

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПУСКА ДИЗЕЛЯ

А.А. Козлов

Омский автобронетанковый инженерный институт,
г. Омск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящается исследованию процесса пуска дизелей типа В-2 в условиях низких температур, а именно влиянию температуры свежего заряда на пусковые характеристики дизелей. Актуальность работы обусловлена тем, что большая часть территории РФ находится в климатических поясах с преобладанием низких температур окружающего воздуха, и, как следствие, в экстремальных условиях эксплуатации. Несмотря на то что в научной литературе большое внимание уделяется исследованиям в данной области, этот вопрос недостаточно изучен.

Система противоречий заключается в поиске рациональных значений температуры свежего заряда в начале такта сжатия, повышение которых приведет к уменьшению массы кислорода, а понижение – к недостаточной температуре в конце такта сжатия, что, в свою очередь, не обеспечит воспламенение. Целью исследования является обоснование рациональных значений температуры свежего заряда и дальнейшая практическая реализация данных значений на современных объектах бронетанкового вооружения.

Материалы и методы. В основу исследования положено уравнение регрессионного анализа, также используются стандартные расчетно-теоретические и экспериментальные методы, основанные на известных и широко апробированных зависимостях теории поршневых ДВС, газовой динамики и термодинамики, которые были уточнены с учетом особенностей пуска дизеля.

Результаты. В данном исследовании были определены рациональные значения температуры свежего заряда; проведен анализ средств предпусковой подготовки и облегчения пуска дизелей типа В-2; предложен способ повышения и дальнейшей стабилизации температуры впускного заряда на современных объектах бронетанкового вооружения.

Обсуждение и заключение. В результате исследования были подтверждены рациональные значения температуры свежего заряда, при использовании которых дизель обладает наилучшими пусковыми характеристиками. Предложено техническое решение для реализации данных значений за счет использования вихревого индукционного подогревателя.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, воздушный заряд, впускной коллектор, воспламенение, средства облегчения пуска, вихревой индукционный подогрев.

© А.А. Козлов



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

INCREASING EFFICIENCY OF THE DIESEL ENGINE STARTING

A.A. Kozlov

Omsk Tank-Automotive Engineering Institute,
Russia, Omsk

ABSTRACT

Introduction. The paper is devoted to the investigation of the D-type diesel engines' start-up of the B-2 type under low temperatures, especially to the influence of the fresh charge temperature on the starting characteristics of the diesel engines. The Russian Federation is located in climatic zones with predominance of low ambient air temperatures and under extreme conditions. However, such situation is not adequately studied in scientific literature.

The main problem is in the search for rational values of the temperature of the fresh charge at the beginning of the compression stroke. The increase of such temperature leads to the decrease in the oxygen mass, and to the decrease to an insufficient temperature at the end of the compression stroke and, as a result, it would not provide ignition. Therefore, the aim of the research is to substantiate the rational values of the fresh charge temperature and further practical implementation of these values at modern BTWT facilities.

Materials and methods. The author uses standard theoretical and theoretical methods based on widely approved dependences of the piston internal combustion engines' theory, gas dynamics and thermodynamics, which have been refined taking into account the features of the diesel engine start.

Results. As a result, the author determines rational values of the fresh charge temperature, makes the analysis of the pre-launch preparation and facilitating of the D-type diesel engines' start-up and demonstrates the method of increasing and further stabilizing of the temperature of the inlet charge at modern BTWT facilities.

Discussion and conclusion. The research confirms the rational values of the fresh charge temperature, by using of which the diesel has the best starting characteristics. The author also proposes a technical solution for values' realization by using a vortex induction heater.

KEYWORDS: diesel, air charge, intake manifold, ignition, starting means, vortex induction heating.

© A.A. Kozlov



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем при эксплуатации дизелей остается обеспечение пусковых характеристик двигателей при низких температурах окружающей среды. Она решается применением различных способов и средств облегчения пуска, в том числе путём повышения температуры свежего заряда. Основная идея исследования заключается в поиске рациональных значений температуры свежего заряда в начале такта сжатия, повышение которых приведет к уменьшению массы кислорода, а понижение – к недостаточной температуре в конце такта сжатия, что, в свою очередь, не обеспечит воспламенение. В качестве дальнейшей реализации данных исследований предложена модель устройства вихревого индукционного подогревателя воздушного заряда, основанная на идее автоматизированного подогрева воздушного заряда в впускном коллекторе и последующего поддержания заданной температуры за счет вихревого индукционного подогревателя. Решению данной проблемы предшествовали теоретические аспекты процесса пуска в условиях отрицательных температур, обзор средств предпусковой подготовки и облегчения пуска дизелей типа В-2.

