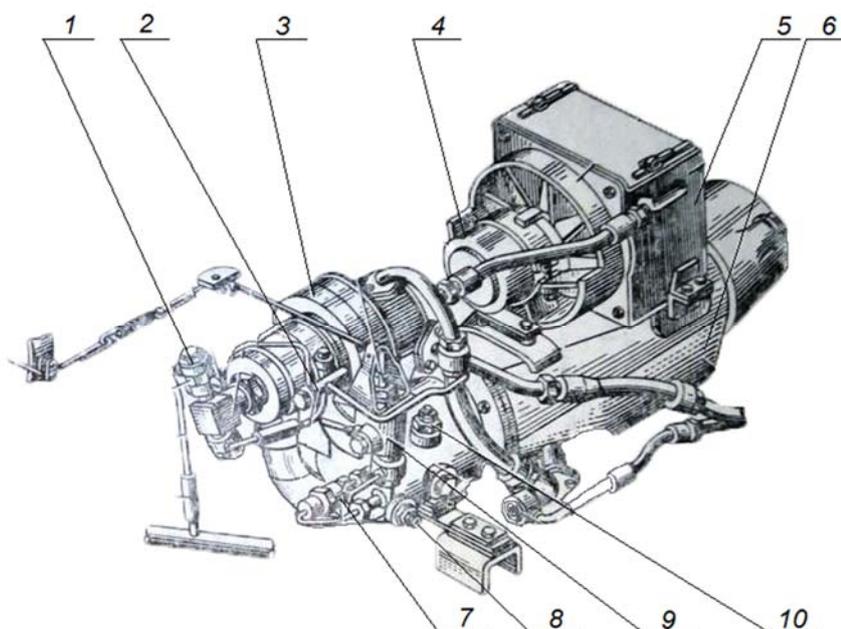


Рисунок 3. Схема подогревателя Т-72:

1 – перепускной клапан, 2 – фильтр, 3 – нагнетатель, 4 – электродвигатель обогревателя, 5 – радиатор обогревателя, 6 – котел, 7 – форсунка, 8 – свеча подогрева топлива, 9 – кран, 10 – свеча накаливания

Подогреватель – форсуночный, с жаротрубным котлом; он установлен в боевом отделении и предназначен для нагревания охлаждающей жидкости, а также для разогрева масла в основном масляном баке двигателя в зимний период (при температуре окружающего воздуха ниже 5° С). Он состоит из котла и камеры сгорания⁴.

Подогреватель не обеспечивает подогрев воздушного заряда перед пуском двигателя в условиях низких температур.

Предпусковые подогреватели зарубежного производства имеют аналогичную конструкцию и функциональность.

Двигатель танка «Леклерк» – UDV-8X 1500 имеет возможность пуска в условиях низких температур благодаря разогреву двигателя за короткое время автономным турбонагнетателем. Для хранения танку необходим специальный бокс с поддерживаемым микроклиматом⁵.

Для сравнения, компания Webasto выпускает две основных серии отопителей, первая из которых WebastoThermo Top (рисунок 4), используемая

⁴Танк Т-72А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Книга вторая. – М.: Воениздат. – Москва. 1989. 508 с.

⁵Беспалов, С.И. Информационный бюллетень по зарубежным материалам (бронетанковая техника). Издание № 2 (32). М.: Воениздат, 1994. 320 с.

для установки на легковые автомобили, а отопители второй серии предназначены для грузовых автомобилей, автобусов и судов⁶.



Рисунок 4. Предпусковой подогреватель WebastoThermoTop:

1 – отводящий патрубок жидкости; 2 – подводящий патрубок жидкости;
3 – датчики температур; 4 – забор воздуха; 5 – крыльчатка нагнетателя воздуха;
6 – топливоподводящий трубопровод; 7 – выход продуктов сгорания форсунки;
8 – камера сгорания; 9 – рубашка охлаждения

Серия отопителей для дизелей повышенного рабочего объема характеризуется большей мощностью, имеет плавную регулировку ее величины. Теплообменник отопителя подключается к системе охлаждения, топливная система к прямому или обратному топливопроводу, либо баку автомобиля, а электрические компоненты к бортовой сети.

Жидкостной отопитель GBW300 на газовом топливе – специальная разработка для растущего рынка автобусов и специальной техники, работающих на природном газе. Создан на базе хорошо зарекомендовавших себя дизельных отопителей и обладает характерными для них компактностью и низким уровнем шума⁶.

Ввиду тенденции продукции двойного назначения, можно сделать вывод о глубоком использовании технологий предпускового подогрева данной компании в военно-промышленном комплексе БТВТ блока НАТО.

В основе же работы электрических подогревателей лежат два хорошо известных физических явления: подогрев с помощью электрической энергии и теплообмен в жидкой среде, называемый конвекцией. Подогреватели обычно

⁶ Найман, В.С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях. – М.: АСТ Астрель. 2007. 213 с.

представляют собой ТЭН, установленные в баках систем охлаждения и смазки (рисунок 5). Так как емкости АКБ недостаточно для нагрева, часто используется внешняя сеть, что снижает автономность транспортных средств специального назначения. Поэтому целесообразно объединять электрические подогреватели и другие средства предпусковой подготовки в единую систему с автоматическим управлением, имея при этом стационарные источники питания⁶.



Рисунок 5. Подогреватели трубчатой конструкции:

а) – компании Calix; б) – компании DEFA; в) – компании «Лидер»

Как показал анализ, существующие средства предпусковой подготовки не в полной мере удовлетворяют требованиям, которые к ним предъявляются по времени подготовки к пуску, выходу на режим рабочей нагрузки, продолжительности работы средств предпусковой подготовки и предельным температурам пуска. Основным назначением предпусковых подогревателей является повышение теплового состояния двигателя с целью уменьшения момента сопротивления, создаваемого трущимися парами, выставление тепловых зазоров, а также создание условий для надежного воспламенения рабочей смеси.

На основании проведенного анализа основные положения, направленные на обеспечение надежного пуска дизелей объектов БТВТ можно сформулировать так:

1. Необходимость использования комплексного подхода к подогреву двигателя, то есть повышение температуры двигателя, как моторного масла и охлаждающей жидкости, так и воздушного заряда (обеспечивая температуру в конце такта сжатия, необходимую для надежного воспламенения рабочей смеси) и топлива (для качественного распыливания в цилиндре).

2. Применение в процессе подогрева средств автоматизации, программного обеспечения, исключая «человеческий» фактор, не допуская при этом перерасхода энергии.

3. Необходимость использования дополнительных энергоагрегатов, пуск которых не представляет трудностей от бортовой сети объекта в условиях низких температур.

4. Необходимость использования аккумуляторных батарей повышенной емкости, используя устройства их подогрева (поддержания в рабочем состоянии).

Данные предложения объясняется тем, что комплекс мероприятий по облегчению пуска позволяет сформировать более ясную картину по поддержанию объектов БТВТ в постоянной боевой готовности, сохраняя при этом ресурс дизельных двигателей.

Вывод. При всем многообразии средств предпусковой подготовки дизелей объектов бронетанкового вооружения и военной техники, существующие системы и устройства обеспечения надежного пуска не в полной мере удовлетворяют требованиям, которые к ним предъявляются по времени подготовки к пуску, выходу на режим рабочей нагрузки, продолжительности работы средств облегчения пуска и предельным температурам пуска. Для решения этих проблем необходим комплексный подход, заключающийся во всестороннем повышении теплового состояния двигателя, улучшении процесса смесеобразования, поддерживая при этом объекты бронетанкового вооружения и военной техники в постоянной готовности к выполнению поставленных задач.

СОГЛАСОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ С ПАРАМЕТРАМИ ТОПЛИВНОГО ФАКЕЛА ДВИГАТЕЛЯ ЧН13/14 С ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРОЙ COMMON RAIL

С.П. Кулманаков – к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

С.С. Кулманаков – к.т.н., инженер по наладке и испытаниям, ООО «Абит» г. Санкт Петербург

Аннотация

В статье представлены особенности организации смесеобразования в дизеле, а также результаты исследований по определению оптимальных параметров конструкции распылителя для дизеля размерностью 13/14 с камерой типа ЯМЗ и топливной аппаратурой Common Rail.

Введение. В двигателях с воспламенением от сжатия на процессы смесеобразования, происходящие непосредственно в цилиндре, отводится короткий промежуток времени 0,05–0,001 с, зависящий от частоты вращения коленчатого вала¹. Основной задачей смесеобразования является организация оптимального тепловыделения в цилиндре дизеля, под которым надо понимать такой характер сгорания топлива, который обеспечивает максимально экономичный цикл при допустимой динамике тепловыделения в начальный период горения, определяющей ресурс работы двигателя². Связь динамики тепловыделения с экономичностью цикла может быть установлена на основании анализа цикла дизеля.

Методика исследования. В работе³, рассматривая проблему интенсивного, полного и своевременного сгорания, авторы приходят к мнению, что необходимо добиваться максимальной однородности смеси, так как процесс горения вообще может совершаться только в газовой фазе, а процессы воспламенения и горения часто перекрывают смешение, часть топлива остается не перемешанной с воздухом и догорает медленно и не эффективно с образованием сажи. Сажеобразование в дизеле при $\alpha \gg 1$ связано с расслоением заряда по составу и наличием обогащенных зон, или с диффузионным горением, которое характеризуется смешением в зоне пламени⁴. Эти случаи наблюдаются

¹ Дьяченко, Н.Х. Теория двигателей внутреннего сгорания. – Л.: Машиностроение. – 1974. 551 с.

² Файнлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справочник. – Л.: Машиностроение. – 1990. 352 с.

³ Свиридов, Ю.Б. Гомогенизация топливовоздушной смеси – основа прогресса ДВС // Двигателестроение. – 1982. – № 1. – С. 3–7.

⁴ Свиридов, Ю.Б. Смесеобразование и сгорание в дизелях. Л.: Машиностроение, 1972. 224 с.

как при недостаточно интенсивном смесеобразовании, так и при малом времени на смесеобразование. Высокая скорость смесеобразования достигается при оптимальном распределении топлива в камере сгорания, т. е. при детальном подборе геометрии факела топлива к форме камеры сгорания⁵, при мелком распыливании топлива и при интенсивном завихрении и турбулизации среды: завихрение способствует макросмешению, а турбулентность – микросмешению паров топлива с воздухом. Немаловажное значение имеет также структура спектра турбулентных пульсаций, определяющая соотношение размеров различных масштабов пульсаций⁶. Другими словами, необходимо, чтобы после начала воспламенения и окончания периода быстрого горения испарение топлива и смешение его паров с воздухом происходило с максимально возможной скоростью. Процесс должен быть организован таким образом, чтобы к каждому элементу топлива было подведено необходимое для его полного сгорания количество кислорода, а продукты сгорания были удалены из зоны горения.

Настройка процесса смесеобразования и сгорания, качество которого оценивается по достижению желаемых показателей двигателя по расходу топлива, токсичности ОГ и др., при создании двигателя сводится к выбору конкретных конструктивных размеров и характеристик деталей и систем. Это размеры и характеристики топливного насоса и распылителя (диаметр и ход плунжера ТН; диаметры сопловых отверстий распылителя и их число, эффективное проходное сечение (μf), углы в шатре и плане, положение распылителя по камере сгорания); камера сгорания и пространство сжатия в ВМТ (диаметр горловины, скорость воздушного заряда, величина надпоршневого зазора, соотношение объемов КС и всего объема при положении поршня в ВМТ, степень сжатия) и пр.

Объект и результаты исследования. Выбор конструктивных параметров в значительной степени зависит от реализуемого способа смесеобразования. Учитывая современную тенденцию, ориентирующую на увеличение доли объемного смесеобразования при увеличении давления впрыскиваемого топлива было предложено для исследуемого дизеля семейства ОАО «ПО АМЗ» размерностью 13/14 с камерой типа ЯМЗ:

⁵ Матиевский, Д.Д. Динамика топливно-воздушного факела дизеля // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2003. – №3. – С. 78–84.

⁶ Файнлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: справочник. – Л.: Машиностроение. – 1990. 352 с.

– перейти на индивидуальную 4-клапанную головку с повышенным коэффициентом наполнения и меньшим моментом закрутки воздушного потока в цилиндре двигателя;

– принять центральное (по цилиндру) положение камеры сгорания и форсунки для осуществления осесимметричного смесеобразования;

– увеличить число сопловых отверстий распылителя с 4 до 6 для уменьшения дальнобойности топливного факела,

– обеспечить минимальный надпоршневой зазор и соотношение объемов $V_{КС}/V_C$ не менее 0,8.

При разработке программы исследований по настройке процесса смесеобразования были приняты во внимание следующие результаты исследований:

– топливного факела по отпечаткам на поверхности камеры сгорания, которые показали, что для КС с диаметром горловины 72 мм, топливный факел попадает на стенку КС;

– яркостных зон струи распыленного топлива, иллюстрирующих удаление наиболее плотных слоев струи от носка распылителя по ходу струи к периферии КС при увеличении давления впрыскивания;

– динамики развития топливного факела с возрастающей дальнобойностью при увеличении давления впрыскивания.

На основании этих исследований принято решение об увеличении диаметра горловины КС с 72 до 85 мм. Переход на бóльший диаметр горловины ведет за собой необходимость корректировки углов сопловых отверстий распылителя в шатре и μ_f распылителя. С целью оптимизации был испытан ряд распылителей со следующими параметрами:

1) все распылители предназначены для центрального расположения относительно камеры сгорания, и имеют по 6 сопловых отверстий, расположенных равномерно по окружности;

2) эффективное проходное сечение испытанных распылителей – 0,223; 0,23; 0,25 мм²;

3) угол в шатре распылителей составлял – 156, 159, 162 и 165 градусов.

Испытания проводились при снятии нагрузочных характеристик при номинальной частоте вращения 1750 мин⁻¹. Сначала менялось эффективное проходное сечение испытанных распылителей при неизменном угле шатра,

затем менялся угол в шатре при неизменном эффективном проходном сечении испытанных распылителей.

На рисунке 1 представлена регулировочная характеристика по эффективному проходному сечению на номинальном режиме.

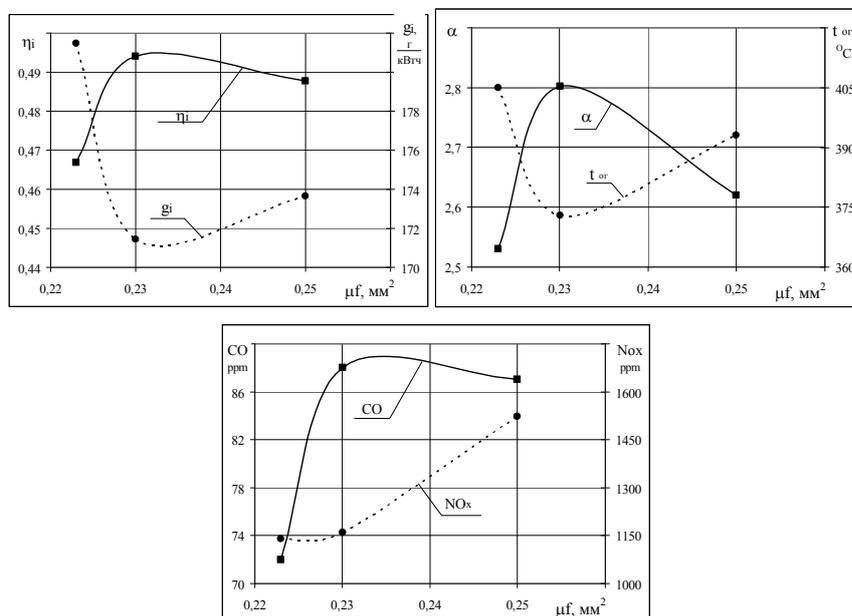


Рисунок 1. Регулировочная характеристика по эффективному проходному сечению распылителя

Величина эффективного проходного сечения будет оказывать влияние, прежде всего, на размеры капель и геометрические параметры топливного факела: дальность и угол раскрытия. Эти параметры, в большей степени, отражаются на однородности топливо-воздушной смеси, и будут определять интенсивность процесса сгорания. Оптимальный размер эффективного проходного сечения для дизельного топлива соответствует $0,23 \text{ мм}^2$. В этом случае обеспечивается максимальный индикаторный КПД, равный 0,494, минимальная температура отработавших газов, при низком значении выбросов окислов азота.

Значение угла в шатре распылителя будет определять положение пятна контакта топливного факела на стенке камеры сгорания. В зависимости от этого будет изменяться доля топлива, сгорающего в объеме камеры сгорания или по пленочному механизму на стенке КС. Результаты влияния угла шатра приведены на рисунке 2.

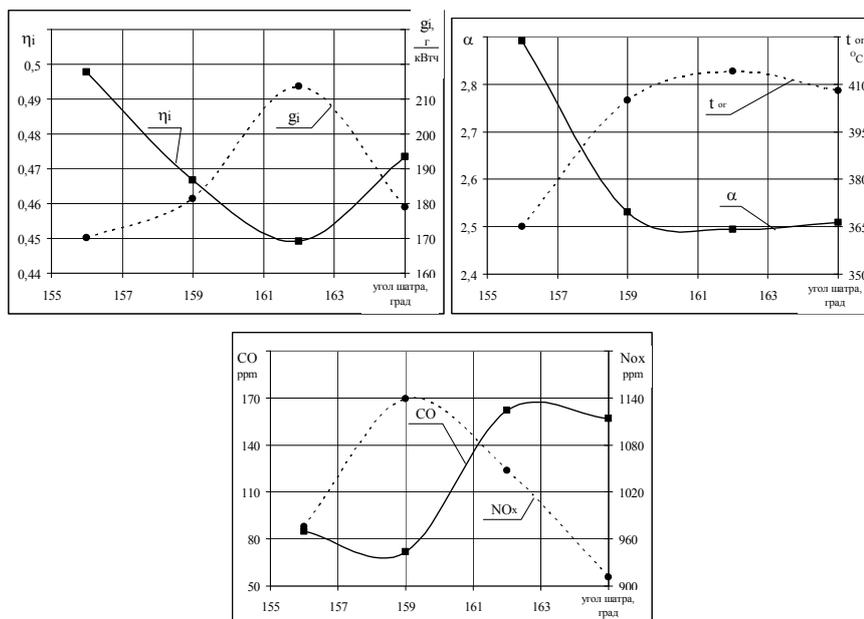


Рисунок 2. Регулировочная характеристика по влиянию угла шатра распылителя

Данный параметр в гораздо большей степени влияет на показатели рабочего цикла по сравнению с эффективным проходным сечением распылителя. Изменение КПД составляет 0,449–0,498. Оптимальное значение угла топливного шатра составляет 156° . При этом температура отработавших газов и значения вредных выбросов – окислов азота и окиси углерода, имеют минимальные значения.

Выводы. на основании проведенных исследований по оценке влияния геометрических параметров распылителя, можно сделать констатировать следующее:

1. Выбор величины эффективного проходного сечения $0,23 \text{ мм}^2$, при использовании дизельного топлива, за счет получения большей однородности топливо-воздушной смеси, позволяет повысить индикаторный КПД до уровня 0,494 (улучшить на 6%) при низких значениях температуры отработавших газов и выбросов окислов азота.

2. Выбор угла шатра распылителя, за счет изменения соотношения топлива сгорающего в объеме камеры сгорания и по пленочному механизму на стенке КС, гораздо в более сильной степени влияет на показатели рабочего процесса. Выбор значения угла шатра 156° позволяет повысить индикаторный КПД до значения 0,498 (улучшить на 10%) и улучшить экологические показатели по окислам азота на 15%, по окиси углерода до 50%.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПРИСПОСОБЛЯЕМОСТИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОТОРНО-ТРАНСМИССИОННОГО АГРЕГАТА

Г.Д. Матиевский – к.т.н., доцент кафедры «Организация и безопасность движения», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

А.Е. Свистула – д.т.н., зав. кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

М.А. Шишколова – магистрант Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Аннотация

Приведены результаты расчетно-экспериментального исследования работы дизеля по скоростной характеристике постоянной мощности. Предлагается зависимость для получения требуемого коэффициента приспособляемости. Рассмотрены условия обеспечения коэффициента приспособляемости 1,4.

Введение. Разнообразие применений моторно-трансмиссионных агрегатов (МТА) предопределяет наличие классов машин, для которых двигатель и трансмиссия должны обладать определенными свойствами, обеспечивающими наиболее эффективное выполнение заданного набора операций. Каждому классу МТА соответствует набор специфических условий нагрузки, которые характеризуются средними величинами амплитуды и частоты изменения момента сопротивления. В реальных условиях момент сопротивления является величиной не постоянной и зависит от природно-климатических зон в которых функционирует автотранспортное средство.

В результате этого двигатели значительную часть времени работают на неустановившихся и переходных режимах, связанных с частыми изменениями скоростного и нагрузочного режимов работы. В тоже время, свойства дизелей при работе на переменных нагрузках не соответствуют реализации их возможностей по энергоотдаче и топливной экономичности. В основном это обусловлено нелинейностью скоростной характеристики в области перехода с регуляторной на корректорную ветвь и низкими значениями коэффициента приспособляемости дизеля, что предопределено особенностями его рабочего процесса и системы регулирования подачи топлива. На корректорной ветви внешней скоростной характеристики дизель недостаточно приспособлен к

переменным нагрузкам и имеет относительно низкий средний уровень мощности.

Объект исследования. Объектом исследования служила моторно-трансмиссионная установка (МТУ) машинного агрегата. Свойства и конструктивное исполнение МТУ определяют приспособляемость машинного агрегата к переменной нагрузке, надежность работы, простоту и легкость управления, безопасность движения и другие эксплуатационные качества, влияющие на показатели производительности МТА. Обеспечение соответствия энергетических и регулирующих свойств МТУ назначению и условиям эксплуатации МТА – главная задача, сложность которой обусловлена рядом факторов¹:

– универсальность современных МТА, т. е. обеспечение одним МТА комплекса работ, различающихся технологическими процессами;

– эксплуатация МТА во всех климатических зонах с разнообразными почвенно-грунтовыми условиями;

– воздействие на МТА непрерывно изменяющегося внешнего момента сопротивления, значение и характер которого зависит от вида операций, состава грунта, состояний окружающей среды и многих других факторов.

Таким образом, видно, что МТУ должны обладать широкими регулируемыми свойствами, значительно превышающими потребности в каждом конкретном случае его использования.

Применения двигателей постоянной мощности (ДПМ) является эффективным решением перечисленных выше особенностей эксплуатации МТА.

Результаты исследования. Для получения более высоких значений постоянной мощности, вплоть до номинальной, и коэффициента приспособляемости $K_p \geq 1,4$, существующий дизель необходимо модернизировать. Так обычно и поступают, а не создают новое производство ДПМ².

Модернизация должна обеспечить расширение поля возможных режимов работы путем «сдвига» перегрузочной ветви в область пониженных оборотов

¹ Снижение расхода топлива и вредных выбросов тракторного дизеля (монография). // Изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing; – 2016. 210 с.

² Свистула А.Е. Оптимизация скоростного режима дизеля по характеристике постоянной мощности // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Т. 4. – № 16. – С. 225–230.

мероприятиями, обеспечивающими увеличение не только цикловой подачи топлива, но и циклового расхода воздуха на этих частотах, что позволит ввести характеристику более высокой постоянной мощности в поле возможных режимов работы дизеля. Кардинально решение такой задачи осуществляется применением наддува для дизелей без наддува или более высокого наддува для существующего дизеля с наддувом с соответствующей его (наддува) настройкой в сочетании с рядом других мероприятий: оптимизация угла опережения и давления впрыска топлива, фаз газораспределения, динамического наддува и пр. То есть, по сути, на базе серийного дизеля создается модернизированный с более высокой номинальной мощностью, работающий в режиме ДПМ на номинальной частоте n_n с недогрузкой по номинальной мощности, но обеспечивающий поддержание постоянного заданного уровня мощности с уменьшением частоты n и высокое значение коэффициента приспособляемости, как видно из рисунка 1³.

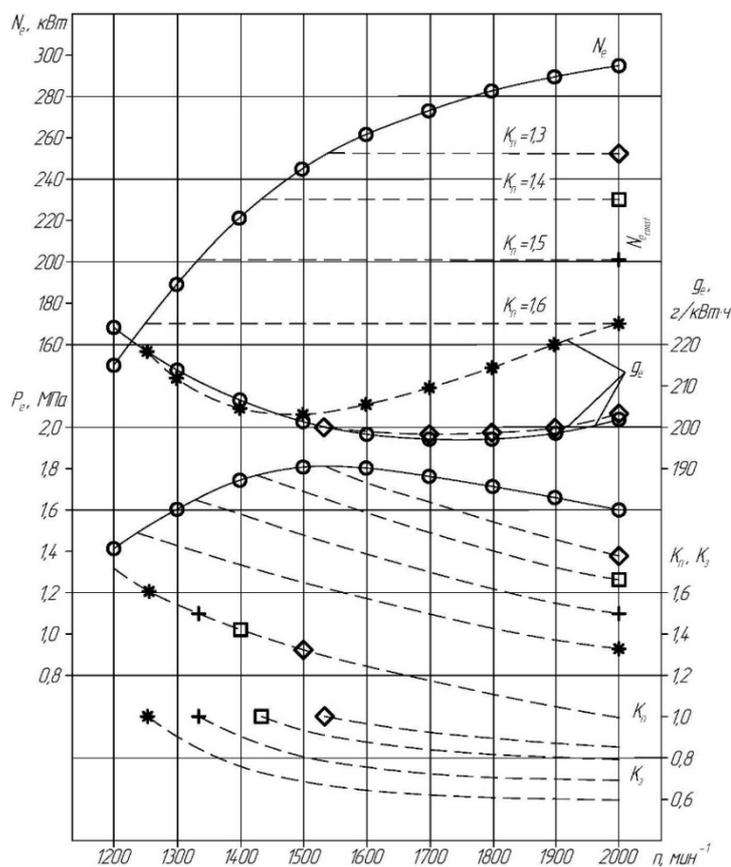


Рисунок 1. Скоростные характеристики дизеля 6ЧН13/14:

внешняя —○— , постоянной мощности при $N_e \text{ const}$:

—◇— 250 кВт; —□— 230 кВт; —+— 200 кВт; —*— 170 кВт

³ Свистула, А.Е., Матиевский, Г.Д. Двойная подача топлива в дизеле с топливной системой непосредственного действия разделенного типа // Ползуновский вестник. – 2009. – № 4. – С. 166–172.

Исследования по скоростной характеристике постоянной мощности предпочтительнее для решения следующих вопросов: установление зависимости коэффициента приспособляемости K_n от уровня заданной постоянной мощности и величины мощности, при котором коэффициент K_n достигает значения 1,4; анализ изменения удельного эффективного расхода топлива g_e , и определение оптимальной частоты n_{opt} по минимальному расходу g_e и диапазона мощностей, в котором целесообразна настройка частоты на n_{opt} ; закономерность изменения расхода топлива (часового или циклового) и воздуха, как управляющих параметров обеспечения $N_e = const$ ⁴.

Использование скоростных характеристик предпочтительнее для проведения анализа по выяснению выше поставленных вопросов практического характера⁵. Проведем такой анализ по графикам на рисунке. Здесь представлена корректорная (перегрузочная) ветвь внешней скоростной характеристики, ограниченная по частоте вращения слева минимально устойчивой частотой под нагрузкой, справа – номинальной частотой. Площадь под корректорной ветвью является полем возможных режимов работы. Каждый из этих режимов обеспечен расходом топлива и расходом воздуха. Поэтому принципиально нет ограничений в создании скоростных характеристик с заданным значением постоянной мощности только управлением подачей топлива.

Характеристики $N_e = const$ имеют свой диапазон изменения по частоте n , ограничиваемый точками, лежащими на корректорной ветви с n_m и на номинальной частоте с n_n . При частоте n_m загрузка двигателя оценивается отношением мощности N_{econst} к мощности на ВСХ, названным коэффициентом загрузки K_3 , в данном случае равным 1, при n_n – минимальным. Диапазон частот n_m – n_n с увеличением значения постоянной мощности сокращается и при $N_e = N_{en}$, когда $n_m = n_n$, вырождается в нуль, соответственно отношение $n_m/n_n = 1$ ⁶.

Для каждой характеристики $N_e = const$ увеличение крутящего момента (или среднего эффективного давления P_e) с уменьшением частоты n описывает выражение

⁴ Матиевский, Г.Д. Построение характеристики постоянной мощности дизеля // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – Т. 5. – № 12. – (115). – С. 51–54.

⁵ Свистула, А.Е., Матиевский, Г.Д. Исследование оптимизационной скоростной характеристики двигателя постоянной мощности // Двигатели внутреннего сгорания. – 2011. – № 2. – С. 46–49.

⁶ Свистула, А.Е., Матиевский, Г.Д., Некрасова, М.А. Снижение расхода топлива путём оптимизации скоростного режима работы дизеля // Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых. – 2016. – Т. 4. – № 1. – С. 262–266.

$$P_e = P_{ен} \cdot \frac{n_n}{n}. \quad (1)$$

То есть значение P_e растет обратно пропорционально снижению частоты n . Наибольшее значение $P_e = P_{ем}$, а, следовательно, и отношение $P_e/P_{ен}$ соответствует режимам корректорной ветви, для которых

$$P_e/P_{ен} = P_{ем}/P_{ен} = n_n/n_m = K_{п}. \quad (2)$$

Здесь $K_{п}$ – условно коэффициент приспособляемости по крутящему моменту для ХПМ имеет значение, обратное значению коэффициента

$$\text{приспособляемости по скорости } K_c = \frac{n_m}{n_n}.$$

График изменения коэффициента приспособляемости $K_{п}$ по частоте n на рисунке является единым для всей совокупности характеристик постоянной мощности, так как его величина зависит только от отношения частот (2). От уровня мощности зависит достигаемая величина коэффициента $K_{п}$ через значение частоты n_m и соответственно диапазона ее изменения n_m-n_n . С увеличением значения мощности коэффициент $K_{п}$ снижается (при $N_{ем} = N_{ен}$, $K_{п} = 1$), с уменьшением – возрастает. В последнем случае рост коэффициента $K_{п}$ связан не столько с увеличением давления $P_{ем}$ перегрузочной ветви, сколько с существенным уменьшением давления $P_{ен}$ на номинальной частоте (см. рисунок)⁷.

Поиск значения мощности, соответствующей заданному коэффициенту приспособляемости $K_{п}$, по известной внешней скоростной характеристике $N_{ем} = f(n)$, представленной в графическом виде, осуществляется таким образом. Строится кривая коэффициента приспособляемости как отношение n_n/n_m . Находится заданное значение $K_{п}$, и фиксируется соответствующая ему мощность на внешней скоростной характеристике (см. рисунок). Она и является тем порогом, ниже которого обеспечивается коэффициент $K_{п}$ больше заданного, выше – меньше заданного.

Применительно к рассматриваемому дизелю в соответствии с графиком $K = f(n)$ на рисунке условие $K_{п} = 1,4$ выполняется для значения мощности $N_e = 230$ кВт, что составляет около 80% от номинальной мощности⁸.

⁷ Свистула, А.Е., Матиевский, Г.Д. Оптимизационная скоростная характеристика двигателя // Вестник Сибирского отделения академии военных наук. – 2011. – № 10. – С. 111–117.

⁸ Матиевский, Г.Д. Оценка снижения уровня вредных выбросов отработавших газов дизеля при работе по оптимизационной характеристике // Современные транспортные технологии: задачи, проблемы, решения

В более общем виде задача об определении или о снижении мощности двигателя по отношению к номинальной из условия обеспечения коэффициента приспособляемости $K_{\pi} \geq 1,4$ решается при использовании эмпирических выражений, описывающих изменения мощности двигателя по корректорной ветви внешней скоростной характеристики. Эти выражения обычно имеют следующий вид

$$N_e = N_{e_{ном}} \left[\beta \left(\frac{n}{n_n} \right) + \delta \left(\frac{n}{n_n} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_n} \right)^3 \right], \quad (3)$$

где β и δ – эмпирические коэффициенты, которые выбираются в зависимости от особенностей дизеля, например, смесеобразования⁹.

Заменим в выражении отношение номинальной частоты n_n к текущей частоте n , которое при условии $N_e = const$ представляет текущий коэффициент приспособляемости K_{π} (см. рисунок 1). Получим выражение, связывающее изменение относительной мощности $N_e / N_{e_{ном}}$ по внешней скоростной характеристике с коэффициентом приспособляемости K_{π} по характеристике постоянной мощности

$$\frac{N_e}{N_{e_{ном}}} = \left[\beta \left(\frac{1}{K_{\pi}} \right) + \delta \left(\frac{1}{K_{\pi}} \right)^2 - \left(\frac{1}{K_{\pi}} \right)^3 \right]. \quad (4)$$

Примем значение $K_{\pi} = 1,4$, тогда

$$\frac{N_{e_{1,4}}}{N_{en}} = 0,714 \cdot \beta + 0,510 \cdot \delta - 0,364.$$

Здесь $N_{e_{1,4}}$ – постоянное значение мощности двигателя в диапазоне частот $n_n - n_m$, при котором обеспечивается коэффициент приспособляемости равный 1,4, а дробь $N_{e_{1,4}} / N_{e_{ном}}$ – снижение мощности по отношению к номинальной.

Расчеты показали, что перевод дизеля с непосредственным впрыском топлива, вихрекамерным или предкамерным смесеобразованием в режим постоянной мощности с обеспечением коэффициента приспособляемости 1,4 возможен при условии постоянной мощности (75–80)% от номинальной.

Сборник трудов Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов, 2017. С. 90–94.

⁹ Свистула, А.Е., Матиевский, Г.Д. Повышение экономичности и снижение вредных выбросов дизеля на режимах постоянной мощности // Ползуновский вестник. – 2012. – № 3–1. – С. 113–117.

При уровне постоянной мощности близкой или равной номинальному значению, величина $K_n \ll 1,4$, для его увеличения необходимо ослабить падение индикаторного КПД с понижением частоты n , главным образом, за счет увеличения расхода воздуха. Последнее можно осуществить только в двигателе с регулируемым наддувом.

Выводы. График изменения коэффициента приспособляемости K_n по частоте n на рисунке является единым для всей совокупности характеристик постоянной мощности, так как его величина зависит только от отношения частот. От уровня мощности зависит достигаемая величина коэффициента K_n через значение частоты n_m и соответственно диапазона ее изменения $n_m - n_n$. С увеличением значения мощности коэффициент K_n снижается (при $N_{em} = N_{en}$, $K_n = 1$), с уменьшением – возрастает. В последнем случае рост коэффициента K_n связан не столько с увеличением давления P_{em} перегрузочной ветви, сколько с существенным уменьшением давления P_{en} на номинальной частоте (см. рисунок).

Для получения более высоких значений постоянной мощности, вплоть до номинальной, и коэффициента приспособляемости $K_n \geq 1,4$, (обеспечит высокую конкурентоспособность) с существующим дизелем необходимо выполнить ряд технических мероприятий, связанных с совершенствованием ДПМ. В совокупности все изложенные аспекты будут влиять не только на повышение ресурса двигателя, но и на такие важные показатели как расход топлива, сроки проведения ремонтов и технического обслуживания, а также экологические вопросы, связанные с эксплуатацией.

ВОЗМОЖНЫЙ ПУТЬ ПОВЫШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Е.А. Омельченко – к.т.н., начальник кафедры «Эксплуатация и вождение военных гусеничных и колёсных машин», Омский автобронетанковый инженерный институт

Аннотация

Показана возможность повышения удельных мощностных и экономических показателей поршневых двигателей внутреннего сгорания за счет организации шеститактового рабочего процесса. В таком двигателе первый, второй и третий такты такого двигателя (впуск, сжатие, рабочий ход) ничем не отличаются от первых трёх тактов обычного четырехтактного. После рабочего хода отработавшие газы не выпускаются из цилиндра и следует четвертый такт – такт повторного сжатия (в цилиндре сжимаются отработавшие газы). В конце этого процесса, через отдельную форсунку, в объём камеры сжатия цилиндра двигателя под высоким давлением впрыскивается вода, которая переходит в состояние перегретого пара, под давления пара, смешанного с продуктами сгорания, поршень совершает ещё один рабочий ход (пятый такт). Завершает цикл шестой такт выпуска.

Введение. Повышение мощностных и экономических показателей силовых установок военных гусеничных и колёсных машин без изменения их массо-габаритных показателей является актуальнейшей задачей, решение которой позволяет увеличить запас хода объекта и возимый на нём боекомплект.

Одним из путей достижения этой цели является более полное использование энергии топлива, потребляемого поршневыми двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В таблице приведены основные составляющие энергетического баланса поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания.

Как видно, значительную часть «потерь» энергии в двигателях составляют «потери», связанные с неполнотой сгорания, отводимые в форме теплоты в систему охлаждения и рассеиваемые затем в окружающую среду с поверхностей двигателя и с отработавшими газами (ОГ).

Объектом исследования в настоящей работе являлся рабочий процесс поршневого ДВС, в котором для более полного использования энергии, которая могла бы выделиться в форме теплоты при полном сгорании находящегося в цилиндре топлива и энергии, которая была бы выброшена в окружающую среду с ОГ, на наш взгляд, целесообразно использовать шеститактный комбинированный двигатель с новым рабочим процессом.

Таблица 1 – Основные составляющие энергетического баланса поршневых и комбинированных двигателей внутреннего сгорания при их работе на режиме номинальной мощности¹ (в процентах от теплоты сгорания использованного топлива)

Тип двигателя	Составляющие баланса				
	Эффективная работа	«Потери» с отработавшим и газами	«Потери» с поверхности двигателя и его систем	«Потери», обусловленные неполнотой сгорания топлива	Остальные «потери»
С принудительным воспламенением	21–28	30–35	15–37	0–45	3-10
Дизели:					
– без наддува;	29–42	25–45	17–40	10–25	2-5
– с наддувом.	35–45	25–45	12–30	10–25	2-5

Первый, второй и третий такты такого двигателя ничем не отличаются от первых трёх тактов обычного поршневого ДВС (впуск, сжатие, рабочий ход). После рабочего хода ОГ не выпускаются из цилиндра (выпускной клапан не открывается). Следует четвертый такт – такт повторного сжатия (в цилиндре сжимаются ОГ). В конце этого процесса, через отдельную форсунку, в объём камеры сжатия цилиндра двигателя под высоким давлением впрыскивается вода. Далее вода переходит в состояние перегретого пара. Под воздействием давления пара, смешанного с продуктами сгорания, поршень совершает ещё один рабочий ход (пятый такт). Завершает цикл шестой такт выпуска.

Индикаторная диаграмма шеститактного цикла представлена на рисунке 1.

Шеститактный цикл позволит дополнительно использовать следующие составляющие энергетического баланса ДВС:

$Q_{ог}$ – часть внутренней энергии, уходящей из цилиндра в форме теплоты с ОГ;

$Q_{нс}$ – «потери» энергии в форме теплоты, обусловленные неполнотой сгорания топлива;

$Q_{охл}$ – часть внутренней энергии, отводимой в форме теплоты в систему охлаждения и рассеиваемой затем в окружающую среду с поверхностями двигателя.

¹ Двигатели внутреннего сгорания. Кн.1. Теория рабочих процессов – М.: Высш. шк., 2005. 368 с.

