

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Министерство образования и науки Самарской области
Министерство транспорта и автомобильных дорог Самарской области
Куйбышевская железная дорога – филиал ОАО «Российские железные дороги»
Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС)

Транспорт. Газомоторное топливо (Проблемы. Решения. Перспективы)

Материалы III Международной научно-практической конференции
24 октября 2019 г.

Самара
2019

УДК 629.4+662.76

ББК 39.2

Т 65

Транспорт. Газомоторное топливо (Проблемы. Решения. Перспективы) (2019; Т 65 Самара) : материалы III Международной научно-практической конференции 24 октября 2019 г. Международная научно-практическая конференция «Транспорт. Газомоторное топливо (Проблемы. Решения. Перспективы)», 2019 г. [Текст]. – Самара : СамГУПС, 2019. – 48 с.

АЛГОРИТМЫ ДРОБНОГО ПИД – УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВКАХ НА ГАЗОМОТОРНОМ ТОПЛИВЕ

А. В. Авсиевич, В. В. Авсиевич

Самарский государственный университет путей сообщения

Разработан алгоритм дробного ПИД – управления для управления работой дизельным двигателем, работающим на смеси дизельного топлива и природного газа.

Ключевые слова: газомоторное топливо, ПИД – управление, дробное ПИД – управление, алгоритмы дробного ПИД управления.

A fractional PID control algorithm is developed to control the operation of a diesel engine running on a mixture of diesel fuel and natural gas.

Keywords: gas engine fuel, PID control, fractional PID control, fractional pid control algorithms.

В настоящее время в сфере бытового использования и промышленного производства возросла роль автомобильного, железнодорожного, сельскохозяйственного транспорта работающего на двигателях внутреннего сгорания (ДВС), которые на настоящее время являются основным источником загрязнения окружающей среды. Проблема воздействия транспорта на окружающую среду на сегодняшний день наиболее актуальна в России. Для уменьшения влияния транспорта на окружающую среду ОАО «РЖД» разработана энергетической стратегии утвержденная распоряжением от «15» декабря 2011 г. № 2718р в рамках которой к 2030 году на 25–30 % необходимо произвести замещение дизельного топлива природным газом.

В рамках данной программы был разработан комплекс мероприятий к концу 2020 г., который должен составлять суммарный объем потребления топлива на железнодорожном транспорте 131,5 млн м³ [1–2], где одним из перспективных направлений ОАО «РЖД» выделило применение смесового топлива на железнодорожном транспорте.

На текущий момент проведено большое количество исследований в области управления газодизельными двигателями, на основании чего разработаны системы автоматического регулирования с применением ПИД законов регулирования [3–10] частотой вращения коленчатого вала.

Но применение ПИД закона управления для регулирования стабилизации частоты вращения на базе микропроцессорных систем с программными ПИД – регуляторами не позволяют полностью решить проблему повышения качества стабилизации частоты вращения в широком диапазоне изменения динамических нагрузок.

Таким образом, необходимо проведение комплекса исследований, направленных на улучшения систем электронного управления подачи смесового топлива и определение оптимальных характеристик управления дизельных двигателей тепловозов работающих на смеси дизельного топлива и природного газа. Вследствие чего результатом исследования ожидается повышения точности реализации заданных характеристик, уменьшения запаздывания в управлении процессами, следствием чего должно быть уменьшение колебания частоты вращения при изменении нагрузок.

В данной статье рассматривается применение информационно-измерительной управляющей системы двигателя внутреннего сгорания, работающего на смеси дизельного топлива и природного газа с использованием алгоритма дробного ПИД – регулирования с газодизельный режимом организация работы двигателя при котором воспламенение газозвоздушной смеси происходит с помощью запальной порции дизельного топлива.

Особенностью газодизельного режима является то, что в конце такта сжатия в цилиндры подается некоторое количество дизельного топлива, которое и поджигает газо-воздушную смесь, поступившую на такте впуска. При этом газодизельный двигатель может работать только на дизельном топливе, но не может работать только на газу.

Для разработки алгоритма дробного ПИД – управления рассмотрим систему топливоподачи дизеля для работы на смеси топлива (рисунок).

Двигатель запускается только на дизельном топливе, при достижении коленчатым валом двигателя частоты инициализации пуска, блок управления (БУ) выдает на устройство исполнения с датчиком положения (ИУ) ШИМ сигнал, соответствующий пусковой подаче топлива. После достижения коленчатым валом пусковой частоты вращения (ЧВ) система начинает регулирования ЧВ, и с заданным темпом выводит двигатель на минимальную ЧВ холостого хода.

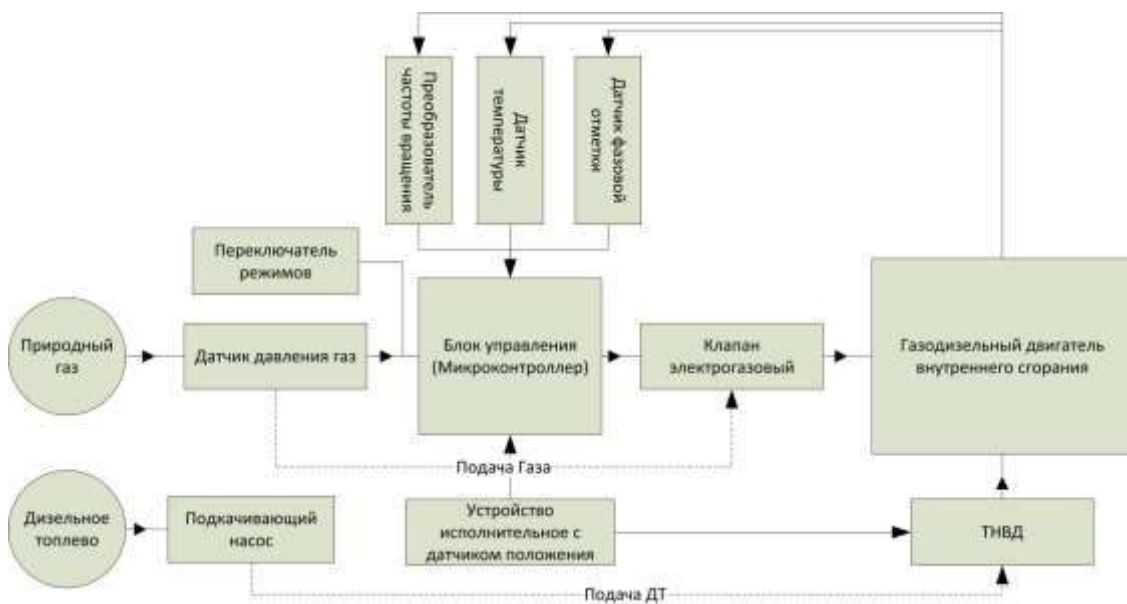


Рис. Схема работы дизельного двигателя работающего на смеси дизельного топлива и природного газа

После запуска двигателя по каналу преобразователя частоты вращения (ПЧВ) в БУ поступает сигнал о текущей ЧВ коленчатого вала двигателя, который сравнивается с заданным, определяется задатчиком ЧВ.

При рассогласовании двух сигналов БУ выдает команду ИУ на изменения подачи топлива. Команда выдётся БУ до тех пор, пока текущая ЧВ не сравняется с заданным сигналом.

Для управления подачей топлива предлагается использовать алгоритм дробного ПИД - управления, который имеет передаточную функцию вида [11, 12]

$$W(p) = K_{II} + \frac{1}{T_u p^\alpha} + T_D p^\beta$$

Этой передаточной функции соответствует дифференциальное уравнение, в которое входят интеграл и дифференциал дробного порядка Римана – Ливиулля [13]:

$$u(t) = K_{II} e(t) + \frac{I_0^\alpha e(t)}{T_u} + T_D D_0^\beta u(t), \quad (1)$$

где α , β – дробные степени интеграла и дифференциала соответственно $0 < \alpha, \beta < 1$, t – время, K_{II} , – пропорциональный коэффициент (коэффициент усиления), T_u – постоянная интегрирования, T_D – постоянная дифференцирования. В данном типе регулятора выходная величина регулятора пропорциональна коэффициенту усиления, дробному интегралу и дробному дифференциалу с

показателями α и β соответственно.

Как видно из выражения (1) главной задачей при разработке алгоритма дробного ПИД - управления заключается в выборе численного метода вычисления интегральной и дифференциальной составляющей. Для этого проведем анализ численных методов определения дробного интеграла.

При нахождении определенных интегралов от непрерывной функции $f(x)$ на интервале $[a, b]$ существует множество численных методов, таких как метод прямоугольников, метод трапеций, метод парабол, квадратурные формулы Чебышева, Гаусса и т. е. Все эти методы отличаются между собой точностью и скоростью вычисления значения интеграла.

Рассмотрим методы вычисления интегралов дробного порядка Римана – Ливиулла вида

$$I_a^\alpha \varphi(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^t \frac{f(x)}{(t-x)^{1-\alpha}} dx, \quad (2)$$

где $0 < \alpha < 1$, $\Gamma()$ – гамма функция. При $\alpha = 1$ выражение (2) соответствует определенному интегралу.

Метод прямоугольников. Как известно из численных методов математического анализа самым простым методом вычисления интеграла является метод прямоугольников основанный на его определении:

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^{n-1} f(\xi_i) \Delta x_i, \quad (3)$$

где $\sum_{i=0}^{n-1} f(\xi_i) \Delta x_i$ есть интегральная сумма, соответствующая некоторому разбиению отрезка $[a, b]$ на n

частей и выбору точек $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_{n-1}$ на отрезках разбиения. Тогда геометрически вычисление интеграла (3) сводится к вычислению суммы площадей прямоугольников. При совмещении точки ξ_i с левым концом отрезка Δx_i получим приближенное значение левых прямоугольников:

$$\int_a^b f(x) dx = h \sum_{i=0}^{n-1} y_i, \text{ где } h = (b-a)/n.$$

По аналогии с методом прямоугольников (3) вычисление значения дробного интеграла (2) можно представить следующим образом

$$I_a^\alpha \varphi(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{f(\xi_i)}{(b-\xi_i)^{1-\alpha}} \Delta x_i, \quad (4)$$

где $t = b$, а $\sum_{i=0}^{n-1} \frac{f(\xi_i)}{(b-\xi_i)^{1-\alpha}} \Delta x_i$ интегральная сумма. В результате геометрическое вычисление интеграла

сводится к вычислению суммы отношений площадей прямоугольников к длине соответствующих отрезков возведенных в степень $1-\alpha$. Для численного вычисления интеграла совместим точку ξ_i с левым концом отрезка Δx_i , и в результате получим

$$I_a^\alpha \varphi(t) \approx \frac{h}{\Gamma(\alpha)} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{y_i}{(b-x_i)^{1-\alpha}}.$$

В последнем выражении заменим $b = hn$, $x_i = hi$ и получим конечную формулу для вычисления значения дробного интеграла

$$I_a^\alpha \varphi(t) \approx \frac{h^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \sum_{i=0}^{n-1} \frac{y_i}{(n-i)^{1-\alpha}}. \quad (5)$$

Метод трапеций. Вычислим значение дробного интеграла другим способом. Для этого соединим

концы значений функций $f(x_i)$ и $f(x_{i+1})$ прямой линией как показано на рис. 2 и получим площадь фигуры находящейся под функциональной кривой в виде трапеции.

Возьмем за основу вычисления дробного интеграла формулу нахождения простого интеграла на основе определения площадей составляющих его трапеций

$$(x_{i+1} - x_i) \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2}, \text{ где } y_i = f(x_i), y_{i+1} = f(x_{i+1}).$$

Вследствии выражение для вычисления дробного интеграла будет выглядеть следующим образом

$$I_a^\alpha \varphi(t) = \frac{(x_{i+1} - x_i)}{2\Gamma(\alpha)} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{(b - x_i)^{1-\alpha}}. \quad (6)$$

Примем шаг между отсчетами постоянным, равным $h = (x_{i+1} - x_i)$, тогда $b = hn$, $x_i = hi$ и подставим в (6). Получим формулу вычисления дробного интеграла методом трапеций

$$I_a^\alpha \varphi(t) \approx \frac{h^\alpha}{2\Gamma(\alpha)} \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{(n - i)^{1-\alpha}}. \quad (7)$$

Сравним полученные численные методы вычисления дробных интегралов. Сведем в таблицу относительные погрешности вычислений при $t=10$. Точное значение интеграла вычислим из выражения $I^\alpha(\cos.x) = \cos(x - 0.5\pi\alpha)$ приведенного в монографии [13]. Также подвергнем проверке выражение для численного интегрирования приведенную в работе [14]:

$$I_a^\alpha \varphi(t) \approx \frac{h^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\Gamma(k + \alpha)}{k!} \varphi(n - k). \quad (8)$$

Таблица

Шаг интегрирования h	Метод		
	Выражение (5) (прямоугольников)	Выражение (7) (трапеций)	Выражение (8)
	Относ. Ошибка $\sigma \%$	Относ. Ошибка $\sigma \%$	Относ. Ошибка $\sigma \%$
$\alpha = 0.7$			
0.00001	0.02	0.02	0.01
0.0001	0.10	0.10	0.9
0.001	0.55	0.50	0.44
0.01	2.88	2.37	1.36
0.1	15.64	10.4	5.52
$\alpha = 0.4$			
0.00001	0.74	0.74	0.6
0.0001	1.85	1.85	0.95
0.001	4.64	4.63	1.1
0.01	11.71	11.60	1.15
0.1	30.06	28.48	1.32

Из данных приведенных в таблице видно, что наиболее предпочтительней для вычисления дробного интеграла является выражение (8), так как оно имеет меньшую относительную ошибку, но трудоемкое в вычислении из-за имеющейся в формуле Гамма функции.

При вычислении дробной дифференциальной составляющей уравнения (1) воспользуемся гельдеровской производной [13]

$$D_{0t}^{\beta}u(t) = \frac{u(t+h) - u(t)}{h^{\beta}}. \quad (9)$$

Подставим в (1) полученные выражения (8) и (9) и получим алгоритм для вычисления управляющего воздействия:

$$u(n) = K_{II}e(n) + \frac{h^{\alpha}}{T_u \Gamma(\alpha)} \sum_{k=1}^{n-1} \frac{\Gamma(k+\alpha)}{k!} e(n-k) + T_D \frac{e(n) - e(n-1)}{h^{\beta}}. \quad (10)$$

Отметим, что при достаточно малых периодах квантования алгоритм дробного ПИД - управления обеспечивает почти такое же качество процессов управления, что и исходный непрерывный закон (1). На практике вместо вычислений абсолютных значений управляющего сигнала удобнее вычислять его приращения $\Delta u(n)$ на каждом такте. В этом случае становится возможным использовать этот алгоритм для управления объектами, оснащенными как пропорциональным, так и интегрирующими исполнительными механизмами. В результате получаем так называемый скоростной алгоритм управления, полностью эквивалентный исходному.

Представим алгоритм управления в разностном виде

$$u(n) = u(n-1) + \Delta u(n). \quad (11)$$

Найдем $\Delta u(n)$ подставляя в (11) значения (10) для $u(n-1)$ и $u(n)$ в результате получим

$$\begin{aligned} \Delta u(n) = u(n) - u(n-1) = & K_{II}(e(n) - e(n-1)) + \frac{h^{\alpha}}{T_u} e(n) - \frac{h^{\alpha}}{T_u \Gamma(\alpha)} (\Gamma(\alpha) - \Gamma(1+\alpha))e(n-1) - \\ & - \frac{h^{\alpha}}{T_u \Gamma(\alpha)} (\Gamma(1+\alpha) - 0.5\Gamma(2+\alpha))e(n-2) - \frac{h^{\alpha}}{T_u \Gamma(\alpha)} \sum_{k=3}^{n-1} \left(\frac{\Gamma(k-1+\alpha)}{(k-1)!} - \frac{\Gamma(k+\alpha)}{(k)!} \right) e(n-k) + \\ & + \frac{T_D}{h^{\beta}} (e(n) - 2e(n-1) + e(n-2)) \end{aligned}$$

Используя поправочный член $\Delta u(n)$, получаем рекуррентные выражения, описывающие динамику дискретного закона управления

$$u(n) = u(n-1) + q_0 e(n) + q_1 e(n-1) + q_2 e(n-2) + \varepsilon(n), \quad (12)$$

где $q_0 = K_{II} + \frac{h^{\alpha}}{T_u} + \frac{T_D}{h^{\beta}}$, $q_1 = -K_{II} - \frac{h^{\alpha}}{T_u \Gamma(\alpha)} (\Gamma(\alpha) - \Gamma(1+\alpha)) - 2\frac{T_D}{h^{\beta}}$,

$$q_2 = \frac{T_D}{h^{\beta}} - \frac{h^{\alpha}}{T_u \Gamma(\alpha)} (\Gamma(1+\alpha) - 0.5\Gamma(2+\alpha)), \quad \varepsilon(n) = -\frac{h^{\alpha}}{T_u \Gamma(\alpha)} \sum_{k=3}^{n-1} \left(\frac{\Gamma(k-1+\alpha)}{(k-1)!} - \frac{\Gamma(k+\alpha)}{(k)!} \right) e(n-k) -$$

уточняющий коэффициент дробной интегральной составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Курманова Л. С. Повышение эффективности работы тепловозов путем применения газомоторного топлива // Известия Транссиба. – 2017. – № 3(31). – С. 20-27.
- 2 Проблемы и перспективы эксплуатации газотепловозов на Куйбышевской железной дороге – филиале ОАО «РЖД» [Текст] / Д. Я. Носырев, А. В. Муратов и др. // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 20-23.
- 3 Фурман В. В., Коссов Е. Е. Патент на полезную модель № 2207441 Оpubл. 27. 03. 2003. Бюл. №14 способ питания газодизеля. Заявитель и патентообладатель ОАО «Проектно-производственное предприятие Дизельавтоматика».
- 4 Фурман В. В. и др. Экспериментальные исследования газодизельного двигателя трактора К-700А // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 10. С. 7-9.
- 5 Системы топливоподачи для газодизельных и газовых двигателей / Фурман В. В. и др. // Грузовик. 2013. № 4. С. 38-45.