В научной литературе большое внимание уделяется исследованиям вопросов пуска поршневых двигателей внутреннего сгорания в условиях отрицательных температур. Целевые программы в области развития Арктических регионов накладывают повышенную ответственность по тематике данного исследования.

Обеспечение надежного пуска двигателей внутреннего сгорания в условиях отрицательных температур является актуальной проблемой современного транспортного комплекса.

Проблеме пуска дизелей при их эксплуатации в районах с морозным климатом, где большую часть времени преобладают отрицательные температуры воздуха, уделяется особое внимание [1,2]. В таких условиях пуск дизелей значительно осложняется. Без средств облегчения пуска дизельные двигатели с трудом запускаются даже при температурах 0...+5 °С [3, 4].

Изучением пусковых процессов двигателей занималось множество известных учёных как

в нашей стране, так и за рубежом. Среди отечественных исследователей можно выделить работы Л.А. Николаева [5], В.Г. Камалтдинова [6], В.Л. Купершмидта [7], А.Е. Попова¹, К.В. Роднова², А.А. Смолина³ и других. Среди зарубежных – Henien N. [8], Mitchell K. [9], Park J.K. [10], Shayler P.J. [11]. В указанных работах исследованы процессы предпусковой подготовки и облегчения пуска дизелей, которые могут быть применены для решения частных задач, таких как:

анализ процессов в отдельных системах и механизмах двигателя;

выбор средств предпусковой подготовки и облегчения пуска;

применение оригинальных технических решений для обеспечения пуска и др.

Указанные работы содержат фундаментальные основы теории рабочих процессов поршневых двигателей и не могут в чистом виде быть применены для решения задач настоящего исследования, так как разработанные в них методы математического моделирования предназначены для расчета нормальных режимов и не учитывают особенностей режимов предпусковой подготовки и пуска:

- низкая либо равная нулю частота вращения коленчатого вала;

- нестабильные значения температур стенок камеры сгорания, температур и скорости движения газов, охлаждающей жидкости и масла;

- плохая испаряемость топлива, наличие в рабочем теле при работе подогревателя воздуха на впуске продуктов сгорания.

Проблемы теоретического плана, возникающие при решении задачи обеспечения надежного пуска дизелей объектов бронетанкового вооружения в условиях низких температур, заключаются в противоречии между необходимой потребностью математического описания процессов в системах воздухообеспечения дизеля и отсутствием комплексного подхода, учитывающего возможность расчета теплового состояния двигателя при предпусковом подогреве, элементов систем подогрева воздуха на впуске с учетом воздушного пуска, а также влияния начального положения коленчатого вала на динамику нагрева газов в камере сгорания.

¹ Попов А.Е. Эффективность использования теплоты в дизеле на режимах пуска при низких температурах окружающей среды и меры по её повышению: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Попов Александр Евгеньевич. Челябинск, 2012. 188 с.

² Роднов К.В. Улучшение пусковых характеристик дизелей специального назначения использованием масловпрыска: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Роднов Константин Валерьевич. Челябинск, 2009. 119 с.

³ Смолин А.А. Обеспечения надежного пуска двигателей при низких температурах // Материалы 8-й Международной научно – практической конференции «Перспективные вопросы мировой науки» Т. 39. София, 2012. С.70–74.

Достоверная экспериментальная оценка процесса пуска затруднена из-за необходимости применения дорогостоящего оборудования для поддержания стабильной низкой температуры окружающего воздуха, фиксирования быстроизменяющихся параметров температуры и давления, отсутствия методики пусковых испытаний, учитывающих особенности конструкции технического решения.

Несмотря на большое количество работ по исследованию и улучшению пусковых качеств двигателей проблема пуска полностью не разрешена.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основу исследования положено уравнение на основании регрессионного анализа экспериментальных данных В.В. Шишкова, также используются стандартные расчетно-теоретические и экспериментальные методы, основанные на известных и широко апробированных зависимостях теории поршневых ДВС, газовой динамики и термодинамики, которые были уточнены с учетом особенностей пуска дизеля.