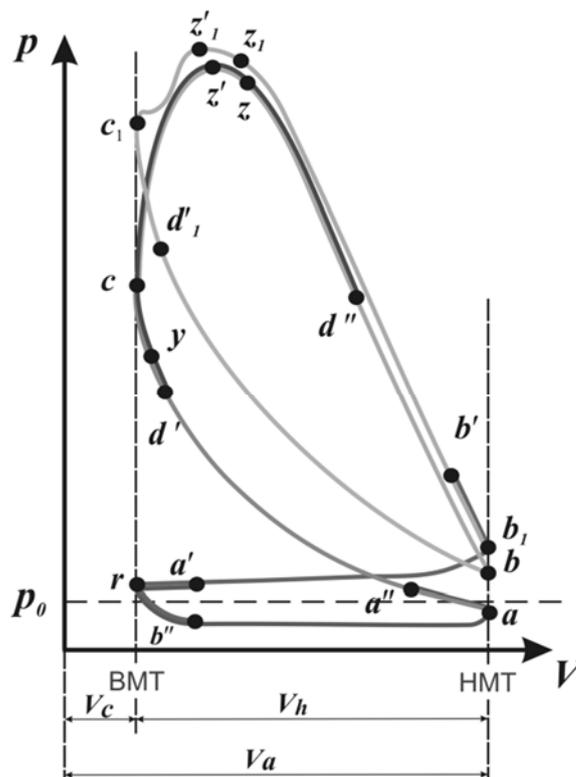


Рисунок 1. Свёрнутая индикаторная диаграмма шеститактного цикла

Для оценки эффективности дополнительных тактов и процессов (дополняющих четырёхтактный цикл) **использовался метод** термодинамического анализа. будет зависеть от количества нереализованной энергии в первых трёх процессах. Основными источниками совершения дополнительных процессов являются:

- энергия продуктов сгорания, оставшаяся после первого рабочего хода;
- энергия недоокислившихся углеводородов.

Результаты термодинамического **исследования.** Рассмотрим дополнительные процессы данного цикла.

Процесс сжатия продуктов сгорания (повторного сжатия). Когда поршень находится в НМТ (точка b), температура рабочего тела несколько выше температуры стенок внутрицилиндрового пространства. Это обуславливает передачу теплоты от рабочего тела окружающим деталям и наличие системы охлаждения. По мере движения поршня в направлении ВМТ температура рабочего тела постепенно увеличивается.

Разница температур рабочего тела и окружающих деталей, по сравнению с предыдущим процессом расширения, будет несколько меньше.

В ходе всего процесса сжатия температура рабочего тела будет выше, чем у окружающих его стенок, следовательно, будет происходить отвод теплоты от

сжимаемого газа к стенкам. Поэтому процесс сжатия должен уходить влево от адиабаты, проведенной через точку b . В тоже время рост температуры при сжатии указывает на то, что этот процесс должен располагаться выше изотермы.

Параметрами, характеризующими процесс сжатия, являются: степень сжатия ε , температура и давление рабочего тела в конце процесса (T_{c1} и p_{c1}).

Расчет величин давления и температуры в конце сжатия ведется по следующим формулам:

поскольку $pV^{n_3} = idem$, то $p_b V_b^{n_3} = p_{c1} V_{c1}^{n_3}$ и $p_{c1} = p_b \varepsilon^{n_3}$.

Аналогично

$$T_{c1} = T_b \varepsilon^{n_3 - 1}.$$

Очевидно, что при одинаковых параметрах в начале процесса (p_b и T_b), одной и той же степени сжатия особенности процесса сжатия определяются условиями энергообмена рабочего тела с внешними телами и, в первую очередь, условиями теплообмена. Проявляются эти условия через величину показателя политропы. Чем больше теплоты отводится от рабочего тела при его сжатии, тем меньше величина показателя политропы и наоборот.

Процесс смешения. Прежде чем описывать процесс смешения с парообразованием необходимо охарактеризовать все условия и параметры для воды и продуктов сгорания.

Вода должна впрыскиваться в цилиндр в предкритическом состоянии [давление 22–22,5 МПа и выше; температура 300–370° С (573–643 К)]. Данные параметры позволяют не тратить внутреннюю энергию продуктов сгорания на нагрев воды до температуры парообразования. Нагреть и поддерживать температуру воды в пределах 300–370° С без парообразования сложно с технической точки зрения. Поэтому ограничимся температурным диапазоном 90–100° С. Для достижения данных параметров воду можно сжимать плунжерным насосом высокого давления или в насос-форсунке. Давление начала поднятия иглы форсунки должно быть отрегулировано на 22–23 МПа. При увеличении давления, температура воды будет соответственно повышаться до 90–100° С.

В точке d'_1 процесса сжатия начинается подача воды через форсунку в цилиндр двигателя. В период d'_1-c_1 подаваемая в цилиндр вода нагревается продуктами сгорания до температуры парообразования.

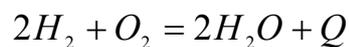
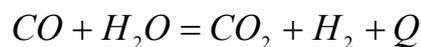
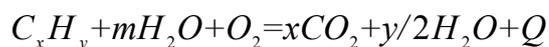
Нагрев подаваемой в цилиндр воды происходит за счёт внутренней энергии продуктов сгорания. Количество этой энергии можно определить, как сумму внутренней энергии, оставшейся после процесса расширения, (то, что

могло бы быть выброшено из цилиндра в процессе выпуска четырёхтактного цикла $b-r$) и энергии, полученной продуктами сгорания в процессе сжатия $b-c$:

$$U_{nc} = \Delta U_{b-r} + \Delta U_{b-c1}.$$

В начале периода $c1-z'1$ происходит парообразование - участок, показанный на индикаторной диаграмме (см. рисунок) непродолжительным прекращением увеличения давления в цилиндре. Далее пар продолжает перегреваться с увеличением давления в цилиндре до точки $z'1$. Давление и температура в точке $z'1$ определяются, как результирующие, при условии подведённой к воде теплоты в количестве: $Q'_{p1} = U_{nc}$.

Внутренняя энергия суммарного рабочего тела в цилиндре повышается на величину внутренней энергии впрыскиваемой в цилиндр воды. Дальнейший перегрев пара в периоде $z'1-z1$ осуществляется за счёт теплоты Q''_{p1} , получаемой в результате доокисления продуктов сгорания (углеводородов, угарного газа, сажи) и теплоты передаваемой от стенок деталей цилиндра. В связи с высокой температурой $600-700^\circ\text{C}$ в присутствии перегретого пара происходят окислительные реакции²:



Величину Q''_{p1} можно рассчитать, как количество теплоты, получаемой в первоначальном процессе сгорания, применив коэффициент доокисления, обратный коэффициенту эффективности сгорания $1/\xi = 0,1-0,4$; $Q''_{p1} = Q_m \frac{1}{\xi}$.

Суммарная внутренняя энергия продуктов сгорания и получаемая теплота, которые могут пойти на парообразование и перегрев пара, определяют количество воды (цикловую подачу воды), которое можно подать в цилиндр с учётом получения в цилиндре перегретого пара. Учитывая, что удельная массовая теплоёмкость воды в три раза выше, чем теплоёмкость продуктов сгорания, можно предположить, что количество подаваемой в цилиндр воды должно быть в три раза меньше количества продуктов сгорания. Но, принимая во внимание, что подаваемая в цилиндр вода уже обладает определенным количеством внутренней

² Хасанова, М.Л. Повышение экологической безопасности двигателей внутреннего сгорания за счет утилизации теплоты их отработавших газов: Дис. ... канд. техн. наук. - Челябинск, 2002. 171 с.

энергии, количество воды увеличим до соотношения 1:2. Таким образом, для процессов, происходящих с момента z'_1 , к общей массе рабочего тела в цилиндре можно применить коэффициент 1,5. Регулирование количества подаваемой в цилиндр воды (цикловой подачи воды) необходимо производить пропорционально количеству подаваемого топлива (цикловой подаче топлива), так как оно является единственным источником энергии ДВС и, в свою очередь, регулируется в зависимости от всех остальных параметров (количества воздуха, нагрузки, частоты вращения коленчатого вала двигателя и т. д.).

Очевидно, что чем больше внутренняя энергия продуктов сгорания, тем большее количество воды может участвовать в работе, а при неизменном количестве воды получим более высокую температуру в точках z'_1 и z_1 . Количество теплоты Q''_{p1} и температура в точке z_1 будут обратно пропорционально зависеть от эффективности смесеобразования и сгорания основного периода горения.

Процесс повторного расширения. Это второй процесс шеститактного рабочего цикла, в течение которого реализуется основное назначение двигателя – производство работы.

В рассматриваемом процессе можно выделить три характерных участка (см. рисунок): c_1-z_1 ; z_1-b' и $b'-b_1$.

На первом участке (c_1-z_1) расширение сопровождается парообразованием и доокислением углеводородов. В течение этого периода происходят процессы, описанные выше. Несмотря на увеличение объема рабочего тела, давление в цилиндре сначала остаётся неизменным, а температура понижается. Затем, давление, в связи с перегревом пара, начнёт возрастать, а температура, в результате доокисления продуктов сгорания, несколько повысится, p_{max} достигается в точке z'_1 . Точка z_1 характеризует конец процессов парообразования и доокисления.

Участок z_1-b' представляет собой «чистое» расширение, которое не сопровождается какими-либо другими процессами. На последнем участке ($b'-b_1$) расширение сопровождается выпуском из цилиндра отработавших продуктов.

Процесс расширения характеризуется сложным, непрерывно изменяющимся энергетическим балансом. Вначале расширение сопровождается интенсивным поглощением некоторого количества теплоты при парообразовании. Внутренняя энергия суммарного рабочего тела остаётся практически неизменной. Далее, до момента z_1 , к рабочему телу будет

подводиться энергия в виде теплоты от доокисления продуктов сгорания и отводиться в виде работы. После точки z_1 температура (а значит, и внутренняя энергия) суммарного рабочего тела начинает уменьшаться. Энергия уходит от рабочего тела и на микроуровне, и на макроуровне. За начало процесса расширения принимаем точку z_1 . Показатель политропы расширения n_4 выбираем таким, чтобы работа расширения равнялась работе, отведенной от продуктов сгорания в реальном процессе.

Очевидно, что при прочих одинаковых условиях работа, полученная от газа при расширении, тем больше, чем положе будет располагаться политропа расширения в координатах $p-V$, выходящая из точки z_1 , т.е., чем меньше будет величина показателя политропы n_4 . Последняя же определится условиями теплообмена между рабочим телом и стенками внутрицилиндрового пространства. Он в основном определяется: разницей температур рабочего тела и стенок; площадью поверхности теплообмена; временем контакта рабочего тела со стенками и утечками рабочего тела через зазоры между деталями, образующими камеру сгорания.

Процесс выпуска. Процесс выпуска аналогичен одноименному процессу четырехтактного двигателя и состоит из трех периодов: первый – свободный выпуск (линия $b'-b_1$), второй – принудительный выпуск (b_1-r), третий – запаздывание выпуска ($r-b''$).

Заключение. Подводя итоги проведенного исследования, можно констатировать, что количество используемой в шеститактном цикле, реализуемом в двигателе таких же массогабаритных показателей, что и четырехтактный, количество используемой теплоты увеличивается на составляющие Q'_{p1}, Q''_{p1} , а результирующая работа на составляющие $L_{b-c_1}, L_{z'_1-z_1}, L_{z_1-b_1}$.

Индикаторная работа шеститактного цикла будет больше чем у четырёхтактного. Это обеспечивает повышение удельной мощности поршневого ДВС и снижение удельного эффективного расхода топлива.

Дополнительные процессы шеститактного цикла позволяют предотвратить снижение мощности двигателя в целом, при каких-либо нарушениях основных процессов цикла, компенсируют ухудшение показателей первых трёх тактов и предотвращают увеличение токсичности его отработавших газов.

ВЛИЯНИЕ УГЛА СРЕЗА ВЫХОДНОГО ОТВЕРСТИЯ СОПЛА НА РАСПЫЛ СТРУИ ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ

Л.В. Плотников – к.т.н., доцент кафедры «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина.

Б.П. Жилкин – д.ф.-м.н., профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника», Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина.

Н.С. Кочев – аспирант, Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина.

М.О. Мисник – магистрант, Уральский федеральный университет имени первого Президента Б.Н. Ельцина.

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования изменения форм струй перегретых жидкостей при истечении через распыливающую насадку (форсунку), имеющую разную геометрическую конфигурацию. Показано, что форма струи в условиях адиабатного расширения зависит от величины перегрева, а также от геометрической конфигурации распыливающего отверстия. Установлено, что путем надлежащего сочетания степени перегрева и геометрии цилиндрического канала (со скосом или без) можно обеспечить согласование формы распыла струи жидкости с конфигурацией камеры сгорания поршневого ДВС.

Введение. Современная тенденция развития двигателестроения состоит в том, чтобы улучшать экономические и экологические характеристики энергетических установок на базе поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Организация процесса впрыска топлива, обеспечивающая высокое качество распыливания по всему объему камеры сгорания и во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя, во многом определяет эффективность работы поршневых ДВС. Известно, что требования к качеству распыливания топлива форсункой характеризуются равномерностью распределения топлива по объему камеры сгорания, а также мелкоствольностью и однородностью его дисперсии в струе распыла¹.

Одним из важнейших элементов системы топливоподачи ДВС является распылитель форсунки, формирующий струи с требуемыми геометрическими

¹ Свиридов, Ю.В. Смесеобразование и сгорание в дизелях. Л.: Машиностроение. 1972. 234 с.; Крутовой, В.А. Впрыск топлива в дизелях. – М.: Машиностроение, 1981. 119 с.; Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. – М.: Легион-Автодата, 2004. 344 с.

характеристиками, с определенной структурой и размерами капель. Важно, чтобы форма струи была согласована с геометрией камеры сгорания для равномерного распределения топлива по ее объему². При этом необходимо разрабатывать методы управления формой распыла топлива, поскольку ввиду серьезных компоновочных ограничений, инженер не всегда может установить форсунку в нужное место с точки зрения оптимального согласования формы распыла топлива и геометрии камеры сгорания.

Объект и методика исследования. В данной работе проведено экспериментальное исследование применения взрывного вскипания для распыла жидкости с помощью насадок (форсунок), имеющих разную геометрическую конфигурацию. Основная задача исследования состояла в поиске способа управления направлением (формой) распыла жидкости за счет изменения геометрических параметров распыливающего отверстия форсунки.

До подачи жидкости в форсунку осуществляется ее подогрев до температуры близкой к термодинамической критической для данного типа жидкости. Такой подогрев приводит к тому, что при попадании жидкости в камеру сгорания происходит вскипание, которое вызывает ее эффективное распыление и создает равномерное распределение жидкости по объему камеры сгорания. Для поршневых двигателей данный эффект может привести к более полному сгоранию топлива и, соответственно, росту мощности и снижению удельного расхода топлива.

На рисунке 1 показан разрез рабочей камеры экспериментальной установки, которая обеспечивает стационарное истечение жидкости в течение нескольких десятков секунд. Начальные состояния жидкости в рабочей камере изменялись вдоль линии насыщения или вдоль изобар и охватывали широкий диапазон параметров, включая условия взрывного вскипания (см. подробнее³). В данном исследовании рабочей жидкостью являлась вода.

На рисунке 2 представлены конфигурации распыливающих насадок с цилиндрическими каналами и их основные размеры.

² Марков, В.А. Расчетные исследования процесса топливоподачи дизеля, оснащенного распылителями форсунок с различной геометрией проточной части // Грузовик. – 2011. – №3. – С. 13–17.

³ Мажейко, Н.А. Влияние термических и геометрических факторов на распыл жидкости при взрывном вскипании // Тяжелое машиностроение. – 2014. – № 6. – С. 35–40.

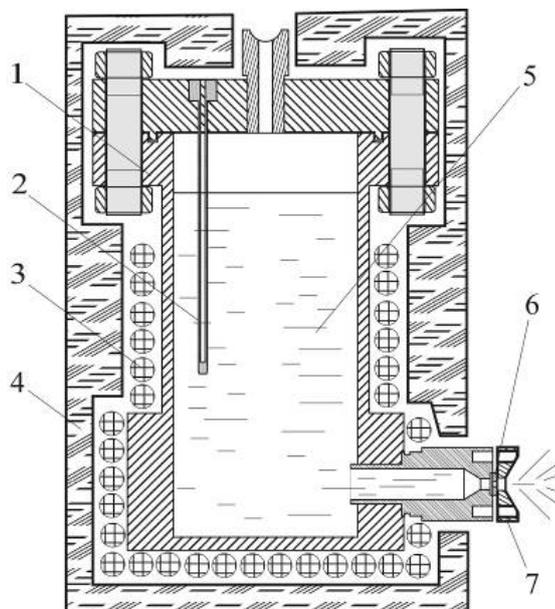


Рисунок 1. Разрез рабочей камеры:

- 1 – корпус камеры; 2 – кожух для термопары; 3 – нагревательный элемент;
4 – теплоизолятор; 5 – жидкость; 6 – канал; 7 – прижимной фланец

Длина распыливающих отверстий в насадках равнялась $l \approx 0.7$ мм, диаметр цилиндрического канала составлял $d = 0.5$ мм. На одной из насадок имеется скос под углом 30° на выходе.

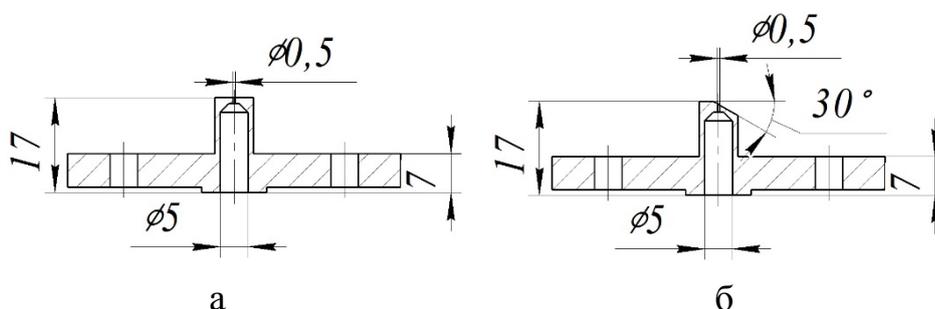


Рисунок 2. Конфигурация распыливающих насадок с цилиндрическим каналом без скоса (а) и со скосом (б)

Результаты исследования. На рисунке 3 показаны формы струй воды при истечении с линии насыщения через насадку с цилиндрическим каналом без скоса для разных значений температуры в сосуде высокого давления T_{0s} .

Из рисунке 3,а видно, что струя вскипает за выходным срезом канала на некотором расстоянии вниз по потоку (т. е. наблюдается некоторая задержка вскипания).

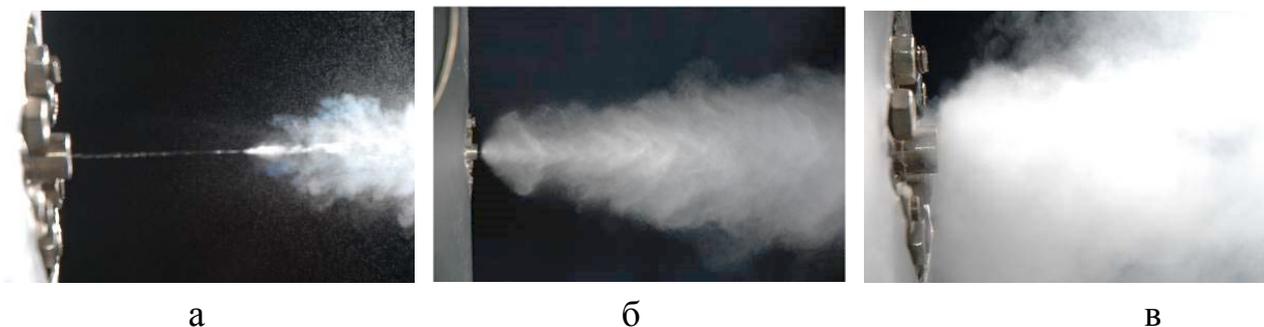


Рисунок 3. Виды струй воды при истечении с линии насыщения
(цилиндрический канал без скоса):

а – $T_{0s} = 170^\circ \text{C}$; б – $T_{0s} = 182^\circ \text{C}$; в – $T_{0s} = 300^\circ \text{C}$

С увеличением степени перегрева возрастает число активированных центров кипения и область вскипания приближается к выходному срезу канала и при температуре $T_{0s} = 180^\circ \text{C}$ струя приобретает форму, показанную на рис 3,б. Поток достаточно однородный, с гладкими внешними границами вблизи канала. Следует отметить, что при истечении воды в температурном интервале T_{0s} от 220°C до 250°C обеспечивается тонкое диспергирование.

При температуре $T_{0s} = 300^\circ \text{C}$ вскипание происходит уже внутри канала и на выходе наблюдается двухфазный поток с изрезанными границами (см. рисунок 3, в).

Таким образом, установлено, что за счет регулирования степени перегрева можно обеспечить управление формой распыла струи жидкости и осуществлять согласование формы распыла с конфигурацией камеры сгорания поршневого ДВС.

На рисунке 4 показаны формы струй воды при истечении с линии насыщения через насадку с цилиндрическим каналом со скосом для близких значений температуры в сосуде высокого давления, что и для предыдущего случая.

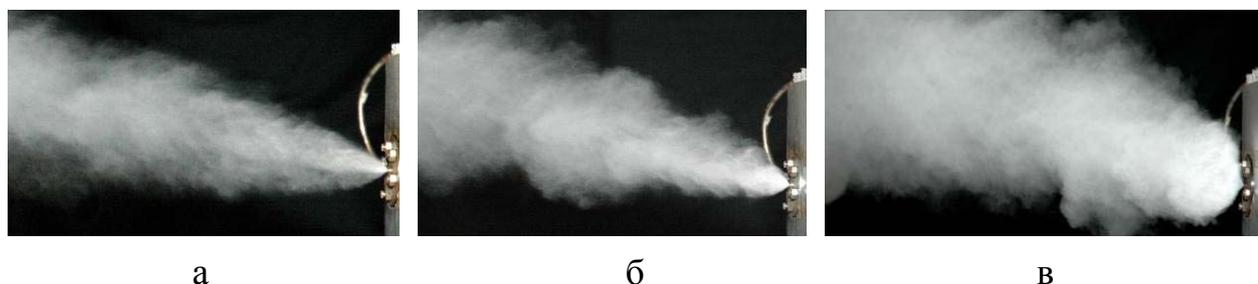


Рисунок 4. Виды струй воды при истечении с линии насыщения
(цилиндрический канал со скосом):

а – $T_{0s} = 150^\circ \text{C}$; б – $T_{0s} = 190^\circ \text{C}$; в – $T_{0s} = 300^\circ \text{C}$

Из рисунка 4 видно, что эволюция формы струи при истечении через насадку с каналом со скосом в зависимости от степени перегрева заметно отличается от изменения формы струи при истечении через насадку без скоса. При температурах $T_{0s} = 150^\circ \text{C}$ и $T_{0s} = 190^\circ \text{C}$ отсутствует начальный участок неврипающей жидкости.

Однако, следует отметить существенное влияние скоса канала на направление распыла струи относительно продольной оси насадки (рисунки 4 и 5).

На рисунке 5 для наглядности показаны формы струй воды при истечении с линии насыщения через насадку без скоса и со скосом при температуре $T_{0s} = 190^\circ \text{C}$.

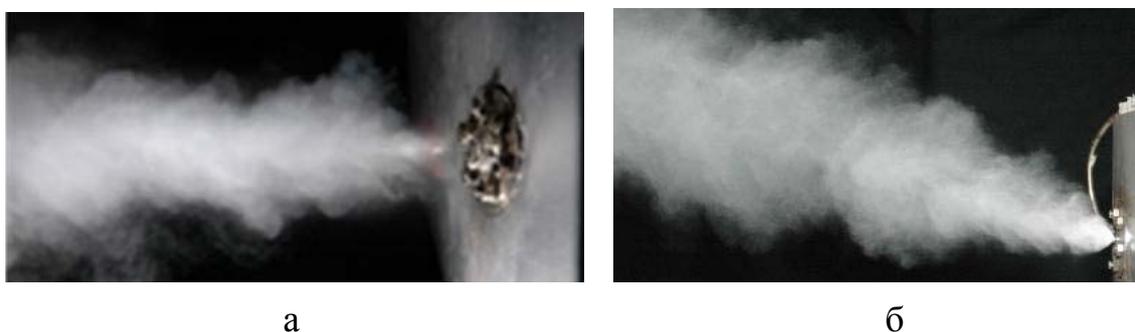


Рисунок 5. Виды струй воды при истечении с линии насыщения через цилиндрический канал без скоса (а) и со скосом (б) при $T_{0s} = 190^\circ \text{C}$

Установлено, что скос канала под углом 30 градусов (см. рисунок 2,б) приводит к отклонению струи распыла на ~ 20 градусов относительно оси распыливающей насадки. Этот эффект характерен для всех температур T_{0s} .

Заключение. Результаты экспериментов указывают на то, что оперативным управлением степенью перегрева жидкости и геометрических параметров распыливающего отверстия насадки (форсунки) можно существенно менять форму струи, и тем самым создавать такую ее конфигурацию, которая максимально соответствовала бы форме камеры сгорания двигателя и была бы оптимальной для данного режима работы поршневого двигателя. Кроме того, при распылении на основе вскипания можно путем надлежащего подбора степени перегрева обеспечить необходимую корректировку формы струи распыла. В итоге применительно к поршневым двигателям эти мероприятия должны привести к повышению мощности ДВС, уменьшению удельного расхода топлива, снижению токсичности отработавших газов и повышению надежности конструктивных элементов, образующих камеру сгорания.

ПРОБЛЕМА САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ОТ СЖАТИЯ В ДВС

П.К. Сеначин – д.т.н., профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

А.П. Сеначин – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Аннотация

Рассмотрена проблема самовоспламенения смеси от сжатия в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) и предложены способ получения аналитического решения задачи и алгоритм приближенного решения на основе дифференциального критерия.

Введение. В ДВС и других энергетических системах и агрегатах может происходить ожидаемое или аварийное самовоспламенения горючих газов под действием процесса быстрого сжатия в контролируемых или неконтролируемых условиях. Самовоспламенение газа при быстром (адиабатическом) сжатии экспериментально исследовали Дж. Ливенгуд¹, а также авторы работ².

Родственные задачи рассматривались в работах³. Однако в общем теоретическом плане задача осталась нерешенной.

Постановка задачи в общем виде. Рассмотрим самовоспламенение идеального горючего газа в замкнутом объеме при произвольном законе монотонного адиабатического сжатия $d\pi/d\tau = \text{const} \cdot f(\pi, \theta)$ с целью определения критических параметров системы (π^*, θ^*) на основе подхода⁴.

Пусть система, без учета выгорания газа за период индукции, включает уравнения:

¹ Ливенгуд, Дж., Лири, У. Самовоспламенение при быстром сжатии. // Вопросы горения, – № 2. – Сб.. пер. статей. – М.: ИЛ, 1953. С. 66–84; Livengood, J.C., Wu, P. C. Correlation of Autoignition Phenomena in Internal Combustion Engines and Rapid Compression Machines // 5-th Symposium (Intern.) on Combustion. – N.-Y.: William and Wilkins, 1955. P. 347–356.

² Beeley, P., Griffiths, J. F., Gray, P Rapid Compression Studies on Spontaneous Ignition of Isopropyl Nitrate // Combust. Flame. 1980. – V. 39. – N 3. – P. 255–281; Griffiths, J.F., Nummo, W. Spontaneous Ignition and Engine Knock under Rapid Compression // Combust. Flame. – 1985. – V. 60. – N 2. – P. 215–218; Kono, M., Shiga, S., Kumagai, S., Iinuma, K. Thermodynamic and Experimental Determinations of Knock Intersity by Using a Spark-Ignited Rapid Compression Machine // Combust. Flame. 1983. – V. 54. – N 1. – P. 33–47.

³ Столин, А.М., Мержанов, А.Г. Критические условия теплового взрыва при наличии химических и механических источников тепла // Физика горения и взрыва. – 1971. – Т. 7. – № 4. – С. 502–510; Вольнский-Басманов, Ю.М., Кузьмин, В.И. К исследованию процесса адиабатического теплового взрыва газовых включений в жидкостях // Физика горения и взрыва. – 1968. – Т. 4. – № 1. – С. 50–55.

⁴ Сеначин П.К., Бабкин В.С. Самовоспламенение газов при быстром сжатии // Проблемы взрывобезопасности технологических процессов: тезисы докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., Северодонецк. – Черкассы: Отделение НИИТЭХИМ, 1980. С. 30–31; Сеначин П.К., Бабкин В.С. Процессы горения газа в ограниченных объемах: Монография. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2017. 144 с.

– энергии и динамики давления

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \cdot \frac{\theta}{\pi} \cdot \frac{d\pi}{d\tau} + \frac{J_e}{\gamma} \cdot \frac{d\eta}{d\tau}, \quad (1)$$

$$\frac{d\pi}{d\tau} = \text{const} \cdot f(\pi, \theta), \quad (2)$$

– кинетики химической реакции

$$\frac{d\eta}{d\tau} = t_0 k_0 A_i^{s-1} \exp\left(-\frac{1}{\beta_i}\right) \left(\frac{\pi}{\theta}\right)^{s-1} \exp\left(\frac{1-1/\theta}{\beta_i}\right), \quad (3)$$

где $A_i = p_i a_i / RT_i$ и a_i – молярная и относительная концентрации реагирующего компонента смеси в начальный момент времени.

Начальные условия задачи:

$$\tau = 0, \quad \pi = p/p_i = 1, \quad \theta = T/T_i = 1, \quad \eta = 0,$$

где $\tau = t/t_0$ – безразмерное время; t_0 – характерный масштаб времени процесса, например, определяемый законом сжатия.

Система (1)-(3) сводится к одному уравнению процесса в фазовой плоскости давление – температура

$$\frac{d\theta}{d\pi} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \cdot \frac{\theta}{\pi} + \frac{u_i}{\gamma} \cdot \frac{(\pi/\theta)^{s-1}}{f(\pi, \theta)} \exp\left(\frac{1-1/\theta}{\beta_i}\right), \quad (4)$$

$$u_i = t_0 k_0 A_i^{s-1} \frac{J_e}{\text{const}} \exp\left(-\frac{1}{\beta_i}\right), \quad \beta_i = \frac{RT_i}{E}.$$

В уравнении (4) первый член в правой части соответствует адиабатическому сжатию смеси, второй – разогреву в результате химической реакции, а теплоотдача или теплопередача отсутствуют. Таким образом, система находится в состоянии самовоспламенения, однако критические параметры теплового взрыва (ТВ) по давлению и температуре (π^*, θ^*) неизвестны и определяются условиями данной задачи.

Случай аналитического решения задачи. При степенном виде функции $f(\pi, \theta)$, то есть когда $d\pi/d\tau = \text{const} \cdot \pi^k \theta^l$, после разложения в (4) экспоненты по методу Я.Б. Зельдовича и В.В. Воеводского⁵, можно получить аналитическое решение вида⁶

⁵ Зельдович, Я.Б. Баренблатт, Г.И., Либрович, В.Б., Махвиладзе, Г.М. Математическая теория горения и взрыва. – М.: Наука, 1980. 479 с.; Зельдович, Я.Б., Воеводский, В.В. Тепловой взрыв и распространение пламени в газах. – М.: Изд-во Моск. механич. ин-та, 1947. 294 с.; 2-е изд. – Алматы: Казак университеті, 2004. 200 с.

⁶ Сеначин, П.К., Бабкин, В.С. Самовоспламенение газа перед фронтом пламени в закрытом сосуде // Физика горения и взрыва. – 1982. – Т. 18. – № 1. – С. 3–8.

$$\theta = \pi^{1-1/\gamma} \left[1 - (\pi/\pi_{\text{crit}})^A \right]^{-B}, \quad (5)$$

где π_{crit} – давление в системе, соответствующее условию $\theta \rightarrow \infty$, A и B – константы конкретного процесса.

Из решения (5) следует, что $\pi^* = \pi_{\text{crit}}$. За характерную (критическую) температуру процесса θ^* можно принять «модернизированную адиабатическую» температуру при $\pi = \pi^*$. Смысл этой модернизации заключается в том, что реальная температура смеси из-за тепловыделения больше адиабатической температуры $\theta_{\text{ad}} = (\pi^*)^{1-1/\gamma}$ на величину порядка одного характеристического интервала температур $\Delta\theta = \beta_i \theta_{\text{ad}}^2 = \beta_i (\pi^*)^{2-2/\gamma}$, то есть имеем

$$\theta^* = (\pi^*)^{1-1/\gamma} \left[1 + \beta_i (\pi^*)^{1-1/\gamma} \right] \quad (6)$$

и получаем критические параметры системы (π^*, θ^*) .

Если процесс сжатия в системе ограничен π_{max} , то при $\pi^* = \pi_{\text{max}}$ имеем предельное условие самовоспламенения и соответствующие критические параметры $(\pi_{\text{max}}, \theta_{\text{max}})$, где θ_{max} согласно (6) запишется как

$$\theta_{\text{max}} = \pi_{\text{max}}^{1-1/\gamma} \left(1 + \beta_i \pi_{\text{max}}^{1-1/\gamma} \right). \quad (7)$$

Полученные выше соотношения (6) и (7) определяют критические и предельные параметры системы.

Алгоритм критериального решения задачи. Рассмотрим случай, когда аналитическое решение получить не удастся. Отметим, что в работе авторов¹² рассмотрена задача о критических условиях самовоспламенения газа перед фронтом пламени в закрытом сосуде. В этой задаче получено аналитическое решение вида (5) и сформулирован (постулирован) специальный дифференциальный критерия самовоспламенения вида

$$d\theta/d\pi \cdot \pi/\theta = d\ln\theta/d\ln\pi = 1. \quad (8)$$

Алгоритм критериального решения задачи сводится к следующему.

1. В дифференциальное уравнение процесса самовоспламенения в фазовой плоскости давление – температура (4) подставляется дифференциальный

критерий самовоспламенения (8). В результате имеем алгебраическую функцию самовоспламенения в переменных (π, θ)

$$\frac{\theta}{\pi} = \frac{\gamma - 1}{\gamma} \cdot \frac{\theta}{\pi} + \frac{u_i}{\gamma} \cdot \frac{(\pi/\theta)^{s-1}}{f(\pi, \theta)} \exp\left(\frac{1-1/\theta}{\beta_i}\right)$$

или в более компактном виде

$$u_i \cdot \frac{(\pi/\theta)^s}{f(\pi, \theta)} \exp\left(\frac{1-1/\theta}{\beta_i}\right) = 1. \quad (9)$$

2. Анализ задачи показывает, что функция самовоспламенения (9) пересекает численное решение уравнения (4) или аналитическое решение (5) под острым углом. Точка A пересечения этих функций в плоскости давление – температура, с координатами (π_A, θ_A) , лежит вблизи точки B пересечения функции (9) с функцией модифицированной адиабаты (6), а именно с функцией

$$\theta = \pi^{1-1/\gamma} \left(1 + \beta_i \pi^{1-1/\gamma}\right), \quad (10)$$

Поскольку численное решение уравнения (4) или аналитическое решение (5) в общем случае нам неизвестны, то имеем всего одну точку пересечения функций (9) и (10), точку с координатами (π_B, θ_B) , которые и будем полагать критическими параметрами системы (π^*, θ^*) .

3. Поскольку для модернизированной адиабаты (10) значения температуры больше адиабатической величины на величину, равную одному характеристическому интервалу, то совместное решение уравнений (9) и (10), с учетом возрастания экспоненты в $e = 2.718..$ раз, позволяют получить «критериальное» аналитическое решение задачи самовоспламенения вида

$$u^* = \frac{u_i (\pi^*)^{s/\gamma}}{f\left(\pi^*, (\pi^*)^{1-1/\gamma}\right)} \exp\left(\frac{1 - (\pi^*)^{1/\gamma-1}}{\beta_i}\right) = \frac{1}{e}, \quad (11)$$

где π^* – критическое давление ТВ (самовоспламенения от сжатия).

На рисунке, на примере задачи о самовоспламенения смеси в установке адиабатического сжатия («адиабатической пушке»)⁷, приведены результаты численного решения уравнения (4) и построены зависимости (9), (10) и адиабата

⁷ Мержанов А.Г. Неизотермические методы в химической кинетике // Физика горения и взрыва. – 1973. – Т. 9. – № 1. – С. 4–36.

$\theta = \pi^{1-1/\gamma}$, при начальных условиях $T_i=300$ К, $p_i=0.1$ МПа, для следующих параметров задачи: $u_i \exp(1/\beta_i)=10^{13}$, $\beta_i = 0.013$, $s = 3$ и $\gamma = 1.4$.

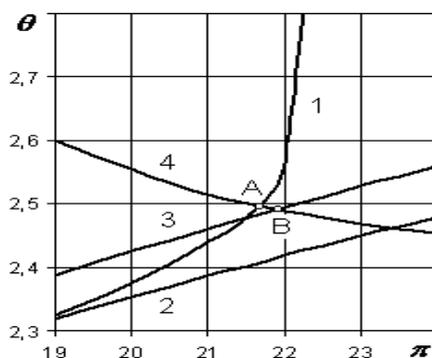


Рисунок 1. Самовоспламенение горючей смеси при адиабатическом сжатии:
1 – решение уравнения (4); 2 – адиабата; 3 – зависимость (10); 4 – функция самовоспламенения (9)

Видно, что при самовоспламенении имеет место очень резкий рост температуры смеси после достижения критических параметров системы (π^*, θ^*) . Предвзрывной разогрев в соответствии с теорией ТВ – порядка величины характеристического интервала

$$\Delta\theta \approx \beta_i (\theta^*)^2 \approx \beta_i (\pi^*)^{2-2/\gamma},$$

а параметры точек $A(\pi_A, \theta_A)$ и $B(\pi_B, \theta_B)$ практически совпадают, что является еще одним доказательством достоверности предлагаемой теории самовоспламенения от сжатия. Еще раз отметим, что в теории критическими мы полагаем параметры точки B , то есть $(\pi_B = \pi^*, \theta_B = \theta^*)$.

Выводы. Разработанный выше алгоритм решения задачи о самовоспламенении газа при адиабатическом сжатии может быть использован при решении широкого круга практических задач, например⁸. При численном решении задачи с детальной химической кинетикой величина дифференциального критерия (8) на пределе самовоспламенения может значительно превышать единицу⁹.

⁸ Матиевский Д.Д., Сеначин П.К. Задержка воспламенения топлива в дизеле как период индукции динамического теплового взрыва // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 1995. – № 4–6. – С. 27–32.

⁹ Сеначин П.К., А.П. Сеначин. Моделирование самовоспламенения перед фронтом пламени в двигателе с искровым зажиганием на основе детальной кинетики элементарных реакций // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13. – № 1(2). – С. 487–491.

СВС-МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

А.В. Собачкин – к.т.н., старший научный сотрудник, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

В.И. Яковлев – к.т.н., старший научный сотрудник, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

М.В. Логинова – к.т.н., старший научный сотрудник, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

А.С. Мигина – магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова

Аннотация

Работа посвящена исследованию экологически безвредных технологий получения наноструктурных материалов методами механохимии с проведением реакции высокотемпературного синтеза в металлической матрице для использования полученного порошкового материала в процессах газодетонационного нанесения покрытий, которые могут заменить гальваническое хромирование.

Введение. В машиностроении важную роль играют вопросы, связанные с поверхностью изделия. Низкий ресурс работы элементов различных конструкций связан, прежде всего, с процессами изнашивания поверхностных слоев. Например, в результате износа деталей цилиндро-поршневой группы автомобиля снижается мощность двигателя, возрастает расход горюче-смазочных материалов, а в отработанных газах значительно увеличивается содержание вредных элементов¹.