- 6 Курманова Л. С., Способы организации рабочего цикла в тепловых двигателях для работы на смеси дизельного топлива и природного газа // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 6 (72). – С. 113-120.
- 7 Марков В. А. Топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей / Марков В. А., Козлов С. И. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 296 с.
- 8 Носырев Д. Я., Муратов А. В., Курманова Л. С., Петухов С. А. Применение природного газа в локомотивных энергетических установках // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 1. – С. 51-54.
- 9 Носырев Д. Я., Курманова Л. С., Петухов С. А., Муратов А. В. Особенности конвертации дизелей автономных локомотивов на газомоторное топливо // Вестник КазАТК. – 2017. – № 4 (103). – С. 70-77.
- 10 Титов Иван Леонидович. Улучшение показателей нестационарных режимов газодизель-генераторных агрегатов морской техники с использованием регулятора нечеткой логики [Рукопись] : дис. ... канд. техн. наук : 05. 08. 05: защищена 22. 02. 2017 / И. Л. Титов; науч. рук. работы С. Г. Черный; Керченский государственный морской технологический университет. – Керчь : КГМТУ, 2016. С. 117–131.
- 11 Авсиевич А. В., Авсиевич В. В. Алгоритм численного дробного ПИД-регулирования. Четвертая международная конференция по проблемам управления (26–30 января 2009 года): Сборник трудов – М. : Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН, 2009. С. 164–168.
- 12 Авсиевич А. В., Авсиевич В. В. Моделирование систем автоматического управления с дробным ПИД-регулятором // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». Самара : СамГТУ, 2010. – Вып. 2 (26). – С. 6–12.
- 13 Самко С. Г., Килбас А. А., Марычев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск : Наука и техника, 1987. 688 с.
- 14 Oldham Keith B., Spanier Jerome. The Fractional Calculus (Theory and Applications of Differentiation and integration to Arbitrary Order). N. Y., London: Academic Press, 1974. – 233 h

УДК 338. 28

ФАКТОРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА В РОССИИ И СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

А. В. Адер¹, М. В. Рогозин²

¹Оренбургский филиал Самарского государственного университета путей сообщения

²eSolutions, Exxon Mobil BSC Czechia s. r. o, г. Прага, Чешская республика

Статья посвящена факторному анализу конкурентоспособности природного газа как газомоторного топлива относительно других альтернативных видов топлива, как в России, так и странах Европейского союза. А так же затрагиваются проблемы, развития масштабного использования газомоторного топлива.

Ключевые слова: альтернативное топливо, сегмент газомоторного топлива, автомобильная газовая наполнительная компрессорная станция.

A factor analysis of the competitiveness of natural gas as a gas engine fuel relative to other alternative fuels, both in Russia and the European Union. And also touched upon the problems of the development of large-scale use of gas engine fuel.

Keywords: alternative fuel, gas engine fuel segment, automobile gas filling compressor station.

Современные экономические перспективы развития газонефтяной отрасли во всем мировом сообществе делают акцент на расширение рынка сбыта альтернативного экологически приемлемого топлива. Для России перспективным в данном направлении является рынок газомоторного топлива, несмотря на приоритетное положение на рынке нефтяного топлива. В силу того, что нефть – не возобновляемый природный ресурс, снижение природных нефтяных запасов представляет альтернативу моторного топлива – природный газ.

Задачи исследования – выявить наиболее положительные факторы конкурентоспособности газомоторного топлива, путем использования метода факторного анализа альтернативных видов топлива, предлагаемых как в России, так и на международном потребительском рынке.

Как моторное топливо природный газ может использоваться в следующих видах – сжиженный углеводородный газ и компримированный (сжатый) природный газ. Наиболее активно сжатый природный газ используется на территориях с низкими температурными показателями.

Исходя из экономической привлекательности использования газомоторного топлива выступает его низкая себестоимость. Наиболее дешевым среди всех видов моторного топлива является метан.

Газомоторное топливо относительно нефтяного является и экологически альтернативным продуктом как на отечественном потребительском рынке, так и в целом в мировом масштабе.

Но, несмотря на столь веские аргументы относительно расширения рынка сбыта газомоторного топлива в России присутствуют значительное число сдерживающих факторов, которые требуют изменений в экономико-правовом поле, техническом направлении по строительству и функционированию газомоторных заправочных станций, факторы перерегистрации газомоторного транспорта в соответствии с международными требованиями, факторы безопасности эксплуатации как самих заправочных станций, так и газомоторной техники.

Многие специалисты нефтегазовой отрасли видят выход из сложной ситуации, в первую очередь, в международной отраслевой консолидации и выработке общепринятых международных подходов к развитию газомоторного рынка.

Современная картина топливного рынка представляется в следующем формате: Россия использует, в первую очередь, бензин, газ и дизельное топливо; практически, на конец 2018 года делят равномерно рынок сбыта; Европейские страны потребляют больше дизельное топливо; США – бензин.

В России в качестве альтернативного бензину топлива выступает газомоторное, в свою очередь, в Европейских странах альтернатива дизельному топливу – электрификация транспорта.

Несмотря на высокий ценовой сегмент автокаров, сегодня они выводят на второй план автотранспорт, использующий газомоторное топливо.

Наиболее активно применяет газомоторное топливо Италия.

Одной из серьезных проблем, тормозящих масштабное использование газомоторного топлива и в России, и в целом на мировом рынке – незначительный рост инфраструктуры.

Развитая сеть инфраструктуры, расширенное покрытие сетями АГНКС, определяется особенностью частых заправок топливом газомоторной техники.

Масштабность строительства АГНКС сдерживает фактор высоких экономических затрат на строительство, ввод, эксплуатацию и содержание заправочных станций АГНКС, что в разы выше затрат на АЗС и электрозаправки. И как следствие – низкая окупаемость, которая напрямую зависит от количества автотранспорта, использующего газомоторное топливо.

В среднем затраты на строительство АЗС составляют 150–200 тыс. евро, электрозаправочные станции – 50–100 тыс. евро, АГНКС – 300–600 тыс. евро.

В силу геополитических и геоэкономических факторов политика Европейского союза направлена на перспективное развитие автокаров как альтернативного экологически приемлемого типа транспорта.

При этом некоторые страны Евросоюза формируют свою энергополитику без планов развития газонефтяного топливного рынка – Австрия, Кипр, Чехия, Швеция. В отдельности можно наблюдать перспективы использования газонефтяного топлива для тяжелого транспорта, флота [1].

Государственная энергетическая программа России направлена на активное использование газомоторного топлива на территории государства. Но сегодня это возможно только при комплексном государственном подходе: масштабное развитие инфраструктуры, приобретение техники, включая не только тяжелый транспорт, морские бункеры, но и автотранспорт.

Немаловажным фактором использования газового топлива является его экологичность и экономичность, а также высокая для России конкурентоспособность относительно электроэнергетического топлива. Тем более, многие крупные автопроизводители имеют расширенную сбытовую линейку транспорта, использующего газовое топливо. Как, например, KAMAZ, UAZ, Lada.

Но, не смотря на существенные положительные факторные данные относительно перспективного перехода транспорта на газомоторное топливо, проблемы остаются.

Немаловажным фактором повышения конкурентоспособности газомоторного топлива является фактор безопасности при эксплуатации транспорта, использующего газовое топливо. Взрывопожароопасность – один из комплексных рисков при эксплуатации такого транспорта. Для обеспечения высокой надежности эксплуатации такого транспорта стоит обратить серьезное внимание на соблюдение требований технического регламента, на легальность переоснащения транспорта и обязательную государственную экспертизу документов, самого оборудования, транспортного средства, на котором будет эксплуатироваться данное оборудование.

На основании федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» все АГНКС – это опасный производственный объект, следовательно, эксплуатация таких объектов осуществляется исключительно на основании соответствующей лицензии, выданной Ростехнадзором.

В свою очередь, закон «О лицензировании отдельных видов деятельности» подразумевает, что переоснащение на газовое оборудование не требует получения специальной лицензии для физических и юридических лиц. Это порождает коллизии в факторах безопасности при эксплуатации транспорта, использующего газовое топливо.

Экологическая составляющая при эксплуатации автомобильных газонаполнительных компрессорных станций формируется еще на стадии проектирования, при жестких экологических требованиях: исключить изменение особенностей микроклимата территории, исключить причинение ущерба водным и воздушным бассейнам. Процесс строительства не должен привести к изменениям ландшафтных особенностей территории, геологических структур, исключаются вынужденные миграции представителей животного мира. Подобные экологические ограничения приводят также к удорожанию проекта.

Для положительной тенденции развития рыночного сегмента газомоторного топлива необходимо, в первую очередь, программное финансирование со стороны государства, что обеспечит в должной мере применение новых научных разработок и наукоемких технологий.

Таким образом, высокий мировой спрос на электроэнергетику, современное развитие электротранспорта формирует высокий спрос на газ в других, отличных от транспорта, сегментах мировой экономики. Газ как наиболее экологичное топливо преобладает на рынке сбыта над углем и нефтью, при этом уступая электроэнергетике, что формирует жесткую конкурентную борьбу на бытовом рынке транспортного топлива. Новые высокие технологии направлены на электроэнергетическое потребление топлива, что тоже тормозит потребление газомоторного топлива в странах Европейского союза. Россия, в свою очередь, активно отстает и прогнозирует дальнейшее перспективное развитие газомоторного топлива и внутри страны, и на международном рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Грушевенко Д., Кулагин В. Газомоторное топливо в Европе: есть ли перспективы? Отдел исследования энергетического комплекса мира и России ИНЭИ РАН – Москва, 29 ноября 2018.

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРИОГЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ГАЗОТЕПЛОВЗОВ

**А. Е. Богославский, И. В. Мартынюк, С. Б. Олешко, Н. И. Павленко,
Н. С. Флегонтов, С. А. Юрченко**

Ростовский государственный университет путей сообщения

Изложены результаты расчетных и экспериментальных исследований безопасности криогенных топливных систем локомотивов, работающих на сжиженном природном газе. Предложены мероприятия по повышению безопасности аварийных дренажных устройств криогенных топливных систем. Приведены результаты расчетного анализа вероятности возникновения различных аварийных сценариев при эксплуатации криогенных топливных систем.

Ключевые слова: безопасность, сжиженный природный газ, криогенные топливные системы, исследования, опасные факторы.

The results of computational and experimental studies of safety of cryogenic fuel systems of locomotives operating on liquefied natural gas are stated. Measures to improve the safety of emergency drainage devices of cryogenic fuel systems are proposed. The results of the calculated analysis of the probability of occurrence of various emergency scenarios in the operation of cryogenic fuel systems are presented.

Keywords: safety, liquefied natural gas, cryogenic fuel systems, research, hazards.

С самого начала работ МПС (в 1980-е годы) по переводу тепловозной тяги на газомоторное топливо на РГУПС с его отраслевой лабораторией криогенной техники были возложены исследования и разработки, связанные со спецификой использования в локомотивном хозяйстве сжиженного природного газа (СПГ) как криогенного топлива, с выполнением технико-экономических обоснований для газовой моторизации полигонов тепловозной тяги, с изучением вопросов обеспечения безопасной эксплуатации газовых локомотивов и с техническим обеспечением испытаний криогенно - газового оборудования газотепловозов.

На начальном этапе работ в интересах обеспечения безопасности первых построенных образцов магистральных газотепловозов 2ТЭ10Г и 2ТЭ116Г с топливной криогенной секцией вагонного типа (рис. 1), силами РГУПС, ВНИИЖТ, «Криогенмаш», ВНИИПО на экспериментальной базе ГХК «Лугансктепловоз» а затем НИИМАШ (г. Нижняя Салда Свердловской обл.) был выполнен целый ряд расчётно-аналитических исследований и натурных, в т. ч. «огневых» испытаний.

К основным из них относятся:

- экспериментальная проверка эффективности срабатывания штатной системы газосигнализации при появлении загазованности от разгерметизации криогенного и газонаполненного оборудования в кузовных помещениях локомотивов и криогенной секции;
- расчётные и натурные исследования по повышению противопожарных характеристик систем штатного и аварийного дренажа паров СПГ – безопасных дренажных устройств (БДУ) криогенной секции;
- расчётно-аналитические исследования безопасности конструкций газотопливных систем локомотивов на СПГ и сжиженном природном газе (КПГ).

Получены результаты, способствующие повышению эффективности срабатывания штатной системы газосигнализации: обоснованы количество и места расположения детекторов утечки газа, повышена скорость и распознающая способность системы по отношению к месту и различным

объёмам утечек газа, даны рекомендации по режимам работы систем вентиляции дизельных и криогенной секций, а также по действиям локомотивной бригады в аварийных ситуациях.

В ходе этих испытаний было определено, что штатная система аварийного дренажа не обеспечивает допустимых по условиям безопасной эксплуатации размеров зон загазованности с пожаровзрывоопасной концентрацией при аварийных выбросах СПГ. Более эффективной, в плане повышения производительности газосброса и уменьшения зон опасной загазованности при газосбросе, по результатам предварительных исследований, представляется коллекторная система с рассеивающими газ элементами сферическо-щелевой формы.

Для большего снижения размеров зон опасной загазованности при одновременном увеличении проходного сечения сбросного предохранительного клапана было предложено также организовать подачу инертного газообразного азота непосредственно в дренажный коллектор криогенного тендера.

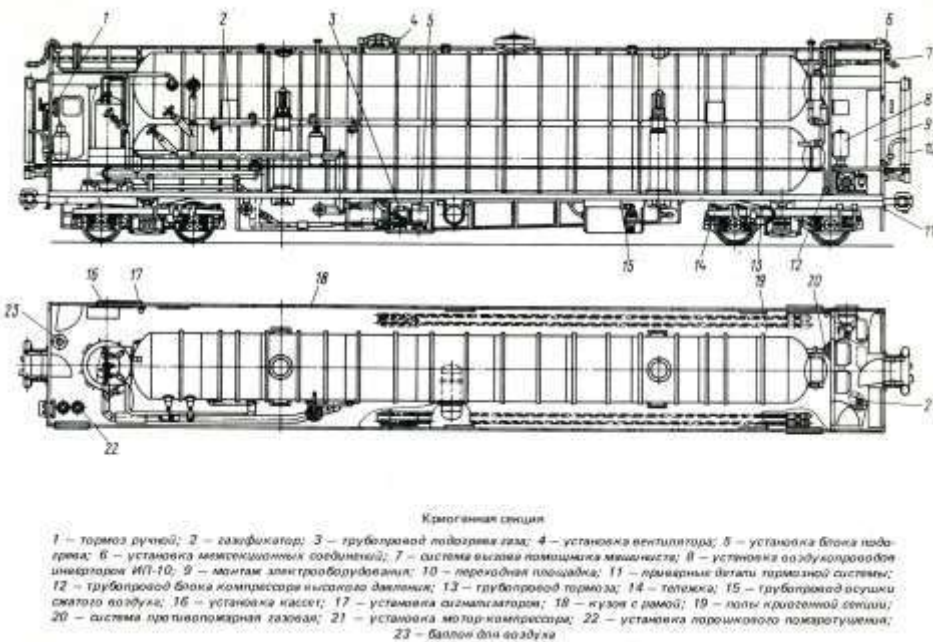


Рис. 1. Криогенная секция вагонного типа

Эти результаты использованы при совместной с ЗАО «Крионорд» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Криогенмаш», ОАО «Лентрансгаз», ОАО «Газпром» разработке «Правил безопасности при проектировании и эксплуатации систем приема, хранения, заправки и газификации сжиженного природного газа на объектах потребителя».

В рамках анализа конструктивно-технологических особенностей криогенной топливной секции для вариантов реализации вытеснительной и насосной схемы подачи газа к газодизелям производилось определение физико-технических первопричин возможных аварий газотепловоза на СПГ. Оценен вклад в риск эксплуатации как причин отказов железнодорожной техники, так и причин отказов криогенного и газового оборудования.

Для оценки интенсивности аварий железнодорожного характера и их последствий использованы данные отраслевой статистики о нарушениях безопасности движения. Для оценки интенсивности отказов криогенного и газового оборудования использовано моделирование сценариев с помощью метода «деревьев» событий/отказов [1, 2]. В ходе предварительного анализа опасностей определены элементы оборудования криотопливной системы газотепловоза и события, которые могут привести к возникновению опасных ситуаций. По результатам определенных в ходе построения "деревьев" отказов для случая вероятных утечек (Рис. 2) при различных сценариях аварийной разгерметизации газонаполненных элементов оборудования газотепловоза построены кривые Фармера для вариантов реализации топливоподачи газа по вытеснительной и насосной схеме (рис. 3). Эти кривые служат для

общей оценки безопасности конструкции с точки зрения вероятности реализации таких сценариев, в зависимости от величины ожидаемых утечек СПГ. Анализ кривых показывает, что вероятности выброса всего содержащегося в резервуарах газотепловоза СПГ очень малы и не превышают величины 10^{-6} в год.

Проведен расчет опасных факторов для недопустимых по критериям обеспечения пожаро- и взрывобезопасности аварийных сценариев.

Вероятность повышения давления в криотопливных резервуарах сверх рабочего очень высокая (0,8 в год), однако вероятность разрушения из-за этого конструкции резервуаров низкая ($3,7 \cdot 10^{-11}$ в год), что обусловлено применением системы защиты (автоматический сброс давления). Наиболее вероятной причиной повышения давления в резервуарах газификатора является их переполнение при заправке.