Повысить общий моторесурс двигателя позволяют теплозащитные покрытия на деталях цилиндро-поршневой группы ДВС². Однако применяемые в настоящее время электролитические способы создания покрытий приводят к большому потреблению воды, ее загрязнению токсичными элементами в процессе нанесения покрытия и, как следствие, к необходимости проведения очищения сточных вод³. В этой связи перспективным выглядит применение сухих методов нанесения покрытий – газотермических, вакуумных и др. Из

¹Гаркунов, Д.Н., Балабанов, В.И. Восстановление двигателей внутреннего сгорания без их разборки // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 2. – С. 18–22.

²Robert, В.Н. Plasma-Spray Coating. Principles and Applications. Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo: VCH. – 1996. 339 p.

³Андреев, А.А. Покрытия для поршневых колец // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 2. – С. 9.

существующих методов газотермического нанесения покрытий газодетонационный обладает рядом преимуществ, и может быть применен для упрочнения и восстановления деталей, работающих в условиях больших контактных нагрузок, ударного воздействия, эрозионного и абразивного износа⁴.

Перспективным способом создания материалов для нанесения покрытий является проведение реакций синтеза частиц упрочняющей фазы в матрицах^{5,6,7}. Достоинства этой технологии состоят, во-первых, в преодолении проблемы введения ультрадисперсных и наноразмерных частиц упрочняющей фазы в матрицу, во-вторых, в возможности управления в определенных пределах реакцией синтеза этой фазы, а в-третьих, в получении однородной микроструктуры продукта реакции в целом⁸.

Используя особенности реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в механоактивированных системах, возможен синтез интерметаллидов, нитридов, карбидов, боридов и других тугоплавких соединений и многофазных систем на их основе⁹. Наиболее широкое применение в различных отраслях машиностроения нашли порошки монокарбида титана. В связи с этим в работе исследовали условия проведения синтеза в механоактивированных системах Ti–C–Ni для детонационного напыления покрытий на прецизионные детали машиностроения, которые могут заменить гальваническое хромирование¹⁰.

Объекты и методы. Для приготовления исходных порошковых смесей использовали порошки титана марки ПМТ и углерода марки ПМ-15. В качестве металлической связки (матрицы) применялся наплавочный порошок на основе никель-хрома марки ПР-Н70Х17С4Р4-3. Исходный фракционный состав всех

⁴ Собачкин, А.В. Структура и свойства газодетонационных покрытий различного функционального назначения на основе порошков слоистых механокомпозитов с металлической и интерметаллидной матрицей // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 6 (102). – С. 16–22.

⁵ Leong, C.C. In-situ formation of copper matrix composites by laser sintering // Mater. Sci. Eng. A. – 2002. – Vol. 338. – P. 81–88.

⁶ Travitzky, N. In-situ synthesis of Al₂O₃ reinforced Ni-based composites // Adv. Eng. Mater. – 2003. – V. 5. – № 4. – P. 256–259.

⁷ Собачкин, А.В. Применение методов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и механоактивационной обработки для создания новых наплавочных материалов // Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. – № 9. – С. 17–22.

⁸ Tu, J.P., Wang, N.Y., Yang, Y.Z., Qi, W.X., Liu, F., Zhang, X.B., Lu, H.M., Liu, M.S. Preparation and properties of TiB₂ nanoparticle reinforced copper matrix composites by in situ processing // Mater. Lett. – 2002. – V. 52. – P. 448–452.

⁹ Питюлин, А.Н. Силовое компактирование в СВС-процессах // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика. – Черногловка: Изд-во «Территория». – 2001. С. 333–353; Fu, Z.Y., Wang, H., Wang, W.M., Yuan, R.Z. Composites fabricated by self-propagating high-temperature synthesis // J. Mater. Proc. Tech. – 2003. – V. 137. – P. 30–34; Gotman, I., Koczak, M.J., Shtessel, E. Fabrication of Al matrix in situ composites via self-propagating synthesis // J. Mater. Sci. Eng. A. 1994. – Vol. 187. – P. 189–199 и др.

¹⁰ Sndarshan, T.S. Tools for engineered surfaces // Surface Engineering. – 1998. – V. 14. – N 6. – P. 449–450.

порошковых компонентов составлял 63-100 мкм. Механическую активацию порошков проводили в планетарной шаровой мельнице-активаторе АГО-2 с водяным охлаждением. После механоактивации порошковая смесь выгружалась из барабанов мельницы в боксе с аргоновой атмосферой¹¹. СВС проводили на образцах насыпной плотности.

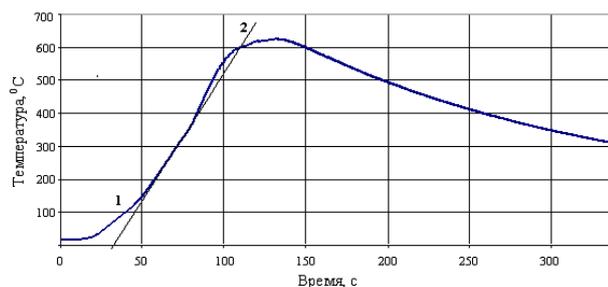
Для измерения температуры горения использовались вольфрам-рениевые термопары (ВАР-5/ВР-20). Реакционные смеси после механической активации и продукты СВС исследовались с помощью рентгенофазового анализа. Рентгенограммы снимались на дифрактометре ДРОН-6 с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения.

Результаты исследования и их обсуждение. Механизмы фазообразования в системе Ti-C определяются взаимодействием расплава титана с частицами сажи или графита. В волне горения в процессе СВС в данной системе можно выделить четыре характерных зоны: прогрева, плавления и растекания, первичного структурообразования, вторичного структурообразования. Этап первичного структурообразования характеризуется либо образованием сплошного карбидного слоя на поверхности углеродных частиц, либо распадом карбидного слоя на отдельные карбидные частицы (диспергирование). В зоне вторичного структурообразования, происходит изменение размеров и состава первичных карбидных зерен. При синтезе монокарбида титана в режиме электротеплового взрыва интенсивное тепловыделение начинается сразу после плавления титана, а лимитирующей стадией является растворение углерода, однако, образовавшаяся до начала плавления титана карбидная пленка тормозит процесс растворения. Следовательно, скорость жидкофазной реакции будет зависеть от того, до какой глубины успело пройти твердофазное взаимодействие. Таким образом, существующие на сегодняшний день представления о механизмах фазообразования и структурообразования в системе $\text{Ti} + \text{C}$, так или иначе, основываются на необходимом присутствии жидкой фазы (расплав титана). Возможность твердофазного взаимодействия в данной системе не изучалась. Очевидно, что практический интерес может представлять возможность низкотемпературного (в отношении температуры воспламенения) твердофазного синтеза в указанной системе, при наличии пластичной матрицы.

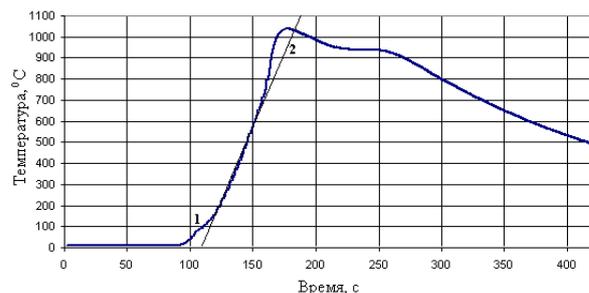
¹¹ Логинова, М.В. Морфология и структурные характеристики порошковых механокомпозитов Ti+Al после облучения // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2017. – Т. 14. – № 4. – С. 464–469.

Можно предположить, что твердые частицы монокарбида, находящихся в пластичной матрице, возможно использовать для получения защитных покрытий нового качества. В настоящем исследовании изучается принципиальная возможность получения соединения TiC при реализации низкотемпературного твердофазного синтеза в никелевой матрице в режиме теплового взрыва.

На рисунке 1,а приведена термограмма синтеза при подводимой мощности 600 Вт в предварительно активированной системе Ti + C + 30 мас. % NiCr.



а



б

Рисунок 1. Термограмма синтеза в предварительно активированной системе Ti + C + 30 мас. % NiCr:

а – при значении подводимой мощности нагрева 600 Вт;

б – при значении подводимой мощности нагрева 1200 Вт

Из термограммы следует, что тепловой взрыв в динамических условиях не реализован. Система выходит на линейный темп нагрева, который определяется постоянным значением полезной мощности. При температуре 395 °C имело место незначительное превышение темпа нагрева над линейным, далее температура выравнивалась до значения, определяемое тепловым балансом между внешним источником мощности и теплоотводом. В точке максимума производилось отключение источника. При остывании плато или перегибов не наблюдается, следовательно, можно говорить об отсутствии процессов вторичного структурообразования.

На рисунке 2,а приведена соответствующая дифрактограмма, снятая после СВ-синтеза. Пиков продуктов синтеза на дифрактограмме не обнаружено.

В следующем эксперименте осуществлялся прогрев смеси с более высоким значением подводимой мощности 1200 Вт. Из характера зависимости температуры от времени (см. рисунок 1,б) можно сделать вывод, что в процессе выхода системы на стационарное значение температуры, имел место

незначительный саморазогрев системы до температуры 1050°C , далее источник разогрева отключался. Можно констатировать, что динамический тепловой взрыв также не реализован. Однако по сравнению с предыдущим случаем, саморазогрев в системе (отклонение от линейного участка) выражен более явно. В процессе охлаждения на термограмме четко наблюдается участок вторичного структурообразования при температуре 950°C , продолжительностью около 75 с.

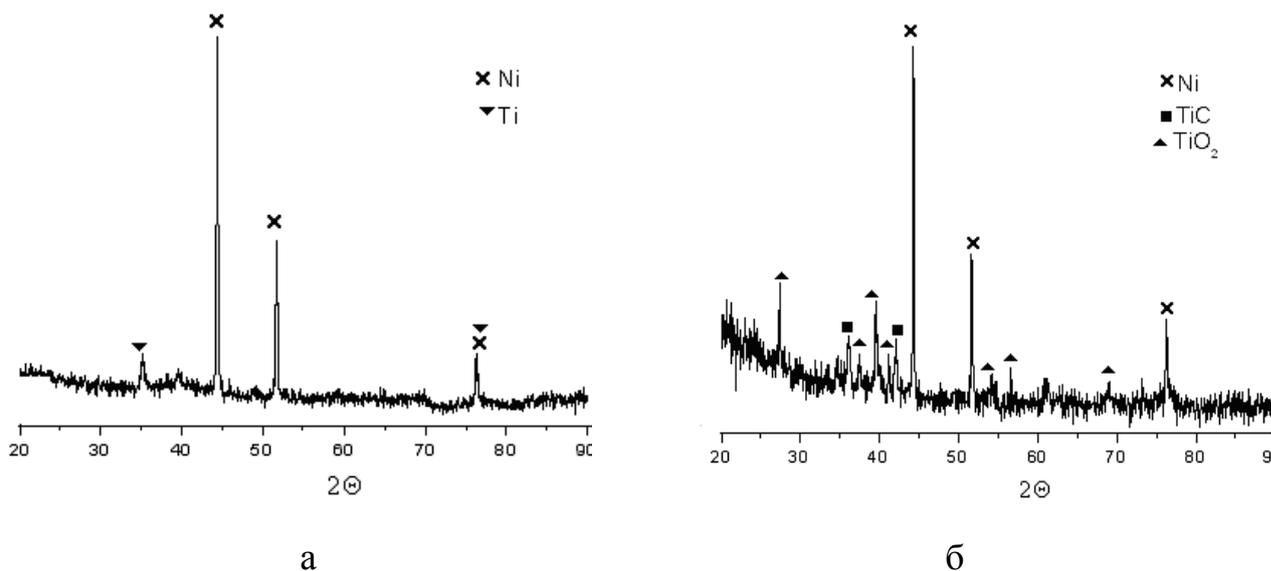


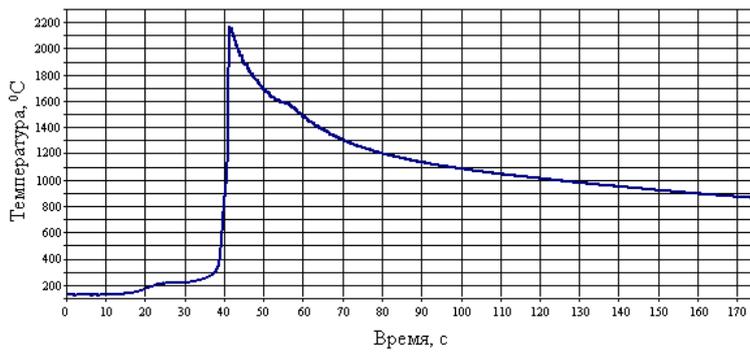
Рисунок 2. Дифрактограмма порошковой смеси в системе $\text{Ti} + \text{C} + 30 \text{ мас.}\% \text{ NiCr}$ после нагрева:

а – при значении подводимой мощности 600 Вт;

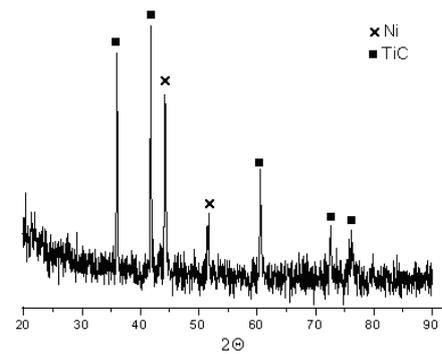
б – при значении подводимой мощности нагрева 1200 Вт

На рисунке 2,б приведена соответствующая дифрактограмма. Из вида дифрактограммы следует, что в данном режиме начинает формироваться продукт синтеза. Об этом косвенно свидетельствует наличие участка вторичного структурообразования. Относительно длительное пребывание смеси при высоких температурах приводит к появлению оксидов титана.

Термограмма разогрева смеси при подводимой мощности 1400 Вт представлена на рисунке 3,а. В данном случае можно констатировать, что тепловой взрыв в условиях динамического нагрева реализован. Саморазогрев начинается со значения температуры 110°C и заканчивается при достижении максимальной температуры 2100°C . Точка перегиба на участке охлаждения термограммы соответствует температуре кристаллизации никеля 1455°C . На рисунке 3,б приведена дифрактограмма продукта.



а



б

Рисунок 3. Синтез в предварительно активированной системе Ti + C + 30 мас. % NiCr при значении подводимой мощности нагрева 1400 Вт: а – термограмма синтеза; б – дифрактограмма продукта синтеза

Выводы. Подводя итог результатам, можно констатировать, что в системе Ti + C синтез в твердофазном режиме принципиально возможен даже при наличии инертной добавки порошка никеля при предварительной механоактивации трехкомпонентной смеси. В процессе синтеза, ведущей стадией процесса являлось образование монокарбида титана, соединений на основе Ti–Ni в системе не обнаружено. Разработанный способ позволяет получать порошковые нанокomпозиты для дальнейшего напыления покрытий¹².

¹² Sobachkin, A.V. Evaluation of wear resistance of products on the basis of mechanically activated materials // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Т. 698. – С. 374; Собачкин, А.В. Особенности формирования покрытий из алюмоматричного углеродсодержащего композиционного материала при газодетонационном напылении // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2015. – Т. 12. – № 4. – С. 444–449.

РЕГРЕССИОННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ НЕ ВСЕСЕЗОННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ С УЧЕТОМ КЛАССА ВЯЗКОСТИ

А.Б. Стефановский – к.т.н., доцент, Таврический государственный агротехнологический университет.

Аннотация

На основании анализа опубликованных данных о плотности и вязкости не всесезонных дизельных моторных масел, класс вязкости которых находился в пределах от 8 до 20 (а также масла МС-20), получена регрессионная зависимость динамической вязкости этих масел от температуры, допускающая линеаризацию в интервале температуры 330...430 К и учитывающая величину класса вязкости.

Введение. Вязкость жидкостей (в частности, моторных масел (ММ)) принято характеризовать коэффициентами динамической и кинематической вязкости, причем последний равен первому, делённому на плотность жидкости при данной температуре. В литературе, где рассматриваются свойства ММ, как правило, приводятся экспериментальные данные о кинематической вязкости и плотности масел (например,¹ и ²). Это оправдывается тем, что, во-первых, плотность масел довольно слабо зависит от температуры, а во-вторых, потеря давления в маслопроводах и каналах систем смазки автотракторных двигателей, а также интенсивность охлаждения масла зависят от плотности и кинематической вязкости ММ³. Кроме того, величины этих показателей регламентируются стандартом⁴ при определённых температурах.

В то же время известно, что именно динамическая вязкость масла непосредственно влияет на работу подшипников скольжения⁵ и масляных фильтров⁴. Так как не всегда удобно вычислять этот показатель, перемножая значения плотности и кинематической вязкости ММ, то целесообразно получить упрощённую регрессионную зависимость динамической вязкости η масел от температуры T для её интервала, характерного для нормальной работы двигателя, чему посвящена данная статья.

¹ Справочник машиностроителя в 6 томах. – Т. 2. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машгиз, 1956. 560 с.

² Бажан, П.И. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. 368 с.

³ Тракторные дизели. Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. 536 с.; Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 456 с.

⁴ ГОСТ 8581-78. Масла моторные для автотракторных дизелей. Технические условия. – М.: ИПК Изд. стандартов, 2004. – 7 с.

⁵ Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. 384 с.

Объекты и методы. Объектом исследования являются экспериментальные зависимости динамической вязкости дизельных ММ от температуры, находящейся в пределах, характерных для нормальной работы двигателя. Методы исследования – анализ этих зависимостей, обобщение и представление их в удобной для использования математической форме.

Экспериментальные данные. Результаты экспериментальных исследований свойств ММ опубликованы как в форме таблиц, так и в виде регрессионных зависимостей⁶ плотности ρ и кинематической вязкости ν от T . Дополнительно, при проверке полученных в данной работе зависимостей использовались опытные данные о свойствах ММ марок М-12Г₂ и М-8Г₂к, приводившиеся в отчётах о научно-исследовательских работах, выполнявшихся в Ярославском политехническом институте (ЯПИ) и НАМИ. Все рассмотренные масла не были всесезонными.

Величины динамической вязкости ММ η в данной работе подсчитывались путём перемножения значений ρ и ν при данной температуре T . Так как в статье⁷ ряд числовых параметров регрессионных зависимостей был приведен в плохо читаемом виде, эти зависимости использовать не удалось. Диапазоны температуры для использованных опытных данных во всех случаях включали значения, типичные для нормального режима работы двигателей. Кроме того, использовались опытные данные ЯПИ для более высокой температуры (до 423 К), о возможности достижения которой указывалось в книге⁸. Также авторы статьи⁹ рекомендовали полученные ими регрессионные зависимости использовать при температуре ММ до 473 К; последняя, видимо, достижима лишь в масляной плёнке на стенках цилиндров двигателя. При анализе последних зависимостей, полученных для ряда ММ, выявлена возможность учёта влияния класса вязкости на числовые параметры регрессионной зависимости, не использованная авторами статьи¹⁰. Это позволило построить более универсальную зависимость, как показано далее.

Результаты и их обсуждение. Исходные и линеаризованные частные зависимости динамической вязкости ММ от температуры показаны на рисунке 1.

⁶ Порай-Кошиц, А.Б. и др. Кинематическая вязкость и плотность моторных масел // Журнал прикладной химии. – 1987. – № 2. – С.437; Кузнецов, Д.Б., Шмурак, М.С. Влияние марки охлаждаемого масла на эффективность маслоохладителей дизелей // Двигателестроение. – 1986. – № 12. – С. 16.

⁷ Григорьев, М.А., Качество моторного масла и надежность двигателей. – М.: Изд. стандартов, 1981. 232 с.

⁸ Там же.

⁹ Кузнецов, Д.Б., Шмурак, М.С. Влияние марки охлаждаемого масла на эффективность маслоохладителей дизелей // Двигателестроение. – 1986. – № 12. – С. 16.

¹⁰ Там же.

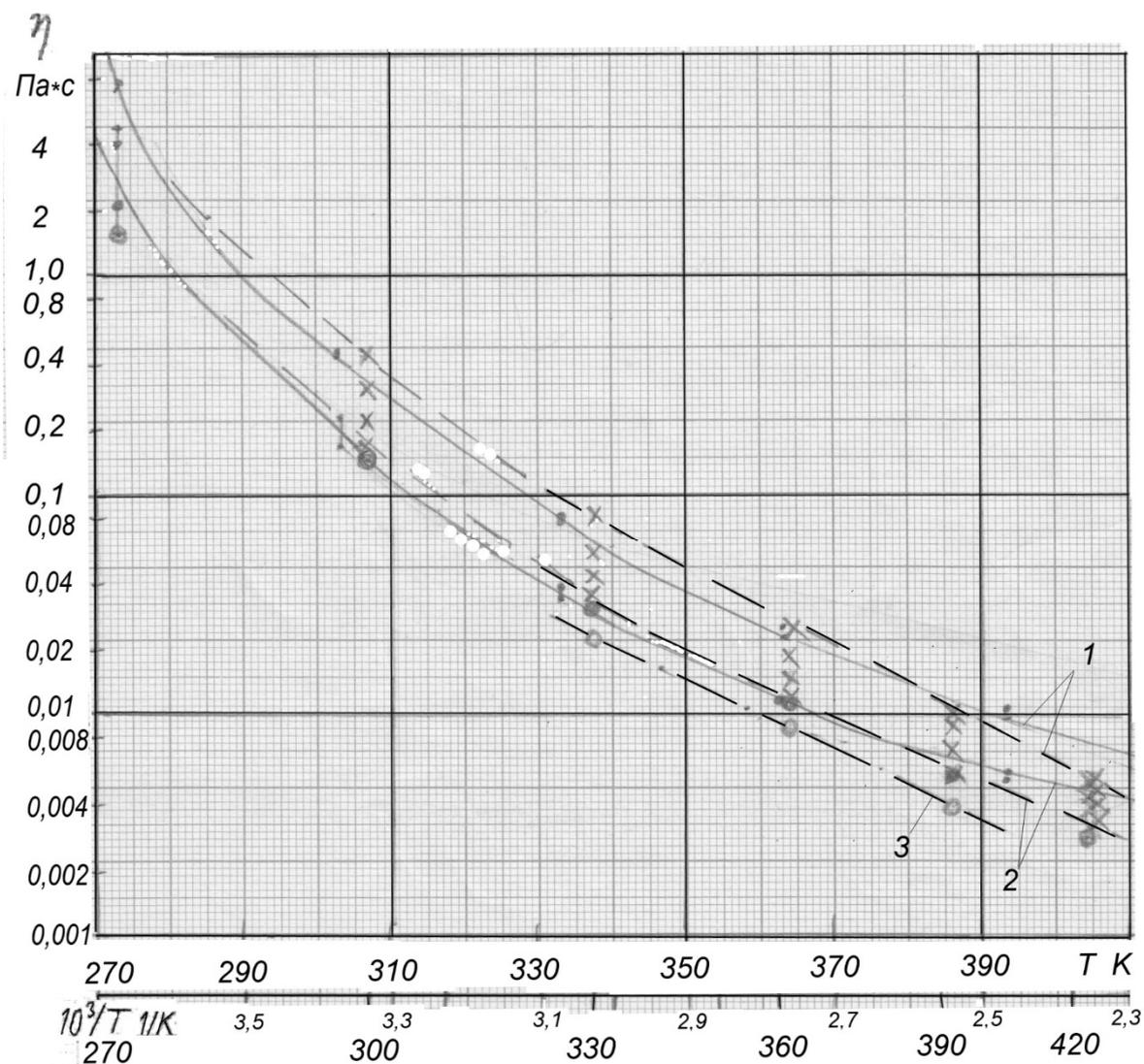


Рисунок 1. Частные зависимости динамической вязкости моторных масел от температуры:

1 – масла с классом вязкости 20; 2 – масла с классом вязкости 10; 3 – масло М-8Г₂к; линии сплошные построены по равномерной шкале Т, штриховые построены по шкале обратной температуры; точки жирные малые соответствуют сплошным линиям, прочие – штриховым линиям и области между ними, жирные большие построены для масла М-12Г₂.

Как видно, при температуре $T = 330\text{--}430$ К исходные зависимости удовлетворительно линеаризуются в координатах $\lg \eta \div 10^3/T$. Возможность такой линеаризации следовала из указания Н.Ф. Дубовкина ¹¹ о возможности аппроксимировать зависимость $\eta(T)$ экспоненциальной функцией $Ae^{B/T}$. Достоинством последней является бóльшая простота по сравнению с

¹¹ Дубовкин, Н.Ф. Справочник по углеводородным топливам и их продуктам сгорания. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 288 с.

использованием произведения ρ и ν , где плотность представлена линейным двучленом, а кинематическая вязкость – при помощи нелинейной функции Вальтера¹² или показательной функции квадратного трёхчлена от $(10^3/T)^{13}$. Недостатками линеаризации зависимости $\eta(T)$, выполненной на рисунке 1, являются меньшие точность и рабочий диапазон температуры T , но в данной работе необходимо получить именно упрощённую регрессионную зависимость, соответствующую нормальному режиму работы двигателя. (Зависимость в координатах $\lg \eta \div T$ может линеаризоваться в области весьма низких температур ММ, достигающих 240 К¹⁴ и актуальных при пуске холодных двигателей.)

Точки на рисунке 1 соответствуют ММ, имевшим классы вязкости от 8 до 20. При данной температуре T , по вертикали эти точки располагались закономерно, позволяя построить универсальную зависимость $\eta(T)$, учитывающую класс вязкости масла, не являющегося всесезонным. Эта зависимость представлена в виде

$$\lg\left(\frac{\eta}{b_{0\eta}}\right) = a_{1\eta}\left(\frac{a_{0\eta}}{a_{1\eta}} + \frac{10^3}{T}\right), \quad (1)$$

где $b_{0\eta} = 0,85$ – масштабный множитель (коэффициент), введённый для улучшения согласования расчётных значений η с опытными данными;

$a_{0\eta}$ и $a_{1\eta}$ – коэффициенты регрессионной зависимости, определяемые с учётом класса вязкости (КВ) ММ следующим образом (рисунок 2):

$$a_{1\eta} = 6,98 - 4,32 \ln KB + 0,866 \ln^2 KB;$$

$$\frac{a_{0\eta}}{a_{1\eta}} \approx \begin{cases} 0,035KB - 4,3 & \text{при } KB \geq 12 \\ -3,9 & \text{при } KB = 8...12. \end{cases}$$

¹² Эйгенсон, А.С. О взаимной корреляции вязкости, плотности и обобщающих химических характеристик нефтей и нефтепродуктов // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – №2. – С. 29–32; Бажан, П.И., Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. 368 с.; Григорьев, М.А. Качество моторного масла и надёжность двигателей. – М.: Изд. стандартов, 1981. 232 с.

¹³ Порай-Кошиц А.Б. и др. Кинематическая вязкость и плотность моторных масел // Журнал прикладной химии. – 1987. – № 2. – С.437

¹⁴ Henderson, K.O., Sicking, J.M. The effect of shear rate and shear stress on viscosity determinations at low temperatures for engine oils // SAE Techn. Paper Series. – 1990. – No. 902091. – 15 p.

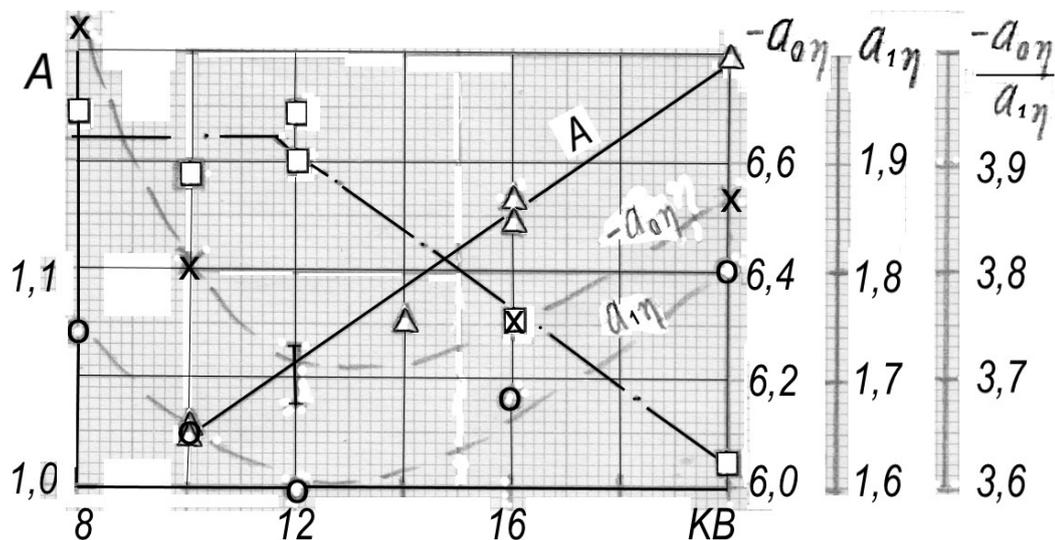


Рисунок 2. Влияние класса вязкости моторных масел на коэффициенты регрессионной зависимости (1) и показатель степени A , влияющий на расчётную кинематическую вязкость ММ (по данным статьи А.Б. Порай-Кошица и др.¹⁵).

Единица измерения динамической вязкости в зависимости (1) – паскаль-секунда. Статистический анализ точности зависимости (1) выполнен на персональном компьютере с использованием опытных данных о динамической вязкости масел МС-20 и дизельного масла с классом вязкости 10^2 , а также масел М-12Г₂ и М-8Г₂к (всего 36 значений). Показатели точности зависимости (1) зависели от величины множителя $b_{0\eta}$: если при $b_{0\eta} = 1$ среднеквадратичное отклонение расчётного результата от опытного составляло $\sigma_{\eta} = 0,0054$ Па*с, а относительная погрешность расчёта $\delta\eta$ находилась в пределах $-0,25$ – $+0,34$, то при снижении $b_{0\eta}$ до 0,85 эти показатели составили $\sigma_{\eta} = 0,0074$ Па*с; $\delta\eta = -0,37$ – $+0,14$. Соответствие между расчётными и опытными значениями динамической вязкости при $b_{0\eta} = 0,85$ показано на рисунке 3. Некоторое ухудшение точности расчёта η в этом случае оправдывается тем, что расчётная динамическая вязкость гораздо реже завышается, чем занижается, а это повышает надёжность анализа, например, работы подшипников скольжения двигателя. Коэффициент корреляции расчётных и опытных значений η во всех случаях составлял 0,984. Для анализа механических потерь двигателя, по-видимому, лучше принять значение множителя $b_{0\eta} = 1$, чтобы величина η скорее завышалась, чем занижалась.

¹⁵ Порай-Кошиц А.Б. Кинематическая вязкость и плотность моторных масел // Журнал прикладной химии. – 1987. – № 2. – С.437.

Зависимость (1) можно использовать для ориентировочной оценки динамической вязкости всесезонных ММ, принимая класс вязкости КВ по знаменателю сложного класса вязкости такого масла (например, КВ=12 для масла М-6з/12Г₂), а также ММ, использующихся в двигателях с искровым зажиганием. По данным статьи¹⁶, влияние температуры на плотность и кинематическую вязкость масел МС-20 (не дизельного) и М-20Г₂ (дизельного) имело такие особенности, благодаря которым, как выяснилось в настоящей работе, зависимости $\eta(T)$ у этих масел оказались количественно сходными.

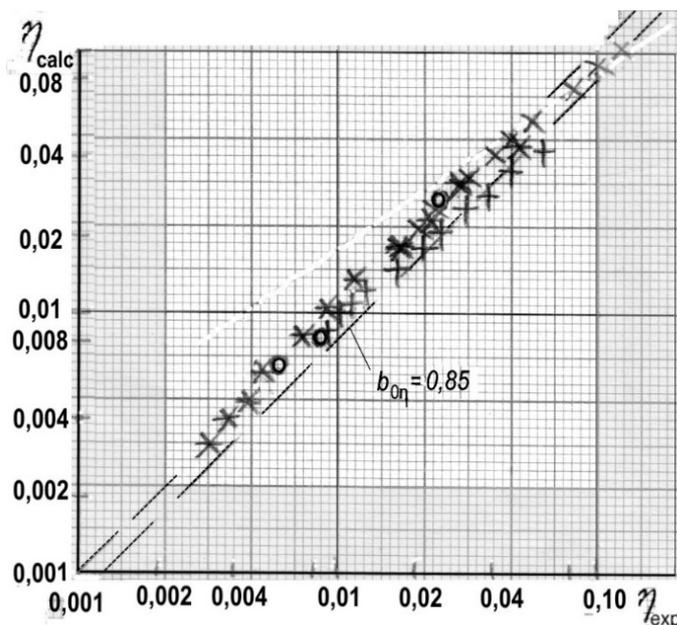


Рисунок 3. Соответствие между скорректированными расчётными и опытными значениями динамической вязкости моторных масел (точки: о М-8Г₂к, + дизельное масло КВ=10, * М-12Г₂, x МС-20)

Вывод. Таким образом, поставленная задача решена: получена упрощённая регрессионная зависимость (1) динамической вязкости дизельных ММ от температуры, учитывающая класс вязкости масла. Эта зависимость пригодна для приближённого расчёта динамической вязкости ММ с классом вязкости 8–20 при температуре в пределах 330–430 К, включающих интервал, соответствующий нормальной работе двигателя.

¹⁶ Порай-Кошиц А.Б. Кинематическая вязкость и плотность моторных масел // Журнал прикладной химии. – 1987. – № 2. – С.437.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ АВИАЦИОННОГО ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.А. Шаяхметов – аспирант, Уфимский государственный авиационный технический университет

М.Д. Гарипов – д.т.н., доцент, Уфимский государственный авиационный технический университет

Аннотация

В работе приведены результаты численного исследования течения жидкости в системе охлаждения разрабатываемого авиационного поршневого двигателя. Исследование ведется в стационарном режиме. В результате исследования было получено равномерное распределение расходов жидкости через каждую головку цилиндра. Трехмерное моделирование течения показало, что конструкция корпусных деталей обеспечивает поперечное направление движение жидкости в головке блока.

Введение. Исследование теплонапряженного состояния основных деталей является ключевым направлением при проектировании двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Достоверная информация о температурных полях корпусных деталей двигателя позволяет создавать двигатели с высокими удельными показателями и надежностью. Поддерживание необходимого теплового состояния обеспечивается эффективной работой системы охлаждения двигателя.

Совершенствование системы охлаждения сложно без знания локальных гидродинамических параметров течения охлаждающей жидкости (ОЖ). К одним из основных параметров можно отнести локальные скорости потока жидкости. Экспериментальное определение этих параметров – весьма трудоемкая задача, требующая большого объема работ, которые значительно увеличивают затраты и время на создание новых двигателей. Более эффективным способом определения местных гидродинамических параметров является математическое моделирование в трехмерной постановке.

Объект исследования. На кафедре ДВС УГАТУ разрабатывается авиационный поршневой двигатель с высокими удельными показателями. Данный двигатель будет работать на унифицированном рабочем цикле¹ являющимся разработкой кафедры. Особенностью цикла этого двигателя является возможность работы на всей номенклатуре товарных топлив, в том числе и на авиационном керосине с сохранением массогабаритных показателей близких к бензиновым двигателям внутреннего сгорания.

¹ Гарипов, М.Д. Новая концепция организации бездетонационного сгорания низкооктановых топлив в ДВС с искровым зажиганием // Автомобильная промышленность. – 2010. – №4. – С. 8–11; Гарипов, М.Д. Многотопливный рабочий цикл поршневых ДВС: Дис. ... д-ра техн. наук. – Уфа, 2013. 271 с.

Основные технические характеристики этого двигателя указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики

Обороты двигателя, мин ⁻¹	5800
Диаметр цилиндра, мм	86
Ход поршня, мм	68
Давление наддува (абсолютное), МПа	0.27
Степень сжатия	10.5
Литровая мощность, л.с.	100

Целью данной работы является численное исследование течения жидкости в полости системы охлаждения. Моделирование проводилось без учета влияния теплового состояния деталей на охлаждающую жидкость.

Методика и результаты исследования. На основе разработанной трехмерной модели (рисунок 1) создана расчетная область системы охлаждения двигателя. Численное исследование состояло из двух этапов:

а) первый этап – получение граничных условий, исходя из проведенных аналитических расчетов². Основными параметрами является расход жидкости, равный 2 кг/с, и температура охлаждающей жидкости (70° С);

б) второй этап – трехмерное моделирование течения охлаждающей жидкости в программном комплексе для расчета гидрогазодинамических процессов. Формирование расчетной области ограниченной корпусными деталями двигателя представлена на рисунке 1.

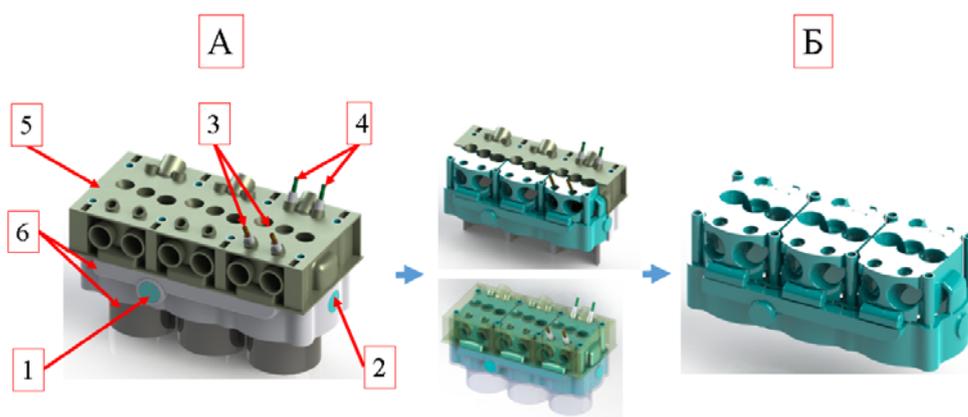


Рисунок 1. Формирование расчетной области системы охлаждения двигателя:

А – сборка корпусных деталей: 1 – вход охлаждающей жидкости, 2 – выход охлаждающей жидкости, 3 – выпускные клапаны, 4 – впускные клапаны, 5 – головка блока, 6 – рубашка блока и гильзы (условная геометрия);

Б – расчетная область

² Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., стер. – М.: Высш.шк., 2008. 496 с.; Heywood, J. Internal combustion engine fundamentals, McGraw- Hill, USA, 1988.

Для проведения численного исследования применены следующие основные модели, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Основные модели

	Модель
1.	k-Омега модель турбулентности
2.	Двухфазная среда (вода, воздух)
3.	Эйлера многофазность
4.	Взаимодействие фаз VOF-VOF
5.	Стационарный режим

Вход жидкости в блок происходит со стороны выпускных каналов (см. рисунок 1). Сначала жидкость попадает в распределительную полость в блоке, где она равномерно, по расходу, распределяется между каждой головкой цилиндров. Также из распределительной области жидкость попадает в блок цилиндров. В головке блока, в первую очередь, жидкость направляется в сторону межклапанных перемычек выпускных клапанов. Такая конструкция обусловлена тем, что наиболее высокие температуры возникают в этих районах. Интенсивное движение ОЖ в данных областях позволяет поддерживать необходимое температурное состояние деталей. Результаты численного моделирования представлены на рисунке 2.

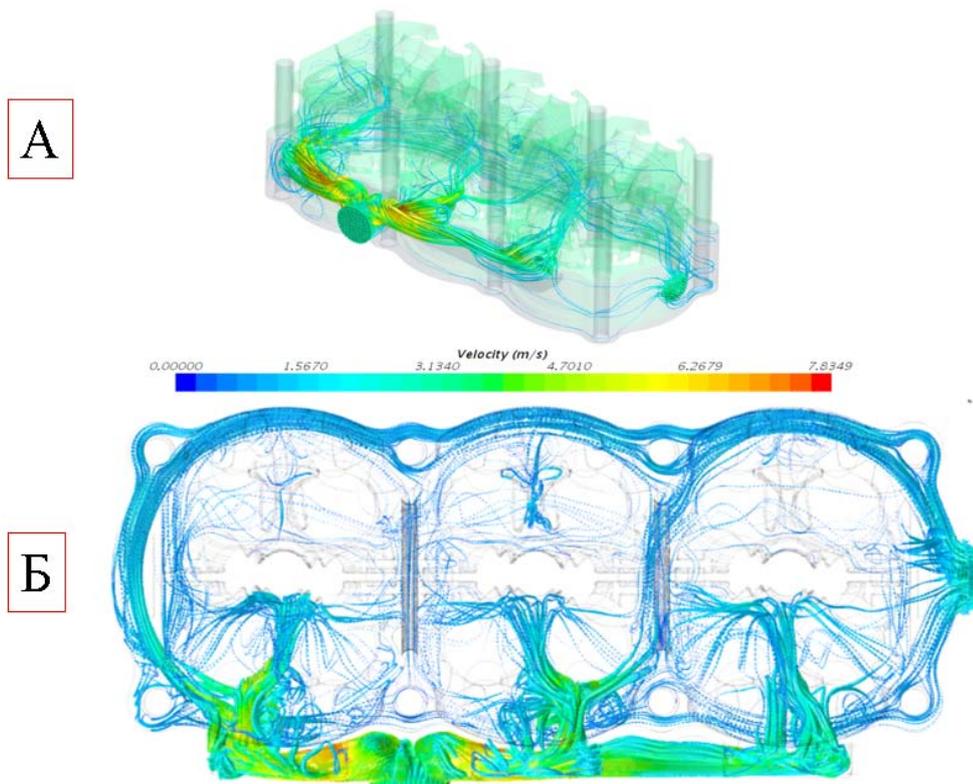


Рисунок 2. Направление потоков жидкости в системе охлаждения.

А – изометрия, Б – вид сверху

Результатами исследования являются локальные значения скоростей течения жидкости в системе охлаждения.

Выводы. Трехмерное моделирование течения показало, что конструкция корпусных деталей обеспечивает поперечное направление движение жидкости в головке блока (см. рисунок 2). Также обеспечено равномерное распределение расходов жидкости через корпусные детали каждого цилиндра двигателя. В дальнейшем результаты данного исследования будут использоваться для определения теплового состояния корпусных деталей двигателя.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ СТИРЛИНГА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

О.В. Щербакова – к.т.н., доцент, Сибирский государственный университет водного транспорта.

Аннотация

В статье рассматривается один из возможных вариантов решения важной проблемы утилизации «бросовых тепловых потерь». Исследуются и анализируются энергетические процессы, протекающие при утилизации теплоты в современных тепловых системах: паросиловых установках, воздушных расширительных машинах, двигателях Стирлинга, термоэлектрических модулях. Приводятся результаты сравнения имеющихся систем. Доказывается перспектива использования в снижении тепловых потерь двигателей Стирлинга.

Введение. Практически все объекты транспортной энергетики оборудованы теплоэнергетическими или/и теплогенерирующими установками. Известно, что их работа характеризуется выбросом в окружающую среду большого количества тепловой энергии, в неостребованной форме. Возникает, очевидный вопрос – можно ли использовать эти «потери» для потребности человечества? «Поиск» энергии, обусловленный бурным развитием научно-технического прогресса в настоящее время является одним из важных вопросов в современном мире. Кроме этого, не стоит забывать про «глобальное потепление», которое тоже обусловлено выбросом в атмосферу тепловой энергии. Как вариант решения частично этой проблемы – это утилизация «бросовых тепловых потерь». Анализ литературы показал, что существующие системы утилизации «бросовой» энергии мало исследованы и, как правило, не доведены до стадии промышленного применения¹. Тем самым решение этой проблемы, остается актуальной на сегодняшний момент.

Объектом исследования являлись энергетические процессы, протекающие при утилизации теплоты в когенерационных установках (системах), позволяющих преобразовать энергию «бросовой» теплоты в работу.

Для ее утилизации предложен целый ряд систем ² и др., которые в основном можно разделить на четыре группы (рисунок 1).

¹ Борисов, А.О. Рабочий процесс многопливного поршневого двигателя. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2008. 272 с.; Двигатели внутреннего сгорания: учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2005. 469 с.

² Быстров, О.И. Способ повышения экономичности и улучшения экологических свойств ДВС // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин. – Челябинск: ЧВВАКИУ, 2008. С. 34–39;



Рисунок 1. Основные системы утилизации «бросовой» теплоты

Результаты исследования. Исследуем представленные имеющиеся системы на примере утилизации тепловых потерь поршневых ДВС, обращая внимание на то, что во время их работы, основные «потери» энергии происходят при выбросе отработавших газов (ОГ) в окружающую среду (ОС)³.

Сравнивая современные паросиловые установки и воздушные расширительные машины, можно сделать вывод, главным отличием этих систем является рабочее тело, циркулирующее в утилизируемом контуре.

Схему комбинированного дизеля корпорации Термо-Электрон (США)⁴ можно отнести к паросиловой установке. Состояние рабочего тела в такой системе жидкое. Подкачивающий насос направляет его в подогреватель, а затем в парогенератор. Образовавшаяся теплота, от выбросов ОГ испаряет жидкость. Пар приводит в действие редуктор с коленчатым валом дизеля, после чего через подогреватель поступает в конденсатор и оттуда рабочее тело вновь в жидком состоянии возвращается в подкачивающий насос. Особенность этой системы в том, что она циркулирует свое рабочее тело в утилизационном контуре.

Используя на испытании автомобиль, по представленной схеме с комбинированным двигателем, мощность системы увеличивается на 15%. Если в подобных силовых установках, использовать в качестве рабочего тела

Богданов, А.И. Расширение возможностей утилизации энергии отработавших газов дизеля в случае использования нейтрализаторов // Сб. науч. тр. – Челябинск: ЧВВАИУ, 1996. – Вып. 6. – С. 117–119.

³ Кукис В.С. Совершенствование поршневых двигателей внутреннего сгорания (монография). – Saarbuchen: Palmarium Academic publishing, 2012. 395 с.

⁶ Bode D. The latest on organic Rankine bottoming cycle // Diesel and Gas Turbine Progress, 1980. – № 6. – P. 74–81.

вторичного контура воду из системы охлаждения ДВС⁵, то согласно расчётам, произойдет повышение КПД системы до 18%.

В этих паросиловых установках мощность, которая вырабатывается при утилизации, может не передаваться непосредственно на коленчатый вал, а обеспечивать работу системы охлаждения ДВС «напрямую», что позволяет ликвидировать традиционные устройства необходимые для регулирования интенсивности охлаждения. Это является несомненным «плюсом» этих систем. Поскольку в данном случае интенсивность охлаждения напрямую связана с нагрузкой поршневого двигателя, а не с частотой вращения его коленчатого вала.

Однако имеется и ряд недостатков данных систем: требуется наличие дополнительных устройств, необходимых для преобразования теплоты в работу; при транспортировке к преобразователю происходят энергетические «потери» отработавших газов; усложнена регулировка теплового режима двигателя. Вследствие всего вышесказанного, данные установки считаются малоэффективными, поэтому они не нашли широкого применения.

В работе⁶, рассмотрена схема более полного использования теплоты отработавших газов в воздушных расширительных машинах. В отличие от предыдущего типа установки, здесь рабочим телом вторичного контура является воздух. Силовая установка включает основной двигатель – поршневой ДВС (с газотурбинным наддувом или без него), и систему утилизации. Отработавшие газы двигателя, пройдя через теплообменник, нагревают предварительно сжатый в компрессоре воздух. Сжатый и нагретый воздух поступает в расширительную машину, где совершает полезную работу. Некоторая часть работы затрачивается на привод вентилятора, с помощью которого воздух после расширения и перед попаданием в компрессор охлаждается в теплообменнике. Другая часть работы затрачивается на привод компрессора. Оставшаяся часть передается на коленчатый вал двигателя. После охлаждения в теплообменнике воздух поступает в компрессор и сжимается, цикл агрегата-утилизатора повторяется.

Подобная установка была реализована на тракторном дизеле Алтайского моторостроительного объединения Ю.Е. Львом⁷.

Недостатки таких систем: необходимость наличия дополнительных устройств, в которых теплота превращается в работу и дополнительного рабочего

⁵ Цветкова, Н.И. Об использовании энергии отработавших газов после газовой турбины в силовых установках // Энергомашиностроение. – 1964. – №6. – С. 41–45.

⁶ Жмудяк, Л.М. Перспективные схемы утилизации тепла отработавших газов поршневых ДВС // Динамика и тепловая нагруженность и надежность сельскохозяйственных агрегатов: Материалы второго заседания республиканского семинара. – Барнаул: АПИ, 1981. – С. 100–109.

⁷ Лев, Ю.Е. Исследование поршневого регенеративного двигателя: Дис. ...канд. техн. наук– Барнаул, 1971. 163 с.

утилизационного контура; наблюдаются «потери» тепловой энергии отработавших газов при транспортировке к преобразователю; возникает необходимая потребность в установке сложных механизмов для передачи дополнительной работы на трансмиссию.

В последнее время, многие учёные для решения поставленной задачи утилизации тепловых потерь, как возможный вариант решения, рассматривают двигатели Стирлинга (ДС).

Первое появление этого двигателя уже известно в 18 веке. Эта машина имеет множество достоинств. Наиболее высокий КПД, по сравнению с другими тепловыми двигателями; работа на различном топливе; отсутствие вибраций, возможность допустимости кратковременной перегрузки, малый расход масла и низкая токсичность.

На рисунке 2 показан комбинированный двигатель, в составе которого четырехцилиндровый поршневой ДВС и ДС⁸.

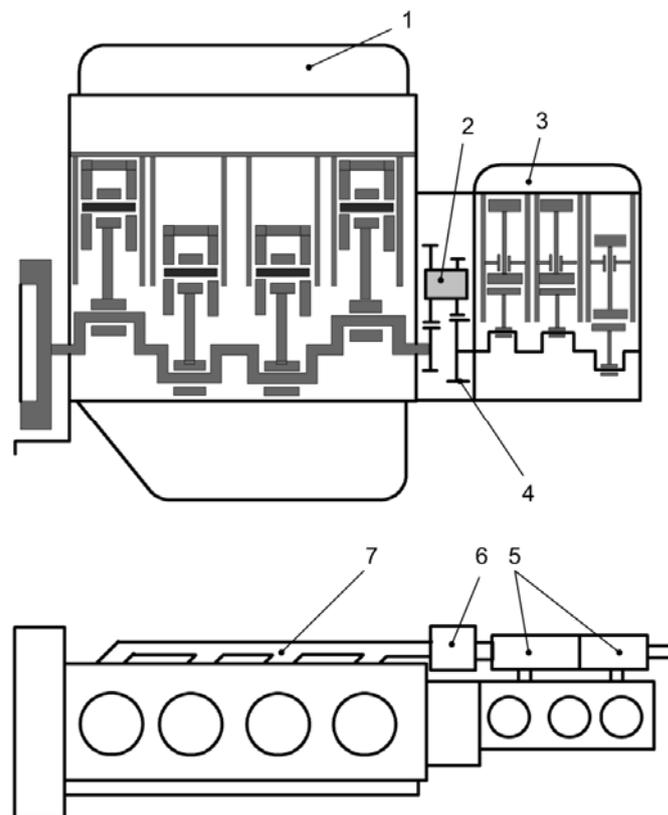


Рисунок 2. Комбинированный двигатель:

- 1 – дизель АМ-41; 2 – гидромурфта редуктора; 3 – двигатель Стирлинга;
4 – шестеренчатый редуктор; 5 – подогреватель рабочего тела стирлинга;
6 – термореактор (дожигатель отработавших газов); 7 – выпускной коллектор
дизеля

⁸ Лев, Ю.Е. Исследование поршневых двигателей. – Ангарск: Изд-во ИПИ, 1971. С.7–10.

Перечень элементов установки и их взаимосвязь, хорошо прослеживается по рисунку, и поясняет описание принципа действия установки. Необходимость включения в редуктор гидромуфты обусловлено некоторыми особенностями ДС (см. рисунок 2). В этом двигателе изменение частоты вращения коленчатого вала не может происходить также быстро, как в поршневом ДВС. Если частота вращения коленчатого вала ДВС будет возрастать интенсивнее, то при соединении со ДС без гидромуфты он начинает принудительно вращать вал ДС. В этом случае последний будет действовать как тормоз и, кроме того, вырабатывать холод, т.е. превратится в холодильную машину. Расчеты показывают, что установка, составленная из дизеля АМ-41 (имеющего эффективную мощность $p_e = 66$ кВт и удельный эффективный расход топлива $g_e = 245$ г/(кВт·ч) и трехцилиндрового ДС, будет развивать мощность 79 кВт (т. е. примерно на 20% выше) и обеспечивать расход топлива $g_e = 207$ г/(кВт·ч) (почти на 16% ниже).

В случае использования дожигателя, эти параметры соответственно достигнут значений 82 кВт и 199 г/(кВт·ч).

В работах⁹ показано, что наиболее рациональным использованием дополнительной мощности, полученной от утилизационного ДС, является привод различных агрегатов (систем) – вентиляторов, насосов, компрессоров и т. п. Наиболее рационально осуществлять этот привод не механически, а с помощью электроэнергии. В этом случае ДС необходимо приводить в действие электрический генератор, таким образом, возникает необходимость в создании стирлинг-электрической установке (СЭУ)¹⁰. Главным достоинством СЭУ является то, что привод электрического генератора в них может производиться в условиях обеспечения полной герметичности внутренней полости ДС. Это крайне важно при использовании в качестве рабочего тела гелия или водорода. Также установка позволяет исключить систему пополнения рабочим телом внутреннего контура.

Другим возможным рациональным путем выработки электроэнергии при утилизации теплоты ОГ является использование свободнопоршневого ДС, выполненного как линейный генератор переменного тока. Например, ДС фирмы «Санпауэр» (США)¹¹.

⁹ Кукис, В.С. Некоторые результаты испытаний двигателя Стирлинга размерностью 3,0/6,5 // Двигателестроение. – 1984. – №10. – С. 12–15; Кукис, В.С. Системно-термодинамические основы применения двигателей Стирлинга для повышения эффективности силовых и теплоиспользующих установок мобильной техники: Дис. ... д-ра техн. наук. – Челябинск, 1989. 461 с.

¹⁰ Кукис В.С. Влияние режима работы двигателя Стирлинга на интегральные характеристики цикла // Материалы Международной науч.-техн. конф. ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – Кн. 2. – М.: МГТУ «МАМИ». С. 158–165.

¹¹ Двигатели Стирлинга –М.: Мир, 1975. 448 с.

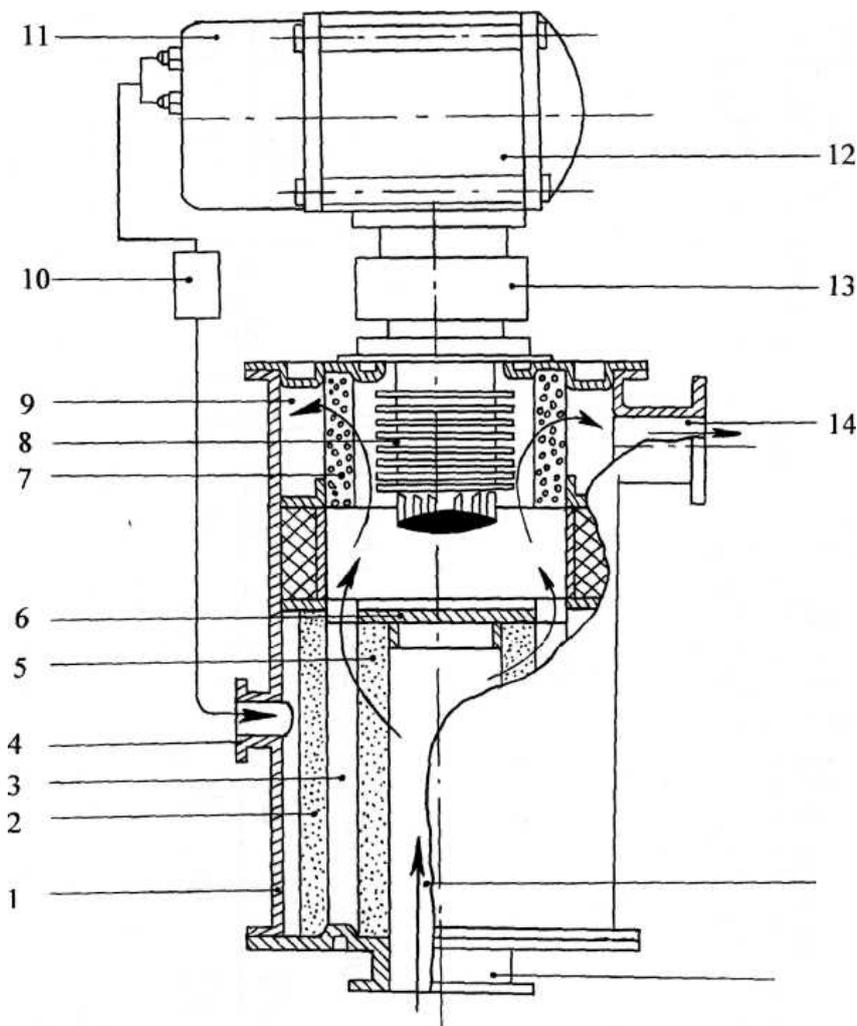


Рисунок 3. Каталитический нейтрализатор, совмещенный с утилизационной стирлинг-электрической установкой:

- 1 – корпус нейтрализатора; 2 – каталитический блок; 3 – окислительный реактор; 4 – патрубок для подачи воздуха; 5 – пористый каталитический окислительный блок; 6 – перегородка с окнами; 7 – блок восстановления; 8 – нагреватель; 9 – выпускная камера; 10 – нагнетатель воздуха; 11 – электрический генератор; 12 – корпус двигателя Стирлинга; 13 – охладитель; 14 – выпускной патрубок; 15 – впускная камера; 16 – впускной патрубок

В работе¹² в качестве системы снижения токсичности при одновременном повышении мощностных и экономических показателей использован каталитический нейтрализатор (КН), совмещенный с утилизатором – СЭУ.

Устройство этой системы поясняется рисунке 3, где утилизационная установка включает в себя ДС, совмещенный с электрическим генератором, и

¹² Кукис, В.С. Результаты снижения токсичности отработавших газов дизеля КамАЗ-740 с помощью каталитического нейтрализатора // Тр. ТГАТА. – Мелитополь, 1998. – Вып. 2. – Т. 6. – С. 38–44.

нагнетатель воздуха в нейтрализатор с электроприводом. Нагреватель утилизационного ДС устанавливается в патрубок нейтрализатора со стороны восстановительного блока. Генератор, совмещенный с ДС, питает электрический привод нагнетателя воздуха. Нагнетатель подает воздух через патрубок в окислительный блок нейтрализатора (см. рисунок 3).

Другое конструктивное оформление рассмотренной идеи предложено в работе¹⁵. Каталитический нейтрализатор с утилизацией теплоты ОГ работает следующим образом. От поршневого ДВС отработавшие газы поступают в полость реактора через элементы входного патрубка, проходят через стенки пористого каталитического блока, в котором происходят реакции окисления продуктов неполного сгорания: углеводородов, оксида углерода, сажи и идет восстановление окислов азота. Процессы поддерживаются за счет высоких температур и соприкосновения газов с пористыми стенками каталитического блока. Этот блок окислительно-восстановительного типа. Для поддержания процесса окислительно-восстановительных реакций в реактор нагнетателем через воздушный патрубок подается воздух.

Все приведенные вышеперечисленные примеры, найденные нами в доступной литературе, к сожалению, исчерпывают случаи использования двигателей Стирлинга для утилизации теплоты ОГ поршневых ДВС.

Отметим, что утилизационные двигатель-электрические установки (ДЭУ) могут быть выполнены как когенерационные установки, одновременно вырабатывающие электрическую и тепловую энергию, обеспечивая значительный общий коэффициент использования утилизируемой теплоты – до 80–90%.

Другим возможным направлением использования утилизационного ДС является привод каких-либо агрегатов или систем основной силовой установки. Такими агрегатами могут быть вентиляторы, насосы, компрессоры. Наиболее рациональное решение при этом, как было рассмотрено ранее – осуществление привода с помощью электроэнергии. В этом случае двигатель Стирлинга должен приводить в действие генератор. Несомненным плюсом такого способа является возможность питания бортовых электроприборов без дополнительных затрат энергии, т.е. без расходования мощности основной силовой установки (СУ).

Однако при всех своих достоинствах двигатель Стирлинга как силовая установка имеет и существенные недостатки, которые усложняют его использование: относительно большие габариты и масса; сложность конструкции; высокая стоимость; меньшая приемистость и сложность

регулирования мощности; увеличенные размеры системы охлаждения. Для получения более высокого КПД в ДС следует использовать в качестве рабочего тела гелий или водород. Применение воздуха, как рабочего тела существенно снижает КПД установки.

Одним из возможных направлений в утилизации теплоты ОГ является ее трансформация в электрическую энергию с помощью термоэлектрических преобразователей (модулей), термоэлектрических генераторов¹³.

К недостаткам данных систем можно отнести: наличие дополнительных устройств, в которых теплота превращается в электроэнергию, а электроэнергия в работу (это значительно уменьшает КПД при преобразовании); ограниченный диапазон рабочих температур; «потери» энергии ОГ при транспортировке к преобразователю.

Эффективность использования тех или иных систем утилизации «бросовой» теплоты ПС оценивают различными способами. В настоящее время утилизационные установки сравнивают по отдельным технико-экономическим показателям. Такие установки представляют собой сложную систему элементов и связей, поэтому необходимо учитывать достаточно большое количество показателей, которые имеют различный физический смысл, а также сложную взаимосвязь. Формализовать эти связи и учесть одновременно все показатели — достаточно трудная задача.

Одним из методов, позволяющих комплексно учесть различные свойства, присущие тому или иному типу утилизационной системы, является квалиметрический метод¹⁴. Принцип его заключается в том, что характеристикам, положенным в основу оценки, на основании изучения литературы и мнения экспертов присваиваются значения коэффициентов значимости – КЗ (в баллах от 1 до 10). После этого для каждой характеристики вычисляют степень значимости с учетом оценочного коэффициента (ОК).

Степень значимости представляет собой произведение коэффициента значимости и ОК. Полученные значения для каждой утилизационной системы суммируются, и отдельные системы сравнивают в процентном отношении, принимая наибольшую сумму за 100%.

¹³ Зайцев, А.П. Исследование характеристик работы утилизационного термоэлектрического генератора при работе дизеля на различных режимах // Повышение уровня технической эксплуатации судовых дизелей. – Новосибирск, 1987. С. 67–73.

¹⁴ Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. 159 с.

В таблице показаны результаты сравнения с учетом указанных характеристик рассмотренных выше вариантов систем утилизации: паросиловой установки (ПУ), воздушной машины сжатия-расширения (ВМСП), двигателя Стирлинга (ДС) и термоэлектрических модулей (ТЭМ).

Таблица 1 – Сравнительная оценка различных систем утилизации теплоты отработавших газов поршневых ДВС

Оцениваемые характеристики	Коэффициенты значимости				Оценочный коэффициент	Степень значимости			
	ПУ	ВМСП	ДС	ТЭМ		ПУ	ВМСП	ДС	ТЭМ
Экономичность	8	6	10	5	1,0	8	6	10	5
Многофункциональность	4	4	10	4	1,0	4	4	10	4
Экологичность	9	10	10	10	1,0	9	10	10	10
Безопасность	7	8	9	10	0,9	6,3	7,2	8,1	10
Надежность	8	6	3	9	0,9	7,2	5,4	2,7	8,1
Масса	3	5	5	1	0,8	2,4	4,0	4,0	0,8
Габариты	2	5	4	3	0,8	1,6	4,0	3,2	2,4
Степень сложности технического обслуживания	8	8	8	10	0,7	5,6	5,6	5,6	7,0
Стоимость изготовления	7	9	5	1	1,0	7	9	5	1
Сумма						51,1	55,2	58,6	48,3
Процент						87,8	94,2	100,0	82,4

В качестве показателей, отражающих свойства сравниваемых утилизационных систем, с учетом ГОСТ 4.401-85 и РД-37.001.027-85 нами были выбраны основные важные характеристики: экономичность, многофункциональность, экологичность, безопасность, надежность, масса, габариты, сложность технического обслуживания и стоимость изготовления (см. таблицу).

Вывод. Анализируя полученные результаты, можно сделать заключение о том, что создание и использование систем утилизации «бросовой» теплоты с применением двигателей Стирлинга, являются наиболее перспективными и актуальными в решении проблемы повышения эффективности объектов транспортной энергетики оборудованы теплоэнергетическими или/и теплогенерирующими установками.

ОЦЕНКА ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОКРЫТИЙ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ ДВС, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СВС-МЕХАНОКОМПОЗИТОВ ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

А.В. Собачкин – к.т.н., старший научный сотрудник, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

В.И. Яковлев – к.т.н., старший научный сотрудник, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

В.Н. Некрасов – к.т.н., доцент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

А.М. Бацук – магистрант, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Аннотация

В работе проведено исследование износостойких свойств покрытий поршневых колец, напыленных с помощью газодетонационного метода. В качестве напыляемого порошка использовался СВС-механокомпозит состава TiC–NiCr. Установлено, что износ поршневых колец с разработанным покрытием на 27 % ниже, чем у аналогичных колец с гальваническим хромированием.

Введение. В настоящее время детали, узлы и агрегаты машин зачастую работают в экстремальных условиях под воздействием высоких нагрузок и значительных температур. В автомобиле в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации находятся поршневые кольца двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Использование технологий нанесения различных покрытий этих ответственных изделий является оправданным, поскольку позволяет увеличить эксплуатационную надежность машин и агрегатов, а также сэкономить ремонтные затраты¹. Так, теплозащитные покрытия деталей цилиндро-поршневой группы ДВС обеспечивают снижение на 10–15% потерь теплоты в охлаждающую жидкость, что приводит к повышению экономичности двигателя порядка 4%. Расход топлива при этом снижается на 3–4%, а общий моторесурс ДВС повышается на 20%. Использование покрытий также позволяет снизить на 30% рабочую температуру поршня в области первого кольца, что ведет к уменьшению износа кольца и практически полностью исключает вероятность заклинивания двигателя.

¹Гаркунов, Д.Н., Балабанов, В.И. Восстановление двигателей внутреннего сгорания без их разборки // Тяжелое машиностроение. – 2000. – № 2. – С. 18–22.

Поршневые кольца изготавливаются, как правило, из серого чугуна, однако в последнее время все большее внимание уделяется применению стальных поршневых колец. Наиболее широкое использование нашла сталь 65Г. По эксплуатационным показателям поршневые кольца из этой стали практически не уступают чугунным, но для увеличения износостойкости на кольца наносят защитные покрытия методами фосфатирования, сульфидирования, оксидирования; в последние годы используют также покрытия на основе карбидов и диборидов титана, циркония и др.

Однако отсутствие единых требований и технологических рекомендаций по созданию заданных параметров поверхностного слоя и восстановлению деталей требуют внедрения новых технологий нанесения покрытий². Из существующих методов газотермического нанесения покрытий газодетонационный обладает рядом преимуществ, и может быть применен для упрочнения и восстановления деталей, работающих в условиях больших контактных нагрузок, ударного воздействия, эрозионного и абразивного износа³.

Дальнейшее развитие метода газодетонационного напыления (ДГН), наряду с модернизацией оборудования, состоит в совершенствовании технологии, например, путем использования новых материалов. С этой целью в процессах газодетонационного напыления могут применяться композиционные порошковые смеси, подверженные предварительной механической активации. Получение новых материалов, кроме этого, также возможно с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС)⁴. Объединение технологий СВС, ДГН и механоактивации в единый технологический цикл может иметь хорошие перспективы для развития нанотехнологий⁵.

В данной работе исследовали покрытия на основе наноструктурных материалов, полученных методами механохимии с проведением реакции высокотемпературного синтеза в металлической матрице, и нанесенные газодетонационным способом.

² Борисов, Ю.С., Борисова, А.Л. Плазменные порошковые покрытия. – Киев: Техника, 1986. С. 233.

³ Бартенев, С.С. Детонационные покрытия в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1982. С. 215.

⁴ Корчагин, М.А. Механическая активация и самораспространяющийся высокотемпературный синтез при получении монофазных высокодисперсных интерметаллидов // Вопросы материаловедения. – 2002. – № 1. – С. 419–423; Fu, Z.Y.. Composites fabricated by self-propagating high-temperature synthesis // J. Mater. Proc. Tech. – 2003. – V. 137. – P. 30–34.

⁵ Собачкин, А.В. Структура и свойства газодетонационных покрытий различного функционального назначения на основе порошков слоистых механокомпозитов с металлической и интерметаллидной матрицей // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 6 (102). – С. 16–22.

Объекты и методы исследования. Для газодетонационного напыления использовалась установка «Катунь-М» (рисунок 1). Она предназначена для напыления покрытий на основе порошковых материалов на различные детали для обеспечения принципиально других свойств в сравнении с исходным изделием. Установка расположена в изолированном помещении с принудительной вентиляцией.

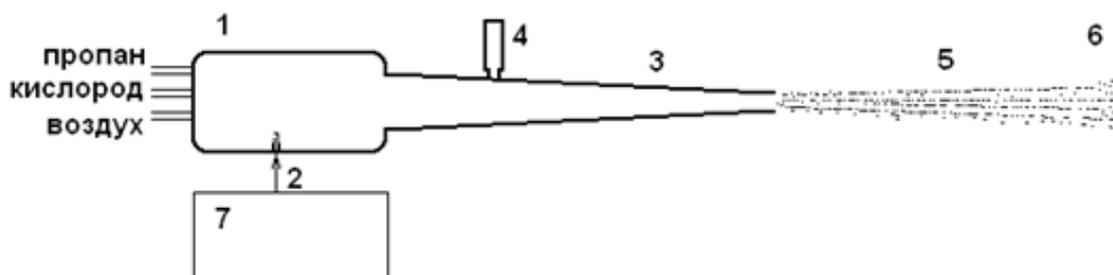


Рисунок 1. Схема установки газодетонационного напыления «Катунь-М»: 1 – форкамера, 2 – система зажигания, 3 – ствол, 4 – дозатор порошка, 5 – поток напыляемых частиц, 6 – напыляемая деталь, 7 – блок управления.

Установка газодетонационного напыления «Катунь-М» включает в себя: блок напыления, который, в свою очередь, состоит из форкамеры 1 и ствола 3; систему зажигания 2; порошковый дозатор 4 и блок 7 управления установкой. В состав блока управления входит газораспределительная станция, система охлаждения блока напыления и устройство перемещения установки.

Определение трибологических характеристик поршневых колец проводили на машине 2168 УМТ для испытания материалов на трение (рисунок 2). Триботехнический комплекс позволяет проводить испытания материалов на трение и износ в широком диапазоне нагрузок, скоростей и схем испытаний⁶. При этом, машина позволяет одновременного испытывать исследуемый и эталонный образец при их постоянном перемещении по спирали Архимеда.

⁶Собачкин, А.В. Антифрикционные газодетонационные покрытия поршня двигателя внутреннего сгорания на основе наноструктурированного композиционного материала // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. – 2016. – Т. 3. – № 2. – С. 67–73.

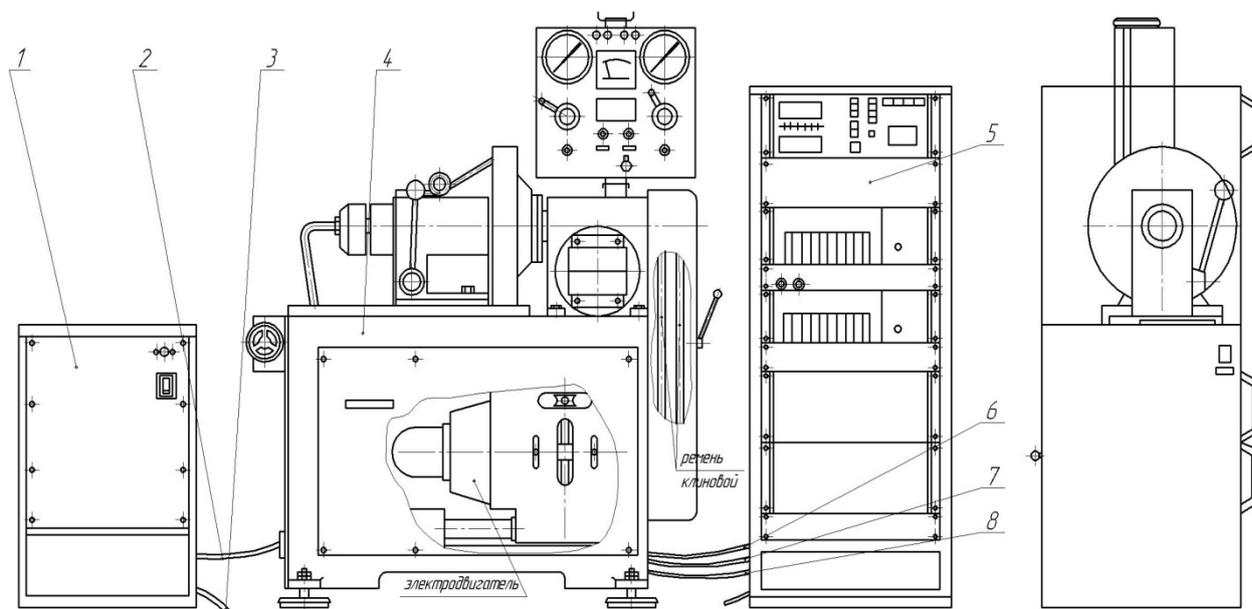


Рисунок 2. Триботехнический комплекс 2168 УМТ:

- 1 – силовой пульт; 2, 3, 6, 7, 8 – соединительные устройства;
4 – испытательная установка; 5 – пульт управления

Определение износостойкости напыленных покрытий проводилось по ГОСТ 23.204-78. Обеспечение износостойкости изделий. Методы определения истирающей способности поверхностей при трении.

Исследования сравнительной износостойкости выполнялись в условиях сухого трения по схеме «диск – палец». Диск изготовлен из чугуна, соответствующего по химическому составу и термообработке гильзе дизельного двигателя. Дыску сообщается вращательное движение, а образцу («пальцу») – радиальное возвратно-поступательное перемещение, обеспечивающее примерно равномерное изнашивание диска. Усиление прижима образца к диску регулируется до обеспечения удельного давления, идентичного расчетному давлению кольца на гильзу от его собственной упругости.

Продолжительность испытаний каждого образца составляла 14 часов (исходя из имеющегося опыта подобных исследований)⁷.

Для оценки износостойкости покрытий применялся весовой метод. Суть метода состоит в оценке износа через взвешивание образцов до и после изнашивания. Контроль износа образцов производился через каждый час. Перед взвешиванием образец промывался для удаления продуктов износа, сушился.

⁷ Собачкин, А.В. Оценка износостойкости изделий на основе механоактивированных материалов // Электротехника. Энергетика. Машиностроение: сб. научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых, 2014. С. 248–251.

Взвешивание производилось на аттестованных аналитических весах с точностью измерений 0,1 мг.

Испытанию подвергалось по 3 образца, вырезанных из разных поршневых колец одного вида. По результатам измерений рассчитывался средний весовой износ для трех образцов по 14 контрольным точкам.

Для проведения исследований использовались следующие образцы и абразивы: чугунные маслосъемные кольца с хромированным покрытием, произведенные на ставропольском заводе поршневых колец; кольца из стали 65Г в исходном состоянии с покрытием, и обработанные методом ионной имплантации; чугунные диски без обработки; закаленные чугунные диски; диски из стали 65Г с закалкой, а также диск из фосфористого чугуна.

Результаты и их обсуждение. Как уже отмечалось, порошки монокарбида титана имеют широкое применение в различных отраслях машиностроения⁸. В этой связи по разработанной технологии были получены СВС-материалы, предназначенные для использования в качестве напыляемого порошка. Используя УДГН «Катунь-М», было проведено нанесение покрытий на основе TiC + NiCr на образцы поршневых колец, изготовленных из стали 65Г.

Кроме того, испытанию подвергались образцы, полученные из колец разных изготовителей с различными видами поверхностного упрочнения. Таким образом, оценка износостойкости проводилась для следующих поршневых колец:

- кольца, изготовленные из стали 65Г с детонационно-газовым напылением покрытия из СВС-механокомпозита состава TiC + NiCr;
- кольца, изготовленные из стали 65Г с гальваническим хромированием;
- кольца, изготовленные из стали 50ХФА с оксикарбонитрацией (ОКН) поверхностного слоя (~ 200 мкм);
- кольца производства Чехии;
- кольца производства Ставропольского завода поршневых колец (чугунные с гальваническим хромированием).

Рассчитанные средние значения весового износа образцов из разных колец сведены в таблицу.

⁸Kermedy, A.R. The microstructure and mechanical properties of TiC and TiB₂-reinforced cast metal matrix composites // J. Mater. Sci. – 1995. – V. 34. – P. 933–940.

Таблица 1 – Весовой износ образцов

Образец (кольцо)	Весовой износ (мг) при различном времени испытания (час)													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
65Г+(TiC+NiCr)	0,5	0,7	1,0	1,5	1,7	1,9	2,1	2,4	2,8	3,1	3,6	4,0	4,2	4,4
65Г+ Cr	0,7	0,9	1,3	1,7	2,2	2,5	3,1	3,5	3,9	4,1	4,5	5,2	5,7	6,0
50ХФА+ОКН	1,3	1,7	1,9	2,1	2,3	2,8	2,9	3,2	3,5	3,7	4,0	4,5	5,0	5,2
Чехия	0,8	1,4	2,2	2,5	3,0	3,7	4,0	4,3	4,7	5,3	5,9	6,0	6,5	7,2
Ставрополь	1,7	2,2	2,5	2,8	4,0	4,5	5,2	5,7	6,2	6,9	7,7	8,2	8,6	9,2

По полученным данным построены графики износа образцов, представленные на рисунке 3.

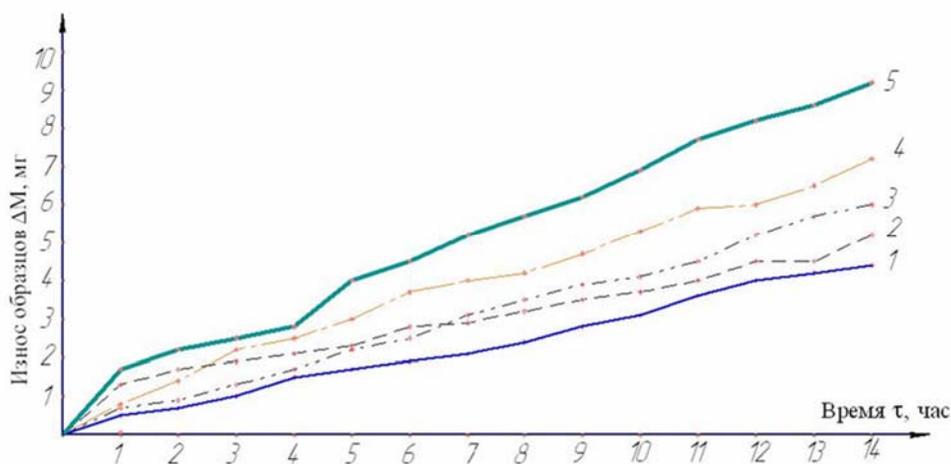


Рисунок 3. Износ образцов из колец с различными видами поверхностного упрочнения:

- 1 – детонационное напыление TiC + CrNi; 2 – оксикарбонитрация;
- 3 – гальваническое покрытие; 4 – кольцо производства Чехии;
- 5 – кольцо Ставропольского завода

В начальный период наблюдается повышенная интенсивность износа, что обусловлено начальной приработкой и соответствует общей теории износа. Наиболее заметен процесс приработки на образцах из 50ХФА с оксикарбонитрацией вследствие наличия слоя мягких окислов, облегчающих процесс приработки реального кольца к гильзе.