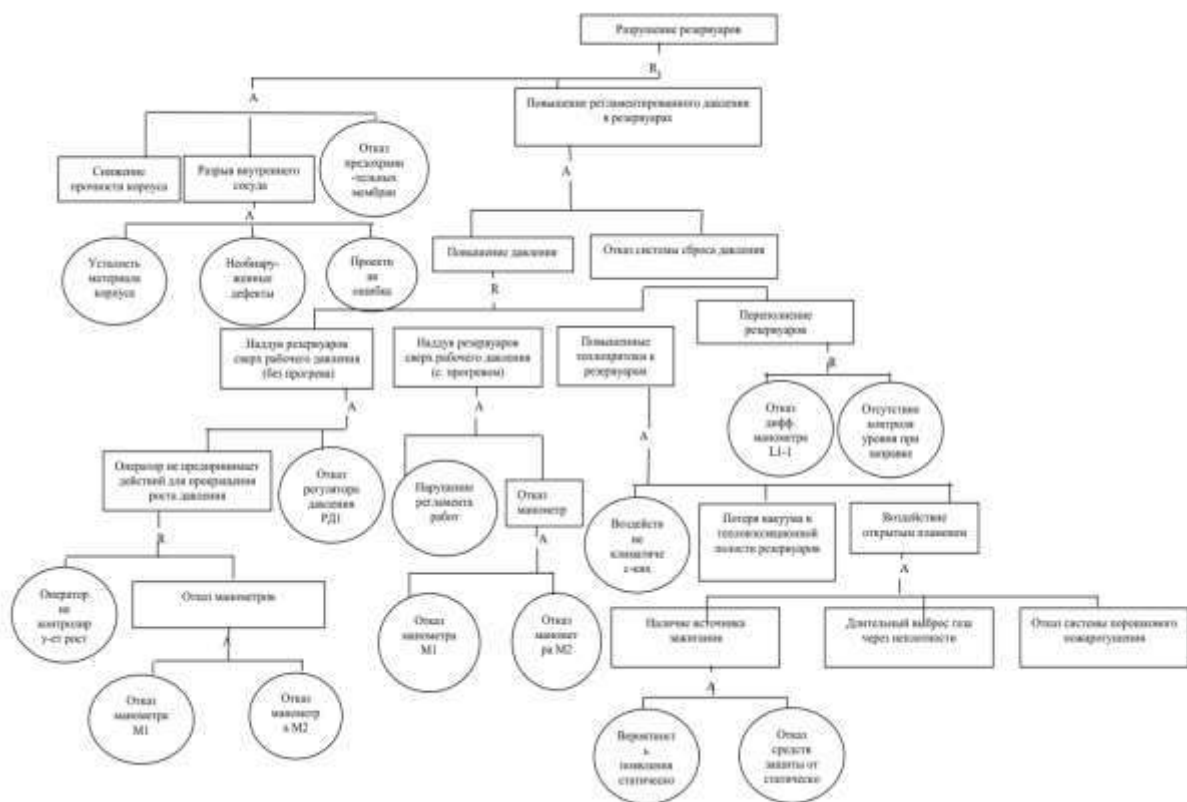
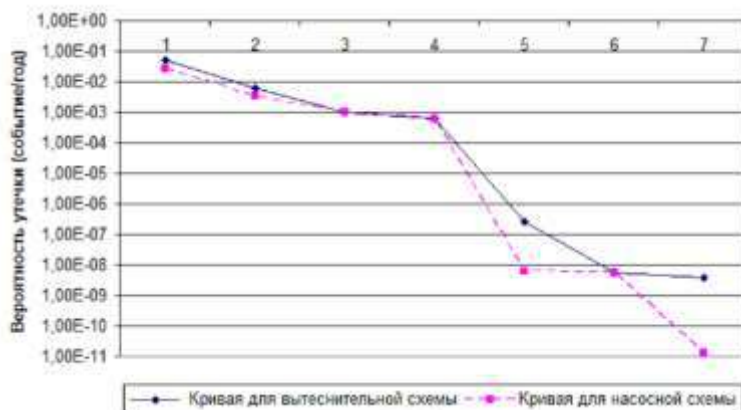


Рис. 2. «Дерево» отказов для случая вероятных утечек газа



кратковременный выброс газа через неплотности; длительный выброс газа через неплотности; выброс СПГ, содержащегося в испарителе наддува И1; выброс СПГ, содержащегося в заправочном рукаве; выброс всего содержимого СПГ через трубопровод Ду-20; выброс всего содержимого СПГ через трубопровод Ду- 100; мгновенный выброс всего содержимого.

Рис. 3. Кривые Фармера для вероятных утечек газа

Вероятность выброса содержимого СПГ с разрушением резервуара низкая для вытеснительной схемы топливоподачи ($4 \cdot 10^{-9}$) и крайне низкая для насосной схемы ($1,3 \cdot 10^{-11}$). Данное обстоятельство, наряду с отсутствием в насосной схеме дополнительного подвагонного испарителя наддува, свидетельствует в пользу более высокой безопасности последней.

Проведенный расчет опасных факторов для недопустимых по критериям обеспечения пожаро- и взрывобезопасности аварийным сценариям показал, что:

- для аварии с факельным горением СПГ при выбросе из трубопроводов наддува И1 за счет незначительной массы (3,94 кг) и времени существования пролива (1,5 с) образующийся при возгорании тепловой поток практически не представляет никакой опасности для человека. При непосредственном попадании СПГ на незащищенные участки кожи возможно обморожение. Данное обстоятельство диктует необходимость использования обслуживающим персоналом защитной одежды и обуви, особенно при проведении заправочных операций, регламентного технического обслуживания и ремонтных работ;
- для аварии с проливом СПГ, содержащегося в производном испарителе И1, с последующим сгоранием метановоздушной среды на открытом загроможденном пространстве давление взрыва во фронте ударной волны составило 2 кПа. Учитывая, что порог опасного поражения избыточным давлением ударной волны составляет 3 кПа, полученное значение можно рассматривать как безопасное;
- для аварии, связанной с выбросом СПГ из заправочного рукава криогенной секции, возможно развитие по сценарию факельного горения СПГ (длина факела при горизонтальном выбросе жидкой фазы СПГ до 40 м). Взрыв образующегося при этом метановоздушного облака не рассматривался как крайне маловероятное событие по самой технологии заправки локомотивов на открытой специализированной площадке.

Разработана методология оценки риска при эксплуатации газотепловозов на заданном маршруте движения.

Выполнена оценка риска эксплуатации опытного образца магистрального газотепловоза 2ТЭ116Г на перспективных участках газификации Свердловской железной дороги в сравнении с прототипом на дизельном топливе.

На заданных маршрутах установлено незначительное, с превышением на 5–10 %, отличие рисков от использования газотепловозов, по сравнению с эксплуатацией обычных тепловозов, работающих на дизельном топливе. В итоге обоснован приемлемый уровень безопасности при эксплуатации газотепловозов, так как сложившийся к настоящему времени достаточно высокий уровень безопасности движения показывает о распределении случаев аварий с локомотивами по закону Пуассона в пределах интервальной оценки 100–300 %. Дополнительные меры по снижению уровня аварийности с газовыми локомотивами заключаются в повышении показателей надёжности и ремонтпригодности криогенного и газового оборудования, а также в обучении персонала, в том числе действиям при аварийных ситуациях.

Проанализированы вытеснительный и насосный варианты схем топливоподачи газа к газодизелям. Установлены преимущества насосной схемы подачи газового топлива.

Разработаны дополнения к проекту специального технического регламента о безопасности железнодорожного подвижного состава и контейнеров.

Полученные результаты использованы при разработке утверждённой ОАО «РЖД» Программы внедрения тягового подвижного состава, работающего на СПГ, на полигоне Свердловской железной дороги на период 2015-2025 гг. (разделы по экипировке и нормативному обеспечению безопасности газовых локомотивов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Надежность технических систем и техногенный риск / Акимов В. А., Лапин В. Л., Попов В. М. [и др.]. – М. : ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.
- 2 Анализ риска и проблемы безопасности. В 4-х частях // Ч. 1 Основы анализа и регулирования безопасности / К. В. Фролов. – М. : МГФ «Знание», 2006. – 640 с.

УДК 629.421.2.083:004.9

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГАЗОТУРБОВОЗОВ НА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ПОЛИГОНЕ РОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

А. П. Буйносов, С. И. Лаптев

Уральский государственный университет путей сообщения

Рассмотрены вопросы организации эксплуатации газотурбовозов, работающих на сжиженном природном газе, для реализации технологии вывоза грузов из дальневосточного федерального округа России. Определено размещение объектов экипировки для локомотивов, использующих сжиженный природный газ. Рассчитан эксплуатируемый парк газотурбовозов для использования на дальневосточном полигоне ОАО «РЖД». Рассчитано количество технических обслуживаний и текущих ремонтов газотурбовозов.

Ключевые слова: Россия, газотурбовоз, железная дорога, дальний восток, полигон, эксплуатация, обслуживание, ремонт, организация.

The problems of organization and operation of the locomotive running on liquefied natural gas, for the implementation of the technology of export of goods from the far Eastern Federal district of Russia. Determined the placement of equipment for locomotives using liquefied natural gas. Designed operated a fleet of turbine-electric locomotives for use on the far Eastern site of JSC «RZD». Calculated amount of technical services and current repairs of turbine-electric locomotives.

Keywords: Russia, gas turbine, the railway, the far East, polygon, operation, maintenance, repair and organization.

Развитие Байкало-амурской магистрали является экономически важной задачей для Российской Федерации. Вблизи Байкало-Амурской магистрали находятся как действующие месторождения полезных ископаемых, так и хорошо изученные на которых была проведена экономическая оценка эффективности разработки.

Эта железнодорожная магистраль поможет дальнейшему развитию Дальнего Востока, станет одной из точек роста производства в округе, наращивания добычи сырья, строительство новых промышленных предприятий вдоль всего маршрута БАМа, а также увеличение мощностей портов Ванино и Советская Гавань.

Проект расширение Байкало-Амурской магистрали – один из последних инфраструктурных инициатив российского правительства и руководства Российских Железных Дорог, направленный на увеличение транспортной связности России со странами Азиатско-Тихоокеанского региона и улучшение условий для промышленного развития на российском Дальнем Востоке.

Согласно распоряжению правительства Российской Федерации от 24 октября 2014 года №2116-р реализован инвестиционный проект «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей» [1], данный инвестиционный проект направлен на достижение целей определенных в рамках «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной

правительство Российской Федерации [2] реконструированы для увеличения провозной способности и повышения предельного веса грузовых поездов железнодорожные участки Советская Гавань – Комсомольск-сортировочный (475 км), Комсомольск-сортировочный – Волочаевка (327 км), Комсомольск-сортировочный – Постышево (198 км), Постышево – Новый Ургал (276 км), Новый Ургал – Февральск (283 км), Февральск – Верхнезейск (339 км), Верхнезейск – Тында (329 км), Тында – Хани (484 км).

Байкало-Амурская магистраль на территории Дальневосточной железной дороги от станции Хани до станции Советская Гавань является не электрифицированной, магистраль пролегает по очень сложному и разнообразному пути от большого количества пересечений полноводных рек до зон с высокой сейсмичностью. Для повышения провозной способности в таких условиях перспективным в использовании подвижным составом будут являться локомотивы с газотурбинной силовой установкой (ЛГСУ), работающие на сжиженном природном газе (СПГ) – магистральные газотурбовозы ГТ1h [3] изготовленные на Людиновском тепловозостроительном заводе и зарекомендовавшие себя в опытной эксплуатации на Свердловской железной дороге [4]. Расход газа, потребляемого этим локомотивом, в стоимостном выражении почти на четверть ниже, чем дизельного топлива.

Исходя из этого встает задача организации эксплуатации, обслуживания и ремонта магистральных газотурбовозов ГТ1h на полигоне Дальневосточной железной дороги. Для организации обслуживания газотурбовозов на участках БАМа необходима соответствующая инфраструктура на рисунке приведена существующая инфраструктура.

Предлагаемое нами размещение объектов газоснабжения (экипировки локомотивов) рисунок использует уже существующие объекты в силу этого является экономически выгодней модернизировать данные объекты чем строить новые.

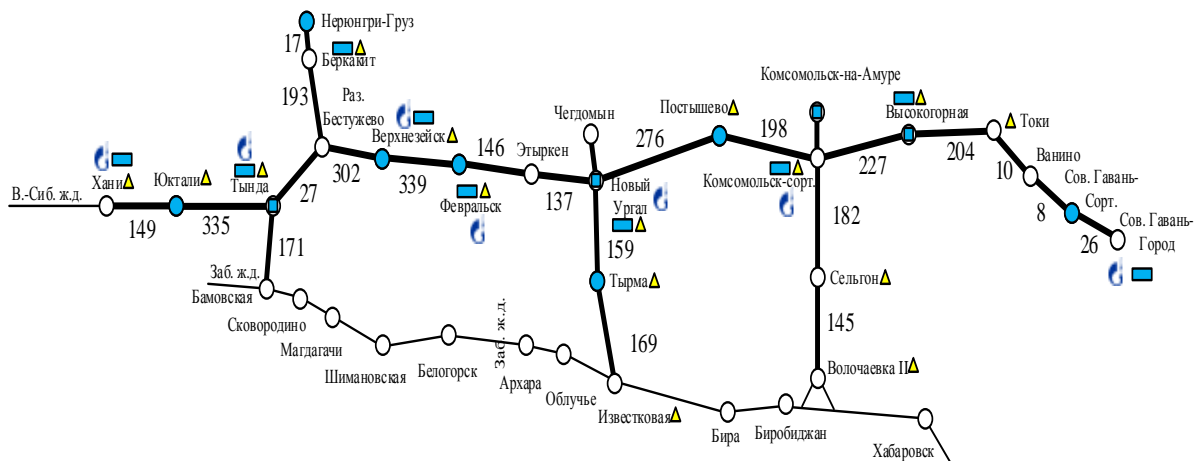


Рис. Размещение объектов газоснабжения:

▲ – дом отдыха локомотивных бригад; ■ – эксплуатационное локомотивное депо; ▭ – ПТОЛ и место проведения ТО-2; ● – эксплуатационное обратное локомотивное депо; ⚙ – необходимые комплексы по производству СПГ

Такое размещение учитывает особенности работы с криогенными жидкостями, такими как СПГ к которым предъявляются серьезные требования к их неснижаемому запасу в емкостях хранения, необходимой для поддержания необходимой температуры стенок емкости.

Для организации ремонта и технического обслуживания газотурбовозов на полигоне Дальневосточной железной дороги необходимо рассчитать норму ремонта и технического обслуживания на участках Советская Гавань – Комсомольск-сортировочный, Комсомольск-сортировочный – Волочаевка, Комсомольск-сортировочный – Постышево, Постышево – Новый Ургал, Новый Ургал – Февральск, Февральск – Верхнезейск, Верхнезейск – Тында, Тында – Хани.

Рассмотрим участок Советская Гавань – Комсомольск-сортировочный (475 км), число пар поездов – 6, для расчета эксплуатационного парка газотурбовозов принимаем техническую скорость движения по участку в четном и нечетном направлении 50 км/ч.

Участковую скорость определяем по заданному коэффициенту участковой скорости.

Участковая скорость:

$$V_{\text{уч}} = 0,8 \cdot V_{\text{T}}, \quad (1)$$

где 0,8 – коэффициент участковой скорости.

Полный оборот газотурбовоза:

$$T_{\text{л}} = \frac{2L}{V_{\text{уч}}} + t_{\text{осн}} + t_{\text{об}}, \quad (2)$$

где L – протяженность участка обращения, км; $t_{\text{осн}}$ – время простоя на техническом осмотре, приходящееся на один оборот, ч; $t_{\text{об}}$ – время простоя ГТ в пункте оборота, ч.

Коэффициент потребности ГТ:

$$K_{\text{п}} = \frac{T_{\text{л}}}{24}, \quad (3)$$

где $T_{\text{л}}$ – оборот ГТ на участке обращения, локомотиво-км.

Коэффициент потребности показывает число ГТ, необходимых для обслуживания одной пары поездов в сутки.

Тогда эксплуатируемый парк локомотивов на участке Советская Гавань – Комсомольск-Сортировочный:

$$N_{\text{э}} = K_{\text{п}} \cdot n, \quad (4)$$

где n – число пар поездов.

В соответствии с найденным числом газотурбовозного парка (7 локомотивов) на участке Советская Гавань – Комсомольск-Сортировочный, определим программу ремонта и потребность в эксплуатационных ресурсах.

Находим суточный пробег по выражению:

$$S_{\text{с}} = 2 \cdot L \cdot n, \quad (5)$$

где L – длина участка, км; n – число пар поездов в сутки.

Годовой и месячный пробег локомотива:

$$S_{\text{год}} = S_{\text{с}} \cdot 365, \quad (6)$$

$$S_{\text{м}} = S_{\text{с}} \cdot 30,4. \quad (7)$$

Среднесуточный пробег одного локомотива определяем по выражению [5]:

$$S_{\text{ср}} = 2 \cdot L \cdot \frac{n}{N_{\text{э}}}, \quad (8)$$

где $N_{\text{э}}$ – эксплуатируемый парк ГТ; L – длина участка, км; n – количество пар поездов.

Полученные результаты сводим в таблицу 1.

Аналогичные результаты получены и для участков Комсомольск-сортировочный – Волочаевка, Комсомольск-сортировочный – Постышево, Постышево – Новый Ургал, Новый Ургал – Февральск, Февральск – Верхнезейск, Верхнезейск – Тында, Тында – Хани. Все произведенные расчеты по рассматриваемым участкам, а также по видам технического обслуживания и ремонта представлены в таблице 2.

Таблица 1

Технико-эксплуатационные показатели использования газотурбовоза на участке Советская Гавань – Комсомольск-Сортировочный

Показатель	Значение
Участковая скорость, км/ч	40
Среднесуточный пробег локомотива, км	814,2
Эксплуатируемый парк локомотивов, шт	7

Таблица 2

Годовая программа технических обслуживаний и ремонтов ГТ

Участок	Количество локомотивов, шт.	Виды технического обслуживания/ремонта, ед.						
		ТО-2	ТО-3	ТР-1	ТР-2	ТР-3	СР	КР
Советская гавань – Комсомольск-сортировочный	7	511	166	21	10	5	2	1
Комсомольск-сортировочный – Волочаевка II	6	438	115	14	7	4	1	1
Комсомольск-сортировочный – Новый Ургал	7	511	166	21	10	5	2	1
Новый Ургал – Известковая	6	438	115	14	7	4	1	1
Новый Ургал – Февральск	5	365	99	12	6	3	1	1
Февральск – Верхнезейск	6	438	119	15	7	4	1	1
Верхнезейск – Тында	6	438	115	14	7	4	1	1
Тында – Хани	8	584	170	21	11	5	2	1
Всего	51	3723	1065	132	65	34	11	8

Количество ремонтных стоил определяется годовой программой ремонта газотурбовозов в депо, простоем их в ремонте или техническом обслуживании и фондом рабочего времени стоила.

Для ремонтов, продолжительность которых измеряется сутками (ТР-2, ТР-3, СР, КР), расчет выполняем по выражению [6]:

$$C_{pi} = \frac{N_{pi} \cdot t_{pi}}{Д}, \quad (9)$$

где N_{pi} – годовая программа данного вида ремонта; t_{pi} – простой в ремонте, сут; $Д$ – число рабочих дней в году, $Д = 247$ дн.

Для ремонтов и осмотров, продолжительность которых измеряется в часах (ТО-2, ТО-3, ТР-1), количество ремонтных позиций определяют по формуле:

$$C_{pi} = \frac{N_{pi} \cdot t_{npi} \cdot \mu}{ДСТ_{см}}, \quad (10)$$

где $T_{см}$ – средняя продолжительность смены; t_{npi} – продолжительность ремонта, ч; $С$ – число рабочих смен в сутках; μ – коэффициент учитывающих неравномерность подхода и постановки газотурбовозов на ТО-2, ТО-3, ТР-1, $\mu = 1,1$.

Для расчета числа ремонтных позиций используются нормы простоя газотурбовозов в техническом обслуживании и текущем ремонте из [3, 4], нормы приведены в таблице 3.

Таблица 3

Нормы простоя газотурбовоза на ТО и ТР

ТО-2	ТО-3	ТР-1	ТР-2	ТР-3	СР
1,2 ч	12 ч	36 ч	4 сут	6 сут	6 сут

Количество ремонтных позиций для газотурбовозов на полигоне Байкало-Амурской магистрали представлены в таблице 4.

Таблица 4

Количество ремонтных позиций

ТО-2	ТО-3	ТР-1	ТР-2	ТР-3	СР
1	3	1	2	1	1

Заключение. Использование газотурбовозов с высокими тяговыми характеристиками позволит решить несколько задач:

- организовать движение тяжеловесных поездов в районах дальнего востока, на неэлектрифицированных участках сети таких как Байкало-Амурская магистраль обеспечив возрастающие объемы перевозок грузов при снижении потребности в локомотивах и в локомотивных бригадах;
- увеличить провозную и пропускную способности железных дорог на реконструированной путевой инфраструктуре;
- поспособствовать интенсивному развитию экономических регионов дальнего востока;
- уменьшить эксплуатационные затраты на транспортировку грузов за счет использования СПГ вместо дизельного топлива;
- снизить негативное влияние железнодорожного транспорта на состояние окружающей среды за счет уменьшения выбросов от локомотивов при использовании СПГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Паспорт инвестиционного проекта «Модернизация железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей с развитием пропускных и провозных способностей». Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 октября 2014 г. №2116-р.
- 2 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. №877-р.
- 3 Газотурбовоз магистральный ГТ1h. Руководство по эксплуатации. ГТ1h. 00. 000. 000 РЭ / в трех частях. – М. Синара, 2015. – 244 с.
- 4 Буйносов А. П., Цихалевский И. С., Лаптев С. И. Организация эксплуатации, обслуживания и ремонта газотурбовозов ГТ1h // Вестник УрГУПС. – 2018. – № 3 (39). – С. 43–55.
- 5 Буйносов А. П., Лаптев С. И. Организация обслуживания и ремонта газотурбовозов ГТ1Н на перспективном полигоне Северного широтного хода // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 2 (74). – С. 16–21.
- 6 Наговицын В. С., Буйносов А. П., Лаптев С. И. Организация ремонта газотурбовозов в сервисных локомотивных депо на полигоне железной дороги // Научно-технический вестник Поволжья. – 2019. – № 3. – С. 57–60.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

Д. Б. Григорьева, Д. Я. Носырев

Самарский государственный университет путей сообщения

В статье будет рассмотрен метод совершенствования работы дизелей тепловозов с помощью электротермической обработки топлива. Представлены эксперименты по электротермической обработке тепловозного топлива, что даёт возможность обеспечить обратную связь и эффективное применение обработки топлива на работу тепловозного дизеля.

Ключевые слова: двигатель, электротермическая обработка, электрический заряд, эксперимент, сопротивление, энергия, выгорание.

The article will consider the method of improving the work of diesel locomotives using electrothermal fuel treatment. Experiments on electro-thermal treatment of diesel fuel are presented, which makes it possible to provide feedback and effective application of fuel treatment to the operation of diesel locomotive.

Keywords: engine, electrothermal treatment, electric charge, experiment, resistance, energy, burnout.

Введение. Одной из важнейших транспортных систем Российской Федерации является железнодорожный транспорт. Перед ним стоит основная задача – развитие экономики государства, так как он оказывает транспортные услуги, а именно, – своевременную, быструю и точную доставку грузов и пассажиров при выполнении перевозочного процесса, соблюдении гарантированной безопасности движения поездов. Огромная роль в перевозочном процессе отводится тяговому подвижному составу, в том числе тепловозам. Актуальной проблемой для железнодорожного транспорта является минимизация потребления топлива тепловозами. Расход топлива тепловозами зависит от многих факторов. Для топливной экономичности тепловозов имеет большое значение соответствие конструктивных факторов условиям эксплуатации.

Для повышения эффективности работы дизелей используются различные методы: вносятся изменения в конструкцию двигателей, используется альтернативное топливо, совершенствуется рабочий процесс. Среди наиболее эффективных отмечается метод увеличения полноты сгорания топлива в цилиндре дизеля. С этой целью осуществляют интенсификацию внутрицилиндровых процессов (распыла топлива, его испарения и горения), применяя, например, электрическую обработку воздуха и топлива. Такая обработка имеет ряд преимуществ: высокую экономичность, причиной которой является непосредственное преобразование электрической энергии в энергию движения частиц и химическую энергию ионов и электронов. Кроме того, в число преимуществ рассматриваемого метода включают конструктивную простоту аппаратов, возможность непрерывно тонко регулировать и управлять процессами, изменяя приложенное напряжение. Также, для применения указанного способа нет необходимости вносить изменения в конструкцию двигателей

На сегодняшний день уже установлено, что наиболее эффективным методом электротермической обработки топлива является обработка топлива с помощью электрического разряда. При этом затраченная энергия на разряд частично переходит в термическую энергию. Активное число молекул в топливе при разряде увеличивается с увеличением энергии, затраченной на данный разряд. Зависимость увеличения активных частиц от энергии разряда представлена на рисунке 1.

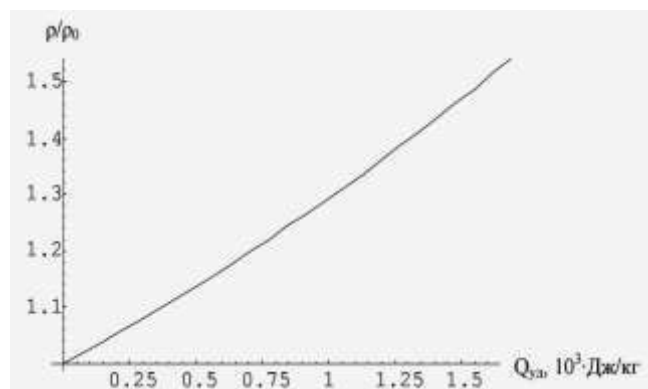


Рис. 1. Зависимость увеличения активных частиц от энергии разряда

Так, было проведено экспериментальное исследование электротермической обработки топлива с помощью разряда. При данной обработке топлива с помощью электрического разряда сопротивление топлива уменьшалось. После обработки сопротивление топлива возвращалось к прежним значениям, но не достигало исходных значений как минимум 15 мин. Электротермическое влияние на топливо порождает химические реакции в одно время в двух фазах: в плазме и жидкости. Химический процесс побуждается той частью энергии разряда, которая проникает в жидкую фазу: частицы и жесткое излучение образуют лавину свободных радикалов.

Для оценки влияния электротермической обработки топлива на показатели дизеля был проведён вычислительный эксперимент.

В качестве исходных данных были получены данные, рассчитанные по программе «Импульс», по параметрам рабочего процесса дизеля 10Д100.

Установлены параметры, характеризующие процесс сгорания. На 11-й позиции контролера машиниста ($\alpha = 1,808$) $m = 0,59$, $\varphi_z = 50$ о ПКВ. С учётом изменения скорости горения новые параметры $m = 0,42$, $\varphi_z = 36,8$ (см. рис. 1).

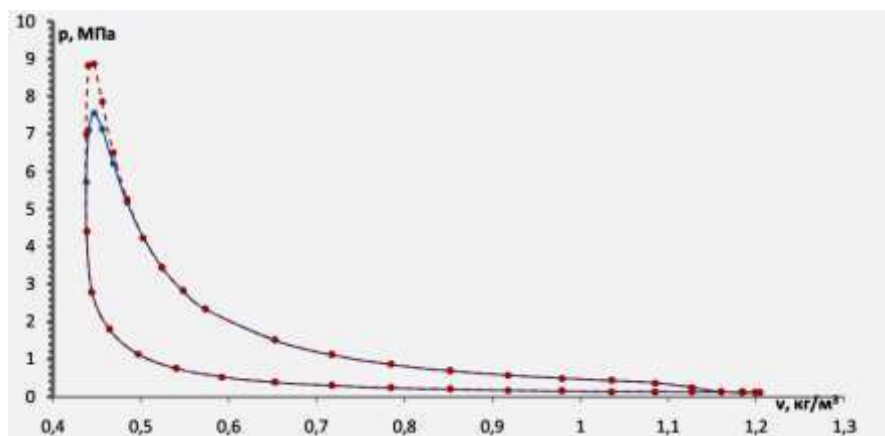


Рис. 2. Свёрнутая индикаторная диаграмма дизеля 10Д100 на 11-й позиции контролера машиниста без обработки топлива (сплошная) и после обработки (штриховая)

При обработке топлива с помощью игольчатых электродов удельное сопротивление топлива уменьшалось, т. е. концентрация зарядов увеличивалась. Происходило это за счет выхода электронов из металла. Электроны захватываются молекулами и превращаются в ионы, а положительные ионы, взаимодействуя с электронами, нейтрализуются или перезаряжаются. Скачек роста концентрации происходит при напряжении, когда в воздухе активно развиваются ионизационные процессы. Этот процесс описывается теорией Геманта для не дегазированных жидкостей. Пробой начинается с ионизации пузырьков газа, находящихся на поверхности электродов. Согласно теории, развитие пробоя

обусловлено деформацией газовых пузырьков, находящихся в микротрещинах на поверхности электродов. Деформация газового пузырька, находящегося у поверхности электрода, под действием поля может происходить как при постоянном объеме, так и при увеличении его объема за счет всасывания газа из электрода. При нарушении равновесия между поверхностным натяжением и электрическими силами в пузырьке происходит отрыв газового пузырька от электрода с последующим образованием газового мостика, что приведет к пробоем жидкости.

В условиях игольчатых электродов можно говорить об образовании дугового разряда, который образуется между электродами через газовый мостик. Это вызывает резкий рост числа зарядов в слоях, прилегающих к газовому мостику. После чего снова наблюдалось линейное увеличение концентрации заряженных частиц, но более сильное, чем на первом участке.

После снятия напряжения, значения удельного сопротивления мгновенно возвращались к начальным. Таким образом, при обработке топлива игольчатыми электродами активные частицы после снятия напряжения не возвращались. Использование такой обработки топлива в ДВС неэффективно.

Эффект электрической обработки топлива достигает 4,2 % увеличения мощности и КПД двигателя и снижения удельного расхода топлива на 4 %. Это связано с сокращением продолжительности процесса выгорания топлива. Разряд в топливе позволяет интенсифицировать выгорание топлива и при этом улучшить показатели дизелей.

Заключение. Современные производители дизелей используют все открытия и новшества, связанные с повышением топливно-экономических и экологических характеристик.

Таким образом, за последние годы был достигнут огромный прогресс по эффективности работы и уменьшению выбросов дизельных двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Козменков И. Н., Носырев Д. Я. Повышение эффективности работы дизелей тепловозов с помощью электротермической обработки топлива // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева (национального исследовательского университета). – 2011. – № 3 (27). Ч. II. – С. 150–155.
- 2 Носырев Д. Я., Григорьева Д. Б. Повышение эффективности работы тепловозного дизеля электротермической обработкой топлива и воздуха. Материалы Международной научно-исследовательской конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и старшекласников «Молодёжная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития». Оренбург: СамГУПС, 2018.
- 3 Карнаухов В. Н. Топливная экономичность двигателей внутреннего сгорания // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 6 (89). – С. 142.

УДК 621.433.2

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУГООБРАЗНОГО СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ЛОКОМОТИВОВ

Д. Я. Носырев, П. А. Кабанов, В. Н. Новикова

Самарский государственный университет путей сообщения

В статье освещены предпосылки использования природного газ как моторного топлива, приведены недостатки существующих энергетических установок локомотивов, работающих на природном газе. А также проведен анализ целесообразности применения шугообразного сжиженного природного газа в энергетических установках локомотивов.

Ключевые слова: локомотив, шугообразный сжиженный природный газ, захолаживание, хладоресурс.

The article highlights the prerequisites for the use of natural gas as a motor fuel, presents the shortcomings of the existing power plants of locomotives running on natural gas. Also, an analysis of the feasibility of using a slurry-shaped liquefied natural gas in locomotive power plants has been conducted.

Key words: locomotive, slushy liquefied natural gas, cooling, cold resource.

В настоящее время вопросы, касающиеся экологической безопасности и экономии топливно-энергетических ресурсов, являются наиболее приоритетными. Повышение экономичности и экологичности тепловозов, являющихся одним из основных потребителей дизельного топлива на железнодорожном транспорте, является наиболее актуальной проблемой решаемой в рамках существующей программы ресурсосбережения, отмеченной в следующих документах: «Энергетическая стратегия России до 2035 г. », «Концепция долгосрочного социально-экономического развития страны до 2020 г. », «Стратегия инновационного развития ОАО «РЖД» (Белая Книга ОАО «РЖД»)», «Программа инновационного развития ОАО «РЖД», «Энергетическая стратегия холдинга «РЖД» и ряде постановлений Правительства Российской Федерации [1].

Учитывая эту тревожную ситуацию, необходимо искать оптимальные пути и решения по применению альтернативных нетрадиционных источников топлива. Наиболее результативным вариантом решения этой проблемы на ближайшие десятилетия для энергетических установок тягового подвижного состава является применение природного газа. Основные энергетические характеристики различных газов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Энергетические характеристики газов

	Теплота сгорания, МДж/кг	Теоретически необходимое количество воздуха, кг/кг	Теплота сгорания стехиометрической смеси, МДж/м ³	Октановое число
Метан	50,0	17,2	3,22	120
Пропан	46,3	15,6	3,35	115
Бутан	45,6	15,4	3,39	95
Оксид углерода	10,05	2,5	3,48	—
Водород	120,0	34	2,97	—

Применение природного газа в качестве моторного топлива или в виде добавки к основному топливу для ДВС рассматривалось многими авторами как весьма значимая альтернатива традиционным топливам нефтяного происхождения. Причиной всего этого является все более возрастающая экологическая, социально-экономическая и техническая значимость проблем использования традиционных моторных топлив.

Применение сжатого природного газа является одним из первых шагов на пути к совершенным топливам. Одна из первых попыток реализовать применения сжатого газа на железнодорожном транспорте является разработка газотепловоза ТЭМ18Г. ТЭМ18Г не получил широкого распространения из-за ряда проблем. Так, важным недостатком сжатого газа является высокое давление в баллонах для хранения. Низкая же плотность газа не позволяет иметь достаточный запас топлива на борту.

Использование сжиженного природного газа как моторного топлива было реализовано в 1987 году, когда на Луганском тепловозостроительном заводе был спроектирован тепловоз 2ТЭ116Г. Газотепловоз 2ТЭ116Г не получил широкого распространения из-за наличия бустерной секции, что приводило к ухудшению маневренности подвижного состава, а также к сложности его обслуживания. Так же важным фактором являлось отсутствие современного оборудования для работы со сжиженным газом.

Наиболее современные примеры использования сжиженного природного газа на железнодорожном

транспорте является маневровый газотепловоз ТЭМ19 и газотурбовоз ГТ1h, использующий в качестве силовой установки газотурбинный двигатель. Основными недостатками ТЭМ19 и ГТ1h являются потери сжиженного природного газа при хранении. При этом у газотурбовоза низкий КПД силовой установки, который колеблется в пределах 23–39 %, высокая температура отработавших газов, что не позволяет использовать газотурбовоз на электрифицированных участках железной дороги.

Применение шугообразного сжиженного природного газа не только решает вышеизложенные недостатки использования природного газа, но и позволяет рассматривать низкую температуру газа как потенциал в использовании хладоресурса для улучшения условий работы двигателя, а также повышение его экологических и экономических характеристик. Так, снижение температуры наддувочного воздуха за счет хладоресурса шугообразного сжиженного природного газа позволяет снизить удельный расход топлива двигателя и улучшить его экологическую чистоту. Также снижается температура масла и воды, что положительно влияет на условия работы двигателя и увеличивает его моторесурс, за счет лучшего отвода теплоты.

Целесообразность применения шугообразного сжиженного природного газа может оцениваться с различных позиций. Как видно из таблицы 2, повышение плотности дает возможность снизить транспортные расходы за счет более выгодного по сравнению с транспортировкой жидкости соотношения масс продукта и резервуара. Более высокая плотность является большим достоинством шугообразного сжиженного природного газа для транспортных средств, так как позволяет увеличить запас шугообразного топлива на борту транспортного средства.

Таблица 2

Сравнение сжиженного и шугообразного газа

Характеристика	Сжиженный природный газ	Шугообразный сжиженный природный газ
Температура	113,15К (–160 °С)	90,68К (–182,47 °С)
Плотность	450,45 кг/м ³	483,93 кг/м ³
Время бездренажного хранения	Не допускается	до 50 суток

Из-за уменьшения испарения и сброса газа уменьшаются вредное воздействие на окружающую среду и, соответственно, штрафные санкции. Частичное отверждение позволяет увеличить время бездренажного хранения, сократить потери продукта при экипировке; одновременно увеличивается располагаемое время для погрузочно-разгрузочных операций. Увеличение времени хранения весьма актуально для стационарных хранилищ систем резервирования газа и транспортных хранилищ систем автономного и аварийного газоснабжения [3].

Для снижения затрат на производство шугообразного сжиженного природного газа необходим рациональный выбор идеального термодинамического процесса переохлаждения и оборудования, для его реализации. Расходы на сырье и энергию существенно сокращаются, при получении шугообразного сжиженного природного газа непосредственно на месте производства сжиженных газов, либо при использовании «даровых» источников энергии. В частности, для получения шугообразного сжиженного природного газа таким источником может быть схема, использующая газ высокого давления в газопроводах, который обычно редуцируется на газораспределительных станциях [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Носырев Д. Я., Карышев Ю. Д., Кабанов П. А., Новикова В. Н. Особенности создания топливных систем подачи сжиженного природного газа в энергетическую установку локомотива // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 1. – С. 83–87.