По истечении периода приработки (от 1 до 5 часов) интенсивность износа стабилизируется, и зависимость износа от времени становится близкой к линейной (период нормального износа).

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что наилучшей износостойкостью обладают образцы из колец, напыленных СВС-материалами на основе карбида титана газодетонационным способом

(см. рисунок 3, кривая 1). Величина общего износа за весь период испытаний на 16% ниже, чем у колец, подвергаемых оксикарбонитрации (кривая 2), и на 27% ниже, чем у аналогичных колец с гальваническим хромированием (кривая 3). Таким образом, использование технологии СВ-синтеза в механоактивированных системах Ti–C–NiCr и последующее газодетонационное напыление этих составов позволяет получать покрытия на прецизионные детали машиностроения, которые могут заменить гальваническое хромирование.

ЧАСТЬ 2. ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА В МАТЕРИАЛЬНО- ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВС РФ

В.И. Аксёнкин – к.воен.н., начальник отдела, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

М.Л. Золотарёв – к.воен.н., старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

В.С. Краснов – к.воен.н., старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Аннотация

Рассмотрены принципы действия установок и систем, служащих для перемещения сыпучих и штучных грузов с помощью воздуха или газа.

Введение. Пневматический транспорт – один из современных видов промышленного транспорта, позволяющий перемещать как сыпучие, так и штучные грузы с помощью воздуха или газа по трубопроводу.

Объекты и результаты исследования. В зависимости от назначения и принципа действия различают 4 класса установок пневматического транспорта.

Наиболее часто применяют установки первого класса, в которых перемещение частиц осуществляется во взвешенном состоянии.

Ко второму классу относится аэрозоль-транспорт. В этом случае перед вводом в трубопровод транспортируемый материал насыщается воздухом и переводится в аэрированное состояние. Под действием перепада давления он в виде пробок транспортируется по горизонтальному материалопроводу.

К третьему классу установок пневматического транспорта принадлежат аэрожелоба, в которых аэрированный материал перемещается по наклонному желобу вследствие приобретения текучести¹.

В установках пневматического транспорта четвертого класса (контейнерах) транспортируемый материал перемещается в патронах под действием сжатого воздуха, что представляет наибольший интерес для транспортного обеспечения войск (сил) и, прежде всего доставки материальных средств войскам (силам) на операционных направлениях, имеющих сложную (критическую) транспортную инфраструктуру и значительную плотность транспортных объектов, разрушение или уничтожение которых может привести к срыву перевозок войск (сил) и материальных средств на данном операционном направлении (например, Кольское операционное направление) (рисунок 1).

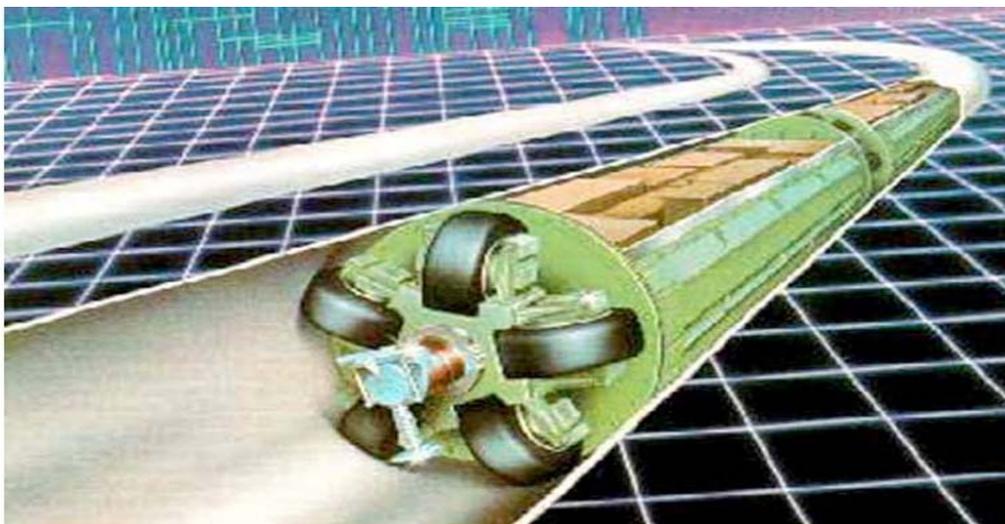


Рисунок 1. Вариант доставки материальных средств пневмотранспортом в контейнерах

Проведенные исследования показывают, что в перспективе транспортировка штучных грузов пневматическим транспортом связана с контейнерным (капсульным) транспортом, что наиболее приемлемо для нужд материально-технического обеспечения войск (сил)². Система трубопроводного контейнерного пневматического транспорта представляет собой трубопровод, в котором под давлением воздуха, создаваемым воздуходувными установками, движутся контейнеры на колёсном ходу или составы из них (рисунок 2).

¹ Якунин, В.И. Политология транспорта. Политическое измерение транспортного развития. – М.: Экономика, 2006. С. 36–37.

² Красовский, А.Е., Фортунатов, В.В. Прорывные управленческие технологии на транспорте. СПб.: «Петербургский государственный университет путей сообщения»; М.: «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. С. – 52–54.

Для военных целей трубопроводы должны находиться вне поверхности, на определённой глубине (в земле, в воде), что исключает демаскирование перевозочного процесса³.

Пневматический контейнерный (капсульный) транспорт - относительно новый способ перемещения грузов в больших объемах. Он, как и другие виды специального транспорта, обеспечивает возможность автоматизации транспортного процесса, достаточно высокую производительность, герметичность и, следовательно, отсутствие потерь груза в результате воздействия противника⁴.



Рисунок 2. Вариант системы трубопроводного контейнерного пневматического транспорта для перевозки людей (личного состава)

Трубопроводный пневмоконтейнерный транспорт бывает, как периодического, так и непрерывного действия. Режим работы может быть компрессорным, вакуумным или смешанным. При небольших объемах транспортирования грузов на небольшие расстояния применяются однетрубные установки. Для повышения их пропускной способности на перегонах

³ Аксёнкин, В.И. Статья. Основные тенденции и перспективы развития железнодорожного транспорта на период до 2030 года // Сб.: «Транспорт России: проблемы и перспективы». – СПб., 2016. С.102–106.

⁴ Иванов, С.М. Обоснование критериев эффективности процесса доставки боеприпасов автомобильным транспортом // Сб.: Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016 – материалы Международной научно-практической конференции. СПб., 2016. С. 308–312.

устанавливают специальные стрелки или разъезды для расхождения порожних и груженых составов, а также увеличивают фронт погрузки-выгрузки.

Более производительными являются двухтрубные установки непрерывного действия, у которых по одной трубе идут груженые составы, по другой – порожние, что в перспективе приведёт к замене железнодорожного транспорта (как наиболее уязвимого) на данном операционном направлении.

Станция погрузки является одновременно и камерой приема и запуска пневмопоездов. Если расстояние транспортировки большое, то по ходу могут быть установлены подкачивающие станции. Скорость движения поездов высокая, до 14 м/с, что обеспечивает высокую оперативность доставки материальных средств войскам (силам).

В установках пневматического транспорта 4-го класса (контейнерах) транспортируемый материал перемещается в патронах под действием сжатого воздуха.

Трубопроводная сеть всасывающей установки может быть выполнена в следующих вариантах:

- простая неразветвленная;
- разветвленная без коллектора;
- разветвленная с коллектором (паукообразная).

Установки пневматического транспорта состоят из:

- устройств для создания потока несущей среды (компрессоры, вентиляторы, воздуходувки, вакуум-насосы);
- загрузочных устройств;
- транспортных коммуникаций (трубопроводы с арматурой и переключателями, пневможелоба);
- устройств для отделения твёрдых частиц от несущей среды (осадительные камеры, шлюзовые затворы, циклоны, фильтры);

Достоинства пневматического транспорта:

- простота, удобство сооружения и обслуживания;
- герметичность транспортных систем;
- использование пневмоустановок для сушки, нагрева или охлаждения материала при его транспортировании;
- поточность и возможность совмещения транспортирования с другими технологическими процессами;

– приспособляемость трассы к стеснённым инфраструктурным условиям и малые габариты установок (в 4–5 раз меньше, чем при механических видах транспорта);

– исключение вредного влияния на окружающую среду (отсутствие потерь, пыли, загрязнения, безопасность работ);

– возможность полной автоматизации.

К недостаткам можно отнести:

– высокий расход электроэнергии (до 4–10 кВт·ч/т);

– быстрый износ трубопроводов и оборудования;

– необходимость сооружения дополнительных трубопроводов для возврата контейнеров и капсул.

Основные тенденции развития пневматического транспорта, обеспечивающие повышение его технического уровня и эффективности использования при доставке материальных средств войскам (силам):

– комплексное использование в транспортных процессах доставки материальных средств войскам (силам) и на погрузочно-разгрузочных работах современных средств механизации и автоматизации производственных процессов;

– совершенствование технологии транспортирования с автоматическим поддержанием рациональных режимов и учётом специализации технических средств по видам материалов и работ;

– значительное повышение мощности установок и долговечности оборудования.

Заключение. Имеющийся зарубежный и частично отечественный опыт использования пневмотранспорта показал его высокую эффективность и возможность использования для нужд материально-технического обеспечения войск (сил) там, где использование других видов наземного транспорта прогнозируется как невозможное в случаях разрушения (уничтожения) критически важных транспортных объектов на сухопутных коммуникациях и отсутствия возможности манёвра транспортными коммуникациями.

ИННОВАЦИИ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК ОПАСНЫХ ВОИНСКИХ ГРУЗОВ

В.И. Аксёнкин – к.воен.н., начальник отдела, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

М.Л. Золотарёв – к.воен.н., старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

В.С. Краснов – к.воен.н., старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Аннотация

Рассмотрены важнейшие аспекты обеспечения безопасности при железнодорожных перевозках опасных воинских грузов. Отмечено, что при железнодорожных перевозках опасных воинских грузов правовое урегулирование, т. е. установление норм и правил обеспечивают как сохранность опасного воинского груза, так и безопасность его перевозки.

Введение. Одним из важнейших аспектов обеспечения безопасности при железнодорожных перевозках опасных воинских грузов является правовое урегулирование, т.е. установление норм и правил, которые обеспечивают как сохранность опасного воинского груза, так и безопасность его перевозки.

Объект и результаты исследования. Рассматривая нормативно-правовую базу, можно выделить следующие законы и правила, регулирующие безопасность перевозки опасных грузов вообще и воинских грузов, в частности:

– Федеральный закон от 10.01.2003г. №17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» (редакция от 02.07.2013 г. №185-ФЗ);

– «Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам» (утверждено Советом по железнодорожному транспорту государств участников Содружества, протокол от 5 апреля 1996 г. № 15) (редакция от 07.05.2013 г.);

– «Правила безопасности при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом» (утверждено Постановлением Госгортехнадзора РФ от 16.08.1994 г. № 50) (редакция от 20.06.2002 г.) и др.

В Федеральном законе «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» выделены следующие аспекты:

– понятия «грузоотправитель (отправитель)», «грузополучатель (получатель)», «опасный груз», «места общего и необщего пользования» и др. используются в значениях, указанных в статье 2 Федерального закона «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации»;

– указано, что Федеральный орган исполнительной власти в области железнодорожного транспорта осуществляет функции компетентного органа РФ по перевозкам опасных грузов железнодорожным транспортом, установленные Правительством РФ;

– приведены требования к объектам, на территориях которых осуществляются производство, хранение, погрузка и выгрузка опасных грузов. В частности, они должны быть удалены от железнодорожных путей общего пользования и расположенных от них зданий, строений, сооружений на расстояние, обеспечивающее безопасное функционирование железнодорожного транспорта. Минимальные расстояния от указанных объектов до железнодорожных путей общего пользования и расположенных от них зданий, строений, сооружений, пересечений железнодорожных путей общего пользования линиями связи, электропередачи, нефте-, газо-, продуктопроводами и другими наземными и подземными сооружениями, а также нормы сооружения и содержания указанных объектов при их пересечении железнодорожными путями общего пользования и сближении с этими железнодорожными путями устанавливаются нормативными правовыми актами соответствующих федеральных органов исполнительной власти, принимаемыми по согласованию с федеральным органом исполнительной власти в области железнодорожного транспорта;

– указаны требования к грузоотправителям и грузополучателям, которые при перевозках, погрузке и выгрузке опасных грузов (в том числе и воинских) должны обеспечивать безопасность таких перевозок, погрузки и выгрузки, а также иметь соответствующие средства и мобильные подразделения, необходимые для ликвидации аварийных ситуаций и их последствий.

Понятие «опасных грузов» (в том числе и воинских) и требования к их перевозке приведены в Федеральном законе «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации».

Основными положениями данного закона являются:

– «опасный груз» – груз, который в силу присущих ему свойств с учётом определённых условий при перевозке, выполнении маневровых, погрузочно-разгрузочных работ и хранении может стать причиной взрыва, пожара, химического или иного вида заражения либо повреждения технических средств, устройств, оборудования и других объектов железнодорожного транспорта и третьих лиц, а также причинения вреда жизни или здоровью граждан, вреда окружающей среде;

– при перевозке опасных грузов (в том числе и воинских) грузоотправитель обязан наносить на тару, вагоны, контейнеры знаки, коды опасности, предусмотренные правилами перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом. Порядок нанесения указанных знаков, кодов устанавливается федеральным органом исполнительной власти в области железнодорожного транспорта и публикуется в сборнике правил перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом;

– перечень опасных (в том числе и воинских) грузов, погрузка и выгрузка которых в местах общего и необщего пользования не допускаются, устанавливается правилами перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом;

– после выгрузки опасных (в том числе и воинских) грузов в случаях, предусмотренных правилами перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом, грузополучатели за свой счёт обязаны провести промывку и дезинфекцию вагонов, контейнеров;

– перечень допускаемых для перевозок опасных (в том числе и воинских) грузов, которые должны сопровождать представители грузоотправителей, грузополучателей, устанавливается правилами перевозок опасных грузов.

Что касается правил перевозки опасных (в том числе и воинских) грузов, то в РФ параллельно действуют два документа:

– «Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам».

Эти правила распространяются на перевозки опасных (в том числе и воинских) грузов стран СНГ и ОДКБ и являются обязательными для работников железнодорожного транспорта.

Отправителей и получателей опасных (в том числе и воинских) грузов, портов и пристаней, аэропортов, а также для транспортно-экспедиционных

предприятий, осуществляющих обслуживание грузоотправителей и грузополучателей (в том числе и воинских по соответствующему договору (контракту));

– «Правила безопасности при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом», разработанные Ростехнадзором. Они также распространяются на перевозки опасных (в том числе и воинских) грузов и являются обязательными для грузоотправителей, грузополучателей, работников магистрального и промышленного (внутрибазового) железнодорожного транспорта, воинских караулов, участвующих в процессе перевозки, сопровождения и охраны опасных грузов, ими должны руководствоваться все предприятия, организации (арсеналы, базы и производственно-логистические комплексы), занимающиеся изготовлением, техническим обслуживанием, хранением и отгрузкой опасных грузов потребителям, техническим обслуживанием и ремонтом специального подвижного состава и контейнеров для перевозки опасных грузов, а также транспортно-экспедиционным обслуживанием грузоотправителей и грузополучателей.

В части требований эти документы похожи, однако ряд положений «Правил перевозок опасных грузов по железным дорогам» противоречат другим документам.

Особо следует рассмотреть спорные (труднореализуемые и опасные) требования «Правил перевозки опасных грузов по железным дорогам», касающихся сопровождения опасных (в том числе и воинских) грузов, изложенных в п.п. 1.5.1–1.5.4:

– п. 1.5.1. Опасные грузы, отмеченные в колонке 14 «Специальные условия» Алфавитного указателя опасных грузов цифрами «2», «2а», перевозятся в сопровождении проводников (специалистов) грузоотправителей (грузополучателей) с соблюдением требований настоящих Правил и правил перевозок грузов железнодорожным транспортом.

Порожня неочищенная тара из-под опасных грузов, а также порожние неочищенные вагоны и контейнеры из-под опасных грузов, отмеченные в колонке 14 «Специальные условия» цифрами «5», «5а», «5б» перевозятся в сопровождении проводников (специалистов) грузоотправителя (грузополучателя) на условиях опасного груза.

Без указанного сопровождения вагоны к перевозке не принимаются (п. 1.5.1 в редакции протокола от 29.10.2011 г.).

– п. 1.5.2. Проводники (специалисты), сопровождающие опасные грузы, кроме обязанностей, предусмотренных Правилами, должны знать служебную инструкцию по сопровождению данного груза, разработанную и утверждённую грузоотправителем, опасные свойства груза, меры оказания первой помощи, меры безопасности в аварийных ситуациях. Проводники (специалисты) обязаны следить в пути следования за соблюдением условий и мер безопасности, установленных для этого груза.

– п. 1.5.3. Грузоотправитель обязан снабдить проводников (специалистов) и личный состав охраны необходимыми средствами индивидуальной защиты и спецодеждой, аптечкой, комплектом инструментов, первичными средствами пожаротушения, дегазации, а также необходимыми вспомогательными материалами.

– п. 1.5.4. В случае обнаружения в пути следования неисправности вагона, из-за которой он не может следовать по назначению, вагон отцепляется от поезда, подаётся на специально выделенные пути и находится под охраной проводника (воинского караула). Если группу вагонов сопровождает один проводник (воинский караул), то от поезда отцепляется вся группа. Устранение неисправности осуществляется под наблюдением проводника (воинского караула) в порядке установленном железнодорожной администрацией.

Мировая практика перевозки жидких опасных грузов по железной дороге и тем более порожней тары не имеет прецедентов сопровождения специальными командами (пожарными, грузоспасателями и т.п.).

При этом, например, в США перевозят жидкие опасные грузы в цистернах в 1,5 раза больших, чем российские железнодорожные цистерны типа 15-1556 без какого-либо сопровождения. При этом объёмы перевозки жидких опасных грузов почти в 10 раз превышают российские.

Тем не менее в России реализована практика перевозки жидких опасных грузов (например, жидкого ракетного топлива) с сопровождением. Эффективность такой меры безопасности сомнительна, так как ликвидация серьёзных проблем с цистерной в пути следования возможна только силами специализированных подразделений МЧС (войск РХБ защиты). Потребление жидкого ракетного топлива в Вооружённых Силах РФ весьма значительно. Сформировать свой громадный парк специальных цистерн для перевозки жидкого ракетного топлива предприятиям-поставщикам и ВС РФ проблематично. Поэтому значительная часть таких цистерн арендуется у ОАО «РЖД».

Изменить позицию естественного монополиста – ОАО «РЖД» и снять эти одиозные требования пока не могут ни обращения предприятий-поставщиков жидкого ракетного топлива, ни ВС РФ, ни аргументы научных организаций и западный опыт перевозок таких грузов.

И ездят по стране сопровождающие как наполненную жидким ракетным топливом, так и возвратную «тару», выполняя опасную роль живых «индикаторов» возможных утечек жидкого ракетного топлива.

Вместе с тем известны и цивилизованные пути решения проблемы повышения безопасности при транспортировке опасных (в том числе и воинских) грузов. В России такая работа ведётся по пути расширения применения спутниковых навигационно-информационных систем.

По этому вопросу подготовлены и подписаны Президентом и Правительством РФ несколько важных нижеприведенных документов:

– распоряжение Правительства РФ от 27.08.05 № 1314-р «Об одобрении концепции федеральной системы мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов»;

– указ Президента Российской Федерации от 17.05.2007 г. № 638 «Об использовании глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС в интересах социально-экономического развития Российской Федерации»;

– постановление Правительства РФ от 25.08.2008 г. № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS».

В целях реализации положений постановления Правительства РФ от 25.08.2008 г. № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS» Федеральное государственное унитарное предприятие «ЗащитаИнфотранс» Министерства транспорта Российской Федерации» по заказу Федерального агентства железнодорожного транспорта проводит опытно-конструкторскую работу по теме «Разработка системного проекта и развёртывание опытной зоны защищённой системы мониторинга подвижных объектов, в том числе опасных и специальных грузов, железнодорожного транспорта с использованием глобальных спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS/ GA-LILEO»

(шифр «Мониторинг-ПО», Государственный контракт от 07.09.2009г. №513А). Аналогичная работа ведётся в Вооружённых Силах РФ¹.

Цель создания системы – обеспечение повышения уровня безопасности перевозочного процесса за счёт использования современных телекоммуникационных и информационных ресурсов, автоматизации процессов контроля и управления, внедрения подсистем поддержки принятия управленческих решений, обеспечение вопросов межведомственного взаимодействия.

Система решает следующие задачи:

- контроль местоположения средств транспортировки груза;
- контроль технического состояния средств транспортировки груза;
- контроль основных параметров состояния груза;
- обеспечение дублирования каналов передачи данных;
- предоставление аналитической информации для выработки управленческих решений.

Функции системы:

- передача в режиме реального времени навигационной информации о местоположении в диспетчерские пункты;
- передача в режиме реального времени информации о состоянии груза в диспетчерские пункты, в том числе «тревожных» (внесрочных) сообщений при возникших чрезвычайных происшествиях;
- передача мониторинговой информации в режиме реального времени в диспетчерские пункты транспортных органов управления, грузоотправителей и грузополучателей;
- обеспечение возможности передачи информации в режиме реального времени в главный вычислительный центр ОАО «РЖД», центральный диспетчерский пункт (диспетчерский пункт) Департамента транспортного обеспечения ОСК ВО (ГВ(С) на ТВД (СН), военного округа (на военное время));
- обеспечение возможности передачи информации в соответствующие органы реагирования при возникновении чрезвычайных ситуаций;
- архивация всех параметров перевозки грузов;
- предоставление аналитических отчётов (справок) заинтересованным должностным лицам органов управления.

¹ Аксёнкин, В.И. Новые требования к переброске войск на большие расстояния // Современная транспортная технология». С.Пб, 2017. С. 135–140.

Аппаратно-программный комплекс мониторинга состояния опасного (в том числе и воинского) груза, устанавливаемый на железнодорожном вагоне (АТ):

- предназначен для установки на железнодорожный объект и передачи данных;
- включает навигационную аппаратуру потребителей ГЛОНАСС/GPS;
- срок автономной работы – не менее 12 месяцев;
- позволяет подключать до 12 датчиков контроля состояния груза.

Эффекты от внедрения системы:

– экономический (военно-экономический) эффект заключается в возможности отказа от сил и средств сопровождения опасных грузов, сокращение затрат на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций, за счёт минимизации времени реагирования, сокращение количества подвижного состава (средств доставки);

– управленческий эффект включает в себя повышение эффективности использования средств транспортировки опасных грузов и тем самым минимизации вредных воздействий на здоровье личного состава (населения) при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;

– экологический эффект заключается в минимизации вредных воздействий на окружающую среду.

В качестве **выводов** следует отметить:

– правовая и нормативно-техническая база, регулирующая перевозки опасных (в том числе и воинских) грузов, должна быть доработана с учётом имеющейся мировой и отечественной практики и при условии повышения ответственности за обеспечение безопасной перевозки опасных грузов всех участников процесса – грузоотправителя, грузополучателя и, конечно, перевозчика;

– необходимо разработать единые российские правила безопасности при перевозке опасных (в том числе и воинских) грузов с регистрацией их в Минюсте. При этом следует учесть консолидированное мнение основных грузоотправителей и грузополучателей, несущих основную ответственность за безопасность транспортировки опасных грузов²;

² Иванов, С.М. Принципы оптимизации функционирования транспортной системы региона // Сборник «Транспортные и транспортно-технологические системы». СПб., 2015. – С.118–122.

– на принципах государственно-частного партнёрства разработать программу внедрения системы мониторинга местоположения и состояния опасного груза (в том числе и воинского) при перевозке по железным дорогам;

– внести необходимые корректировки в действующие «Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам», в том числе в части сопровождения воинских опасных грузов. При этом, в рабочую группу, разрабатывающую новую редакцию правил, включить представителей Министерства обороны РФ, ведающих вопросами хранения и перевозки воинских опасных грузов (ракеты, ракетное топливо, боеприпасы, взрывчатые вещества и др.).

Предлагаемая функциональная схема системы мониторинга опасных грузов (в том числе и воинских) приведена на рисунке.

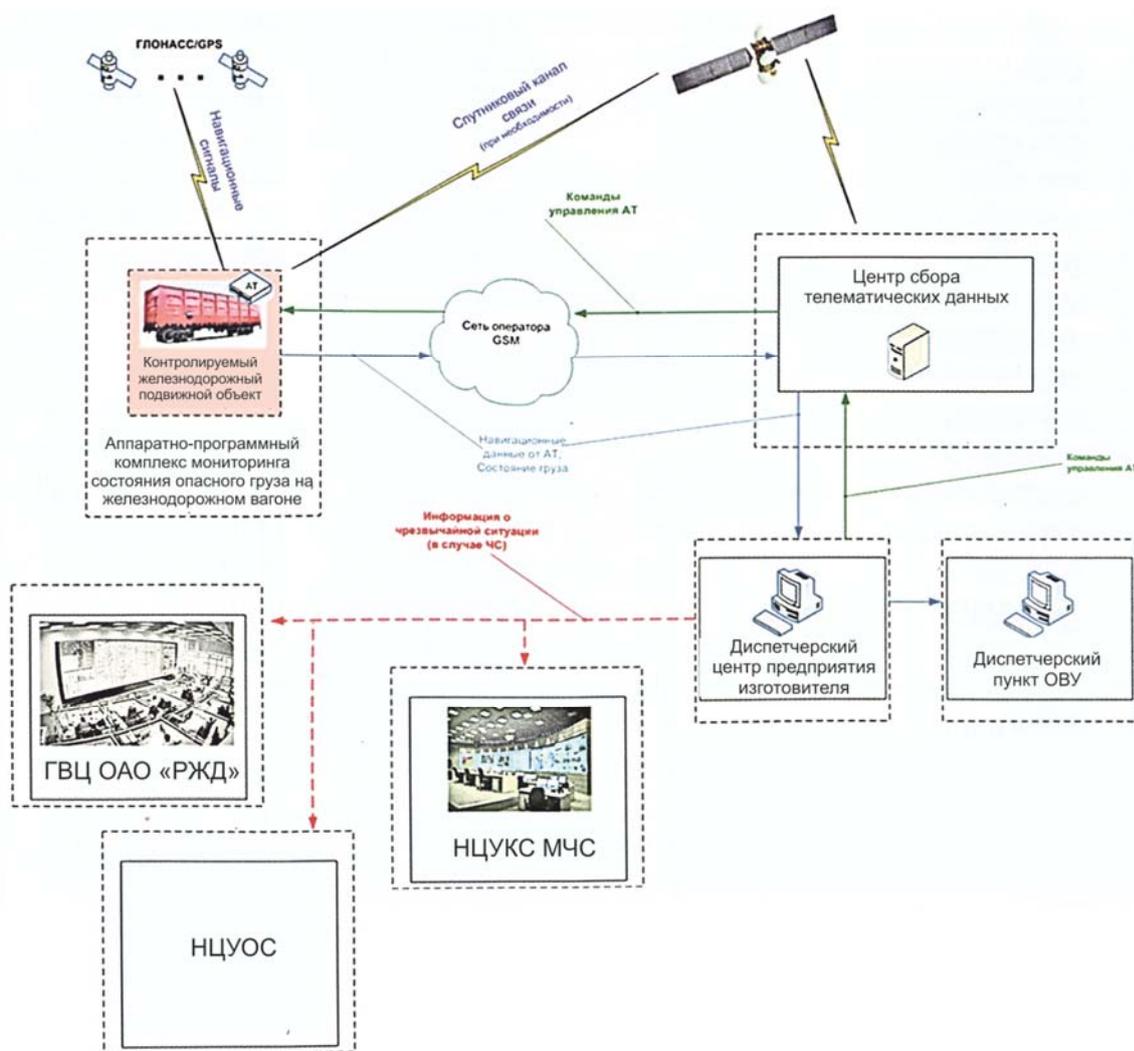


Рисунок 1. Функциональная схема системы мониторинга опасных грузов (в том числе и воинских)

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

А.З. Джисоев – к.т.н., доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Ф.А. Гончаров – оператор научной роты, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Аннотация

В статье рассмотрена необходимость модернизации системы автоматической идентификации на железнодорожном транспорте, описаны проблемные вопросы применения использования радиочастотной идентификации и предложена система системы автоматической идентификации на ПАВ-метках.

Введение. Важнейшая задача управления процессом перевозки на железнодорожном (ЖД) транспорте – это контроль за состоянием и перемещением вагонов, получение достоверной оперативной информации о дислокации и состоянии локомотивов, контейнеров. Согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года и Приказом Министерства транспорта РФ от 03.11.2009 №195 «Об организации работ по оснащению железнодорожного подвижного состава средствами технического обеспечения системы автоматической идентификации железнодорожного подвижного состава», предусмотрена стратегия развития ЖД транспорта в части модернизации системы управления процессом перевозки¹.

Объект и результаты исследования. Системы автоматической идентификации (САИ) существуют на всех современных видах транспорта, в том числе и на ЖД. Основное направление совершенствования таких систем – это также применение современных беспроводных технологий, к которым, в частности, относится и радиочастотная идентификация (РЧИ) и интеграция её в систему управления ВОСО. Функционирующие технические системы и средства слежения за дислокацией и работой подвижного состава не обеспечивают полную, достоверную и оперативную информацию, так как на уровне дорожных

¹ Аксёнкин, В.И. Основные тенденции и перспективы развития железнодорожного транспорта на период до 2030 года // Транспорт России: проблемы и перспективы 2016: материалы Международной науч.-практ. конф. – 2016. С. 102–106.

информационных центров полнота и достоверность этих данных не превышают 90 % с общим отставанием по времени на 1 ч и более. Также существующие САИ на железнодорожном транспорте имеют серьезные ограничения:

- невозможно определить местоположение подвижного состава с одновременной его привязкой к местности;
- количество уникальных идентификационных номеров ограничено;
- нерешенность проблемы коллизии, возникающей при нахождении нескольких идентифицируемых объектов в поле одного считывателя (например, несколько идентифицируемых контейнеров в одном вагоне) или одного объекта в поле нескольких считывателей;
- замкнутость систем и отсутствие каналов связи для обеспечения глобальной координации;
- невозможность модернизации систем и встраивания их в инфраструктуру АСУ.

В процессе развития САИ постоянно усложняются, что связано с интеллектуализацией обработки и передачи информации. Это вызывает противоречие между постоянно возрастающей сложностью САИ и требованиями повышения качества и уменьшения сроков проектирования. В таких условиях традиционные методы проектирования часто оказываются неэффективными. Предложенная система автоматической идентификации и управления транспортировкой грузов и фундаментальные основы ее построения основываются на применении акустоэлектронных технологий – радиочастотных меток на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Система позволяет в силу высокой точности и оперативности контроля существенно повысить достоверность и оперативность информации².

На основе САИ возможна эффективная организация отслеживания перемещения отдельных вагонов и контроля состояния отдельных грузов. Использование данной системы в составе единой АСУ грузовыми перевозками позволит оперативно получать сведения о местоположении поездов, а в случае повагонных отправок довести процесс слежения до уровня, когда можно будет определять местоположение и автоматически идентифицировать отдельные вагоны. Принцип действия технологии РЧИ с применением акустоэлектронных меток представлен на рисунке 1.

² Гуляев, Ю.В. Современное состояние проблем проектирования систем радиочастотной идентификации с акустоэлектронными компонентами. – 2011.

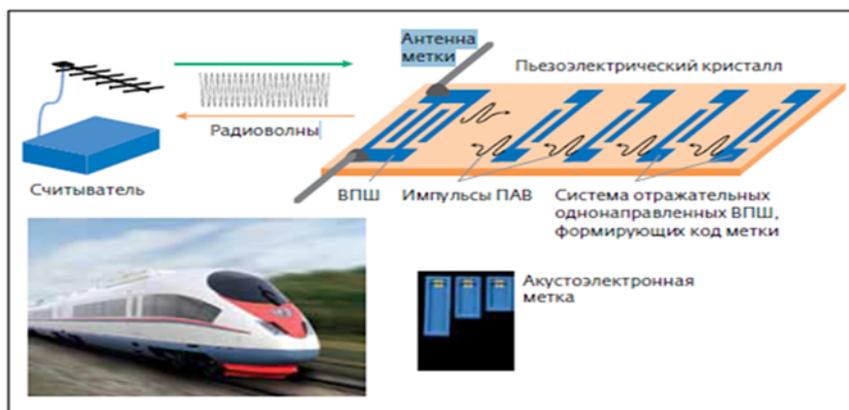


Рисунок 1. Принцип действия технологии РЧИ с применением акустоэлектронных меток

Основные преимущества системы:

- достоверность функционирования в сложных погодных условиях и при воздействии ударов и вибрации;
- простота монтажа;
- обеспечение большого радиуса чтения и идентификации при скоростях движения объекта до 300 км/ч и выше;
- не требуется технического обслуживания;
- практически неограниченный срок службы метки;
- для работы метки не нужны источники питания;
- достоверность идентификации, приближенная к 100%.

Пассивные ПАВ-метки закрепляются на железнодорожных вагонах и поездах, а считыватели располагаются в контрольных точках вдоль путей (рисунок 2).

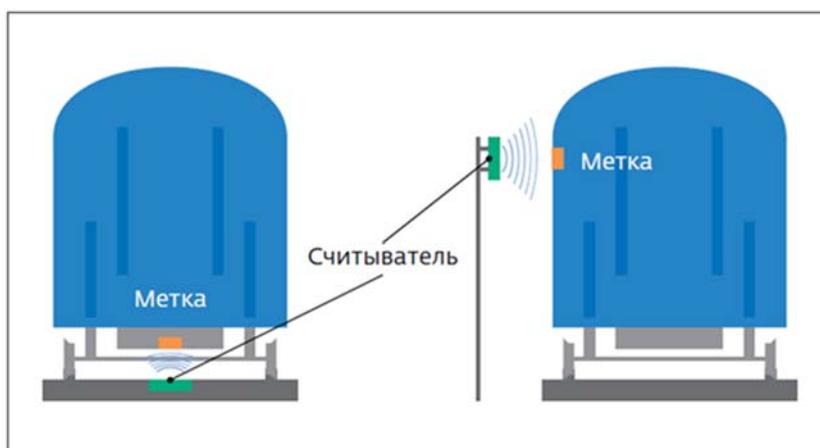


Рисунок 2. Варианты размещения компонентов системы автоматической идентификации

Радиочастотный идентификатор (радиочастотная метка на ПАВ) имеет уникальный код (радиочастотный отклик на опрашиваемый импульс считывающим устройством, присущий только данной метке), действующий на всей сети ЖД и несущий информацию о грузополучателе, грузоотправителе и другие необходимые данные. С технической точки зрения применение такой системы идентификации для железнодорожного подвижного состава эффективно, так как считывающие устройства можно установить поблизости от оси пути (при использовании пассивных меток на ПАВ типичная дальность приема и передачи при считывании составляет 3–5 м). Отслеживание перемещения железнодорожного транспорта с помощью такой системы основано на определении прохождения поездом контрольных участков, оснащенных оборудованием САИ. Варианты закрепления меток на железнодорожных вагонах и поездах и считывателей в контрольных точках вдоль путей показаны на рисунке 2. При информационной емкости пассивной радиометки 128 бит в ней может храниться следующая информация: тип подвижного состава; код владельца; номер единицы подвижного состава (вагона или локомотива); код стороны (правой или левой) вагона или локомотива, где установлена метка; длина вагона или локомотива; тип и число его осей; код рамы вагона или локомотива. В процессе слежения за продвижением грузового поезда САИ составляет серию докладов. На станции отправления регистрируются сведения о локомотивах и вагонах в составе поезда, а также факт его отправления. Дата и время отправления сохраняются в считывателе и передаются на центральный пункт управления движением состава. Может также записываться и масса каждого вагона (при наличии устройств, подключенных к системе, для взвешивания подвижного состава в движении)³. По прибытии на станцию назначения состав поезда должен быть идентифицирован вновь. После этого из считывателя выгружается вся информация, записанная по пути следования. интеллектуальный подход к построению систем автоматической идентификации. Неблагоприятные условия эксплуатации САИ на железнодорожном транспорте и необходимость их интеграции с единой АСУ сети ЖД обуславливают предъявляемые к ним (к САИ) следующие требования:

– возможность оперативного получения данных не только о местонахождении локомотивов и отдельных вагонов в реальном масштабе времени, но и о направлении их движения, а также о состоянии;

³ Иванов, С.М. Принципы оптимизации функционирования транспортной системы региона // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы международной науч.-техн. конф. – 2015. С. 118–122.

– достоверная передача информации (до 0,99999) в реальных условиях при наличии определенного уровня помех, экстремальных температур (от минус 70 до 80 °С), близко расположенных высоковольтных линий электропередач, а также случаев обледенения или покрытия поверхности, на которой расположены РЧ-метки, слоем сажи, нефти или мазута;

– использование единой системы кодирования подвижного состава, обладающей свойствами долговременности и универсальности в отношении различных видов подвижного состава и перевозимых грузов. Реализация этого требования необходима для обеспечения бесконфликтного обмена данными между железнодорожными предприятиями и представляет собой один из важнейших аспектов стандартизации информационно-управляющих систем ЖД;

– возможность одновременной идентификации большого количества грузов, находящихся в вагоне. Для этого разработаны антиколлизийные алгоритмы и специальное программное обеспечение. Выполнение этих требований достигается благодаря, во-первых, системной интеграции современных инфокоммуникационных технологий и, во-вторых, потенциальным возможностям акустоэлектроники. Новые элементная база и конструктивно-технологические решения последней позволили получить предельные характеристики по разрядности, полосе рабочих частот, уровню вносимого затухания радиосигнала, динамическому диапазону и др.

При разработке и эксплуатации выборе САИ нужно учитывать:

1. Системы критериев оценки эффективности САИ с учетом особенностей их функционирования в составе инфраструктуры ЖД. На практике найти количественные значения некоторых показателей качества затруднительно. Ситуация усложняется, когда информация о системе носит конфиденциальный характер. В связи с этим обычно при оценке эффективности систем принимают весьма скромную номенклатуру показателей, что очень часто является причиной неправильного выбора варианта САИ. Выбранные показатели целесообразно иерархически структурировать, что позволяет, во-первых, сравнивать системы по отдельным групповым признакам и, во-вторых, облегчить процедуру определения коэффициентов весомости показателей. Группировка показателей качества по каким-либо признакам способствует получению более достоверных результатов интегральной оценки объекта. Таким образом, множество показателей качества целесообразно разбить на несколько групп. В общем

случае все множество показателей качества и конкурентоспособности САИ включает несколько десятков критериев, сгруппированных по видовым группам:

- конструктивные;
- функциональные;
- экономические и специальные.

2. Метод формирования допустимых альтернативных вариантов САИ. Он основан на ранжировании компонентов для определения последовательности их комбинирования и оценки получаемых комбинаций по некоторой совокупности критериев. Так как главная задача морфологического анализа – не выбор оптимального варианта, а формирование и отбор приемлемых вариантов, то для каждого критерия устанавливаются пороги, т.е., например, верхние границы для критерия затрат или нижние границы для критерия эффективности⁴.

3. Методы решения нечетких задач многокритериального выбора наилучших вариантов САИ, управления транспортировкой грузов на ЖД, нечеткого многокритериального выбора маршрутов транспортных грузов, а также формализована задача нечеткого многокритериального выбора маршрутов транспортных грузов с использованием исходных данных от САИ. Общая архитектура построения системы автоматической идентификации приведена на рисунке 3.



Рисунке 3. Архитектура системы автоматической идентификации

⁴ Багдасарян, А.С. Методика формирования и выбора конкурентоспособных систем радиочастотной идентификации на железнодорожном транспорте. – 2012.

Основной характеристикой, которую необходимо учитывать при построении САИ, является зависимость дальности считывания метки d от длительности интегрирования ответного сигнала метки t_i . Приведем расчеты для трех значений мощности передатчика (ПИ): 10, 100 и 1000 мВт (рисунок 4). Дальность считывания метки d возрастает (см. рисунок 4) пропорционально корню четвертой степени из произведения излучаемой импульсной мощности ПИ и времени интегрирования t_i , достигая 10 м за время $t_i = 0,1$ с при мощности 100 мВт.

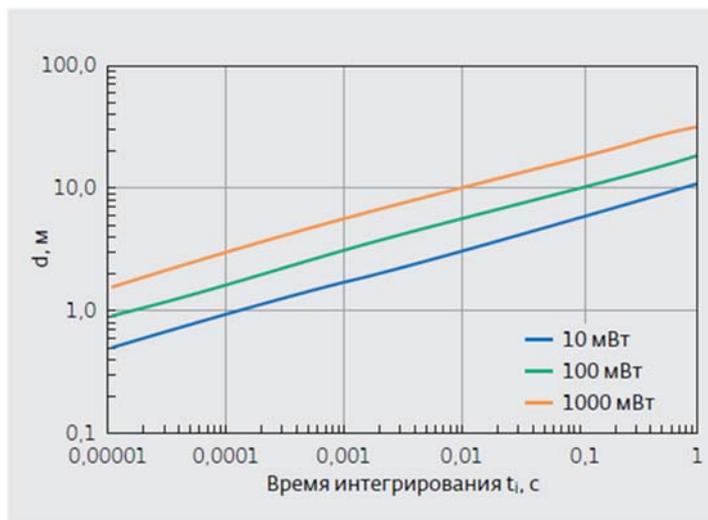


Рисунок 4. Зависимость дальности считывания метки d от длительности интегрирования ответного сигнала метки t_i

Время интегрирования имеет принципиальное значение при считывании меток и, в первую очередь, для железнодорожного транспорта. Критерием достаточности времени интегрирования является временной интервал перемещения подвижного объекта на заданной скорости. Он должен быть значительно больше удвоенного времени прохождения поверхностной акустической волны (возбужденной запросным импульсом считывателя) топологической структуры метки, выполненной на пьезокристаллической подложке. Из зависимости дальности считывания метки при импульсной мощности 1, 10, 100 и 1000 мВт от скорости движения транспортного средства (рисунок 5) видно, что для всех скоростей движения дальность считывания увеличивается пропорционально корню четвертой степени от мощности.

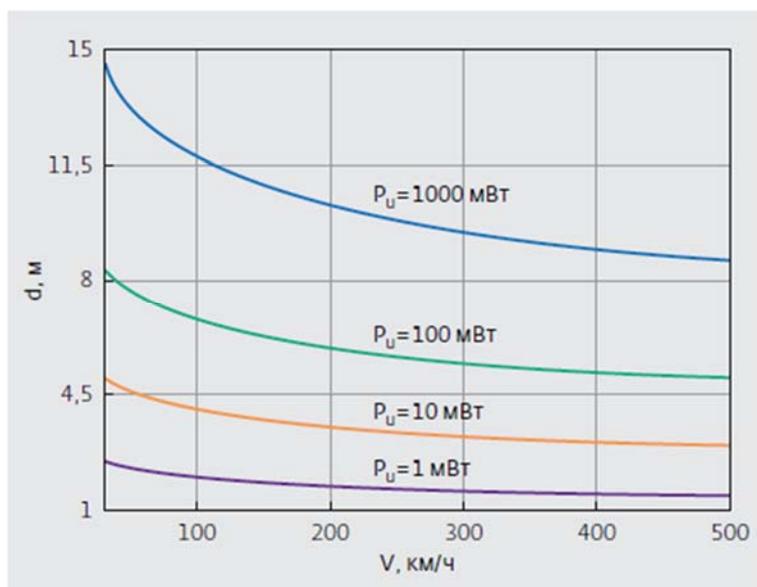


Рисунок 5. Зависимость дальности считывания метки при разной импульсной мощности от скорости движения транспортного средства

Но на большой скорости (300–400 км/ч) дальность считывания метки снижается: например, при выбранной мощности в 100 мВт – с 8 до 5 м. Этот факт следует иметь в виду при проектировании системы идентификации железнодорожного транспорта и применять считыватель мощностью не менее 1 Вт.

Результаты измерений параметров считывателя показали, что он имеет динамический диапазон около 95 дБ, обеспечивающий высокую чувствительность и возможность работы в условиях электромагнитных наводок, возникающих при движении поезда вдоль линий ЛЭП.

Заключение. На основе САИ возможна эффективная организация отслеживания перемещения отдельных вагонов и контроля состояния отдельных грузов. Использование данной системы в составе единой АСУ грузовыми перевозками позволит оперативно получать сведения о местоположении поездов, а в случае повагонных отправок довести процесс слежения до уровня, когда можно будет определять местоположение и автоматически идентифицировать отдельные вагоны.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА ПЕРЕВОЗОК

А.З. Джиоев – к.т.н., доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Ф.А. Гончаров – оператор научной роты, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Аннотация

В статье рассмотрен вопрос автоматизации процесса расчета и построения графического плана перевозок войск для повышения оперативности и снижения трудоемкости расчетов, сокращения времени на планирование воинских оперативных железнодорожных перевозок на основе применения специализированного программного обеспечения.

Введение. Организация и выполнение воинских перевозок в современных условиях предъявляют повышенные требования к их планированию и управлению. В связи с этим существующие методы планирования воинских перевозок и способы управления ими должны непрерывно совершенствоваться. В настоящее время в Министерстве обороны Российской Федерации отсутствуют системы автоматизированного планирования воинских железнодорожных перевозок, что недопустимо при современных скоростях обработки и анализа информации. Применение специализированного программного обеспечения (линейного и динамического программирования) и соответственно заложенных в него математических методов прогнозирования таких как теория игр, теория массового обслуживания, теория графов и другие, позволяет производить выбор рациональных решений не на основе таких субъективных факторов, как опыт, интуиция, а на основе установления причинных взаимосвязей явлений в задаче и их количественной оценке¹.

Автоматизация планирования воинских перевозок позволяет в процессе разработки графического плана перевозок намечать рациональные варианты регулировочных мероприятий на случай воздействия противника и вывода из строя крупных транспортных объектов.

¹ Аксёнкин, В.И. Модель проведения комплексной оценки процесса воинских перевозок с применением систем спутникового мониторинга // Транспортные и транспортно-технологические системы материалы международной научно-технической конференции. – Челябинск, 2017. С. 9–13.

Важной составной частью постоянной боевой готовности Вооруженных Сил РФ является способность частей, соединений и перевозки железнодорожным транспортом. От правильной организации и четкого осуществления перевозок во многом зависят сроки стратегического и оперативного развёртывания войск и наращивания их усилий создаваемых группировок. Эти задачи решаются совместными усилиями оперативных штабов, органов военных сообщений и транспорта. Органы военных сообщений принимают участие в выработке принципиальных решений по перевозкам войск, их планировании, осуществляют оперативное управление перевозками в процессе их выполнения.

Объект и результаты исследования. Одним из важнейших этапов организации воинских перевозок является их планирование. Этот этап требует высококвалифицированного управленческого труда, умения анализировать, выбирать оптимальный вариант в конкретной обстановке. Сложность планирования воинских перевозок войск железнодорожным транспортом при их перевозке заключается в значительных объемах перевозок (могут одновременно планироваться к перевозке сотни эшелонов), сжатых сроках, отводимых на разработку планов, необходимости обеспечить правильную постановку задачи транспортным органам². Основным этапом при формировании развёрнутых планов оперативных перевозок железнодорожным транспортом является разработка общего графического плана оперативной перевозки.

В таблице приведены Исходные данные для построение общего графического плана перевозок

Исходные данные для построение общего графического плана перевозок

Исходные данные для построение общего графического плана перевозок						
№ пп	Наимен. объединения	Кол. эшелонов	Кол. платформ	Длина маршрута, км	Время движения, суток	Темп перевозк и эш./сут
1	1	N1	m1*44	L1	t1	n1
2	2	N2	m2*44	L2	t2	n2
3	10	N3	m3*44	L3	t3	n3
4	11	N4	m4*44	L4	t4	n4
Всего:		N1+...+N4	(m1+...+m4)*44	L1+...+L4		

² Аксёнкин, В.И. Новые требования к переброске войск на большие расстояния. // Сб. трудов Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов Современные транспортные технологии: задачи, проблемы, решения. – Челябинск, 2017. С. 135–140.

Наименование объединения	Железнодорожные направления (маршруты) перевозки		
	1	Станция А	Станция Б
2	Станция С	Станция А	Станция В
10	Станция Б	Станция Е	Станция Д
11	Станция А	Станция Е	Станция Д

Исходными данными для планирования воинских оперативных перевозок и разработки графического плана являются:

- объём оперативных перевозок объединений;
- маршруты перевозок объединений;
- темп перевозки каждого объединения;
- заданные погрузочно-выгрузочные районы и их характеристики.

В качестве примера рассматривается порядок построения графического плана перевозки условных 1, 2, 10, 11 объединений и диаграмма загруженности маршрутов.

В качестве исходных данных (см. таблицу) определены направления и маршруты, по которым осуществляется перевозка объединений с указанием требуемого количества универсальных железнодорожных платформ для перевозки объединений, а также другие исходные данные, необходимые для построения общего графического плана перевозок, приведенного на рисунке 1.

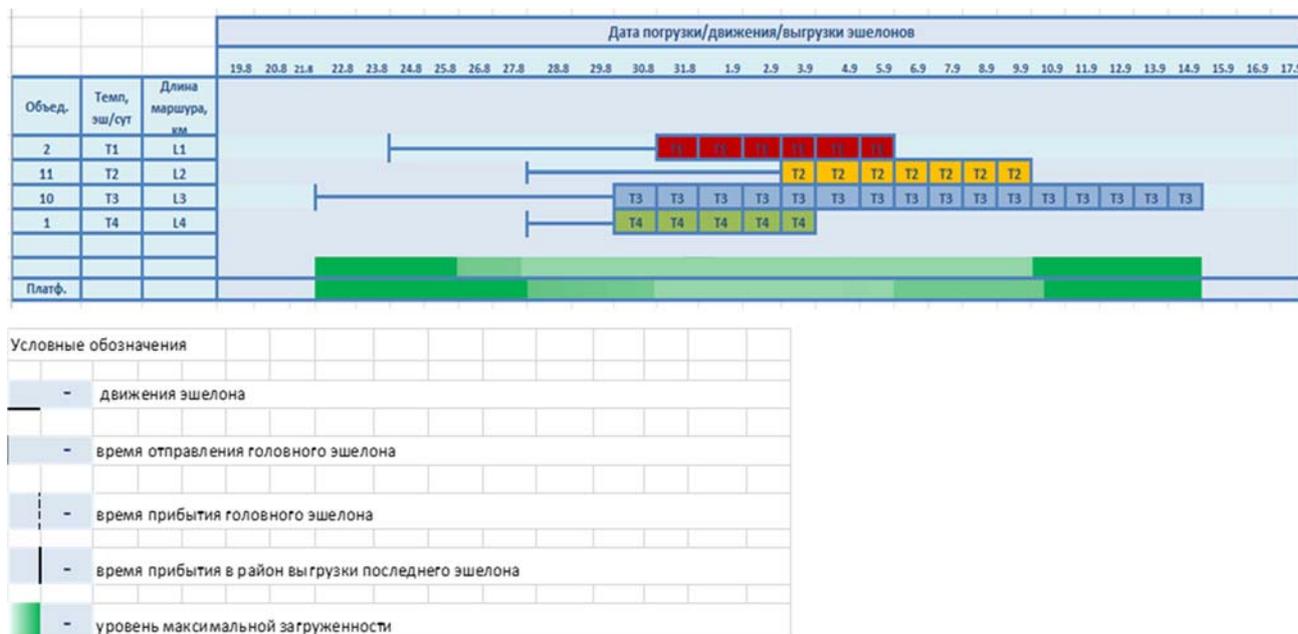


Рисунок 1. Общий графический план перевозок

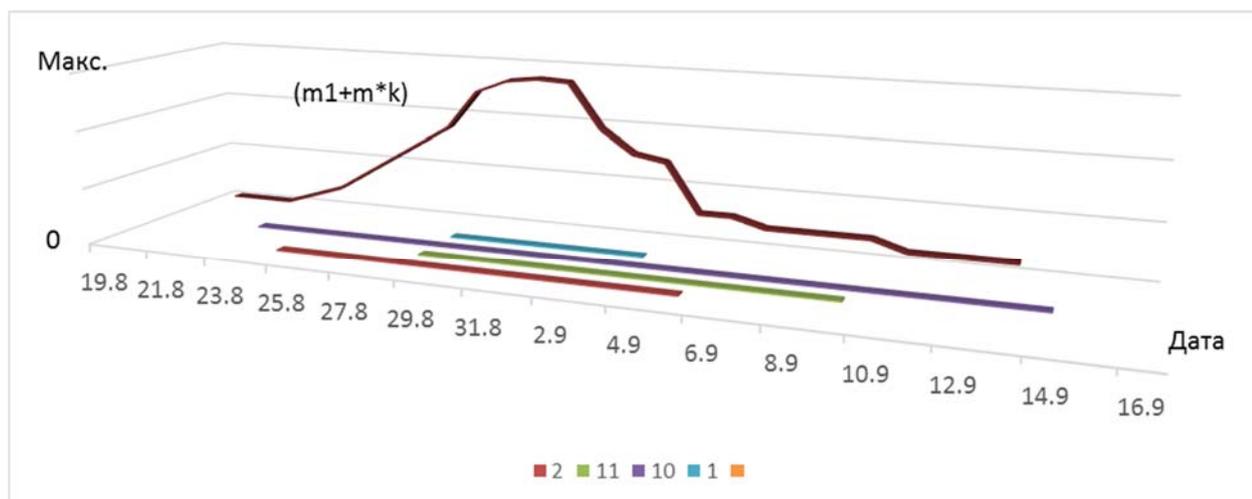


Рисунок 2. Диаграмма потребности в железнодорожных платформах по дням перевозки

Подготовка графического плана перевозки войск объединений в пределах одного Федерального Округа РФ «вручную» занимает ~ 24 ч., формирование графического плана с использованием специализированного программного обеспечения займет не более 30 минут. Построение графиков, сортировка данных, создание диаграмм, все это требует от оператора предельной внимательности, любая ошибка может привести к непредвиденным результатам, если задача построения графического плана перевозок войск выполняется при помощи программного обеспечения, вероятность возникновения ошибок практически равна нулю.

Проектирование специализированного программного обеспечения включает в себя следующие основные этапы:

- выбор метода и стратегии решения;
- выбор представления внутренних и машинных данных;
- разработка основного алгоритма;
- документирование ПО;
- тестирование и подбор тестов;
- корректировка СПО по результатам тестирования;
- выбор представления входных данных.

Базовым этапом является разработка моделирующего специализированного алгоритма программного обеспечения, формирование которого, как правило, он занимает 70% работы. На рисунке 3 приведен пример алгоритма с описанием порядка действий при построении графического плана перевозок.

Предлагается разработать порядок выбора оптимального маршрута перевозок объединений и построения графического плана на высокоуровневом языке программирования Python с выводом оптимального маршрута и графического плана перевозок войск всех возможных маршрутов, а также всех необходимых параметров на графический интерфейс пользователя. Благодаря предельно унифицированному механизму импорта, программным интерфейсам, множеству полезных библиотек и расширений языка Python возможно расширить функционал ПО включив в него:

- наложение маршрутов движения на карту;
- визуализации динамики движения объединений;
- перестройку маршрутов движения при изменении обстановки;
- учет возможности перевозки одного объединения по нескольким маршрутам одновременно.

Алгоритм изображенный на рисунке 3 является вариантом и не учитывает возможность регулирования воинских перевозок на случай выхода из строя крупных критически важных транспортных объектов, а также движения одного объединения по нескольким направлениям.

Алгоритм работы СПО «Графоплан»

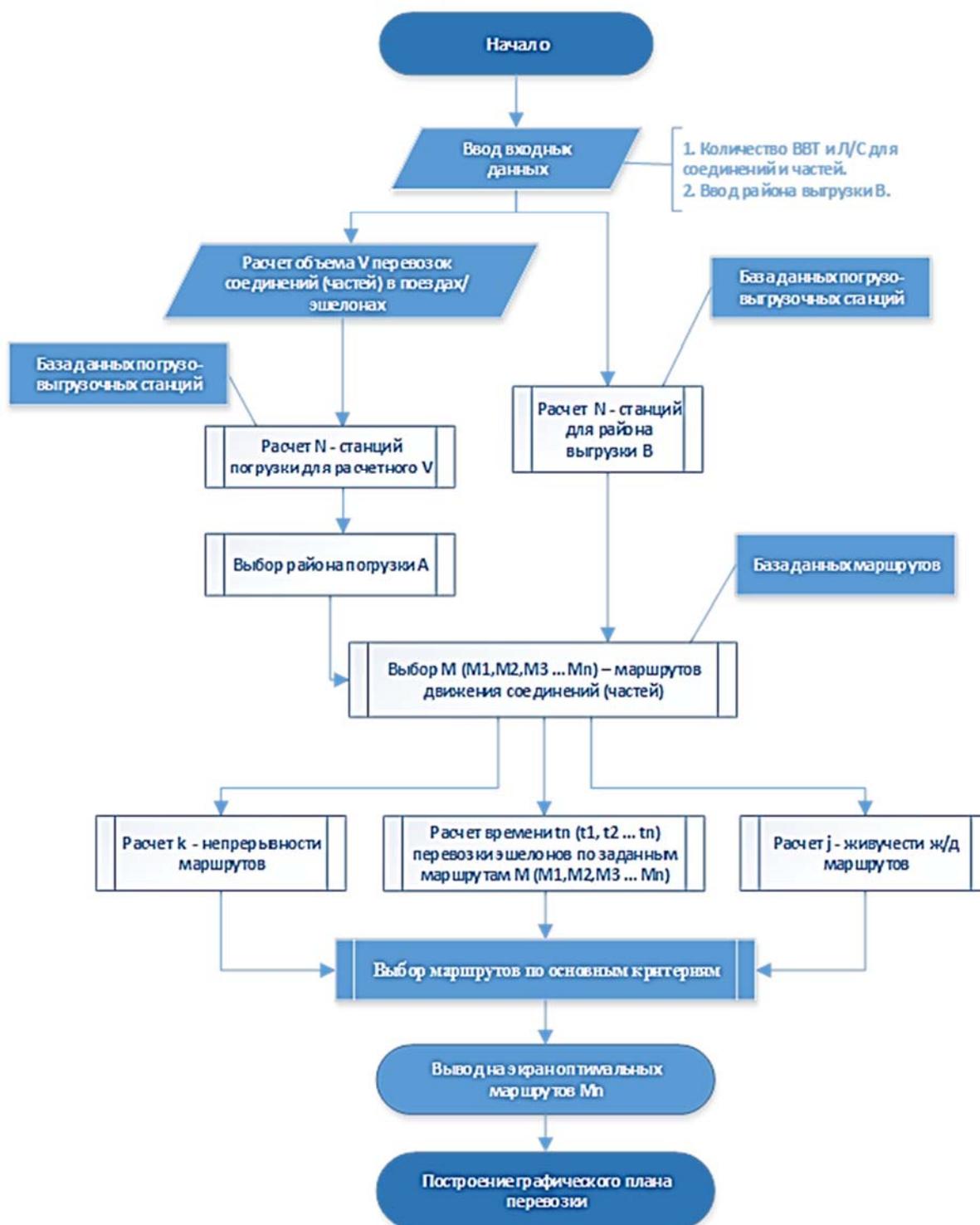


Рисунок 3. Алгоритм работы СПО «Графоплан»

Применение СПО для решения задач по планированию и управлению воинскими перевозками способствует сокращению движения оборота эшелонов, рациональному использованию пропускной способности маршрутов, снижению стоимости воинских перевозок³.

³ Кормен, Томас Х., Алгоритмы построение и анализ. – 2002.

Решение задачи выбора оптимального варианта выполнения воинских перевозок обеспечивает такое распределение поездопотока, при котором перевозка выполняется в кратчайшие сроки и наиболее экономично.

Разработка общего графического плана является трудоемким процессом, необходимым при подготовке и проведении каждого СКШУ, поэтому его автоматизация является первостепенной задачей и имеет не только теоретическую, но и практическую значимость.

СПО позволит определять оптимальные маршруты передвижения объединений (соединений, частей), производить расчет необходимого времени перевозок с указанием продолжительности каждого этапа и сводить их в графический план в автоматизированном режиме. В зависимости от приоритета перевозок распределение эшелонов по маршрутам перевозки будет осуществляться с учетом значимости соединений в тех или иных районах боевых действий⁴.

Заключение. Таким образом, специализированное программное обеспечение позволит значительно сократить сроки и трудозатраты по планированию воинских перевозок, корректировать требуемое количество подвижного состава и маршруты движения эшелонов в районы выгрузки.

⁴ Джон Уокенбах. Excel 2013: Профессиональное программирование на VBA. – 2014.

ОЦЕНКА УРОВНЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА ПРИГРАНИЧНОГО РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Г. Дупленко – к.э.н., доцент, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта

Аннотация

В статье представлены результаты исследования проблем технологического развития автотранспортного комплекса Калининградской области. Проанализированы показатели технологического развития отрасли в динамике за пять лет. Сделан вывод о том, что для Калининградской области характерен низкий уровень соответствия автодорог нормативным требованиям и крайне недостаточное количество автотранспортных средств, имеющих возможность использовать электродвигатели и природный газ в качестве моторного топлива.

Введение. Для многих приграничных регионов уровень развития автотранспортного комплекса имеет особое значение. Не является исключением и Калининградская область. Более того, поскольку это не только приграничный, но и приморский регион, а также эксклавная территория, здесь проблемы развития автотранспортного комплекса имеют первостепенное значение, определяя не только конкурентоспособность, но и многие аспекты безопасности области. Цель проведенного исследования состояла в оценке уровня технологического развития автотранспортного комплекса Калининградской области.

Метод и результаты исследования. В качестве основы для анализа была использована система показателей Росстата для статистической оценки уровня технологического развития отраслей экономики¹ с учетом специфика транспортной отрасли. В динамике за пять лет (с 2012 по 2016 год) были рассмотрены такие показатели, как доля автомобильных дорог общего пользования регионального и местного значения, отвечающих нормативным требованиям; доля газомоторных и оснащенных электродвигателями эксплуатационных автобусов, а также доля газомоторных и оснащенных электродвигателями легковых, грузовых автомобилей и автобусов (таблица 1).

¹ Технологическое развитие отраслей экономики // Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации. 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gks.ru/statistics/economydevelopment/#> (дата обращения 04.01.2018)

Таблица 1 – Динамика показателей уровня технологического развития транспортного комплекса Калининградской области¹

№ п/п	Показатель	Значение по годам, %				
		2013	2014	2015	2016	2017
1	Доля автодорог общего пользования регионального значения, отвечающих нормативным требованиям	30,0	30,0	30,8	30,7	31,5
2	Доля автодорог общего пользования местного значения, отвечающих нормативным требованиям	93,7	81,9	78,9	78,9	58,3
3	Доля эксплуатационных газомоторных и оснащенных электродвигателями автобусов	-	-	-	0,2	0,1
4	Доля газомоторных и оснащенных электродвигателями легковых автомобилей	-	-	-	-	0,2
5	Доля газомоторных и оснащенных электродвигателями грузовых автомобилей	-	-	-	-	1,5
6	Доля газомоторных и оснащенных электродвигателями автобусов	-	-	-	1,5	0,7

Начать хотелось бы с состояния автомобильных дорог в регионе. Оно, безусловно, оставляет желать лучшего. На начало 2017 г. лишь 31,5% автодорог регионального значения и 58,3% автодорог местного значения соответствуют нормативным требованиям.

При этом с 2007 по 2014 г. доля автодорог регионального значения, соответствующих нормативным требованиям, не изменялась, составляя 30,0%, затем стала незначительно увеличиваться вплоть до 31,5% на начало 2017 г. В то же время состояние автодорог, имеющих местное значение, имеет тенденцию к ухудшению. С 2008 по 2013 г. доля данных дорог, отвечающих нормативным требованиям, была выше 90% (максимальный уровень был достигнут в 2009 г. – 99,2%), затем стала сокращаться, снизившись к началу 2017 г. до 58,3%.

Если сравнивать со среднероссийским уровнем, то состояние автомобильных дорог регионального значения в Калининградской области хуже, а местного значения – лучше, чем в среднем по России. Так, если в 2017 г. нормативным требованиям в среднем по стране соответствовало 41,5% автодорог регионального значения, то по Калининградской области – 31,5%, автодорог местного значения – 53,5% и 58,3% соответственно.

По сравнению с другими регионами Северо-Западного федерального округа состояние автомобильных дорог в Калининградской области несколько лучше. В 2017 г. нормативам соответствовало 31,8% автодорог регионального значения и 40,2% местного значения в среднем по федеральному округу, 31,5% и 58,3% в Калининградской области. Для сравнения – в Новгородской области

нормативам соответствовало 26,4% дорог регионального значения, в Псковской области – 28,9%, в Мурманской области – 35,3%, в Вологодской – всего 19,9%.

Проблему неудовлетворительного качества автодорог в Калининградской области попытались хотя бы частично решить в рамках подготовки к чемпионату мира по футболу (четыре матча чемпионата мира примет Калининград летом 2018 г.). Так, в 2016 г. в рамках капитального ремонта дорог регионального значения велись работы на трех объектах общей протяженностью 22,5 км. В частности, были завершены строительные-монтажные работы на обходе города Советска с мостовым переходом через реку Неман. В 2017 г. в рамках реализации приоритетного проекта «Безопасные и качественные дороги» Калининградская область получила 625 млн руб. из федерального бюджета, еще столько же было привлечено из областной казны².

Достаточно важным показателем технологического развития транспортного комплекса региона является также доля газомоторных и оснащенных электродвигателями эксплуатационных автобусов. При этом под эксплуатационными понимаются собственные, арендованные и приобретенные по договору лизинга автобусы, работающие на утвержденных в установленном порядке автобусных маршрутах общего пользования регулярного сообщения³.

В Калининградской области в 2016 г. их было всего 0,2% от общего количества эксплуатационных автобусов, в 2017 г. еще меньше – 0,1%. Это значительно ниже, чем в среднем по РФ – 26,9% и 28,2% соответственно. По данному показателю Калининградская область опережает лишь шесть регионов Дальневосточного федерального округа. Между тем, природный газ на автомобильном транспорте в экономически развитых странах из разряда альтернативных переходит в основное моторное топливо⁴.

Не лучше ситуация и с количеством газомоторных и оснащенных электродвигателями автомобилей. Сравнение их доли в общем количестве автотранспортных средств в среднем по РФ, по Северо-Западному федеральному округу и в Калининградской области (КО) представлено в таблице 2.

² Шаркова, А.А., Дупленко, Н.Г. Анализ развития малого и среднего предпринимательства в сфере транспорта и связи в Калининградской области // Анализ состояния и тенденции развития приморских регионов России. Сборник научных трудов. – Казань, 2017. С. 160–164.

³ Макарова, И.В. Перспективы и риски перевода автотранспорта на газомоторное топливо // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2016. – № 2 (107). – С. 9–13.

⁴ 4. Журавский, М.А., Трибун, А.Л. Текущее состояние и перспективы использования СПГ в качестве моторного топлива // Газовая промышленность. – 2015. – № S3 (728). – С. 3944.

Таблица 2 – Доля газомоторных и оснащенных электродвигателями автотранспортных средств в 2017 г.¹

№	Показатель	РФ	СЗФО	КО
1	Доля газомоторных и оснащенных электродвигателями легковых автомобилей, %	2,1	0,3	0,2
2	Доля газомоторных и оснащенных электродвигателями грузовых автомобилей, %	5,9	1,4	1,5
3	Доля газомоторных и оснащенных электродвигателями автобусов, %	7,8	1,6	0,7

Как видим, и по данным показателям Калининградская область значительно отстает от большинства других российских регионов, даже учитывая достаточно низкий уровень распространенности газомоторных и оснащенных электродвигателями автомобилей.

Электродвигатели в регионе имеют лишь 0,002% легковых и 0,003% грузовых автомобилей. Оснащенные электродвигателями автобусы в Калининградской области зарегистрированы не были. Несколько лучше ситуация с возможностью использования в качестве моторного топлива природного газа. Ее имеют 0,2% легковых автомобилей (в том числе всего 0,01% – сжиженный природный газ, остальные – компримированный), 1,5% грузовых автомобилей (0,05% и 1,4%), 07% автобусов (0,1% и 0,6%). Для сравнения – выше всего доля автотранспортных средств, имеющих возможность использовать природный газ в качестве моторного топлива и электродвигатели, в Республике Саха (Якутия) – 34,0% легковых автомобилей, 30,6% грузовых автомобилей, 34,6% автобусов.

Следует отметить, что в 2016 г. в рамках реализации стратегии опережающего развития газозаправочной инфраструктуры, разработанной «Газпромом», в городах Советске, Багратионовске и Черняховске были введены в эксплуатацию передвижные автогазозаправщики, в местах размещения которых запланировано строительство объектов газомоторной инфраструктуры. Однако заметного прогресса в развитии газозаправочной инфраструктуры в регионе пока нет.

Заключение. Таким образом, для автотранспортного комплекса Калининградской области характерен сравнительно низкий уровень соответствия автомобильных дорог нормативным требованиям, причем качество автодорог местного значения ухудшается быстрыми темпами – если в 2013 г. их доля составляла 93,7%, то на начало 2017 г. – всего 58,3%. Чрезвычайно мало в регионе и газомоторных и оснащенных электродвигателями автотранспортных средств. По данному показателю Калининградская область отстает от большинства российских регионов.

ПРИМЕНЕНИЕ МОСТА-ЭСТАКАДЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

В.А. Рыбицкий – к.воен.н., доцент, старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения

С.И. Завальнюк – к.т.н., старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения

Аннотация

Выполнен обзор разрушений железнодорожных мостов при чрезвычайных ситуациях. Даны возможные варианты использования различных видов инвентарного мостового имущества при восстановлении движения поездов. Предложены варианты применения нового мостового восстановительного имущества – моста-эстакады железнодорожного.

Введение. Транспортная система – это совокупность видов транспорта, обслуживающих сферу обращения продуктов и товаров, а также пассажирский и грузовой транспорт. Железнодорожный транспорт наиболее приспособлен к массовым перевозкам, действует в любое время года, суток и атмосферных условий и имеет высокую провозную способность. Однако на объектах инфраструктуры железных дорог, как и других видов транспорта, практически ежегодно возникают чрезвычайные ситуации (ЧС) с перерывами в движении поездов от нескольких часов до нескольких суток.

Объекты и результаты исследования. Наряду с тоннелями, барьерными объектами на ж.д. сети являются внеклассные и большие мосты. Крупнейшие реки России текут, преимущественно, в северном или южном направлении. Разрушение даже одного из мостов через эти реки может расцезь на длительное время территории субъектов РФ на два слабо в транспортном отношении связанных региона¹.

В России начало XXI в. отмечено каскадом ЧС с серьёзными разрушениями ж.д. инфраструктурных объектов. Летом 2002 г. из-за циклона в бушующие потоки превратились горные реки Ставропольского края, Кабардино-Балкарии и Карачаево-Черкесии. Размыто земляное полотно на участке, протяжённостью 3 км. Разрушены мосты через реки Аргун, Кубань, Подкумок.

¹ Левин, М.А. Применение отдельного понтонно-мостового железнодорожного батальона, оснащённого комплектом моста МЛЖ-ВФ-ВТ: военно-теоретический труд. – СПб.: ВА МТО, 2017. – С. 18.

На рисунке 1 показаны размыв земляного полотна на перегоне Суворовская–Нагутская и частичное разрушение моста через реку Подкумок².



Рисунок 1. Размыв земляного полотна на перегоне Суворовская–Нагутская (слева), разрушение моста через реку Подкумок (справа)

В 2008 г. от схода вагонов, разрушилось пролётное строение двухпутного моста через реку Иртыш у Омска. В мае 2011 г. в паводок на реке Абакан от подмыва промежуточной опоры одно из пролётных строений полностью рухнуло с опор и перевернулось, второе упало одним концом. Обрушенные конструкции моста через Иртыш у Омска и частичное разрушение моста через реку Абакан³ показано на рисунке 2.



Рисунок 2. Разрушение пролётного строения моста через реку Иртыш у Омска (слева), частичное разрушение моста через реку Абакан (справа)

В сентябре 2016 г. в Саратовской области при разрушении моста через реку Берёзовка сошли 5 вагонов. Последствия аварии показаны на рисунке 3⁴.

² Ставропольский край. Восстановление движения железнодорожного транспорта на СКЖД. 10.07.2002. Агентство «Волга Информ». [Электронный ресурс]. – URL: <http://press.rzd.ru>. (Дата обращения 31.01.2018).

³ МЧС: Обломки рухнувшего в Хакасии моста могут осложнить ледоход. 28.02.2012. РИА НОВОСТИ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ria.ru>. (Дата обращения 31.01.2018).

⁴ На ж/д станции Жерновка произошел сход 5 вагонов. Новости города Петровска и Петровского района. ПЕТРОВСК 64. [Электронный ресурс]. – URL: <http://petrowsk164.ru>. (Дата обращения 31.01.2018).



Рисунок 3. Разрушение моста через реку Берёзовка

В августе 2017 г. после сильных ливней на Дальневосточной ж.д. на перегонах Баневурово–Барановский и Оленевод–Веневитино от размыва земляного полотна и выхода из строя двух мостов было приостановлено движение поездов. Фотографии разрушенных мостов представлены на рисунке 4⁵.



Рисунок 4. Мосты, разрушенные на Дальневосточной железной дороге в 2017 г.

По решению правительства РФ или в соответствии с решением командующих войсками военных округов, наряду с другими привлекаемыми для ликвидации последствий ЧС силами, могут использоваться воинские формирования, в том числе железнодорожных войск (ЖДВ). Наиболее эффективно применение частей ЖДВ для восстановления ж.-д. мостов. Войска оснащены принятыми на снабжение в конце 50-х гг. комплектами инвентарного восстановительного имущества наплавного моста НЖМ-56 и металлической эстакады РЭМ-500. В качестве примера можно привести применение РЭМ-500 для ликвидации последствий ЧС при восстановлении моста через реку Абакан. На рисунках 5 и 6 показаны панорама сборки эстакады между сохранившимися пролётами капитального моста и пропуск поезда по восстановленному мосту⁶.

⁵ Приморье утонуло: разрушенный Транссиб, обеспокоенные туристы и затопленный город. 08.08.2017. ИА PrimaMedia. [Электронный ресурс]. – URL: <http://narodvest.ru>. (Дата обращения 31.01.2018).

⁶ Фотоотчет — Ремонт обрушившегося частного моста Олега Дерипаски через реку Абакан. 13-15 мая 2011. [Электронный ресурс]. – URL: <http://bu.ru>. (Дата обращения 31.01.2018).



Рисунок 5. Восстановление моста через реку Абакан с монтажом эстакады РЭМ-500

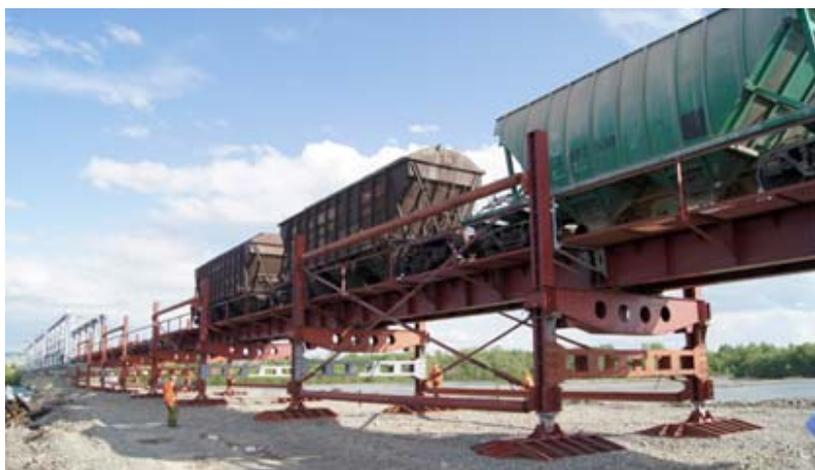


Рисунок 6. Пропуск поезда по восстановленному мосту с участком эстакады РЭМ-500 через реку Абакан

Эстакада РЭМ-500 морально устарела и не соответствует современным требованиям⁷. Она состоит из большого количества элементов и деталей, трудоёмка в сборке, не несёт современные поездные нагрузки, требует переустройства проезжей части для пропуска автодорожной нагрузки, не имеет конструкций, компенсирующих подмыв опор фундаментных башмаков на дне водотока⁸.

В настоящее время НЖМ-56 и РЭМ-500 заменяются современными образцами наплавного моста МЛЖ-ВФ-ВТ и эстакады ИМЖ-500. Новое имущество способно обеспечивать пропуск современной и перспективной поездной нагрузки, а имущество предыдущего поколения может применяться с некоторыми ограничениями по грузоподъёмности.

⁷ Соловьёв, С.А.: Преимущества моста-эстакады железнодорожного ИМЖ-500: статья. – М.: НИИЦ СТ ЖДВ, 2016 С. 1.

⁸ Металлическая эстакада РЭМ-500: руководство по эксплуатации. – М.: Воениздат, 1976. С. 3–5.

Эстакада ИМЖ-500 рассчитана на максимальную скорость движения до 50 км/ч, а наплавной мост МЛЖ-ВФ-ВТ – только до 15 км/ч. При изменениях уровня воды наплавные мосты требуют остановки движения поездов и регулировки высоты береговых и переходных опор в пределах конструктивных допусков или переустройства опор при превышении допусков. На период пропуска судов на судоходных реках по мосту прекращается движение, мост разводится, а после прохода судов сводится вновь. В предвидении ледохода (паводка) наплавной мост разбирается на паромы, отводимые в укрытие, либо речная часть моста разбирается и складывается на берегу⁹. Указанные ограничения резко снижают пропускную способность ж.д. участка с наплавным мостом. Поэтому на ж.д. линиях с высокой интенсивностью движения поездов при принятии решения на восстановление следует отдавать предпочтение мостам на жёстких опорах, в том числе эстакадам¹⁰. Однако на первом этапе восстановления с целью скорейшего восстановления движения поездов можно навести наплавной мост, который в последующем будет заменён мостом на жёстких опорах.

Основные технические параметры моста-эстакады железнодорожного ИМЖ-500 даны в таблице ¹¹. Внешний вид эстакады с различной нагрузкой показан на рисунках 7–9¹².