- 2 Носырев Д. Я., Карышев Ю. Д., Кабанов П. А., Новикова В. Н. Особенности применения переохлажденного сжиженного природного газа в энергетических установках локомотивов // Вестник СамГУПС. – 2016. – № 1. – С. 33–35.
- 3 Носырев Д. Я., Балакин А. Ю., Кабанов П. А. Проблемы применения криогенных топлив в тепловозных дизелях // Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции «Двигатель-2018», посвященной 150-летию основания факультета «Энергомашиностроение» МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – С. 54–56.

УДК 621.311 + 06

ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАЗОРА МЕЖДУ МАГНИТОПРОВОДАМИ СТАТОРА И РОТОРА НА ВЕЛИЧИНУ РАДИАЛЬНЫХ УСИЛИЙ В ВЫСОКООБОРОТНОМ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ МИКРО-ТУРБИНЫ

П. Г. Колпахчян, М. С. Подберезная, А. Р. Шайхиев, А. С. Ощепков

Ростовский государственный университет путей сообщения

В статье рассмотрены вопросы определения радиальных усилий между статором и ротором высокооборотного электрогенератора на базе асинхронной электрической машины с массивным ротором. На основе расчета распределения магнитного поля методом конечных элементов определены зависимости радиальных усилий от неравномерности зазора и тока статора. Определено максимально допустимое значение неравномерности зазора не приводящее к нарушению работы высокооборотного электрогенератора.

Ключевые слова: высокооборотный электрогенератор, силицированный графит, неравномерность зазора, FEMM, ротор, магнитное поле.

The article deals with the determination of radial forces between the stator and the rotor of a high-speed electric generator based on an asynchronous electric machine with a massive rotor. Based on the calculation of the magnetic field distribution by the finite element method, the dependences of the radial forces on the non-uniformity of the gap and stator current are determined. The maximum allowable value of the unevenness of the gap is determined that does not lead to disruption of the high-speed electric generator.

Keywords: high-speed electric generator, siliconized graphite, gap unevenness, FEMM, rotor, magnetic field.

Одним из направлений развития автономного железнодорожного транспорта является применения энергетических установок модульного типа, когда требуемая мощность набирается из нескольких независимых модулей. Такой подход позволяет выполнять энергетическую установку распределенной, что актуально мотор вагонного подвижного состава [1]. Ужесточающие требования к экономичности подвижного состава делают актуальным отход от использования дизельного топлива и переход к газовому топливу. При мощности энергетической установки до 1 МВт рациональным является применения газовых микро-турбин, эффективная работа которых возможна при размещении электрогенератора на общем валу турбины. Поэтому актуальным является разработка и совершенствование высокооборотных электрогенераторов предназначенных для работы в составе энергетического комплекса на базе газовой микро-турбины.

В качестве опор вала в разрабатываемом высокооборотном электрогенераторе (ЭГ) для газовой микро-турбины используются подшипники скольжения с твердой смазкой. Конструктивно эти подшипники выполнены в виде втулок из силицированного графита марки СГ-Т [2] размещенных в подшипниковых щитах. Материал втулок (силицированный графит), как и большинство материалов получаемых методами порошковых технологий, имеет высокую прочность на сжатие (до 300–400 МПа) и малую на растяжение или изгиб (30–50 МПа). Особенностью силицированного графита является его

высокая твердость и износостойкость, что позволяет применять его в качестве антифрикционного материала для подшипников скольжения высокооборотных электрических машин (ЭМ).

Наружный диаметр вала не может быть равен внутреннему диаметру втулки подшипника скольжения. В процессе работы происходит нагрев вала и втулки. Для компенсации теплового расширения необходимо наличие зазора в холодном состоянии. Кроме того, в процессе работы подшипники скольжения изнашиваются, появляется зазор между валом и втулкой. Под действием силы тяжести вал опускается на втулку и возникает несоосность ротора и оси вращения. Изменение геометрии воздушного зазора приводит к появлению несбалансированных сил электромагнитной природы действующих на ротор находящийся во вращающемся магнитном поле. Появление дополнительных радиальных сил изменяет условия работы опор вала. Поэтому необходимо выполнить анализ влияния неравномерности воздушного зазора между статором и ротором на величину радиальных усилий и их воздействие на опоры вала.

Для расчета требуемого увеличения диаметра втулок и контактных напряжений необходимо знать модуль упругости и линейный температурный коэффициент расширения материалов, из которых изготовлены вал и втулки. Эти параметры приведены в Таблице.

Таблица

Механические параметры материалов вала и втулок подшипников

Наименование материала	Модуль упругости E , МПа	Линейный температурный коэффициент расширения, k_{IT}
сталь AISI 455 (вал)	$20,0 \cdot 10^4$	$12,3 \cdot 10^{-6}$
силиколизированный графит СГ-Г (втулки подшипников)	$9,5 \cdot 10^4$	$4,6 \cdot 10^{-6}$

В процессе работы вал высокооборотного ЭГ нагревается потерями ротора. Кроме того, цапфы валов, вращающиеся в подшипниках, нагреваются от трения между валом и втулкой подшипника. Величина потерь, как было определено в процессе расчетов конструкции ЭМ, в номинальном составляет величину около 800 Вт. Поэтому температура в месте контакта вала и втулки подшипника может достигать высоких значений. В расчетах принято, что температура равна 300°C. Сталь, из которой изготовлен вал высокооборотного ЭГ и материал втулок подшипников выдерживают работу при такой температуре без ухудшения своих характеристик.

Изменение диаметра вала и втулки при расчетной температуре рассчитывается по формуле [3]

$$\Delta D = k_{IT} D, \quad (1)$$

где D – диаметр детали.

Диаметр цапф вала равен 36 мм, тогда рассчитанные с использованием (1) изменение наружного диаметра вала и внутреннего диаметра втулки будут равны

$$\Delta D_{\text{вал}} = 32,11 \text{ мм}; \Delta D_{\text{втулка}} = 32,041 \text{ мм};$$

Разница между изменением диаметров вала и втулки составляет $-0,06$ мм, то есть имеет место натяг. Поэтому для нормальной работы подшипников в не нагретом состоянии необходимо обеспечить зазор между втулкой и валом величиной не менее $\delta_p = 0,03$ мм. С учетом некоторого запаса зазор принят равным $0,05$ мм. В процессе работы втулка изнашивается и вал опускается ниже, тем самым увеличивая неравномерность воздушного зазора. Поэтому в расчетах был выполнен анализ влияния величины смещения ротора на величину до $0,1$ мм.

С использованием программного комплекса FEMM v 4. 2 (© David Meeker) [4] был выполнен ряд расчетов по определению электромагнитных сил действующих на ротор при неравномерном воздушном зазоре. На рисунках 1 и 2 показано распределение магнитного поля по расчетной области

при смещении ротора на 0,1 мм вниз при номинальном токе 70 А и частоте токов ротора (абсолютное скольжение) 12 Гц.

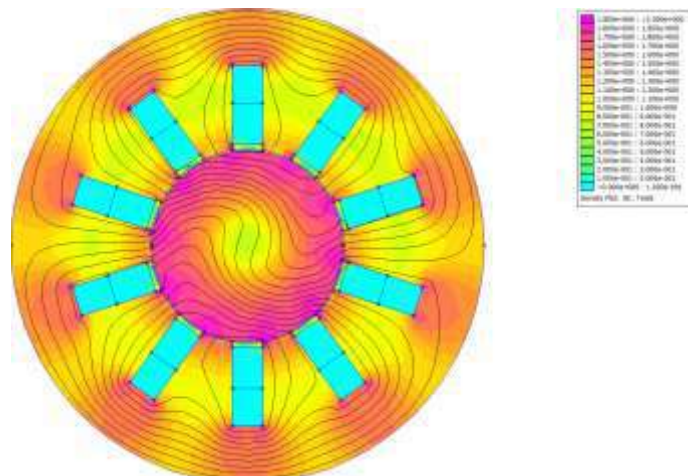


Рис. 1. Распределение магнитного поля высокооборотного ЭГ при смещении ротора на 0,1 мм вниз

В результате расчета распределения поля были получены значения сил, действующих на ротор. Постоянная составляющая силы по оси X равна 130 (направлена влево). Постоянная составляющая силы по оси Y равна 1174 (направлена вниз). Такое направление сил объясняется тем, что ферромагнитный ротор притягивается к статору в направлении уменьшенного зазора (вниз). Боковая сила возникает из-за взаимодействия вращающегося магнитного поля, создаваемого обмоткой статора, и вихревых токов наводимых в массивном роторе. Кроме того, на ротор воздействует сила с удвоенной частотой токов ротора возникающая из-за появления в неравномерном воздушном зазоре пространственной гармоники индукции магнитного поля. Эта пространственная гармоника дает временную гармонику индукции в зазоре с частотой токов ротора и, соответственно, создаваемая ей сила будет иметь удвоенную частоту. В рассматриваемом случае ее компонента по оси X составляет -48,2 - j·77,8 Н, компонента по оси Y - -77,1 - j·39,7 Н. Полученные результаты хорошо согласуются с представлением о физической сущности процессов и подтверждаются данными других авторов [5, 6].

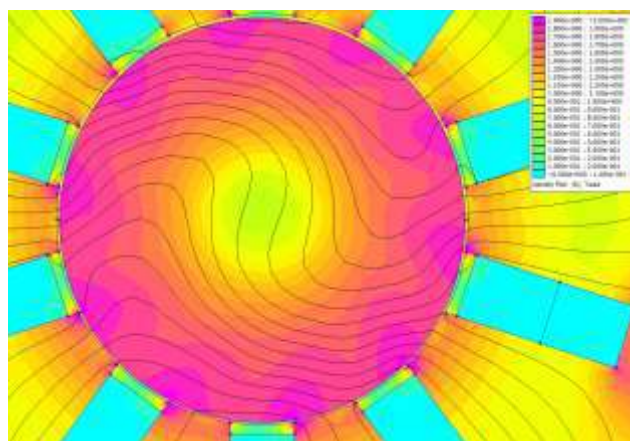


Рис. 2. Распределение магнитного поля высокооборотного ЭГ в области зазора при смещении ротора на 0,1 мм вниз

Аналогичные расчеты были выполнены для разных значений смещения ротора и частоты токов ротора. Результаты расчетов представлены на рисунках 3–10. На рисунках 3 и 4 показаны зависимости постоянной составляющей силы, действующей на ротор по осям X и Y соответственно. На рисунках 5 –

8 приведены зависимости амплитуды и фазы составляющих силы с удвоенной частотой токов ротора по осям X и Y.

Анализ полученных данных показывает, что сила, притягивающая ротор к статору в месте наименьшего значения зазора (постоянная составляющая силы направленная по оси Y, действует вниз), намного превышает составляющую силы по оси X и величину силы с удвоенной частотой токов статора. По мере увеличения неравномерности воздушного зазора в рассматриваемом диапазоне изменений она возрастает прямо пропорционально смещению ротора. С ростом частоты вращения эта сила уменьшается, что объясняется взаимодействием магнитного поля в зазоре ЭМ и поля создаваемого вихревыми токами, наводимыми в массивном роторе. С ростом частоты вращения эта сила уменьшается, что объясняется взаимодействием магнитного поля в зазоре ЭМ и поля создаваемого вихревыми токами, наводимыми в массивном роторе. По сравнению с направленной вниз постоянно действующей силой, боковая сила имеет величину на порядок меньше. Сила с удвоенной частотой также имеет величину намного меньшую, чем сила притягивающая ротор к статору, направленную вниз.

Определение напряжений действующих в месте контакта вала и втулки подшипника необходимо проводить при максимальной действующей силе. По результатам выполненных расчетов в качестве такой величины было принято значение 1800 Н. Для определения напряжений решается задача Герца о расчете контактного взаимодействия для линейного контакта цилиндр – цилиндр [3].

Величина наибольшего контактного напряжения определяется по формуле:

$$\sigma_H = \frac{0,418\sqrt{9,81FE}}{\sqrt{IR}}, \quad (2)$$

где F – нормальная сила в контакте; $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{\text{вал}}} - \frac{1}{R_{\text{втулка}}}$ – приведенный радиус кривизны;

$R_{\text{вал}} = 0,5D_{\text{вал}}$; $R_{\text{втулка}} = 0,5D_{\text{втулка}}$ – радиусы вала и втулки, мм;

$E = \frac{2E_{\text{вал}}E_{\text{втулка}}}{E_{\text{вал}} + E_{\text{втулка}}}$ – приведенный модуль упругости, МПа;

l – длина линии контакта, мм.

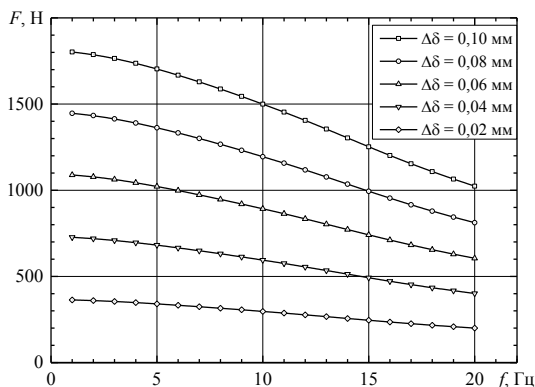


Рис. 3. Постоянная составляющая силы действующей на ротор по оси Y

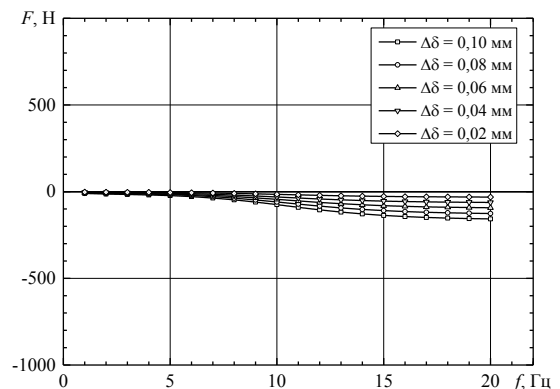


Рис. 4. Постоянная составляющая силы действующей на ротор по оси X

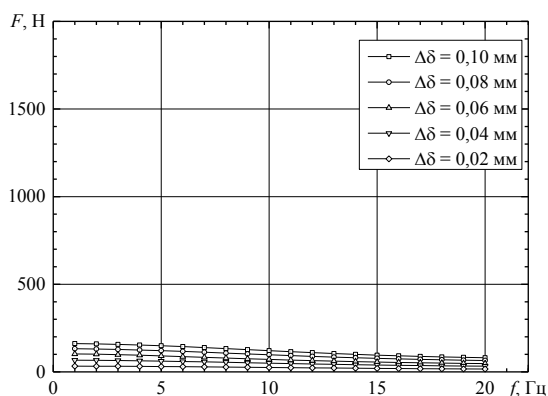


Рис. 5. Сила с удвоенной частотой токов ротора действующая на ротор по оси Y (амплитуда)

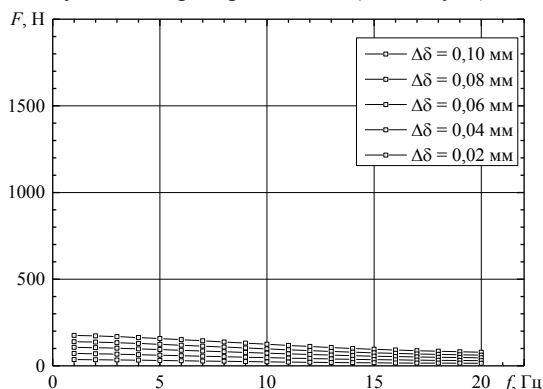


Рис. 7. Сила с удвоенной частотой токов ротора действующая на ротор по оси X (амплитуда)

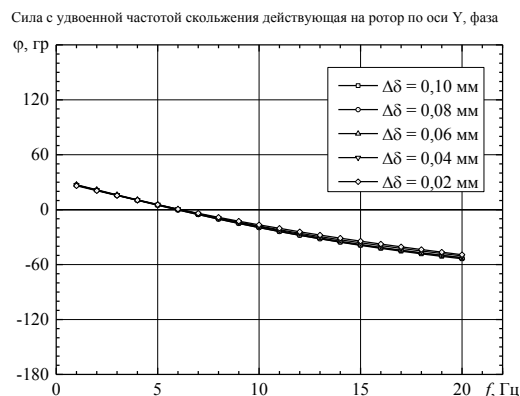


Рис. 6. Сила с удвоенной частотой токов ротора действующая на ротор по оси Y (фаза)

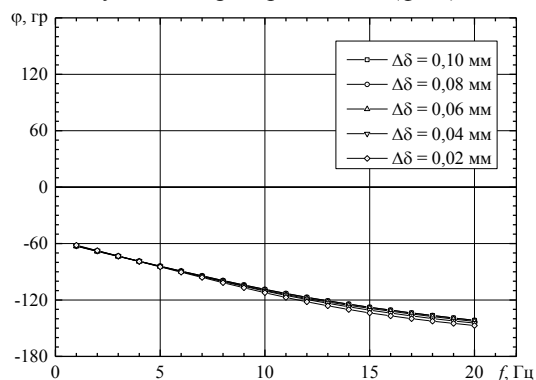


Рис. 8. Сила с удвоенной частотой токов ротора действующая на ротор по оси X (фаза)

Для принятого расчетного значения силы 1800 Н по формуле (2) было получено значение наибольшего контактного напряжения

$$\sigma_H = 5,67 \text{ МПа} .$$

Полученное значение намного меньше допустимого для применяемых материалов вала и втулки подшипника (300 МПа для силицированного графита марки СГ-Т). Поэтому при используемом в расчетах значении зазора между валом и втулкой подшипника не произойдет разрушения из-за действия сил электромагнитного происхождения.

Электромагнитная сила, прижимающая вал к втулке подшипника, создает дополнительное сопротивление за счет трения. Для оценки величины момента сопротивления от трения вала о втулку подшипника может быть использована формула:

$$M_{\text{тр}} = \mu FR_{\text{вал}} ,$$

где $\mu = 0,05$ – коэффициент трения материала СГ-Т по стали.

Определенное по этой формуле значение момента сопротивления при расчетном значении силы составляет величину 1,44 Н·м. Такое значение момента составляет величину порядка 10 % от номинального значения момента. Поскольку в рабочих режимах, при скольжении порядка 10–12 Гц и расчетной температуре ротора неравномерность зазора составляет величину около 0,04 мм, сила действующая на ротор будет в три раза ниже и, соответственно, так же уменьшится момент сопротивления от трения вала о втулку подшипника.

Для снижения сопротивления от трения необходимо точно выставлять положение вала высокооборотного ЭГ относительно оси вращения, для чего в конструкции подшипниковых узлов предусмотрены соответствующие элементы.

Ток статора при неравномерном воздушном зазоре имеет комбинационные гармоники с частотами, отстоящими от основной частоты тока на величину скольжения. Они могут фиксироваться по огибающей токов статора. Это свойство может быть использовано для оперативного контроля неравномерности воздушного зазора вызываемого неточностью установки вала или износом подшипников. **Выводы.**

1. В процессе работы высокооборотного ЭГ с подшипниками скольжения происходит нагрев вала и втулки. Для компенсации теплового расширения необходимо наличие зазора в холодном состоянии. Изменение геометрии воздушного зазора приводит к появлению несбалансированных сил электромагнитной природы действующих на ротор находящийся во вращающемся магнитном поле.
2. Для компенсации теплового расширения вала зазор между валом и втулкой подшипника для рассматриваемого высокооборотного ЭГ был принят равным 0,1 мм.
3. При неравномерном зазоре между статором и ротора возникает постоянно действующая сила, имеющая постоянные составляющую, направленную в сторону наименьшего зазора (притягивание ферромагнитного ротора) и перпендикулярная ей составляющая, возникающая в результате взаимодействия магнитного поля в зазоре и наводимых в роторе токов.
4. Основную составляющую сил, действующих на ротор при неравномерном зазоре, составляет постоянно действующая сила, направленная в сторону наименьшей величины зазора.
5. Составляющая силы ротора действующая в сторону наименьшего значения зазора увеличивается по мере увеличения неравномерности воздушного зазора пропорционально смещению ротора. С ростом частоты вращения эта сила уменьшается, что объясняется взаимодействием магнитного поля в зазоре ЭМ и поля создаваемого вихревыми токами, наводимыми в массивном роторе.
6. Момент сопротивления от трения вала о втулку подшипника возрастает при увеличении неравномерности воздушного зазора.
7. Для оперативного контроля неравномерности воздушного зазора целесообразно использовать анализ формы огибающей токов статора. Появление комбинационных гармоник в токе статоре будет свидетельствовать о наличии неравномерности зазора.

Работа выполнена в рамках Соглашения № 14. 604. 21. 0174 от 26 сентября 2017 года, тема «Разработка научно-технических решений для создания эффективного высокоскоростного генераторного оборудования для микро-ГТУ» по задаче Министерства образования и науки Российской Федерации, ФЦП «Разработка приоритетных направлений развития научно-технического комплекса России на 2014-2020 годы». Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проект) RFMEFI60417X0174.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Pavel Kolpakhchian, Alexey Shaikhiev, Alexander, Margarita Podbereznaaya, Irina Rusakevich. "The hi-speed electric generator for the gas-microturbine for using on the rolling stock. ". X International Scientific Conference TRANSPORT PROBLEMS - TP-2018. 2018, P. 359–368.
- 2 Силицированный графит [Электронный ресурс] URL: <http://niigrafit.ru/produktsiya/silitsirovannuyu-grafit.php> (Дата обращения 26. 12. 2018 г)
- 3 Иванов М. Н. : Детали машин: Учеб. для студентов втузов / Под. ред. В. А. Финогенова. – 6-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1998. – 383 с.
- 4 Finite Element Method Magnetic [Электронный ресурс] URL: <http://www.femm.info/wiki/HomePage> (дата обращения 26. 12. 2018 г.)
- 5 Новожилов А. Н. Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете // Электротехника. – 1994. – № 11. –С. 45–47.
- 6 Геллер Б. Высшие гармоники в асинхронных машинах / Б. Геллер, В. Гамата. Пер. с англ. под ред. З. Г. Каганова. – М. : Энергия, 1981. – 352 с.

УДК 621

НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕВОДА ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО

Е. Е. Коссов¹, В. В. Фурман², В. В. Асабин³, А. Г. Силюта¹, А. Н. Журавлев¹, Л. Е. Коссова¹

¹Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»
(АО «ВНИИЖТ»)

²ООО «ППП Дизельавтоматика»

³Самарский государственный университет путей сообщения (СамГУПС)

Для организации работы дизеля по газодизельному циклу для обеспечения пуска, работы на холостом ходу и при малых нагрузках предлагается сочетать два процесса: отключение цилиндров и дросселирование воздуха на входе в дизель. Оба способа регулирования работы дизеля применяются на практике и не требуют дополнительной проработки.

Ключевые слова: газовое топливо, газодизельный цикл, дросселирование воздуха, отключение цилиндров, электронная система регулирования двигателя.

To organize the work of the diesel engine on the gas-diesel cycle to ensure start-up and operation at idle and at low loads, it is proposed to combine two processes: turning off part of the cylinders and throttling the air at the inlet of the diesel. Both ways of regulating the operation of the diesel engine are used in practice and do not require additional study.

Keywords: gas fuel, gas-diesel cycle, air throttling, cylinder shutdown, electronic engine control system.

Введение. В настоящее время весьма актуальным является вопрос широкого применения природного газа в качестве моторного топлива [1]. В связи с тем, что опыт создания и применения тепловозов, работающих на газовом топливе с использованием газодизельного цикла оказался не совсем удачным, главным образом по степени замещения жидкого топлива газовым, предлагают рассмотреть решение о создании тепловозов с газопоршневыми двигателями. Такое решение имеет два недостатка: газопоршневые двигатели нельзя перевести на дизельное топливо; двигатели этого типа имеют худшие технические характеристики.

Оценка целесообразности перехода на газодизельный цикл при применении специальных форсунок.

Возникает вопрос: имеет ли право на существование и развитие газодизельный цикл? Можно ли осуществить газодизельный цикл на тепловозах с замещением дизельного топлива 85–90 %. Сегодня при применении газодизельного цикла на тепловозах величина замещения дизельного топлива газовым составляет 50–60 %.

На наш взгляд, такое положение возникло в связи с тем, что в технических требованиях на газодизельные двигатели существует требование мгновенного перехода на работу с газового на дизельное топливо и обратно. Это означает, что на дизеле применяются штатные форсунки, и они должны обеспечивать подачу запальной порции топлива в газодизельном цикле на всех режимах работы, что практически невыполнимо! Мы считаем, что переход с газового на жидкое топливо должен сопровождаться сменой форсунок. В этом случае при работе по газодизельному циклу можно обеспечить работу дизеля на всех режимах, включая пуск и работу на холостом ходу.

Оценка качественных изменений технических характеристик дизеля при применении специальных форсунок с уменьшенной подачей запального топлива.

Предполагается, что специальная форсунка будет обеспечивать минимальную подачу запального топлива (0.1–0.05 г для дизелей ПД4 или Д49) с факелом длиной 20–30 мм, с хорошим распылом на всех режимах работы, с продолжительностью подачи 5–6 градусов поворота коленчатого вала. В этом

случае существенно сократится процесс возгорания смеси воздуха с газом и характер сгорания существенно изменится. Сгорание будет протекать от сравнительно небольшой зоны воспламенения за счет перемещения фронта сгорания по камере сжатия. Устойчивое перемещение фронта сгорания будет происходить при обеспечении заданного стехиометрического состава смеси [2]. Фронт сгорания основной части смеси будет распространяться в камере сгорания со скоростью близкой к 2000 м/с, что может вызвать резкое повышение давления в камере сгорания. Чтобы этого избежать необходимо сдвинуть начало сгорания в верхнюю мертвую точку или чуть за нее, но так чтобы не вывести процесс сгорания на процесс расширения. Для этого требуется обеспечить очень высокую точность реализации заданной фазы подачи топлива и качество стехиометрического состава смеси.

Такая организация процесса сгорания позволит существенно уменьшить массу запальной порции топлива и обеспечить допустимый уровень максимального давления сгорания. Точность фазы (момента) подачи топлива может обеспечить электронная система управления впрыском топлива, например, (ЭСУВТ) производства ООО «ППП Дизельавтоматика», г. Саратов. Для обеспечения заданного стехиометрического состава смеси на всех режимах работы, включая запуск и холостой ход, существуют технические решения, опробированные на газопоршневых двигателях, использующих принудительное зажигание.

Обеспечение заданного стехиометрического соотношения.

Для решения этой задачи можно использовать исключение из работы некоторого числа цилиндров. Чаще всего отключают половину цилиндров.

Очевидно можно использовать и меньшее число работающих цилиндров.

Как изменяется коэффициент избытка воздуха при отключении цилиндров?

Например, при работе двигателя ПД4 на холостом ходу расходуется 7 кг топлива за час. При отключении трех цилиндров при 300 об/мин цикловая подача топлива составляет:

$$q_{ц} = \frac{B_t \cdot Z}{3600 \cdot \nu} = \frac{7 \cdot 1,5}{3600 \cdot 5} = 0,00026 \text{ кг/ц,}$$

где B_t – расход топлива, кг/ч; Z – число рабочих циклов на один оборот; ν – частота вращения коленчатого вала, 1/с.

При нормальных условиях можно приближенно принять, что масса воздуха в цилиндре в начале сжатия равна:

$$M_1 = \eta_v \cdot V_n \cdot \gamma = 0,9 \cdot 0,0262 \cdot 1,21 = 0,0285 \text{ кг,}$$

где η_v – Коэффициент наполнения, V_n – рабочий объем цилиндра, м³; γ – удельный вес воздуха, кг/м³.

Коэффициент избытка воздуха при работе на топливе будет:

$$\alpha = \frac{M_1}{L_0 \cdot q_{ц}} = \frac{0,0285}{14,3 \cdot 0,00026} = 7,7,$$

где L_0 – стехиометрическое соотношение для воздуха.

При работе на газовом топливе примем запальную порцию топлива 0. 1 от цикловой подачи при работе на топливе, то есть 0. 000026 кг/ц. Тогда цикловая подача газа будет составлять:

$$q_{цг} = \frac{H_{ут}}{H_r} \cdot (q_{ц} - q_3) = \frac{42700}{50000} \cdot (0,00026 - 0,000036) = 0,00019 \text{ кг/ц,}$$

где $H_{ут}$ и H_r теплотворные способности топлива и газа, соответственно.

$$\alpha = \frac{M_1}{L_0 \cdot (q_{цг} + q_3)} = \frac{0,0285}{18,5 \cdot 0,00026} = 7,1,$$

где $L_{0г}$ – стехиометрическое соотношение для газа.

Для устойчивого распространения фронта пламени коэффициент избытка воздуха не должен превышать 2 [2].

Возможность дальнейшего уменьшения числа работающих цилиндров для обеспечения устойчивого сгорания требует специального рассмотрения, поэтому для обеспечения работы дизеля на газу на холостом ходу необходимо изменять количество воздуха в цилиндрах в начале сжатия.

На газопршневых двигателях эта задача решается путем дросселирования воздуха на входе в двигатель. При зажигании от постороннего источника возможное при дросселировании снижение температуры воздуха не имеет значения.

Если регулировать подачу воздуха путем дросселирования на двигателе с газодизельным циклом, возникает вопрос о величине температуры смеси в конце сжатия, то есть вопрос устойчивого воспламенения запальной порции топлива. На наш взгляд, для дизелей, оборудованных системой охлаждения надувочного воздуха, этой проблемы нет.

Приведем пример расчета температуры в конце сжатия при уменьшении заряда воздуха путем дросселирования на входе в охладитель надувочного воздуха:

Для дизеля типа Д49 примем:

Наружные условия: температура воздуха $t_0 = -40^\circ\text{C}$ (233 К),

Давление $P_0 = 101,4$ КПа

За счет заслонки дросселируем давление в конце наполнения P_a до 50 КПа. Примем, что в поршне на линии наполнения совершается работа адиабатического расширения от давления P_0 до давления P_a . При снижении давления с 101,4 до 50 КПа при показателе адиабаты для воздуха 1,41 температура снизится в 0,817 раз.

При принятых начальных условиях, при отсутствии системы охлаждения надувочного воздуха, температура в начале сжатия составит $T_a = 0,817 \cdot (T_0 - 40) = 190\text{К}$.

При степени сжатия $\epsilon = 13$, температура в конце сжатия будет:

$$T_c = T_a \cdot (\epsilon)^{k-1} = 190 \cdot 13^{0,291} = 545\text{К} (272^\circ\text{C}), \text{ что недостаточно для устойчивого}$$

самовоспламенения топлива.

Если имеется система охлаждения, то положение резко меняется. После дроссельной заслонки, где температура не меняется, воздух проходит холодильник надувочного воздуха, и температура на входе в двигатель при коэффициенте эффективности охладителя $C_{\text{хл}} = 0,8$ и температуре охлаждающей жидкости $T_{\text{охл}} = 50^\circ\text{C}$ будет:

$$T_o = T_o - C_{\text{хл}} \cdot (T_o - T_{\text{охл}}) \text{ при } T_{\text{охл}} = 333\text{К}$$

$$T_o = 233 - 0,8 \cdot (233 - 333) = 313\text{К}$$

$$T_a = 313 \cdot 0,817 = 255\text{К}.$$

Температура в конце сжатия будет:

$$T_c = 732\text{К}.$$

При этой температуре самовоспламенение запального топлива гарантировано. Приведенная оценка температуры является приближенной, так как не учитывает процессы газообмена и перепуск выпускных газов в цилиндр в период продувки.

Таким образом, можно говорить о том, что при организации работы дизеля при газодизельном цикле для обеспечения пуска и работы на холостом ходу и при малых нагрузках потребуются сочетать оба процесса: отключение цилиндров и дросселирование воздуха на входе в дизель. Оба способа регулирования работы дизеля применяются на практике и не требуют дополнительной проработки. Конечно, требуется разработка системы управления и специальных алгоритмов, обеспечивающих требуемое стехиометрическое отношение при всех режимах работы

Создание специальных форсунок

Для реализации работы газодизельного цикла на всех режимах эксплуатации наибольшие проблемы нужно решить при создании специальных форсунок или распылителей. Прежде всего, необходимо сформулировать технические требования к таким форсункам (распылителям). По-видимому, такую задачу нельзя решить на основе имеющихся данных. Необходимо провести

моделирование процессов топливоподачи в части обеспечения впрыска запальной порции топлива на всех режимах работы, образования «факела» с достаточно плотным распылом вблизи распылителя, процессов газообмена и рабочего цикла для обеспечения устойчивого воспламенения.

По разработанным техническим требованиям нужно создать опытные образцы форсунок для отечественных тепловозных дизелей и провести их стендовые испытания и испытания на дизелях.

Система управления

Важнейшей задачей создания дизеля с газодизельным циклом и с высоким уровнем замещения топлива является разработка специальной электронной системы управления впрыском топлива с управлением подачей топлива и газа отдельно в каждый работающий цилиндр, управлением системой дросселирования для обеспечения заданных величин коэффициента избытка воздуха в зависимости от числа работающих цилиндров, частоты вращения коленчатого вала и нагрузки. Кроме того система должна включать в себя приборы и алгоритмы, обеспечивающие безопасность работы на газовом топливе. Основу такой системы будет составлять созданная ООО «ППП Дизельавтоматика» электронная система управления впрыском (ЭСУВТ) [3].

Размещение запаса газа

Одной из главных задач является задача размещения на тепловозе необходимого запаса газового топлива и системы подготовки газа к подаче в двигатель. Усилиями АО «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт подвижного состава» (ВНИКТИ) эта задача для маневровых и магистральных тепловозов при работе на сжиженном природном газе в основном решена. Потребуется лишь привязка разработанных и опробованных решений к конкретному тепловозу

Заключение

Задача перевода дизелей тепловозов является актуальной и требует незамедлительного решения. По высказанным соображениям было бы правильно при переводе тепловозов на газовое топливо использовать газодизельный цикл, предусматривая возможность перехода на работу с использованием дизельного топлива. Конечно, поставленные в статье вопросы не исчерпывают все проблемы, связанные с использованием газового топлива [4]. Мы не затрагивали проблемы создания инфраструктуры, организации ремонта, эксплуатации и ряда других. Нужно в первую очередь создать образцы работающих на газу тепловозов и провести их испытания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гапанович В. А. Внедрение газомоторных локомотивов в ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. – № 9. – 2017. – С. 35–38.
- 2 ГОСТ Р 56286-2014 Локомотивы маневровые, работающие на сжиженном природном газе. Общие технические требования (с Поправкой) ТК 45 «Железнодорожный транспорт», 2015.
- 3 Системы топливоподачи для газодизельных и газовых двигателей / Фурман В. В. [и др.] // Грузовик. – 2013. – № 4. – С. 38–45.
- 4 Фофанов Г. А., Григорович Д. Н., Нестрахов А. С. Альтернативные виды топлива на подвижном составе железнодорожного транспорта // Труды ОАО «ВНИИЖТ». М. : Интек, 2008. – 144 С.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕВОДУ ДИЗЕЛЕЙ НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ

А. В. Муратов, Д. С. Бардин

Самарский государственный университет путей сообщения

В статье рассматриваются проблемы и перспективы перевода тягового подвижного состава железных дорог на газомоторное топливо, описываются мероприятия, проводимые с целью перевода на газомоторное топливо.

Ключевые слова: газомоторное топливо, ресурсосбережение, сжиженный природный газ, проблемы перевода на газомоторное топливо, топливная экономичность.

The article deals with the problems and prospects of the transfer of traction rolling stock of Railways to gas-engine fuel, describes the activities carried out to transfer to gas-engine fuel.

Keywords: gas engine fuel, resource saving, liquefied natural gas, problems of conversion to gas engine fuel, fuel efficiency.

В связи с дефицитом и растущей стоимости природных ресурсов вопросы снижения потребления дизельного топлива являются одним из приоритетных направлений развития транспортной отрасли, это подтверждается целевыми программами РФ[1].

При выборе схем перевода дизелей на газообразное топливо необходимо учитывать специфический характер работы дизелей на транспорте: частое изменение нагрузки, быстроходность и компактность, особенности техники безопасности и санитарной техники и др. Основной задачей, которую необходимо решить при переводе дизелей на альтернативное топливо, является выбор способа смесеобразования и воспламенения топлива.

В дизелях добавки альтернативных видов топлива можно применять по принципу внешнего, смешанного или внутреннего смесеобразования [2, 3, 4].