Таблица 1 – Основные технические характеристики ИМЖ-500

№№ п.п.	Показатель	Ед. изм.	Количество
1	Длина моста – полный комплект	м	506,164
	– половина комплекта	м	255,980
2	Высота моста – минимальная	м	1,78
	– максимальная	м	14,33
3	Глубина воды – расчётная	м	2
	– максимальная	м	до 7
4	Предельный уклон пролётных строений	‰	30
5	Нагрузка – железнодорожная	тс/м (тс/ось)	10,58 (26,45)
	– гусеничная	-	НГ-60
	– автомобильная	-	А11, НК-80
6	Расчётная скорость движения подвижного состава	км/ч	50
7	Допускаемое давление на грунты под башмаками	кгс/см ²	не менее 1,5
8	Допустимая скорость течения воды, не более	м/с	2,0

⁹ Наплавной унифицированный железнодорожный мост-лента МЛЖ-ВВ-ВТ.: техническое описание и руководство по монтажу, перевозке, хранению и эксплуатации. – М.: ЖДВ, 2013. С. 290–308.

¹⁰ Булгаков, Д.В. Разработка и внедрение моста-эстакады железнодорожного для обеспечения прерванного сообщения в особых и аварийных условиях: научно-технический отчёт по НИР. – М.: НИИЦ СТ ЖДВ, 2016. С. 17–19.

¹¹ Мост-эстакада железнодорожный ИМЖ-500: руководство по эксплуатации опытного образца. – М.: НИИЦ СТ ЖДВ, ООО «Институт «Моррисот», 2013. С. 4.

¹² Соловьёв, С.А.: Преимущества моста-эстакады железнодорожного ИМЖ-500: статья. – М.: НИИЦ СТ ЖДВ, 2016. С. 3–4.



Рисунок 7. Пропуск по ИМЖ-500 поездной нагрузки



Рисунок 8. Пропуск по ИМЖ-500 автомобильной нагрузки (А-11)



Рисунок 9. Пропуск по ИМЖ-500 гусеничной нагрузки (НГ-60)

Мост-эстакада железнодорожный ИМЖ-500 (многопролётное мостовое сооружение) предназначен для быстрого устройства мостовых переходов под современную железнодорожную подвижную нагрузку в различных гидрогеологических условиях, с обеспечением пропуска автомобильной и гусеничной техники без переоборудования мостового полотна.

Конструкция ИМЖ-500 состоит из разрезных пролётных строений с одним блоком главной балки с непосредственно прикреплением рельсов, а также рамных плоских и башенных опор с башмаками. Опоры могут опираться, как на подготовленное основание, так и свайный фундамент на винтовых металлических сваях, имеющихся в комплекте. На грунтах с расчётным сопротивлением не менее $1,5 \text{ кгс/см}^2$ применяются поверхностные фундаменты (башмаки). На слабых грунтах и в водотоках при глубине более 2 м применяются фундаменты рамно-винтовых опор или другие типы фундаментов глубокого заложения, например, деревянные свайные фундаменты. Конструкции ИМЖ-500 удовлетворяют требованиям максимальной заводской готовности (складывающиеся консоли пролётных строений, максимальное использование соединений замкового типа). Диапазон изменения высоты эстакады составляет 11,499 м с шагом возможного изменения 1 мм. Габариты и масса отдельных элементов моста-эстакады допускают их перевозку в требуемых габаритах без ограничений по железным и автомобильным дорогам.

Конструктивные элементы, входящие в комплект ИМЖ-500, можно использовать, как для сборки одной эстакады полной длины комплекта, так и двух эстакад, максимальной длиной около 250 м каждая. Конструкции новой эстакады, например, пролётные строения или фрагменты моста-эстакады можно использовать для восстановления средних и малых искусственных сооружений. Практикуется устройство вставки (вставок) из инвентарной эстакады в комбинированном мосту с наплавным мостом или мосту, сооружаемом с использованием местных материалов. Весьма перспективно применение конструкций ИМЖ на подходах к мостам в качестве эстакад вместо дорогостоящих насыпей. Однако такие технические решения подходов должны соответствующим образом обосновываться.

В целом возможны следующие основные варианты стыкования участка (участков) эстакады ИМЖ-500 в комбинированных мостах:

- с наплавным мостом-лентой МЛЖ-ВФ-ВТ;
- с наплавным железнодорожным мостом НЖМ-56;
- с наплавным железнодорожным мостом из судов (барж) речного флота;
- с металлической эстакадой РЭМ-500;
- с мостами на обходах с жёсткими (как правило, свайными) опорами из местных материалов (главным образом, деревянными);

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРНО-ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА УПЛОТНЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ БЕТОНОУКЛАДЧИКА НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ

С.В. Кондаков – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

Е.И. Кромский – к.т.н., доцент, Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

М.А. Асфандияров – инженер-конструктор, АО «Копейский машиностроительный завод»

Аннотация

Представлена принципиальная схема ударно-вибрационного механизма для бетоноукладчика. Рассмотрены принцип его действия, основанный на рычаге Архимеда, который позволяет сократить расходы на материал и время набора прочности бетонной смеси. Разработана математическая модель и программа для автоматического расчета, которая позволяет выбрать наиболее оптимальные параметры по металлоемкости, энерговооруженности, а также сокращает время проектирования механизма.

Введение. Существенный рост типоразмеров современных транспортных средств (грузоподъемности и скоростей) требует улучшения конструкции и качества автомобильных дорог в РФ. При существующем состоянии автодорог наш автотранспорт в пересчете на подвижную единицу перевозит самый меньший объем груза в сравнении с наиболее развитыми странами мира ¹.

Наиболее затратная статья расходов при строительстве дорог 40–60% (в сравнении с другими видами строительно-монтажных работ) – это устройство дорожных одежд с твердым покрытием, поэтому необходимо определить наиболее эффективные средства механизации строительства².

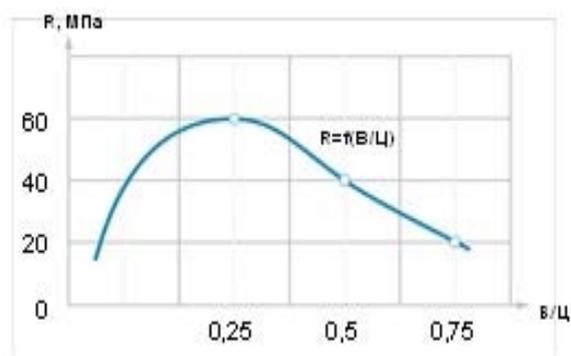
Современные бетоноукладчики со скользящими формами на четырехопорном гусеничном ходу: ДС-101 (Россия), S-1600, S-1800 (Германия) и другие – обеспечивают высокую производительность, но не всегда отвечают возросшим требованиям к качеству бетонной конструкции покрытия.

Основным способом механизированного уплотнения бетонной смеси используется виброметод с применением погружных и поверхностных

¹ Новиков, А.Н. Машины для строительства цементобетонных дорожных покрытий. –2-изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1979. 256 с.

² Кромский, Е.И. Новая техника для уплотнения дорожно-строительных материалов. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – Вып. 17. – № 11 (228). – 2011; Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог. – М.: «Инфра-Инженерия», 2005. 928 с.

вибраторов. При этом, бетонная смесь должна иметь осадку конуса ОК = 0–4 см, и водоцементное отношение В/Ц = 0.45–0.5. Если принять расход цемента 400 кг/м³, то для указанного В/Ц расход воды составит В = 180–200 л., а для гидратации цемента теоретически требуется 100 л. В соответствии с технологическим регламентом, в 1 м³ бетонной смеси находится избыточное количество химически не связанной воды в объеме примерно 80–100 л. При меньшем количестве свободной воды (жесткие бетонные смеси) в конструкции образуются каналы после прохождения погружных вибраторов, что недопустимо. Наличие большого количества свободной воды в бетонной смеси приводит к снижению физико-механических и эксплуатационных свойств бетона: прочность (рисунок 1), морозостойкость, истираемость, долговечность (срок службы).



Формула прочности бетона $R_b = A_1 \cdot A_2 \cdot K \cdot (Ц/В - С) \cdot R_{ц}$

Рисунок 1. График прочности бетона в зависимости от В/Ц-отношения

Объект и результаты. Кафедра «Колесные и гусеничные машины» ЮУрГУ разработала способ и устройство для уплотнения трудно деформируемых (жестких) бетонных смесей с ударно-вибрационным механизмом (рисунки 2 и 3)³.

Ударно-вибрационный механизм работает следующим образом. Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) 5 перемещает центральный шарнир 11 распорных рычагов 3 и 4, имеющих вверху неподвижный шарнир 12, а внизу – подвижный 10. Плита нагнетателя 2 совершает угловые колебания относительно шарнирной опоры 8.

³ Патент ПМ РФ RU № 93320. Устройство для получения изделий из композиционных материалов Оpubл. БИ № 12. – 2010.



Рисунок 2. Общий вид опытного образца формовочной установки

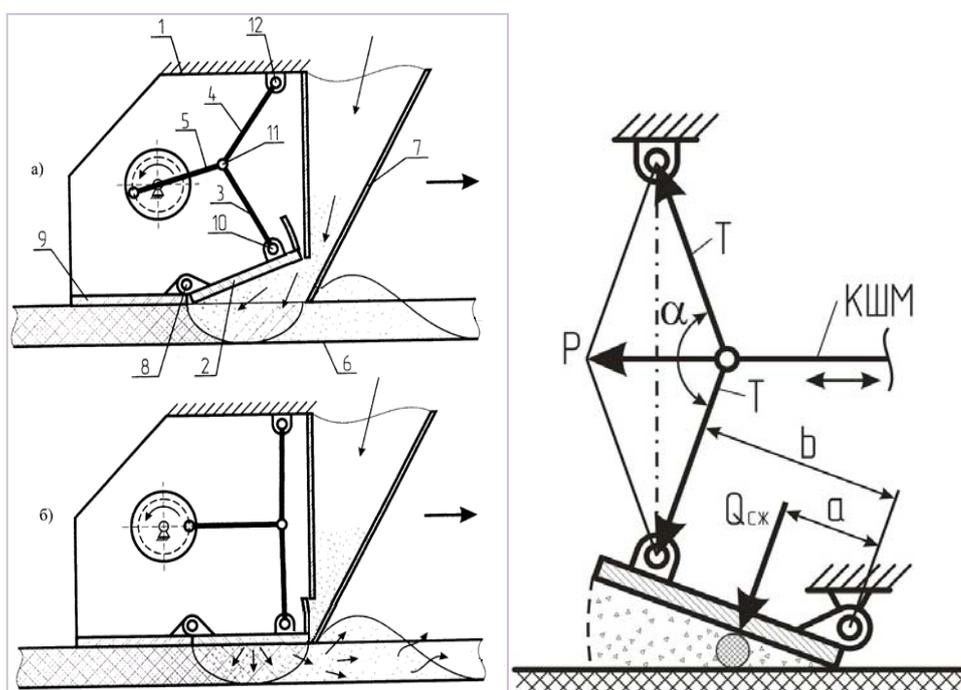


Рисунок 3. Принципиальная схема ударно-вибрационного механизма уплотнения (а и б) и силы, действующие на элементарную частицу прессуемого материала

При движении плиты нагнетателя 2 вверх (холостой ход) сыпучий материал движется из бункера-питателя 7 вниз и оказывается в зоне прессования. При движении плиты нагнетателя 2 вниз (рабочий ход) новая порция материала вдавливается в объём прессовки, увеличивая её плотность. Избыток материала и воздуха выдавливается в открытую зону (в сторону рыхлого материала). Выглаживающая плита 9 создаёт подпор прессуемому материалу, обеспечивая направленное движение воздуха и избытка материала в сторону наименьшего

сопротивления, т. е. в сторону открытого пространства. Шарнирная неподвижная опора 8 крепления рабочей плиты 2 и угловое её перемещение во время работы обеспечивает градиент давления на уплотняемый материал: максимальное давление вблизи неподвижного шарнира 8 и уменьшение давления в направлении подвижного шарнира 10.

Существенным преимуществом ударно-вибрационного механизма с рабочей плитой 2, выполненной в виде рычага Архимеда (рисунок 4), является вид эпюры давления, изменяющийся по гиперболическому закону.

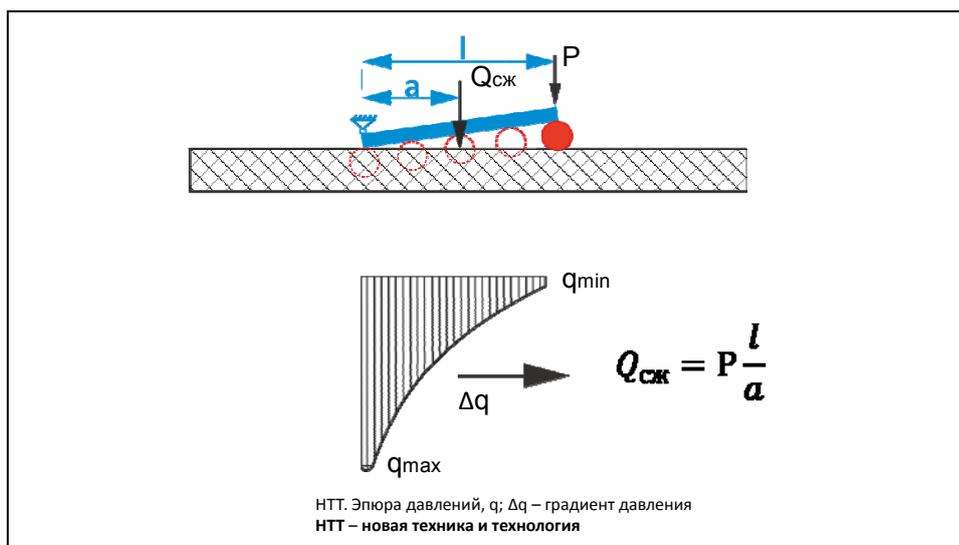


Рисунок 4. Эпюра давлений под плитой в виде рычага Архимеда

Величина давления на элементарную частицу уплотняемого материала вблизи неподвижной шарнирной опоры достигает очень больших значений, т. к. переменная координата «а», находясь в знаменателе, стремится к нулю.

Вектор градиента давления (см. рисунок 4) показывает, что созданы условия для направленного движения избытка твердых частиц, воздуха и жидкости в тангенциальном направлении (от зоны высокого в сторону низкого давления).

Некоторые параметры формовочной установки с ударно-вибрационным механизмом приведены ниже:

- Частота ударов (силовых импульсов) 3(6) Гц.
- Мощность привода 3 кВт.
- Размеры формуемых образцов 120×250×65 мм.
- Масса формовочной установки 150 кг.
- Габаритные размеры 1000×2000×1500 мм.

Испытания опытного образца формовочной установки подтвердили технологические возможности и преимущества ударно-вибрационного механизма в сравнении с вибрационной технологией уплотнения, принятой на современных бетоноукладчиках.

Для самоходных технологических машин с новым механизмом уплотнения можно предусмотреть устройство для принудительной подачи материала в рабочую зону прессования (рисунок 5).

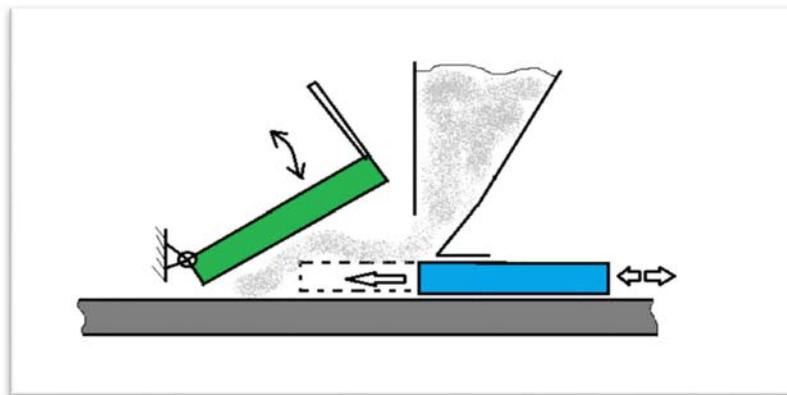


Рисунок 5. Схема принудительной подачи материала в рабочую зону прессования

Регулируя ход подачи толкателя, можно подавать материал в различные зоны под плитой нагнетателя и получать уплотненный материал с заранее заданными свойствами: от пористых до особоплотных, что существенно расширяет потребительские свойства модернизированного бетоноукладчика.

Работа по модернизации бетоноукладчика может быть выполнена как собственными силами на ремонтно-эксплуатационных базах ДРСУ, так и на машиностроительных заводах. «Завод спецтехники Новатор» (г. Копейск) уже сейчас располагает определенным опытом конструирования и изготовления ударно-вибрационных механизмов для уплотнения дорожно-строительных материалов.

Для расчета нового механизма уплотнения бетонных смесей разработана математическая модель и программа для автоматического расчета.

Решение задач по геометрическому и прочностному расчету механизмов является трудоемким и долговременным процессом, без которого невозможно проектирование механизма. Также в связи с большим количеством исходных параметров не всегда возможно подобрать наиболее оптимальные для них

значения. Именно для этого была создана математическая модель и впоследствии программа для автоматического расчета.

При создании математической модели были выделены исходные параметры механизма, к ним относятся длины стержней, рабочий диаметр маховика, длина плиты, ширина плиты, рабочая длина плиты, необходимое давление сжимаемого материала, характеристики двигателя и другие менее значимые параметры.

Разработаны формулы движения всего механизма в любые моменты времени, то есть математическая модель позволяет в любой момент времени определить положения звеньев механизма, их скоростные характеристики, усилия, создаваемые в них и прочностные характеристики. В связи с большим количеством расчетов по данной математической модели создана программа⁴. Алгоритм, по которому работает программа, показан на рисунке 6.

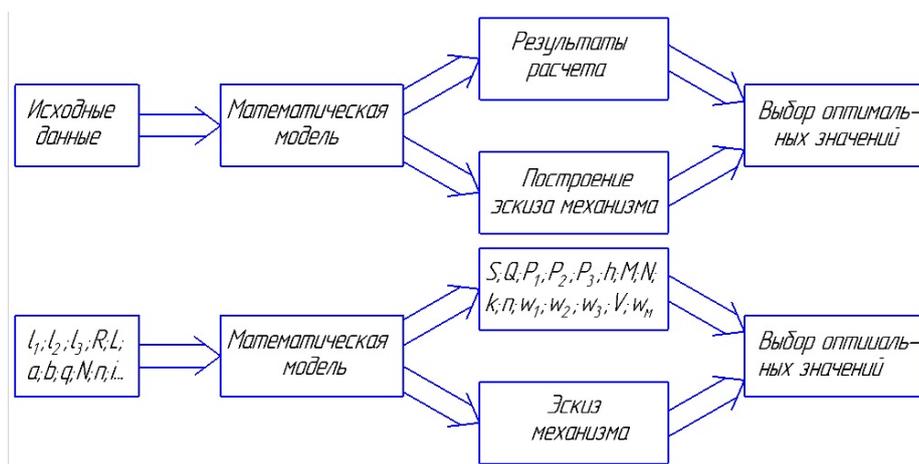


Рисунок 6. Схема алгоритма решающей программы

Меню программы состоит из исходных данных, выходных (расчетных) параметров и области автоматического построения механизма (рисунок 7).

⁴ Боэм, Б.У. Инженерное проектирование программного обеспечения. Перевод с английского / под редакцией проф. Красиловой А.А. – М.: Радио и связь, 1985. 512 с.

Исходные данные:			
Длина стержня 1	l_1	200	мм
Длина стержня 2	l_3	200	мм
Длина стержня 3	l_2	200	мм
Рабочий радиус маховика	R	42	мм
Рабочая длина плиты	$l_{\text{раб.пл}}$	100	мм
Фактическая длина плиты	a	125	мм
Фактическая ширина плиты	b	120	мм
Давление сжатия	q	0,2	МПа
Мощность двигателя	N	3	кВт
Количество оборотов двигателя	n	1400	об/мин
Передаточное число редуктора	i	7,5	-
КПД редуктора	η	0,7	-
Коэффициент перегруза	k	2	-
Масса плиты	m	1,52	кг
Ускорение свободного падения	g	9,81	м/с ²
Регулируемый угол положения	ϕ	181	град
Расчетные данные			
Площадь рабочей пов-ти плиты	S	15000	мм ²
Усилие сжатия необходимое на плите	Q	3000	Н
Усилие в 3 стержне	P_3	1501,59	Н
Усилие в 2 стержне	P_2	1666,97	Н
Усилие в 1 стержне	P_1	401,62	Н
Рабочее плечо маховика	h	3,4	мм
Необходимый момент на маховике	$M_{\text{вых}}$	1,37	Нм
Необходимый момент на двигателе	$M_{\text{вх}}$	0,26	Нм
Необходимая мощность двигателя	$N_{\text{дв}}$	0,038115	кВт
Запас по двигателю	k	78,70879	-
Угол плиты над горизонтом при угле ϕ	β	20,52	град
Количество оборотов маховика	$n_{\text{вых}}$	186,67	об/мин
Расчет на прочность при заклинивании			
Максимальный момент на маховике	$M_{\text{макс}}$	306,96	Нм
Усилие в 1 стержне	P_1	90282,35	Н
Усилие во 2 стержне	P_2	374728,4	Н
Усилие в 3 стержне	P_3	337551	Н
Максимальное усилие	$P_{\text{макс}}$	374728,4	Н
Усилие на плите	F	337194,8	Н

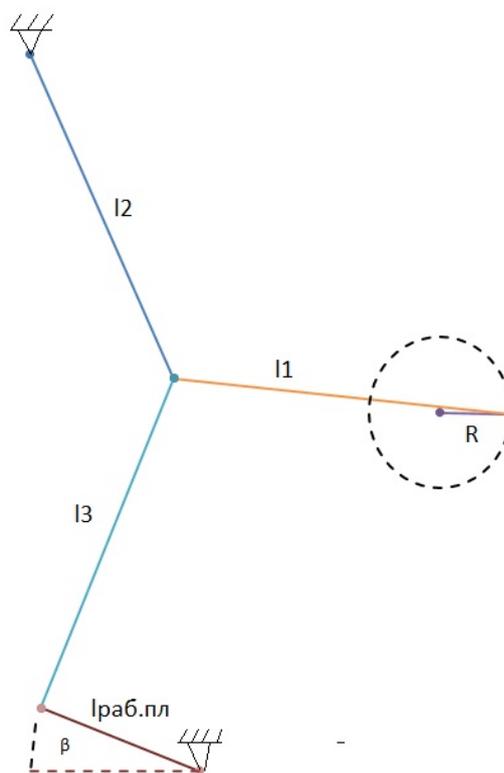


Рисунок 7. Меню программы для подбора оптимальных параметров нового механизма

Вводя значения в исходных данных и запуская расчет, получаем расчетные данные; так же регулируя угол поворота маховика, получаем изменения, происходящие в звеньях механизма в динамике (геометрические, скоростные, силовые и прочностные). Все эти расчеты позволяют определить какое положение механизма наиболее нагружено, разгружено и сделать выводы по необходимым размерам узлов конструкции. Также, варьируя исходными данными, можно подобрать наиболее оптимальные параметры (размеры) механизма.

Выводы

1. Предложено техническое решение для модернизации бетоноукладчика, заключающегося в замене существующих вибрационных механизмов на ударно-вибрационный механизм.

2. Переход дорожно-строительной отрасли на использование жестких бетонных смесей при строительстве автомобильных дорог приведет к

повышению физико-механических свойств бетона и экономии затрат на самый дорогой материал в бетонной смеси – это портландцемент (на 25–30%).

3. Сокращается время набора прочности жесткого бетона (в 1,5 раза), следовательно, дорога может сдаваться в эксплуатацию в более короткие сроки.

4. Создание программных комплексов является новым шагом в создании высокотехнологических механизмов, с наиболее оптимальными параметрами по металлоемкости и энерговооружённости. Кроме этого, сокращается время проектирования механизма и повышается его конкурентоспособность.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОГ

А.В. Мышин – к.воен.н., Военная академия материально-технического обеспечения, имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

А.Ж. Алимов – оператор научной роты, Военная академия материально-технического обеспечения, имени генерала армии А.В. Хрулёва, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Аннотация

Статья содержит аспекты применения беспилотных летательных аппаратов для патрулирования эксплуатируемых автодорог. Наиболее оперативно и достоверно получать сведения о состоянии участков автодорог проводится с помощью воздушной дорожной разведки. В статье приведен сравнительный анализ современных моделей беспилотных летательных аппаратов и сделан вывод о возможности их использования в интересах обеспечения эксплуатации автомобильных дорог.

Введение. При выполнении задач эксплуатации военно-автомобильных дорог (ВАД) достаточно сложно выполнимой является организация дорожно-комендантской службы, поскольку она достаточно многогранна. При её организации осуществляются диспетчерский контроль, регулирование движения, поддержание установленной очередности и порядка движения автомобильных колонн, контроль соблюдения правил дорожного движения, защиты, обороны, охраны и маскировки автомобильных колонн и дорожных объектов. На дорожно-комендантские подразделения также возлагаются задачи по сбору и отправке в свои части отставшего личного состава и техники, оповещению участников движения о состоянии участка ВАД, наличии заграждений, разрушений, зон радиоактивного и химического заражения, обслуживанию небольших команд, отдельных машин и военнослужащих.

Одним из важных условий успешного выполнения задач дорожно-комендантской службы гарнизонно-патрульным методом является своевременное получение сведений о состоянии эксплуатируемых участков и характеристиках осуществляемого по ним воинского движения¹.

¹ Аксёнкин, В.И. Модель проведения комплексной оценки процесса воинских перевозок с применением систем спутникового мониторинга // Транспортные и транспортно-технологические системы материалы международной научно-технической конференции. 2017. С. 9–13.

Наиболее оперативно и достоверно получать сведения о состоянии участков автодорог возможно проведением воздушной дорожной разведки. Воздушная разведка позволяет в короткие сроки получать необходимые данные об установившемся порядке движения в сложных (ограничивающих) местах, о разрушениях и заграждениях на участках автодорог в результате воздействия противника и природных факторов, состоянии и качестве проведения мероприятий фортификационного оборудования и маскировки мест расположения подразделений и объектов на автодорогах.

Наиболее эффективно воздушная разведка может выполняться с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Объект и результаты исследования. Технические характеристики беспилотных летательных аппаратов, которые исследования целесообразно использовать в интересах выполнения задач дорожно-комендантской службы должны позволять выполнять обследование участка и прилегающую местность, включая участки запасного маршрута, подъездов и районов переправ.

Существующими рекомендациями² частота патрулирования между гарнизонами (на взводном участке) определяется комендантом ротного дорожно-комендантского участка и может составлять 2–4 часа.

Скорость патрулирования дорожно-комендантским нарядом может соответствовать скорости движения группы разведки, осуществляющей рекогносцировку участка автодороги, и достигать 15–20 км/час. Протяженность взводного дорожно-комендантского участка с участками рокадной автодороги и объездами (обходами) может составлять 50–60 км. Дорожно-комендантский участок одним комендантским нарядом (патрулем) может быть обследован за 2,5–4,0 часа. Представляется, что такая периодичность патрулирования в современных условиях будет недостаточной для своевременного принятия решения и организации работ по ликвидации разрушений и заторов.

Наличие беспилотного летательного аппарата позволит увеличить частоту обследований дорожно-комендантского участка, что позволит существенно сократить время поступления, достоверность и качество информации о состоянии дорожно-комендантских участков.

Это позволит повысить качество принимаемых решений на ликвидацию препятствий движению автомобильных колонн и своевременность постановки задач дорожным (дорожно-комендантским) подразделениям.

² Военная подготовка офицеров запаса дорожных войск. Часть III. Тактика подразделений дорожных войск. Учебник. – М: Воениздат, 1991. 279.с.

Реализация преимуществ беспилотных летательных аппаратов, для выполнения задач дорожно-комендантской службы и ведения воздушной разведки дорожно-комендантских участков, возможна в том случае, когда эти аппараты будут обладать требуемыми техническими характеристиками, перечень которых приведен в статье³.

Автором изучены технические характеристики имеющихся в настоящее время отечественных и зарубежных беспилотных летательных аппаратов. Полученные результаты позволили выделить ряд беспилотных летательных аппаратов, технические характеристики которых указывают на возможность их использования для решения задач дорожно-комендантской службы. Отдельные аппараты обладают техническими характеристиками, которые не в полной мере могут обеспечить решение задач дорожно-комендантской. Такие аппараты подлежат модернизации. В процессе такой модернизации технические характеристики беспилотных летательных аппаратов должны будут в полной мере удовлетворять предъявляемым к ним требованиям, вытекающим из решения комплекса задач дорожно-комендантской службы.

Обеспечить наиболее полное решение задач дорожно-комендантской службы возможно использованием отдельных отечественных беспилотных летательных аппаратов. К таким аппаратам относится беспилотный летательный аппарат ZALA 421-02X, представленный на рисунке 1.



Рисунок 1. Беспилотный летательный аппарат ZALA 421-02X

Важно отметить, что данный аппарат оснащен двигателем внутреннего сгорания «Ванкель».

³ Твой первый квадрокоптер: теория и практика. – СПб.: БХВ, 2016. 256 с.

Ряд других беспилотных летательных аппаратов, в том числе представленных на рисунках 2 и 3, имеют электрические двигатели.



Рисунок 2. Беспилотный летательный аппарат Supercam S-300M



Рисунок 3. Беспилотный летательный аппарат Supercam S-350

Основные технические характеристики беспилотных летательных аппаратов представлены в таблице.

Таблица 1 – Технические показатели беспилотных летательных аппаратов

Модель БПЛА	Продолжительность полета, час	Максимальная высота, м	Скорость полета, км/ч	Радиус радиолинии, км
ZALA	3	3000	65	70.
GeoScan	3	4000	8-40 м/с	100
SuperCam S-300M	3.5.	6000	65-120	90
SuperCam S350	4 .	3600	65-120	70
SuperCam S250	3 .	3600	65-120	70
PhotoBot	4 .	3600	65-120	70

Заключение. Анализ данных, приведенных в таблице, позволяет утверждать, что технические показатели SuperCam S-300M наиболее полно удовлетворяют требуемым для решения комплекса задач дородно-комендантской службы характеристикам.

РОЛЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ДВУХПУТНОГО ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО УЧАСТКА ЖУРАВКА–МИЛЛЕРОВО В РАЗВИТИИ ЮЖНОГО РЕГИОНА

В.А. Рыбицкий – к.воен.н., доцент, старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

С.И. Завальнюк – к.т.н., старший научный сотрудник, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева, Научно-исследовательский институт Военной академии материально-технического обеспечения.

Аннотация

Показана объективная необходимость и стратегическая обусловленность строительства железнодорожного участка Журавка–Миллерово в развитии Южного региона России.

Введение. Железнодорожный транспорт России играет огромную роль, объединяя все отрасли хозяйства в единый комплекс, обеспечивающий надёжные межрегиональные связи, целостность, обороноспособность и национальную безопасность государства. По железным дорогам страны ежегодно перемещаются 200 млн. пассажиров и около 1 млрд. т грузов¹. На долю железных дорог приходится 80–85% грузооборота и до 50% перевозок пассажиров². С учётом расположения природных ресурсов и производительных сил, железные дороги, эксплуатационная длина которых составляет 87 тыс. км, являются ведущей отраслью экономики, всей социально-экономической и геополитической системы России³.

Объект и результаты исследования. Распоряжением Правительства утверждена «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года»⁴. Федеральным органам исполнительной власти поручено обеспечить реализацию целевой программы, а субъектам РФ в пределах своей компетенции при формировании региональных программ

¹ Российские железные дороги 2007: справочник. – М.: РЖД, 2007. С. 7.

² Транспорт Российской Федерации. – 2009. – № 3 – 4 (22 – 23). С. 58.

³ Андрианов В.Н. Железнодорожный транспорт России: современное состояние, проблемы и перспективы развития. [Электронный ресурс]. – URL: <http://russiantourism.ru>. (Дата обращения 10.01.2018).

⁴ Распоряжение Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Информационно-правовой портал Гарант.ру. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.garant.ru>. (Дата обращения 11.01.2018).

развития предусматривать меры по реализации данных мероприятий. Принимая целевую программу, Правительство поставило задачу обеспечить эффективную реализацию уникального географического потенциала страны на базе комплексного развития всех видов транспорта в части, касающейся российских железных дорог.

Базисными целями выполнения целевой программы являются:

обеспечение транспортной целостности, независимости, безопасности и обороноспособности страны;

осуществление мобилизационной подготовки на железнодорожном транспорте, выполнение воинских и специальных железнодорожных перевозок, повышение защищённости объектов железнодорожной транспортной инфраструктуры от воздействия различного рода угроз, в том числе актов диверсионно-террористической деятельности;

реализация транзитного потенциала России на базе интеграции железнодорожного транспорта в международные транспортные системы.

Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации предусматривает модернизацию действующих железнодорожных линий и строительство новых железнодорожных участков.

В итоге анализа утвержденной стратегии наиболее значимым инвестиционным проектом Северо-Кавказской железной дороги явилось развитие направления Прохоровка – Батайск, в перспективе рассматривается в качестве элемента инфраструктуры проектируемой высокоскоростной магистрали «Москва – Адлер», которое предусматривает увеличение пропускных способностей на южном направлении.

Строительство железнодорожного участка Журавка–Миллерово, в Южном регионе было закономерным процессом, определялось внешнеполитическими, военно-стратегическими задачами России. В административном отношении участок строительства новой железнодорожной линии расположен на территории Кантемировского района Воронежской области РФ. Кантемировский район расположен на крайнем юге Воронежской области и является самым крупным и самым удаленным от областного центра южным муниципальным образованием. На севере и востоке район граничит с Россошанским и Богучарским районами Воронежской области. На юге Кантемировский район граничит с Чертковским районом Ростовской области и Меловским районом Луганской области Украины.

Предыдущая железнодорожная линия Лиски–Чертково–Лихая–Ростов обеспечивала транспортно-экономические связи центра России с её южными регионами и республиками Закавказья. До 2015 г. линия имела интенсивное пассажирское движение, значительно увеличивающееся в летний период. По линии осуществлялись основные грузовые перевозки из центра России в регионы Ростовской области, Краснодарского и Ставропольского краёв, Республик Российского Кавказа и внешнеэкономические связи с Закавказьем.

Участок железной дороги между станциями Гартмашевка (Юго-Восточной ж.д.) и Чертково (Северо-Кавказской ж.д.), длиной около 26 километров, соединяющий Центральный федеральный округ и Ростовскую область, проходил по территории Луганской области Украины практически вдоль границы с Россией. Российским поездам из некоторых регионов на пути в Краснодар и Ростов-на-Дону приходилось дважды пересекать границу, российские железнодорожники систематически меняли маршруты движения, дабы избежать от двойного пересечения государственной границы, что негативно сказывалось на скорости продвижения и себестоимости перевозок из-за пограничных технологических мероприятий.

Варианты решения этой проблемы предлагались давно. Наиболее масштабный предполагал строительство железнодорожной линии Прохоровка–Журавка–Чертково–Батайск в обход Украины, протяжённостью 748 км.

Государственный переворот на Украине, произошедший в феврале 2014 г., заставил скорректировать эти планы в пользу менее масштабного, но быстрее реализуемого проекта.

Рассматривалось несколько вариантов трассировки обхода участка, проходящего по территории Украины:

Вариант 1 – Журавка–Шептуховка (149 км).

Вариант 2 – Кантемировка–Шептуховка (146,1 км).

Вариант 3 – Журавка–Миллерово (122,5 км).

В итоге был утверждён вариант, протяжённостью 122,5 км, ситуационная карта строительства которого представлена на рисунке, данный вариант позволил отодвинуть ход магистрали от государственной границы без существенного удлинения пути⁵.

⁵ Железнодорожная линия в обход Украины. Википедия. [Электронный ресурс]. – URL: <https://ru.wikipedia.org>. (Дата обращения 12.01.2018).

скорость подвижного состава на данном участке составляет 160 км/ч. Несмотря на то, что новый участок железной дороги длиннее, чем маршрут через Украину, планируется, что общее время в пути может сократиться за счёт исчезновения пограничного контроля.

Заключение. Таким образом, ввод в эксплуатацию железнодорожного участка Журавка–Миллерово позволит повысить защищённость национального суверенитета и безопасность страны, способствовать реализации потенциала Южного региона, развитию материально-технической базы, индустриальному преобразованию промышленного производства, новому социально-профессиональному разделению.

Строительство железной дороги в данном регионе стало важным средством коммуникации, связав населенные пункты удобными и быстрыми путями сообщения, обеспечило прямое сообщение между Центром России и Южным регионом, обходя проблемный участок границы с Украиной, активизировало предпринимательскую деятельность, как часть индустриальной модернизации, повлияло на коммерциализацию края. Предприниматели получили больше возможностей для самореализации, как субъекты социально-экономической сферы, осознавая приоритетность инвестиций в промышленное производство. Социальной составляющей строительства нового железного участка стала новая территориальная система размещения населения, обусловленная особенностями пролегания линии и спецификой региона.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И КОНТРОЛЯ ТРАНСПОРТА

А.А. Шаркова – студент, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта.

Аннотация

Статья посвящена обзору эффективных решений в области систем мониторинга транспорта, обоснованию необходимости их использования. Приведены примеры эффективных решений по мониторингу автотранспорта в практической деятельности предприятий. Рассмотрены основные критерии оценки для оценки бортового оборудования систем мониторинга и контроля транспорта.

Введение. Одной из важных задач, решаемых при осуществлении транспортно-логистической деятельности, является оптимизация транспортных маршрутов, а также решение целого комплекса проблем, связанных с обеспечением своевременности доставки грузов.

При решении транспортных задач специалисты компании должны не просто рассчитать оптимальный маршрут грузоперевозки, но и учесть множество конкретных особенностей. Необходимо точно определить срок доставки груза, рассчитать полный объем транспортных расходов, определить границы ответственности и что произойдет, если груз будет доставлен ранее заявленного срока или с опозданием, обеспечить сохранность груза, проверить наличие законодательных ограничений на его перемещение и т. д.

Таким образом, решение транспортных задач в практической деятельности предприятий невозможно без использования комплексного подхода, который должен обеспечить учет всех факторов, оказывающих влияние (как положительное, так и негативное) на эффективность грузоперевозки. Учет данных факторов, в свою очередь, невозможен без скрупулезного анализа транспортной составляющей работы предприятия.

Метод исследования. Важнейшее значение при этом имеет система контроля и мониторинга транспорта. С ее помощью можно обеспечить круглосуточный контроль местонахождения транспортных средств, что особенно важно при осуществлении дальних перевозок, а также при контроле перемещения спецтехники в городах – снегоуборочных машин, автомобилей «скорой помощи» и т.п. Система контроля и мониторинга транспорта также позволяет уменьшить реальный и так называемый накрученный пробег

автотранспорта, который, к тому же, создает предпосылки для хищения фиктивных излишков горюче-смазочных материалов. Кроме того, обеспечивается контроль работы дополнительного оборудования (бетонного насоса, крана, рефрижераторной установки и пр.), а также предотвращается нецелевое расходование топлива¹.

Получить перечисленные данные, а также иную информацию о местонахождении транспортного средства и его состоянии можно как раз с помощью разнообразных систем мониторинга и контроля транспорта.

Результаты. На российском рынке их представлено значительное количество. К числу наиболее надежных часто относят решения компаний «АвтоКоннект», «АвтоСкан-GPS/ГЛОНАСС», «ГЛОНАСС Северо-Запад», «МиРЭП», «Цезарь Сателлит», Global Position и ряд других. В Калининградской области действует целый ряд компаний, которые предлагают услуги по установке систем мониторинга транспорта². В качестве примера можно привести компанию «Балтавтоматика», которая предоставляет клиентам три пакета услуг – базовый (контроль местонахождения, работы двигателя и соответствия расхода топлива нормам), расширенный (дополнительно к базовому расход топлива с бортового компьютера), а также так называемый топливный (дополнительно к базовому пакету контроль датчика уровня топлива, который позволяет контролировать заправку, слив и расход)³.

Контроль осуществляется с помощью специального оборудования, устанавливаемого на транспортное средство (бортовых контроллеров). Информация от бортовых контроллеров поступает на специальный сервер по GSM каналу. При низком уровне GSM сигнала информация записывается во внутреннюю память устройства, а когда связь восстанавливается, данные передаются на сервер. Потеря данных, таким образом, исключена. Владелец автотранспорта всю информацию от бортового контроллера может посмотреть на сайте компании, предоставивший такую услугу, приобретения специального программного обеспечения для этого не требуется.

¹ Амирова, А.М. Повышение эффективности деятельности предприятий на основе использования системы мониторинга транспорта и TMS-систем // Вопросы экономики и управления. – 2016. – № 5-1 (7). – С. 25–27.

² Дупленко, Н.Г., Дрок, Т.Е. Влияние экономических санкций на предпринимательскую активность в приграничном регионе на примере Калининградской области // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2016. – Т. 5. - № 4 (17). – С. 148–151.

³ Шаркова, А.А., Дупленко, Н.Г. Анализ развития малого и среднего предпринимательства в сфере транспорта и связи в Калининградской области // В сб.: Анализ состояния и тенденции развития приморских регионов России. Казань, 2017. С. 160–164.

При этом большинство систем мониторинга и контроля имеют двусторонний канал обмена информацией, что позволяет не только получать и обрабатывать информацию, но и подавать команды на исполнение различным устройствам и оборудованию, подключенных к бортовому оборудованию⁴. Большую популярность и распространение, в нынешнее время, получили «онлайн приборы», позволяющие в режиме реального времени контролировать объекты наблюдения. Все такие приборы вне зависимости от изготовителя используют схему работы, при которой полученные спутниковым приемником геоданные и преобразованные в цифровую форму сигналы от контролируемых датчиков объединяются, иногда обрабатываются на месте и посредством SMS или GPRS технологий передаются конечному пользователю для дальнейшего представления и обработки. Очень редко в таких системах в качестве канала передачи используются гражданские спутниковые каналы связи, что обусловлено очень высокой стоимостью трафика спутниковой связи. Основными критериями для оценки бортового оборудования являются используемые приемники спутниковых сигналов; количество входов и выходов; возможность обработки различных типов входных сигналов, способных восприниматься бортовым оборудованием; способность работать с CAN шиной современных автомобилей; конструкция (способность обеспечить работоспособность установленной внутри устройства электронной схемы в условиях повышенной вибрации, возможных значительных перепадах температур, других отрицательных факторов присущих автотранспортным средствам); возможность дистанционного перепрограммирования встроенного контроллера; устойчивость работы в местностях со слабым покрытием сотовыми сетями; объем генерируемого трафика; наличие антивандальных средств защиты; предобработка получаемой информации в самом бортовом приборе, а также стоимость⁵.

Основным элементом бортового оборудования рассматриваемых систем является приемник спутниковых сигналов. От его четкой работы зависит достоверность всей передаваемой информации. Зафиксированное и переданное

⁴ Актуальные экономические исследования калининградских вузов / Сб. науч. трудов / Союз землячеств приморских регионов; Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Институт экономики и менеджмента. – Казань, 2017. – Вып. 1. – С. 266 с.

⁵ Андреева, Л.А. Система идентификации грузов, функционирующая на основе технологии глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. – 2017. – Т. 1. – № 1-1 (10). – С. 38–48.

прибором какое-либо событие или показания подключенного датчика не будут иметь никакой смысловой нагрузки без указания точного места и времени события, за что и несет ответственность приемник. Зачастую в погоне за модой или в качестве рекламы производители или интеграторы рассматриваемых систем указывают характеристики и красивые названия примененных приемников, которые абсолютно ничего не говорят о реальной чувствительности, точности и надежности приемника. На деле это выражается низкой точностью определения местоположения, частыми потерями координат, дрейфом координат при продолжительных стоянках и т. д.

Важной характеристикой бортового оборудования является также его цена. Следует отметить, что при выборе системы дистанционного мониторинга надо исходить не из заявленной первоначально стоимости приобретаемого программного обеспечения, бортового оборудования и предлагаемой периферии, а учитывать так называемую цену владения. За низкой ценой бортового оборудования, программного обеспечения, отсутствием платы за абонентское обслуживание может скрываться отдельная плата за получение отчетов, ради которых и приобреталась система, недостаточный набор карт, необходимость приобретения дополнительного оборудования для работы серверной программы и дополнительных программных продуктов.

Заключение. Говоря о заметных тенденциях на рынке систем мониторинга и контроля транспорта, необходимо отметить, что все компании, которые предлагают такие системы, отмечают рост продаж. И это несмотря на то, что финансовое положение автоперевозчиков остается достаточно сложным. Однако затраты окупаются настолько быстро, что владельцы автопарков делают вполне осознанный выбор, понимая, что каждый вложенный рубль очень скоро принесет экономию в десятки рублей. В целом же уровень автоматизации транспортной отрасли в странах СНГ остается, к сожалению, на низком уровне, если сравнивать с экономически развитыми странами. Однако нельзя не отметить позитивную тенденцию – предприятия все больше внимания уделяют информационным технологиям, в том числе системам мониторинга и контроля транспорта, на некоторых даже внедряются специализированные ERP-системы для транспортной отрасли.

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ БЫСТРОХОДНОЙ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ ВХОДА-ВЫХОДА ИЗ ПОВОРОТА

С.В. Кондаков – д.т.н., профессор, Южно-Уральский государственный университет (НИУ).

А.Г. Савиновских – к.т.н. заведующий кафедрой «Транспорт и электроэнергетика», Южно-Уральский институт управления и экономики

С.М. Ахмедов – студент, Южно-Уральский институт управления и экономики.

Аннотация

В данной статье приведены материалы, касающиеся теории движения быстроходных гусеничных машин в переходных периодах изменения траектории криволинейного движения. На их основе возможно теоретическое обоснование реально имеющих место способов, алгоритмов управления гусеничной и колесной машиной в неустановившемся повороте, на границе заноса, в «управляемом заносе», используемых водителями-профессионалами, автогонщиками. Осмысление их навыков, математическое описание, алгоритмизация позволит создать автоматические системы, и повысить подвижность машин.

Введение. Внедрение гидрообъемного привода в механизмы поворота позволило организовать криволинейное движение по траектории любого радиуса, с любой интенсивностью бесступенчатого изменения кривизны, темпа входа в поворот и выхода из поворота¹. Ступенчатые механизмы поворота не позволяли этого делать: реальное движение представляли в виде отрезков прямолинейного движения и установившегося движения по кругу фиксированного радиуса. Все промежуточные моменты старались сократить во времени, поскольку они связаны с работой фрикционов. В соответствие этим постулатам строилась и теория движения: теория прямолинейного движения и теория поворота, причем, только установившегося поворота². Особенности бесступенчатых механизмов поворота требуют развития теории переходных режимов входа-выхода из поворота.

Вопросы теории движения гусеничной машины при переходе от прямолинейной траектории к повороту в литературе рассмотрены недостаточно

¹ Объемные гидромеханические трансмиссии. – Л.: Машиностроение, 1987. 256 с.; Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии транспортных машин. – М.: Машиностроение, 1988. 248 с.; Благодравов, А.А. Динамика управляемого движения гусеничной машины: учебное пособие. – Курган: Изд. Курганского машиностроительного института, 1995. 162 с. и т. д.

² Гуськов, В.В. Теория поворота гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1984. 332 с.; Платонов, В.Ф. Гусеничные и колесные транспортные машины. – М.: Машиностроение, 1986. 296 с.

полно. А здесь кроются важные причины динамических нагрузок не только механизма поворота, трансмиссии двигателя, но и ходовой системы.

Каждый новый фрагмент теории, уточненные или вновь полученные теоретические зависимости должны проверяться в предельных переходах с принятыми, отработанными, устоявшимися представлениями. Модели, описывающие одни и те же процессы криволинейного движения, несмотря на степень подробности допущения и сложность, не должны противоречить друг другу.

Угол увода в переходных режимах. Достаточно хорошо проработанный вопрос о наличии угла увода при повороте гусеничной машины. Однако нет данных о процессе формирования этого угла при входе в поворот и выходе из него. Элементарный вопрос о первичности во времени отклонения курсового угла и появления угла увода не имеет ответа. Нет простых и понятных аналитических зависимостей, показывающих процесс их формирования. Наряду с этим имеются косвенные, экспериментальные данные о динамических нагрузках, а, следовательно, ускорениях при входе и выходе из поворота. А также при изменении кривизны траектории. Влияние на эти процессы конструктивных параметров машины также представляет практический интерес для инженеров и ученых. В связи с этим проведена проверка полученного результата по боковым ускорениям средствами математической модели³.

Параллельно рассмотрен вопрос о системах координат, принятых в различных литературных источниках по изучаемому вопросу.

Преимущества и недостатки присущи обеим точкам зрения – как у приверженцев подвижной системы координат, связанной с корпусом машины, так и у приверженцев неподвижной системы координат, связанной с местностью. Дело в том, что и те, и другие вынуждены в ряде случаев переходить в смежную систему отсчета.

Принятой в работе неподвижной системы координат оказывается недостаточно при оценке угла увода. На рисунке 1 приведены две системы координат для одного и того же объекта – БГМ. Одна система координат XOY – неподвижная, другая $xo1y$ – подвижная, связанная с корпусом машины так, что

³ Кондаков, С.В. Исследование прямолинейного движения колесной (12х12) высококомобильной платформы с электрической трансмиссией / Современные транспортные технологии: задачи, проблемы, решения: сборник трудов Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов 22.03.2017. Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский институт управления и экономики», 2017. С. 95-105.

ось x – продольная ось машины, y – поперечная, o_1 – центр тяжести. Углы: φ – курсовой, α – траекторный, между касательной к траектории центра тяжести и неподвижной осью X , β – увода, между касательной к траектории и продольной осью машины.

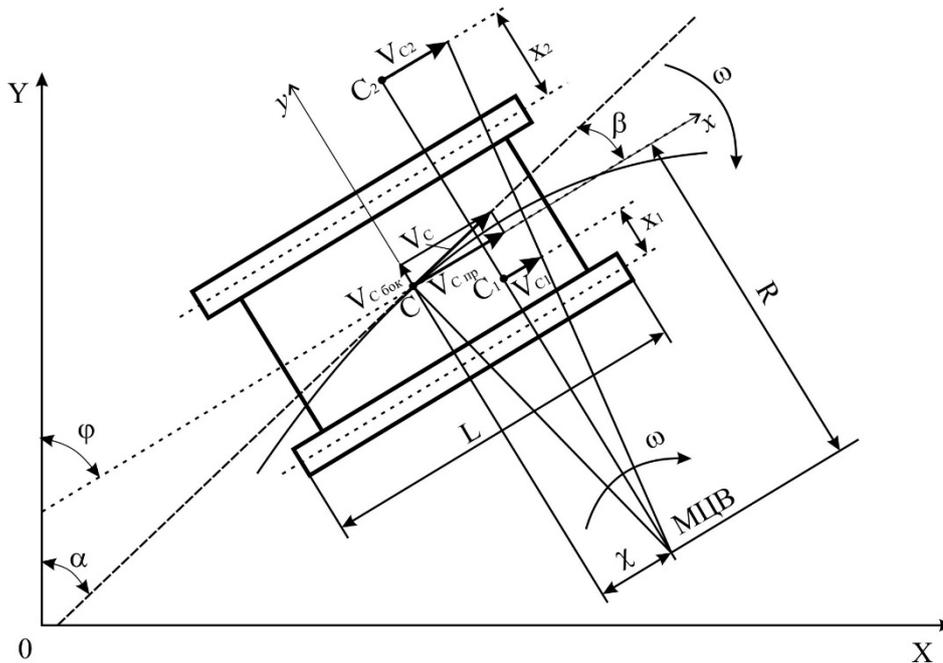


Рисунок 1. Расчетная схема

Рассмотрим переходный процесс входа в поворот. При прямолинейном движении в неподвижной системе координат центр тяжести O перемещается вместе со всей продольной осью машины под углом α к оси Y . В момент, когда начинается вход в поворот от точки O отделяется воображаемая точка O_1 , которая становится полюсом поворота, и движется вперед и вправо (если поворот вправо). Продольное смещение вдоль оси машины принято обозначать χ для установившегося поворота, а угловое смещение продольной оси корпуса относительно касательной к траектории центра тяжести – углом увода β .

На рисунке 2 обозначены углы α – траекторный, φ – курсовой, β – увода. Отрезок OO_1 однозначно определяет положение корпуса в неподвижной системе координат. И поможет разложить ускорение материальной точки O на тангенциальную и нормальную составляющие.

Координаты полюса поворота

$$X_{O_1} = X_O + \chi \sin \varphi$$

$$Y_{O_1} = Y_O + \chi \cos \varphi$$

Составляющие вектора скорости перемещения полюса поворота

$$\dot{X}_{O_1} = \dot{X}_O + \dot{\chi} \sin \varphi + \dot{\chi} \varphi \cos \varphi;$$

$$\dot{Y}_{O_1} = \dot{Y}_O + \dot{\chi} \cos \varphi - \dot{\chi} \varphi \sin \varphi;$$

где $\varphi = \alpha + \beta$; α – траекторный угол, β – угол увода, φ – курсовой угол.

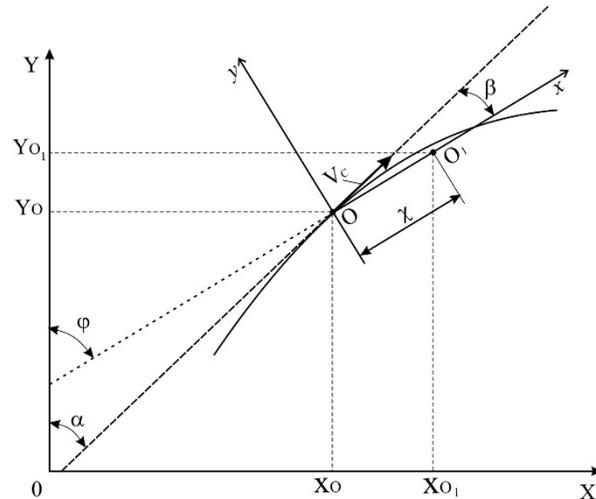


Рисунок 2. Координаты центра тяжести и полюса поворота машины

Абсолютные значения скоростей точек O и O1:

$$V_O = \sqrt{\dot{X}_O^2 + \dot{Y}_O^2}$$

$$V_{O_1} = \sqrt{\dot{X}_{O_1}^2 + \dot{Y}_{O_1}^2}$$

Тангенсы углов α и φ определяются выражениями:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\dot{X}_O}{\dot{Y}_O};$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\dot{X}_{O_1}}{\dot{Y}_{O_1}} = \frac{\dot{X}_O + \dot{\chi} \sin(\alpha + \beta) + \dot{\chi} (\dot{\alpha} + \dot{\beta}) \cos(\alpha + \beta)}{\dot{Y}_O + \dot{\chi} \cos(\alpha + \beta) - \dot{\chi} (\dot{\alpha} + \dot{\beta}) \sin(\alpha + \beta)}, \quad (1)$$

где смещение полюса поворота, скорость и ускорение его смещения:

$$\chi = \frac{V\omega L}{2\mu g}; \quad \dot{\chi} = \frac{VL}{2\mu g} \frac{d\omega}{dt}; \quad \ddot{\chi} = 0; \quad (2)$$

угол увода, скорость и ускорение изменения угла увода:

$$\beta = \frac{L\omega^2}{2\mu g}; \quad \dot{\beta} = \frac{L\omega}{\mu g} \frac{d\omega}{dt}; \quad \ddot{\beta} = 0; \quad (3)$$

Для установившегося поворота из (1) с учетом (2) и (3) можно записать:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\dot{X}_o + \frac{V\omega L}{2\mu g} \omega \cdot \cos(\alpha + \beta)}{\dot{Y}_o - \frac{V\omega L}{2\mu g} \omega \cdot \sin(\alpha + \beta)} = \frac{\dot{X}_o + 3,4\omega^2 \cdot \cos(\alpha + 0,2\omega^2)}{\dot{Y}_o - 3,4\omega^2 \cdot \sin(\alpha + 0,2\omega^2)}$$

для машины с параметрами $V=17\text{м/с}$; $L=4\text{м}$; $\mu_{\max}=1$; $g=10\text{м/с}^2$; $\omega=0,4\text{р/с}$; $\alpha=0$; $\dot{X}_c=0$; $\dot{Y}_c=17\text{м/с}$ получим тангенс курсового угла.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{0 + 3,4 \cdot (0,4)^2 \cdot \cos(0 + 0,032)}{17 - 3,4 \cdot (0,4)^2 \cdot \sin(0 + 0,032)} = \frac{3,4 \cdot 0,16 \cdot 1}{17 - 3,4 \cdot 0,16 \cdot 0,032} = \frac{0,544}{17 - 0,017} = \frac{0,544}{17} = 0,032.$$

Тангенс малых углов равен самому углу $\varphi=0,032\text{р}=1,8^\circ$.

Результат, казалось бы, тривиален, однако он является лишь одним из предельных переходов – упрощением общего выражения (1) для условий установившегося поворота.

В переходном же периоде входа-выхода появляются слагаемые, зависящие от $\frac{d\omega}{dt}$ - от скорости изменения кривизны. В числителе $+\frac{LV}{2\mu g} \cdot \frac{d\omega}{dt}$, в знаменателе $-\frac{LV}{2\mu g} \cdot \frac{d\omega}{dt}$; в перечисленных выше условиях поворота: $V=17\text{м/с}$; $L=4\text{м}$; $\mu_{\max}=1$; $g=10\text{м/с}^2$; $\omega=0,4\text{р/с}$; $\alpha=0$; $\dot{X}_c=0$; $\dot{Y}_c=17\text{м/с}$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{0 + 3,4 \cdot \sin(\alpha + 0,2\omega^2) \frac{d\omega}{dt} + 3,4\omega \left(\omega + 0,4\omega \frac{d\omega}{dt} \right) \cdot \cos(\alpha + 0,2\omega^2)}{17 + 3,4 \cdot \cos(\alpha + 0,2\omega^2) \frac{d\omega}{dt} - 3,4\omega \left(\omega + 0,4\omega \frac{d\omega}{dt} \right) \cdot \sin(\alpha + 0,2\omega^2)} = \frac{0,554 + 0,672 \frac{d\omega}{dt}}{17 + 3,4 \frac{d\omega}{dt}}$$

Как показано в предыдущем разделе угловая скорость корпуса $-5 \leq \frac{d\omega}{dt} \leq 5$.

Если $\frac{d\omega}{dt} = 5$ (максимально возможное), тогда:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{0,554 + 0,672 \cdot 5}{17 + 3,4 \cdot 5} = \frac{0,554 + 3,36}{17 + 17} = \frac{3,914}{34} = 0,11, \text{ то есть } \varphi = 0,11\text{р} = 6,27^\circ.$$

А при выходе из поворота $\operatorname{tg} \varphi = \frac{0,554 - 0,672 \cdot 5}{17 - 17} = \infty, \varphi = 90^\circ$.

Таким образом, аналитическая зависимость (1) позволяет оценить влияние интенсивности управления штурвалом на угол увода. Это новое положение теории переходных режимов криволинейного движения.

Изменение представления об угле увода в переходный период управления кривизной траектории (1) логично связано с изменением представления о

боковых ускорениях, зависящих от интенсивности управления поворотом. Для подтверждения правильности сделанных теоретических выводов проведено имитационное моделирование входа и выхода из поворота. Результаты изображены на рисунке 3. Видно, что при выходе из поворота боковое ускорение в 1,5 раза превышает установившееся значение, что доказывает правильность сделанного вывода о наличии всплеска бокового ускорения и боковой силы, провоцирующей сход гусеницы при выходе из поворота.

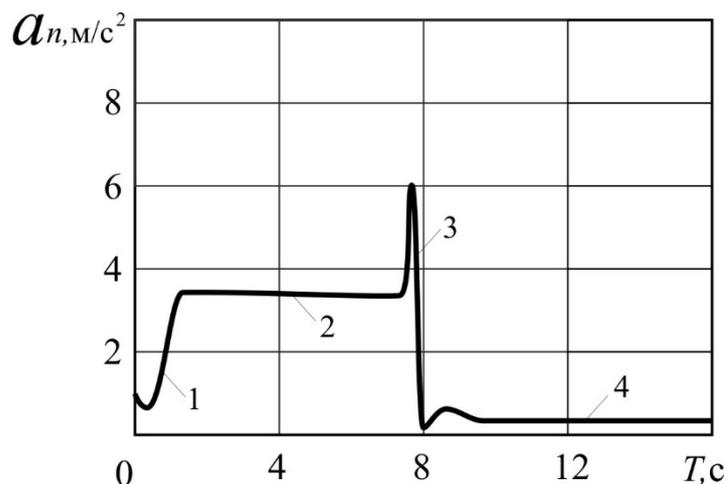


Рисунок 3. Величина бокового ускорения центра тяжести БГМ при криволинейном движении. 1 – этап входа в поворот, 2 – установившийся поворот, 3 – выход из поворота, 4 – движение прямо

Заключение. Таким образом доказано, что полученные обзорные решения соответствуют действительности и не противоречат результатам имитационного моделирования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЦЕССА РЫХЛЕНИЯ

Д.И. Нарadowый – к.т.н., зам. директора по производству УралИЦ НАТИ

И.П. Трояновская – д.т.н., доцент, профессор, Южно-Уральский государственный университет (НИУ)

Аннотация

Авторы статьи представили результаты экспериментальных исследований сопротивлений рыхлению, выполненных Уральским испытательным центром совместно с Челябинским тракторным заводом. Закономерности изменения горизонтальной силы, действующей на зуб рыхлителя, показали, что обработку результатов необходимо проводить в виде двухфакторного анализа. В статье приведены результаты обработки экспериментальных данных, по предложенной авторами методике, которая позволит оптимизировать параметры зуба рыхлителя в зависимости от типа обрабатываемого грунта.

Введение. Рыхление грунта является одной наиболее энергоемких операций по обработке грунта. Рыхление является неотъемлемой частью технологического цикла, как для сельскохозяйственных машин, так и строительно-дорожных. Однако, их навесные системы принципиально отличаются принципом воздействия на грунт. Для рыхлителя сельскохозяйственного назначения характерно одностороннее силовое воздействие, а для промышленного – двухстороннее¹.

Вместе с тем несмотря на принципиальное отличие в конструкциях сельскохозяйственного и промышленного рыхлителя, эффективность разработки грунта во многом определяется эффективностью рыхления, которая является одной из наиболее трудоемких операций. Процесс заглубления рабочего орудия рыхлителя напрямую влияет на производительность и качество разработки грунта, определяя тем самым эффективность работы всего агрегата. Поэтому вопросам оптимизации процесса рыхления посвящено множество научных трудов². Интенсификация процесса рыхления связана с совершенствованием рабочих орудий³,

¹ Мицын, Г.П. Повышение эффективности тракторных агрегатов путем совершенствования навесных систем: автореф. дисс. канд. техн. наук, Челябинск: ЧГАУ. – 2002. 18 с.

² Баловнев, В.И. Стабилизация глубины рыхления одно- и многостойковыми рыхлителями // Механизация строительства. – 2016. – Т. 77. – № 2. – С. 44–46; Ветохин, В.И. Системные и физико-механические аспекты проектирования рыхлителей почвы // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-технической конференции. – 2012. С. 65–75; Зезюлин, В.А.

Совершенствование конструкции наконечников зубьев рыхлителей для разработки мерзлых грунтов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук, Омск: СибАДИ, 2010. 16 с.

³ Муродов, Н.М. Изучение взаимодействия ножей-рыхлителей различной формы поперечного сечения с почвой // Наука и Мир. – 2016. – Т. 1. – № 2. – С. 60–62; Геллер, Ю.А. Экспериментальное исследование эффективности разрушения мерзлого грунта рыхлителем с аккумулятором энергии // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2013. – № 10. – С. 69–81.

согласованием его параметров с параметрами трактора⁴, совершенствованием систем управления⁵ и т. д.

Большое значение имеют закономерности изменения усилий, действующих на рабочее орудие в зависимости от параметров процесса рыхления: глубины (h) и угла рыхления (z), тягово-сцепных качеств трактора и закономерности внедрения (заглубления) орудия в грунт, которые в настоящее время изучаются в основном экспериментальными методами.

Методика проведения эксперимента. Экспериментальные работы проводились в летних и зимних условиях с помощью бульдозерно-рыхлительного агрегата (БРА) на базе гусеничного трактора класса 10, с гидромеханической трансмиссией, снабженного рыхлительным технологическим оборудованием, допускающим изменение глубины и угла рыхления. Исследования выполнялись при трех положениях стойки рыхлителя, определяющих глубину рыхления ($h \approx 70$ см.; $h \approx 90$ см.; $h \approx 110$ см.), и различных углах рыхления: 38° , 43° , 45° , 47° , 50° , 53° , 55° , 60° , 65° на летнем грунте плотностью по ударнику ДорНИИ $C=6-9$ и на зимнем – $C=23-30$ и $C=95-100$.

При измерении сил выдерживались постоянными глубина и угол рыхления. После измерения сил, действующих на стойку в продольном и поперечном направлениях были рассчитаны горизонтальная (P_x) и вертикальная (P_y) силы.

Для изучения процесса заглубления выполнены измерения отпечатка на грунте от наконечника рыхлителя при вывешивании БРА на передних опорах ходовой части и зубе рыхлителя и глубины погружения в грунт в функции горизонтального перемещения. Измерения глубины производились через каждые 0,1 метр пути.

Результаты эксперимента. Задачей эксперимента было отделить усилия, действующие на лобовую часть наконечника и стойку от усилий отпора, действующих на подошву. Это поможет теоретическому изучению процесса рыхления и дальнейшей организации оптимального управления рыхлением.

Поэтому эксперименты при малых углах ($38^\circ-43^\circ$), а также те опыты, где встречалось отрицательное вертикальное усилие (направленное вверх) из дальнейшей обработки были исключены.

⁴ Щукин, С.Г. Исследование процесса обработки почвы вибрационным рыхлителем // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2015. – № 3. – С. 83–89.

⁵ Калининко, В.П. Устройство для управления глубиной обработки почвы фронтальным ротационным внутрипочвенным рыхлителем в агрегате с трактором с электрическим управлением гидравлическим распределителем навесной системы: патент на изобретение RUS 2418398, 04.06.2009.

Все экспериментальные зависимости аппроксимировались методом наименьших квадратов полиномами второй степени. Степень приближения оценивалась корреляционным отношением R^2 Пирсона. Пример результатов измерений горизонтальной силы сопротивления рыхлению представлен на рисунке 1.

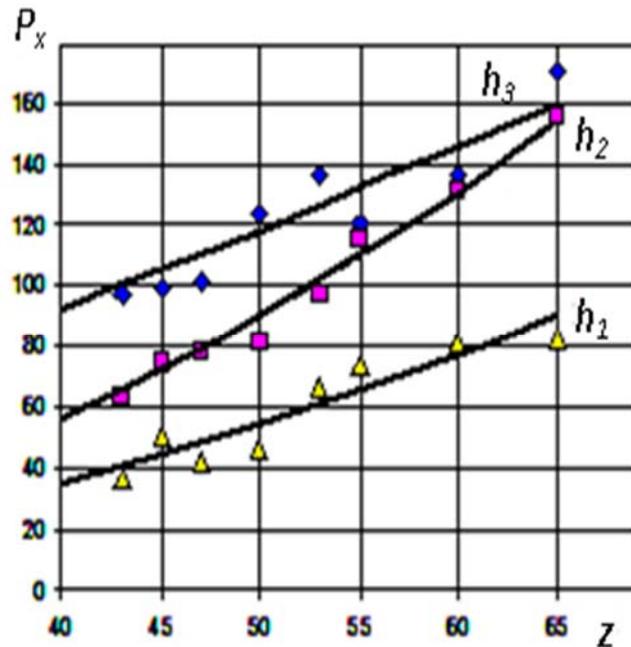


Рисунок 1. Зависимость горизонтальной силы (P_x) от угла рыхления (z) на летнем грунте при разной глубине рыхления ($h_1=0,7$ м; $h_2=0,9$ м; $h_3=1,1$ м)

Путем аппроксимация экспериментальных точек для каждой глубины рыхления была получена зависимость горизонтальной силы P_x от угла рыхления z :

$$\left. \begin{aligned} \text{для } h_1 \quad P_x &= 0,0197z^2 + 0,0979z, \\ \text{для } h_2 \quad P_x &= 0,0383z^2 + 0,115z, \\ \text{для } h_3 \quad P_x &= 0,0056z^2 + 2,0895z. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Вид полученных формул (1) подтвердил нелинейный характер зависимости $P_x(z)$. Анализ показал, что зависимость от глубины рыхления $P_x(h)$ тоже имеет нелинейный характер.

Для обработки экспериментальных данных применим зависимость сразу от обоих параметров (z и h). Применение квадратичной формы общего вида:

$$P = a_1z^2 + a_2h^2 + a_3zh + a_4z + a_5h + a_6 \quad (2)$$

не приводит к результату поскольку, фиксируя один из параметров, например h и получая хорошие приближения в области больших значений z и h при малых значениях получаем величины существенно искажающие физическую картину.

Функция, обеспечивающая достаточное приближение должна обладать некоторыми, заранее оговариваемыми свойствами. Она должна давать достаточно близкое приближение в области значений фактически выполненного эксперимента и отвечать физическому смыслу в области экстраполяции. Областью экстраполяции является область малых значений z и h . Прежде всего это условие $P(0,0)=0$. Этим требованиям отвечает полином четвертой степени вида:

$$P = a_1 zh + a_2 (zh)^2 \tag{3}$$

Результаты обработки по формуле (3) представлены на рисунке 2.

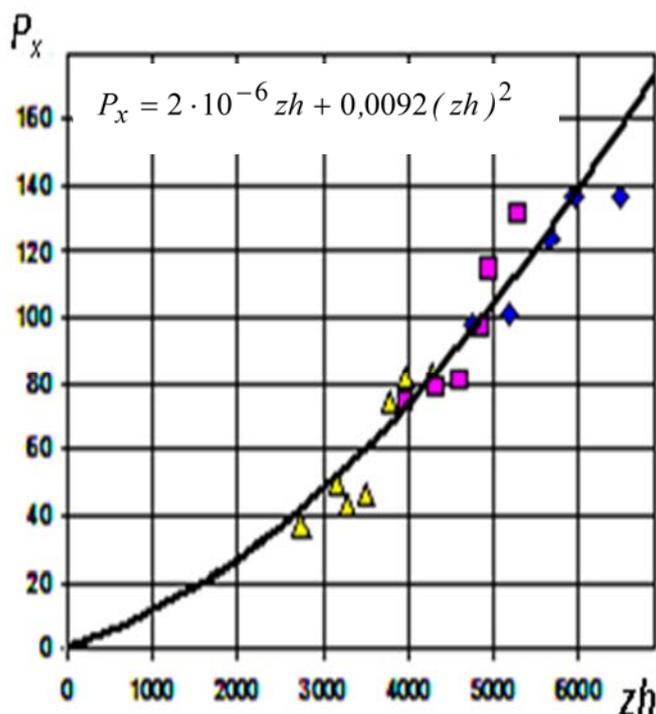


Рисунок 2. Зависимость горизонтальной силы рыхления (P_x) от универсального параметра (zh) на летнем грунте

Дополнительное подтверждение справедливости зависимостей вида (3), было получено обработкой опытов по изучению процесса заглубления на мерзлом грунте. Дело в том, что максимальная глубина при фиксированном угле рыхления на участке заглубления соответствует максимальному тяговому усилию по сцеплению. Иначе говоря, произведения $(zh)_{max}$ должны быть

одинаковы. Закономерности (профилограммы) заглабления зуба рыхлителя в грунт при различных углах рыхления представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что даже на протяжении одного горизонтального пути (L) траектория заглабления сильно зависит от обоих параметров: глубины (h) и (z).

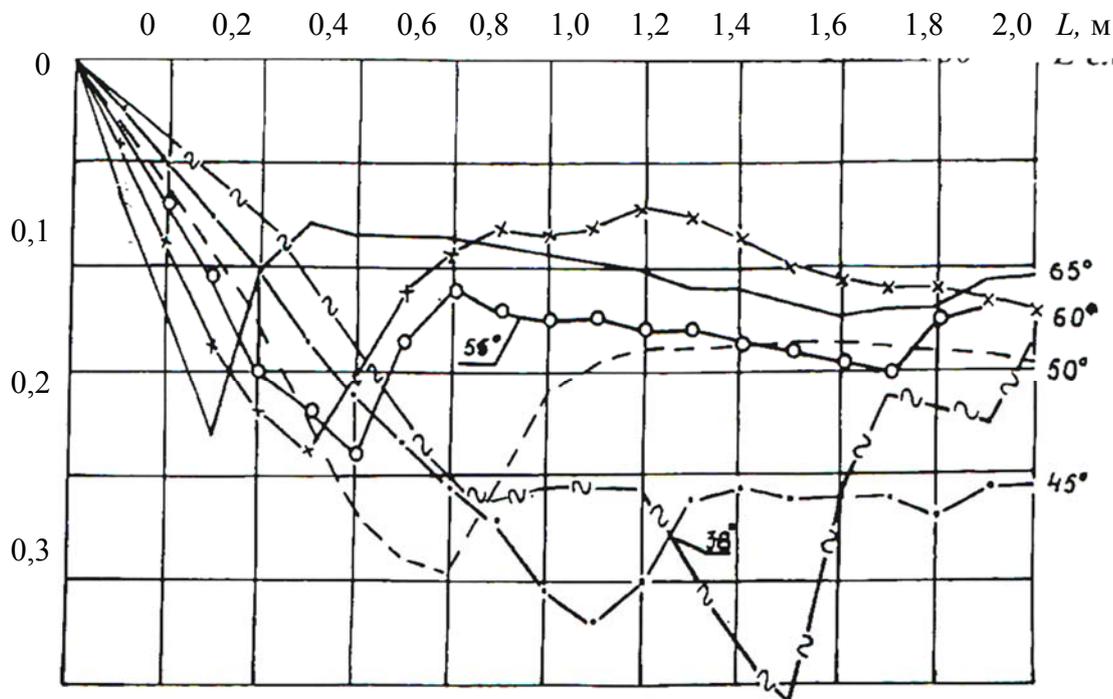


Рисунок 3. Траектория режущей кромки зуба рыхлителя при заглаблении на мерзлом грунте ($C=23-30$) при различных угла

Заключение. Проведенные на основе формулы (3) теоретические исследования⁶ свидетельствуют о том, что закономерности процесса заглабления определяются двумя безразмерными параметрами.:

$$\xi = x / b \text{ и } \eta = y / y_0,$$

где x, y – перемещение зуба рыхлителя в горизонтальном и вертикальном направлении;

b – длина проекции зуба на горизонтальную плоскость;

y_0 – начальное заглабление зуба.

На рисунке 4 представлены закономерности заглабления зуба рыхлителя в грунт в координатах ξ, η .

⁶ Мицын, Г.П. Модель движения штампа в грунте // Вестник Уральского межрегионального отделения Академии Транспорта РФ. – 2001. – № 3–4. – С. 285–288.

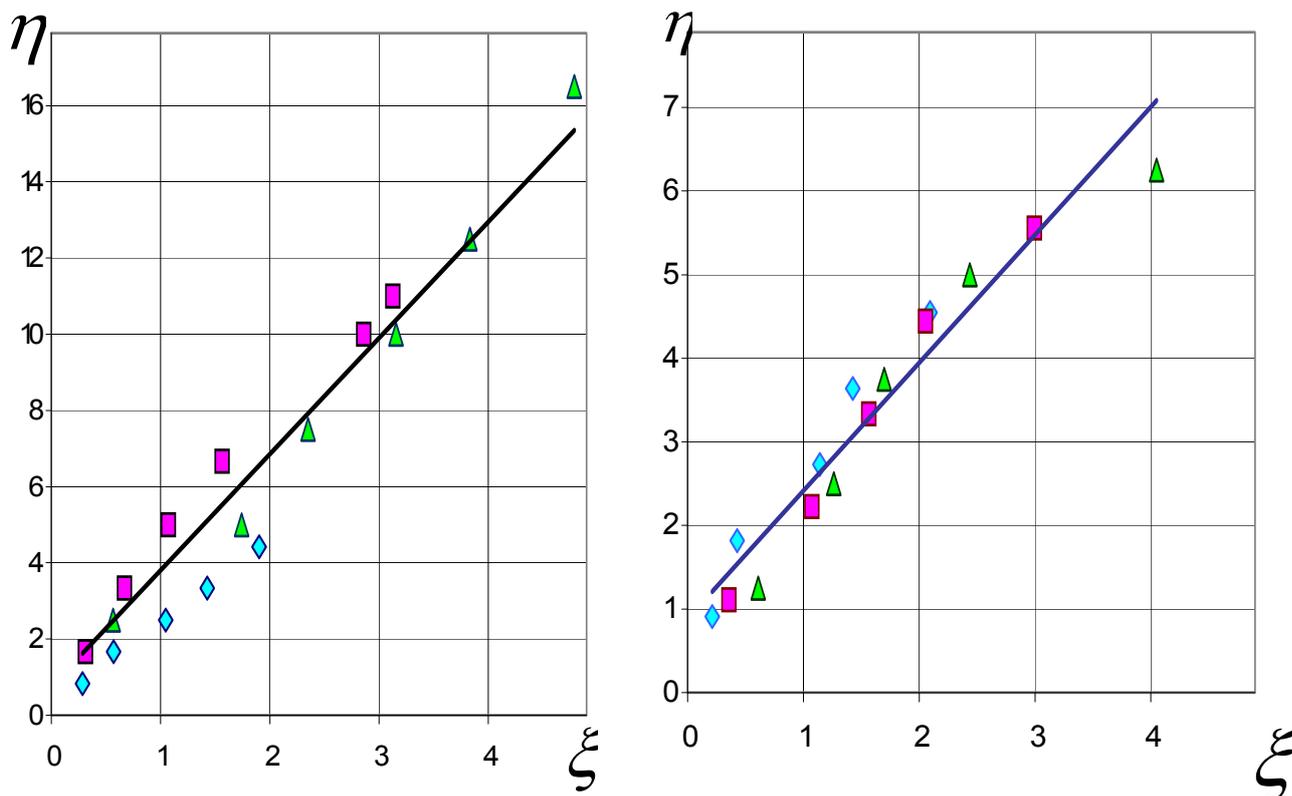


Рисунок 4. Траектории заглупления режущей кромки зуба рыхлителя в безразмерных параметрах (ξ и η):

а) на зимнем грунте (C=95–100); б) на летнем грунте (C=6–9)

Высокий уровень корреляционного отношения свидетельствует о справедливости сделанных в работе⁹ теоретических выводах

Использование безразмерных параметров ξ, η ⁹, отражающих взаимосвязь между конструктивными параметрами зуба рыхлителя, глубины и угла рыхления позволяют получить общую зависимость для каждого типа грунта. Такой подход позволяет ставить задачу оптимизации в зависимости от разрабатываемого грунта.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ:
ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

**СБОРНИК ТРУДОВ II ВСЕРОССИЙСКОЙ
(С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
НАУЧНЫХ, НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
РАБОТНИКОВ, АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

ООО «Полиграф-Мастер»

г. Челябинск, ул. Академика Королева, 26

Тел.: (351) 281-01-64, 281-01-65, 281-01-66

E-mail: P-master74@mail.ru

Государственная лицензия на издательскую деятельность

ИД № 02758 от 04.09.2000 г.

Государственная лицензия на полиграфическую деятельность

ПД № 11-0092 от 17.11.2000 г.

Усл.п.л. 10,7 Тираж 500 экз. Заказ № 379.