На основании анализа существующих схем перевода дизелей на комбинированные виды топлива предлагается классификация систем топливоподачи дизелей, работающих на комбинированных видах топлива (рис. 1)



Рис. 1. Классификация систем топливоподачи дизелей, работающих на комбинированных видах топлива

Как видно из схемы принцип внутреннего смесеобразования реализуется при наибольшем количестве изменений в конструкции дизеля. Поэтому его целесообразно применять на дизелях большой мощности, например, судовых, тепловозных, где конструктивно возможно организовать подачу в цилиндры в конце процесса сжатия как нефтяного, так и природного газа.

Также возможна реализация по принципу внешнего смесеобразования. Для использования данного принципа отпадает необходимость внесения существенных изменений в топливные системы дизеля, а возникает необходимость использования смешивающего устройства – для смешивания топлива и воздуха до подачи в камеру сгорания.

Благодаря организации рабочего процесса с внутренним или внешним смесеобразованием на таких дизелях эффективный КПД достигает 55 %.

Для реализации данного принципа разработаны системы для подачи дизельного топлива и сжиженного, компримированного газа в цилиндры газодизеля и могут быть реализованы на эксплуатируемых и вновь создаваемых дизелях [5, 6, 7].

Рассмотрим предлагаемую систему, конструкция которой позволяет работать на газообразном топливе. В качестве запальной порции топлива предлагается газ с высоким цетановым числом – диметилэфир, а в качестве основного топлива газ с низким цетановым числом – метан [7].

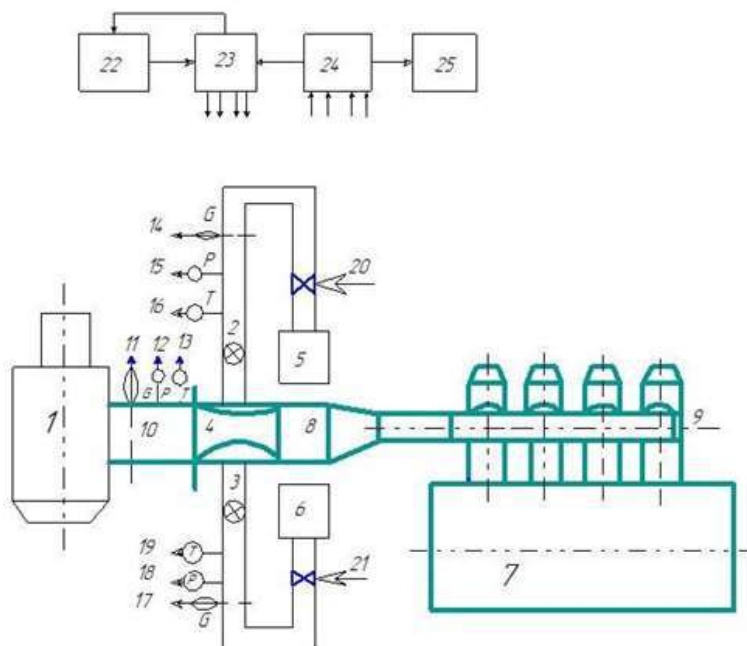


Рис. 2. Схема дизельного двигателя, работающего на газообразном топливе

Предлагаемый дизельный двигатель работает следующим образом.

От микроконтроллера 22 подается сигнал в блок управления 23, который подает команду на открытие запорного клапана 20 и устройства 2 для регулировки количества газообразных топлив, газ с высоким цетановым числом (например, диметилэфир) из баллона 5, проходя через дроссельный расходомер 14, поступает в смесительную камеру 8, происходит запуск дизельного двигателя 7 и его работа на холостом ходу. Для перехода на нагрузочные режимы работы, микроконтроллер 22, подает сигнал в блок управления 23, который подает команду на открытие запорного клапана 21 и устройства 3 для регулировки количества газообразных топлив, газ (метан) с низким цетановым числом из баллона 6, проходя через дроссельный расходомер 17, поступает в смесительную камеру 8, где достигается оптимальное цетановое число смеси газов, при этом очищенный в воздушном фильтре 1 воздух проходя по воздухопроводу 10, дроссельному расходомеру 11 попадает в смесительную камеру 8 через скруббер Вентури 4, что обеспечивает турбулизацию и хорошее перемешивание газов с воздухом в

смесительной камере 8 которая соединена с впускным трактом 9 на различных режимах работы дизельного двигателя 7.

Для регулирования режимов работы дизельного двигателя 7, от микроконтроллера 22 подаются команды в блок управления 23, а для диагностики и контроля параметров режимов работы сигналы от дроссельных расходомеров 11, 14, 17, датчиков давления 12, 15, 18 и датчиков температуры 13, 16, 19 поступают в блок измерения 24, который их обрабатывает и выдает на дисплейный модуль 25.

Предлагаемая схема дизельного двигателя позволяет: повысить точность управления дизельным двигателем на 2-5 %; повысить экологичность на 15-20 %, т. к. при работе на газообразном топливе снижается эмиссия оксидов азота на 5-7 % и на 7-12 % исключается эмиссия твердых частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Железнов Д. В., Ляшенко В. В., Муратов А. В. Проблемы и перспективы перевода тягового подвижного состава железных дорог на газомоторное топливо // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 1. – С. 16-20.
- 2 Эффективность применения водорода в двигателях внутреннего сгорания / Мишкин А. А., Муратов А. В., Носырев Д. Я. // Дни студенческой науки: сб. науч. тр. студентов и аспирантов. – Самара: СамГАПС, 2006 – С. 55-56.
- 3 Носырев Д. Я., Муратов А. В. Оценка влияния добавок пропана на выбросы вредных веществ дизеля маневрового тепловоза // Известия Самарского научного центра российской академии наук. Спец. выпуск «Перспективы и направления развития транспортной системы». – Самара: СЦ РАН, 2007. – С. 123–125.
- 4 Носырев Д. Я., Муратов А. В., Петухов С. А. Основные направления повышения эффективности использования тепловозов // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Ответственный редактор: И. И. Галиев. 2012. С. 287–291.
- 5 Носырев Д. Я., Муратов А. В. Система топливоподачи газодизеля с внутренним смесеобразованием: патент на полезную модель № 57832 Оpubл. 27. 10. 2006. Бюл. № 30.
- 6 Носырев Д. Я., Муратов А. В., Бочаров А. А. Топливоподающая система газодизеля с внутренним смесеобразованием: патент на полезную модель № 50258; опубл. 27. 12. 2005. Бюл. № 36.
- 7 Дизельный двигатель, работающий на газообразном топливе: патент на полезную модель № 191355 / Носырев Д. Я., Бардин Д. С., Муратов А. В., Балакин А. Ю.; опубл. 02. 08. 201. Бюл. №22.

УДК 629

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ГАЗОТУРБОВОЗОВ

Д. Я. Носырев, А. Ю. Балакин

Самарский государственный университет путей сообщения

Введение. Перспективы применения газотурбинных установок с использованием альтернативных топлив на железнодорожном транспорте, их преимущества и недостатки обсуждаются в печати [1, 2, 3]. Рассматриваются варианты применения компримированного природного газа и сжиженного природного газа. Главное преимущество сжиженного природного газа является высокая плотность, при сжижении объем газа уменьшается в 600 раз [3]. Применение

сжиженного природного газа в качестве моторного топлива для газотурбовозов позволяет значительно снизить выбросы вредных веществ в атмосферу.

Созданные магистральные газотурбовозы ГТ1h-001 мощностью 8 300 кВт и ГТ1h-002 мощностью 8 500 кВт [3] отличаются от магистральных тепловозов большой мощностью, большим запасом топлива, возможностью использования одного газотурбовоза для вождения тяжеловесных грузовых поездов.

Однако основным недостатком энергетических установок газотурбовозов является низкий КПД [2-5] по сравнению с тепловозными дизелями особенно на холостом ходу. Это связано с низкими значениями параметров термодинамического цикла.

Одним из направлений совершенствования энергетических установок газотурбовозов является рекуперация теплоты отработавших газов [6]. Во ВНИИЖТе был разработан проект маневрового газотурбовоза ГЭМ-1000, работающего на сжатом природном газе. В 2006 году был построен макетный образец на базе маневрового тепловоза ТЭМ2. В качестве силовой установки был выбран газотурбинный двигатель ГТД-1000 с тяговым генератором разработки ФГУП ММП «Салют». Газотурбинный двигатель ГТД-1000 имеет модульную конструкцию (рис. 1).

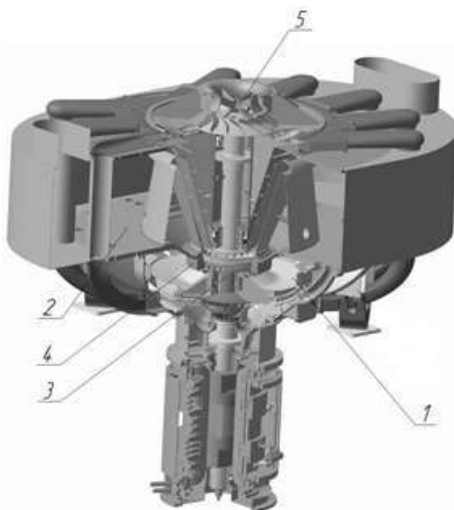


Рис. 1. Газотурбинный двигатель ГТД-1000.

1 – модуль камеры сгорания, 2 – модуль рекуператора, 3 – модуль ТКВД,
4 – статор турбины, 5 – модуль ТКНД

Рекуператор 2 – пластинчатый кольцевой, степень рекуперации 0,9, теплопередающая поверхность с горячей и холодной стороны имеет одинаковую площадь. Тяговый генератор располагается на валу каскада высокого давления. Частота вращения тягового генератора на частичных нагрузках изменяется вместе с изменением частоты вращения каскада высокого давления. Вырабатываемый ток высокочастотный и частота этого тока меняется во времени (в зависимости от режима работы). Для регулирования ГТД-1000 и управления локомотивом в целом в ООО «ППП Дизельавтоматика» была разработана электронная цифровая система автоматического управления САУГЭМ-10. Полезная электрическая мощность газотурбинного двигателя ГТД-1000 равна 1000 кВт, расчетный КПД достиг 40-42 %, что 1,5 раза выше базового газотурбинного двигателя без рекуперации.

Другими направлениями совершенствования энергетических установок газотурбовозов, работающих на сжиженном природном газе, являются использование хладоресурса топлива для конденсации паров воды из отработавших газов и охлаждения воздуха на входе в компрессор газотурбинной установки, а также рекуперация теплоты отработавших газов на испарение конденсата воды, с последующей подачей пара в смеситель камеры сгорания перед входом в турбину газотурбинной установки двигателя. Эти направления реализованы в парогазотурбинных установках, предназначенных для работы на метане и водороде, разработанных в СамГУПС [7, 8].

На рис. 2 приведена принципиальная схема парогазотурбинной установки работающей на сжиженном природном газе в которой хладоресурс сжиженного природного газа используется для конденсации паров воды из отработавших газов и охлаждения воздуха на входе в компрессор газотурбинной установки, а теплота отработавших газов используется для испарения конденсата воды, с последующей подачей пара в камеры смешения перед турбиной привода компрессора и свободной турбиной.

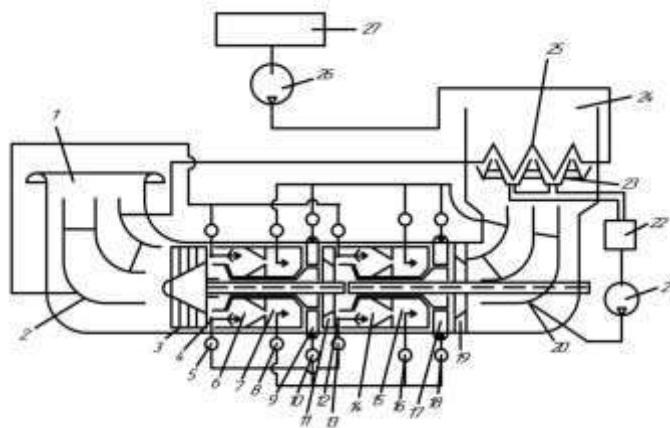


Рис. 2. Парогазотурбинная установка, работающая на сжиженном природном газе [8]:

1- входное устройство, 2 - теплообменник-пароперегреватель, 3 – компрессор, 4- топливный коллектор, 5 - регулятор подачи топлива, 6 - первая камера сгорания, 7 - первая камера смешения, 8 - регулятор подачи паров воды, 9 - сопловые лопатки, 10 - регулятор подачи паров воды, 11 - турбина привода компрессора, 12 - топливный коллектор, 13 - регулятор подачи топлива, 14 - вторая камера сгорания, 15 - вторая камера смешения, 16 - регулятор подачи воды, 17 - сопловые лопатки, 18 - регулятор подачи паров воды, 19 - свободная турбина, 20 - теплообменник-испаритель, 21 - насос высокого давления, 22 - источник рабочего тела, 23 - сборник конденсата паров воды, 24 - выходное устройство, 25 - теплообменник-конденсатор паров воды, 26 - топливный насос, 27 - источник легкокипящей жидкости

Расчетные значения КПД и удельной мощности парогазотурбинной установки размерности газотурбинного двигателя НК-361 приведены на рис. 3.

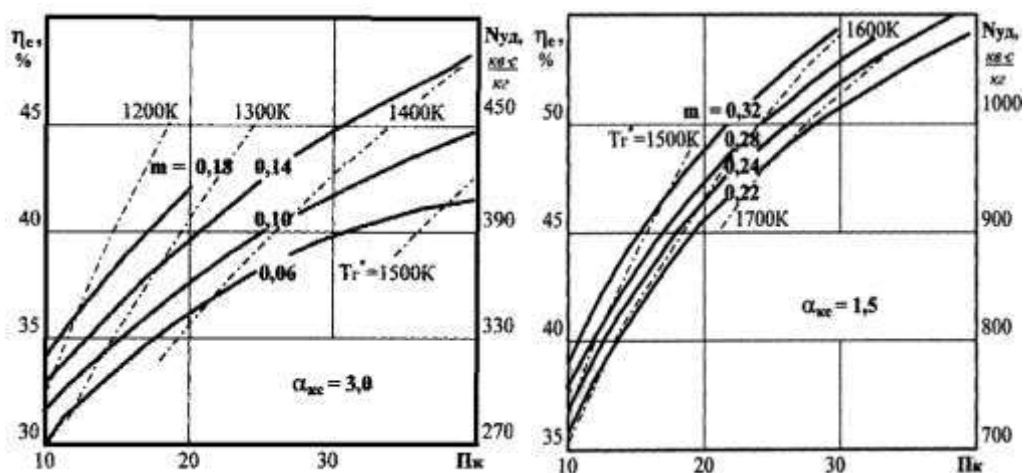


Рис. 3. Зависимости кпд и удельной мощности парогазотурбинной установки от степени сжатия Π_k и доли паров воды m при $\alpha_{acc}=3,0$ и при $\alpha_{acc}=1,5$

Заключение. Удельная мощность и КПД парогазотурбинной установки существенно увеличиваются при увеличении степени сжатия воздуха в компрессоре и доли паров воды

конденсируемых из отработавших газов а также при уменьшении коэффициента избытка воздуха в камерах сгорания. Удельная мощность и КПД парогазотурбинной установки в 2 раза газотурбинного двигателя НК-361 газотурбовоза ГТ1h-002.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Коссов Е. Е. Перспективы применения газотурбинных установок с использованием альтернативных топлив на железнодорожном транспорте // Конверсия в машиностроении. – 2001. – № 1.
- 2 Носырев Д. Я., Фишбейн Б. Д., Цибизов Ю. И. Разработка газотурбинного двигателя на сжиженном природном газе для локомотива // Актуальные проблемы развития транспортных систем Российской Федерации. Сборник научных трудов с международным участием. Часть 2. – Самара: СамГАПС, 2004. – С. 40-46.
- 3 Коссов В. С., Бабков Ю. В., Сазонов И. В. Локомотивы на сжиженном природном газе // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 9. – С. 34-39.
- 4 Газотурбовоз: патент РФ № 2 295 467 / Бондаренко Л. М., Воронков А. Г., Игначков С. М. [и др.]; опубл. 20. 03. 2007. Бюл. № 8.
- 5 Двухсекционный газотурбовоз: патент РФ № 2 352 484 / Бондаренко Л. М., Зашляпин Р. А., Игначков С. М. [и др.]; опубл. 20. 04. 2009. Бюл. № 11.
- 6 Коссов Е. Е. Маневровый газотурбовоз // Транспорт Российской Федерации. – 2007. – № 10. – С. 18–19.
- 7 Носырев Д. Я., Мутаев М. А. Парогазотурбинная установка: патент РФ №150 661; опубл. 20. 02. 2015.
- 8 Носырев Д. Я., Мутаев М. А. Парогазотурбинная установка: патент РФ №178 331; опубл. 30. 03. 2018. Бюл. № 10.

УДК 629. 421. 4, 629. 425

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОМОТОРНЫХ ЛОКОМОТИВАХ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОЛИГОНАХ ОАО «РЖД»

А. Г. Силюта¹, А. Н. Корнев², С. А. Шулешко², Г. И. Некрасов¹, А. Н. Журавлев²

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта»

²Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта»

Сокращение расхода топливно-энергетических ресурсов, направленного на устойчивое функционирование локомотивного комплекса, в том числе и на стадии проектирования участков железнодорожных линий, является актуальной задачей. На примере перспективного полигона эксплуатации Коротчаево-Надым-Обская проведена сравнительная оценка эффективности перехода на газодизельный цикл маневровых локомотивов, получены количественные оценки экономического эффекта.

Ключевые слова: на русском языке: тепловозы, технико-экономическая оценка, природный газ, дизельное топливо, газодизельный цикл.

Reducing the consumption of fuel and energy resources aimed at the sustainable operation of the locomotive complex, including at the design stage of railway lines, is an urgent task. For example, the prospective operation site

Korotchaevo-Nadym Ob comparative evaluation of the effectiveness of the transition cycle gas and diesel shunting locomotives, quantitative evaluation of economic effect.

Keywords: locomotives, technical and economic assessment, natural gas, diesel fuel, gas-diesel cycle.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных задач, стоящих перед железнодорожным транспортом Российской Федерации является формирование устойчивой инфраструктуры, обеспечивающей развитие Ямало-Ненецкого автономного округа, включая освоение полезных ископаемых, добываемых на севере Красноярского края, вблизи рек Оби и Надыма. По состоянию на 09. 07. 2019 г. железнодорожная линия Надым-Салехард-Обская отсутствует, ее строительство выполняется в соответствии с дорожной картой развития Северного широтного хода (далее СШХ), которая также предусматривает и реконструкцию уже существующих линий [1, 2]. В статье приведены результаты сравнительной оценки эффективности маневровых тепловозов, использующих в качестве моторного топлива дизельное топливо и природный газ.

1 АНАЛИЗ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Схема перспективной линии Коротчаево – Новый Уренгой – Надым – Салехард – Обская приведена на рисунке (схема составлена АО «Корпорация развития»).



Рис. Схема участка Коротчаево-Новый Уренгой-Надым-Салехард-Обская

Поскольку на действующем участке рассматриваемой железнодорожной линии эксплуатируются локомотивный парк частных компаний, то выбор базовых серий маневровых тепловозов для рассматриваемого участка проведен на основе анализ работы эксплуатируемого парка маневровых тепловозов на двух ближайших участках, прилегающих к рассматриваемому. Это участки Войновка – Коротчаево Свердловской железной дороги и Обская – Коноша Северной железной дороги.

Данные по эксплуатируемому парку маневровых тепловозов на станциях указанных участков приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Эксплуатируемый парк участка Войновка – Коротчаево

№	Станция	Количество эксплуатируемых маневровых тепловозов по сериям					
		ТЭМ18ДМ	ТЭМ7	ТЭМ7А	ТЭМ2	ТЭМ2К	ТЭМ2А
1	Войновка 1	5	1	7			
2	Туринский	2					
3	Сетево	1					
4	Тобольск	6					
5	Юность	1			3		
6	Демьянка	12			1	1	
7	Салым	2				1	
8	Куть-Ях	1			2	1	
9	Пыть-Ях	2			1		
10	Островной	2		1		1	
11	Сургут	12		4	4	2	1
12	Когалым	3					
13	Ноябрьск 1	7					
14	Пурпе	3					
15	Пуровск	3			1		
16	Сывдарма	2			1		
17	Коротчаево	1			1		
	Всего	65	1	12	14	6	1

Таблица 2

Эксплуатируемый парк участка Обская – Коноша

1	Станция	Серия		
		ЧМЭЗ	ЧМЭЗТ	ЧМЭЗЭ
1	Елецкая	4		
2	Сивая Маска	1	1	
3	Уса	1		
4	Инта 1	7	3	
5	Сыня	1		
6	Печора	11	1	1
7	Кожва	2		
8	Каджером	1		
9	Ираель	2		
10	Сосногорск	16	1	
11	Ветласян	6		
12	Ухта	2		
13	Чиньяворык	3		
14	Княжпогост	6		1
15	Микунь	5		
16	Межег	5		
17	Урдома	1		
18	Вилядь	1		
19	Лименда	2	1	
20	Котлас-Южный	4	2	1
21	Ядриха	1		
22	Ломоватка	1		
23	Кизема	3		1
24	Лойга	2		1

25	Костылево	3		
26	Кулой	1	1	1
27	Вага	1	1	
28	Вересово	2		
29	Коноша 1	11	1	
	Всего	106	12	6

На основе анализа условий и особенностей выполнения маневровой работы локомотивами, а также основных технических параметров маневровых тепловозов, эксплуатируемых на двух участках (Войновка – Коротчаево Свердловской железной дороги и Обская – Коноша Северной железной дороги), ближайших к рассматриваемому участку железной дороги СШХ Коротчаево – Новый Уренгой – Надым – Обская, выбраны следующие базовые серии локомотивов для выполнения маневровой работы:

- тепловоз ТЭМ18ДМ в штатной комплектации;
- тепловоз ТЭМ18ДМ, силовая установка которого реализует газодизельный цикл работы;
- тепловоз ТЭМ19 в штатной комплектации.

Технические характеристики дизелей локомотивов, использующих в качестве моторного топлива природный газ, приведены в таблице 3.

Таблица 3

Основные характеристики дизелей газодизельных локомотивов

№ п/п	Показатель	Значение	
1	Тип локомотива	ТЭМ18ДМ	ТЭМ19
2	Тип дизеля	1-ПД4Д (6ЧН31,8/33)	ГДГ800Г (8ГЧН 21/26)
3	Изготовитель дизеля	АО «Пензадизельмаш»	ОАО "Волжский дизель им. Маминых"
4	Цикл работы дизеля	газодизельный	газопоршневой
5	Полная мощность дизеля, кВт (л. с.) при нормальных атмосферных условиях (температура наружного воздуха, 20 °С, атмосферное давление, 760 мм рт. ст. и относительная влажность 70 %):	882 (1200)	851(1157)
6	Номинальная частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	750	1000
7	Минимально устойчивая частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	270	600

Информация о планируемых величинах и характере грузопотоков на исследуемом полигоне принята на основании прогноза АО «Институт экономики и развития транспорта» на перспективу до 2030 г.

2. РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ И ТЕХНИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЛОКОМОТИВОВ

Стоимостная оценка экономического эффекта эксплуатации газомоторных локомотивов выполнена на основе соизмерения затрат и полученных результатов. В качестве затрат рассмотрены стоимостные показатели различных вариантов локомотивов, использующих в качестве моторного топлива сжиженный природный газ, дизельное топливо и работающих по газодизельному циклу, в

качестве результатов – экономия расходов на топливо, техническое обслуживание и текущие ремонты, обеспечиваемая применением газопоршневого локомотива в сравнении с эксплуатацией тепловозов на дизельном топливе и по газодизельному циклу [3-7].

Стоимостные показатели локомотивов приняты на основании данных, представленных заводами-изготовителями локомотивов, а также путем экспертной оценки по укрупненным группам оборудования. Оценка затрат топлива на выполнение маневровой работы выполнена путем проведения сравнительных тяговых расчетов с использованием эксплуатационной модели маневрового локомотива, разработанной в АО «ВНИИЖТ». Результаты расчета финансовых затрат в относительных величинах на топливо (дизельное и сжиженный природный газ), необходимое для выполнения установленных объемов работы на каждой станции, а также затрат на техническое обслуживание и ремонты для трёх вариантов локомотивов (ТЭМ19ДМ, газодизельный ТЭМ18ДМ и ТЭМ19) представлены в таблице 4.

Таблица 4

Величины среднегодовых затрат на топливо и ремонт из расчета на 1 локомотив

Вид затрат	Затраты, тыс. руб.		
	ТЭМ18ДМ	ТЭМ18ДМ (газодизель)	ТЭМ19
Средние годовые затраты на топливо	1,00	0,77	0,62
Экономия затрат на топливо по сравнению с ТЭМ18ДМ	-	0,23	0,38
Среднегодовые прямые (без дисконтирования) затраты на ремонт 1 локомотива	1,00	0,95	0,75
Экономия затрат на ремонты по сравнению с ТЭМ18ДМ	-	0,05	0,25
Общие среднегодовые затраты	1,00	0,87	0,69
Экономия общих затрат по сравнению с ТЭМ18ДМ	-	0,13	0,31

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Техничко-экономическая оценка эксплуатации газомоторных локомотивов выполнена в соответствии с действующими в ОАО «РЖД» методическими рекомендациями и по нормативам, установленным в ОАО «РЖД».
2. Применение газопоршневого локомотива ТЭМ19, использующего в качестве моторного топлива СПГ, обеспечивает экономию общих среднегодовых затрат на топливо, обслуживание и ремонт в размерах:
 - 13 % по сравнению с базовым тепловозом ТЭМ18ДМ;
 - 31 % – по сравнению с тепловозом ТЭМ18ДМ, работающем по газодизельному циклу.
3. Полученные результаты технико-экономической оценки эксплуатации маневровых локомотивов, использующих в качестве моторного топлива природный газ, на участке Коротчаево – Новый Уренгой – Надым – Обская, будут использованы для определения оптимального варианта тягового обеспечения СШХ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р.

- 2 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 года № 877-р.
- 3 Типовые требования к составлению технико-экономического обоснования, утвержденные Департаментом технической политики ОАО «РЖД» от 08. 12. 2006 г.
- 4 Методика расчета и подтверждения экономического эффекта от использования результатов научно-технических работ в деятельности ОАО «РЖД», утвержденная Распоряжением ОАО «РЖД» от 30. 12. 2008 г. № 2886 р.
- 5 Методика определения стоимости жизненного цикла и лимитной цены подвижного состава и сложных технических систем железнодорожного транспорта», утвержденная Распоряжением ОАО «РЖД» от 27. 12. 2007 г. № 2459 р.
- 6 Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте, утвержденные Указанием МПС РФ от 31. 08. 1998 г. № В-1024у.
- 7 Методические рекомендации по обоснованию эффективности инноваций на железнодорожном транспорте», утвержденные Департаментом технической политики МПС РФ от 26. 04. 1999 г. № ЦТехО-11 (в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 03. 04. 2017 г. № 558).

УДК 656. 34

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА НА ТРАНСПОРТЕ

Т. В. Щербицкая, С. Г. Фролов, В. В. Иванов, С. Т. Калиева

Самарский государственный университет путей сообщения

Статья посвящена рассмотрению ряда вопросов, связанных с проблемами применения газомоторного топлива на железнодорожном транспорте, решение которых позволит увеличить эффективность перехода с традиционного вида топлива.

Ключевые слова: газомоторное топливо, природный газ, сжиженный природный газ, газотепловоз, газотурбовоз.

The article is devoted to the consideration of a number of issues related to the problems of the use of NGV fuel in railway transport, the solution of which will increase the efficiency of the transition from the traditional type of fuel.

Keywords: gas engine fuel, natural gas, liquefied natural gas, gas and diesel locomotive, gas turbine.

На сегодняшний день большую актуальность и масштабность приняли проблемы, связанные с внедрением газомоторного топлива на железнодорожный транспорт. Истощение нефтяных источников и ежегодное увеличение потребления моторного масла (бензина, дизеля) неотъемлемо приводит к увеличению его стоимости. В связи с этим возникает необходимость использования альтернативных видов энергоресурсов (топлива).

Применимо к железнодорожному транспорту, перевод подвижного состава на природный газ является главным аспектом, который представляет стабильное развитие энергетики и экологической безопасности. В свою очередь, для этого необходимо изучение лучшего опыта из-за рубежа и применение первоочередных мероприятий, направленных на стабильное и успешное развитие отрасли в условиях России.

Несмотря на значительные залежи природных ресурсов, Россия в настоящее время, находится не в числе первых стран, использующих газ в качестве моторного топлива.

Постановление правительства РФ № 767-р от 13 мая 2013 года «О расширении использования природного газа в качестве моторного топлива» дало мощный толчок в развитие значительной части подвижного состава общественного транспорта, коммунальной и сельскохозяйственной техники. ОАО «РЖД» и ОАО «Газпром» пришли к соглашению о сотрудничестве в области применения газомоторного топлива на железнодорожном транспорте [1].

Эксперименты показали, что применение альтернативного топлива существенно снизит вредные выбросы в атмосферу, более чем в 5 раз по сравнению с дизельным топливом.

К 2030 году РЖД планирует заменить сжиженным природным газом 30 % топлива, потребляемого подвижным составом. Планы железнодорожной отрасли соответствуют заявленной линии государства в отношении газового топлива.

Перевод тепловозной тяги на газ позволит значительно уменьшить потребность в дизельных видах топлива и обеспечит быстрое развитие соответствующей инфраструктуры, в частности, на неэлектрофицированных участках железных дорог [2].

Одна из причин задержки в газификации транспорта состоит в том, что существует несколько видов газомоторного топлива:

- сжиженный нефтяной газ (СНГ);
- компримированный (сжатый) природный газ (КПГ);
- сжиженный природный газ (СПГ).

Наиболее перспективные из них – это природный газ (метан) и углеводородные газы (пропан-бутановые смеси), т. к. на территории нашей страны сосредоточена без малого треть мировых запасов углеводородного сырья. В настоящий момент, компримированный природный газ (КПГ) и сжиженный углеводородный газ (СУГ) являются наиболее подготовленными видами топлива для использования в двигателях внутреннего сгорания в отечественных реалиях. За рубежом активно применяется сжиженный природный газ (СПГ). Использование этого вида топлива в перспективе будет расширяться и в России.

Использование КПГ и СУГ в качестве альтернативного вида топлива обусловлено тем, что они имеют ряд существенных преимуществ:

Уменьшаются вредные выбросы в выхлопных газах. Отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на транспорте, использующем газомоторное топливо, в несколько раз менее вредны, чем выхлопы ДВС, работающих на нефтяном топливе. В содержании СУГ в 2-3 раза меньше оксида углерода, и в 1,2 раза меньше – окиси азота, в 1,9 раза меньше – углеводородов. Также они ниже по температуре и не содержат соединения серы. Наиболее экологически чистыми видами альтернативного топлива являются КРГ и СПГ, т. к. выбросы вредных веществ в десятки раз меньше, чем у нефтяных топлив. Наряду с этим, при использовании газомоторного топлива происходит сокращение выбросов парниковых газов транспортом на более чем 25 %.

• **Уменьшение затрат на закупку моторного топлива.** Стоимость СУГ в сравнении с дизельным топливом ниже на 35-50 %, а стоимость КПГ – ниже на 55-70 %.

• **Безопасность.** Газ значительно легче воздуха, поэтому при утечке – тут же улетучивается, что эффективно снижает риск возгорания. Также отметим, что температура самовоспламенения и предел взрываемости значительно выше, чем у дизельного топлива, который в случае утечки скапливается и образует взрывоопасную смесь с воздухом.

• **Положительный опыт использования газомоторного топлива.** Нароботан многолетний положительный опыт применения газомоторного топлива во многих транспортных отраслях. В России впервые разрабатываются и вводят в производство газотурбовозы, работающие на сжиженном природном газе, которые существенно снижают потребление энергии на железных дорогах [3].

Природный газ не образует отложений в топливной системе, не смывает масляную пленку со стенок цилиндров, тем самым снижая трение и уменьшая износ двигателя. При сгорании природного газа не образуется твердых частиц и золя, вызывающих повышенный износ цилиндров и поршней двигателя.

Цели программы по применению газомоторного топлива на транспорте:

- внедрить газомоторного топлива на железнодорожном транспорте для улучшения экономической составляющей перевозок и уменьшения вредного воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду;
- создать и разработать условия для использования СПГ в качестве моторного топлива на тяговом подвижном составе железнодорожного транспорта;
- развивать и увеличивать парк газотурбовозов и газотепловозов, также инфраструктуры по техническому обслуживанию и ремонту тягового подвижного состава, работающего на сжиженном природном газе;
- создать отделения по производству сжиженного природного газа для газотурбовозов и газотепловозов;
- увеличить исследования по разработке и производству локомотивов, использующих природный газ в качестве моторного топлива;
- увеличить количество экипировочных пунктов сжиженного природного газа на сети железных дорог.

Таким образом, не рассматривая вопросов надежности и долговечности, проведение исследований по добавке к дизельному топливу природного газа показали, что использование добавок в дизелях тягового автономного подвижного состава принципиально возможно, с точки зрения, достижения снижения удельного эффективного расхода топлива и снижения отрицательного воздействия тепловозов на окружающую среду. Так же использование природного газа в качестве моторного топлива позволяет увеличить срок службы двигателя в 1,5 – 2 раза [4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Постановление правительства РФ № 767-р от 13 мая 2013 года «О расширении использования природного газа в качестве моторного топлива» дало мощный толчок в развитие значительной части подвижного состава общественного транспорта, коммунальной и сельскохозяйственной техники.
- 2 Транспорт на газомоторном топливе. – URL: www.gassuf.ru
- 3 Инновационные энергосберегающие технологии в локомотивном хозяйстве: монография / Ю. Е. Просви́ров, Д. Я. Носы́рев, А. В. Мура́тов, С. А. Петухов. – Самара : СамГУПС, 2012. – 123 с.
- 4 Носы́рев Д. Я., Росляков А. Д., Мура́тов А. В. Перспективы и проблемы применения альтернативных видов топлива в локомотивных энергетических установках : монография. – Самара : СамГУПС, 2009. – 117 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Авсиевич А. В., Авсиевич В. В. АЛГОРИТМЫ ДРОБНОГО ПИД-УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВКАХ НА ГАЗОМОТОРНОМ ТОПЛИВЕ	2-7
Адер А. В., Рогозин М. В. ФАКТОРНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА В РОССИИ И СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА	7-9
Богославский А. Е., Мартынюк И. В., Олешко С. Б., Павленко Н. И., Флегонтов Н. С., Юрченко С. А. ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРИОГЕННЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ГАЗОТЕПЛОВОЗОВ	10-14
Буйносов А. П., Лаптев С. И. ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГАЗОТУРБОВОЗОВ НА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ ПОЛИГОНЕ РОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	14-18
Григорьева Д. Б., Носырев Д. Я. ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ	19-21
Носырев Д. Я., Кабанов П. А., Новикова В. Н. АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУГООБРАЗНОГО СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ЛОКОМОТИВОВ.....	21-24
Колпахчян П. Г., Подберезная М. С., Шайхиев А. Р., Ощепков А. С. ВЛИЯНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЗАЗОРА МЕЖДУ МАГНИТОПРОВОДАМИ СТАТОРА И РОТОРА НА ВЕЛИЧИНУ РАДИАЛЬНЫХ УСИЛИЙ В ВЫСОКОБОРОТНОМ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРЕ ДЛЯ ГАЗОВОЙ МИКРО-ТУРБИНЫ.....	24-29
Коссов Е. Е., Фурман В. В., Асабин В. В., Силота А. Г., Журавлев А. Н., Коссова Л. Е. НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕВОДА ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ГАЗОМОТОРНОЕ ТОПЛИВО.....	30-33
Муратов А. В., Бардин Д. С. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПЕРЕВОДУ ДИЗЕЛЕЙ НА ПРИРОДНЫЙ ГАЗ.....	34-36
Носырев Д. Я., Балакин А. Ю. ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ГАЗОТУРБОВОЗОВ	39-39
Силота А. Г., Корнев А. Н., Шулешко С. А., Некрасов Г. И., Журавлев А. Н. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОМОТОРНЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПОЛИГОНАХ ОАО «РЖД»	39-44
Щербицкая Т. В., Фролов С. Г., Иванов В. В., Калиева С. Т. НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГАЗОМОТОРНОГО ТОПЛИВА НА ТРАНСПОРТЕ	44-46

Научное издание