Уравнение В.В. Шишкова имеет вид⁴:

$$\ln(T_{\text{вос}}) = \frac{1}{20,27} \cdot (139,1 - 3,01 \cdot \ln(T_T) + 1,908 \cdot \ln(n) - \ln(\tau_n)), \quad (1)$$

где $T_{\text{вос}}$ – температура воспламенения топлива, К;

T_T – температура топлива, К;

n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹;

τ_n – продолжительность пуска, с.

Считается, что пуск дизеля происходит, если температура сжатия превысит температуру воспламенения топлива. Преобразовав выражение (1), приравняв температуру в конце такта и температуру воспламенения топлива, получаем следующую зависимость:

$$\ln(\tau_n) = 139,1 - 3,01 \cdot \ln(T_T) + 1,908 \cdot \ln(n) - 20,27 \cdot \ln(T_c). \quad (2)$$

Из выражения (2) выводим продолжительность пуска:

$$\tau_n = e^{139,1 - 3,01 \cdot \ln(T_T) + 1,908 \cdot \ln(n) - 20,27 \cdot \ln(T_c)}. \quad (3)$$

Температура в конце такта сжатия в простейшей форме представлена следующей зависимостью⁵:

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon_{\delta}^{m_1 - 1}, \quad (4)$$

где T_a – температура воздушного заряда в начале такта сжатия, К;

T_c – температура воздушного заряда в конце такта сжатия без учета теплопередачи с поверхностью КС, К;

m_1 – показатель политропы сжатия;

ε_{δ} – действительная степень сжатия.

Учитывая снижение температуры заряда вследствие теплопередачи рабочего тела с поверхностью камеры сгорания ΔT_{mKC} , выражение (4) примет вид

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon_{\delta}^{m_1 - 1} - \Delta T_{mKC}. \quad (5)$$

При этом определяем коэффициент теплопередачи, используя зависимости термодинамики:

⁴ Шишков В.В. Улучшение показателей рабочего цикла дизеля при пуске подогревом впускного заряда: дис. канд. техн. наук: 05.04.02 / Шишков Виктор Владимирович. Челябинск, 2000. 158 с.

⁵ Козлов А.А., Гранкин М.Г., Иванов В.В. Преимущества адаптивной системы подогрева воздуха при пуске дизеля в условиях низких температур // XII Международная научно-практическая конференция «Достижения высшей школы 2016» (17-25 ноября 2016 года), г. София, Болгария: изд-во «Бял ГРАД-БГ» ООД, том 12. С. 14 – 18.

$$\alpha = 4,18 \cdot a \cdot \sqrt[3]{p^2 \cdot T} \cdot (1 + b \cdot C_n), \quad (6)$$

где C_n – средняя скорость поршня, м/с;

F_x – текущее давление заряда, Па;

T_x – текущая температура заряда, К;

показатели $a = 0,99$; $b = 0,185$.

n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Выражаем понижение температуры воздушного заряда за счет теплопередачи с поверхностью КС имеет вид

$$\Delta T_{mKC} = \frac{4,18 \cdot a \cdot \sqrt[3]{p^2 \cdot T} \cdot \left(1 + b \cdot \frac{S \cdot n}{30}\right) \cdot F_x \cdot (T_x - T_{cm}) \cdot \tau}{\mu_x \cdot \mu \cdot c_p}. \quad (7)$$

Действительная степень сжатия имеет зависимость

$$\varepsilon_\partial = \varepsilon_\Gamma \cdot \xi \cdot (1 - \psi) + \psi, \quad (8)$$

где ψ – коэффициент потерянного объема;

ξ – коэффициент утечек заряда через поршневые кольца;

ε_{∂} – геометрическая степень сжатия.

Величина коэффициента утечек заряда через поршневые кольца ξ зависит от многих факторов. Основными являются скорость и неравномерность прокручивания коленчатого вала, степень сжатия, тепловое состояние цилиндропоршневой группы и время между прокрутками. К концу сжатия скорость прокручивания коленчатого вала снижается до минимума и может быть намного меньше средней.

$$\xi = \frac{n^{0,32}}{\varepsilon_\Gamma^{0,65}}. \quad (9)$$

$$\psi = \frac{\Delta V_h}{V_h}, \quad (10)$$

где ΔV_h – объем утечек заряда вследствие запаздывания закрытия впускного клапана, м³;

V_h – рабочий объем цилиндра, м³.

Более точной зависимостью для определения утечки заряда через поршневые кольца является формула К. Энглиша [12], откуда:

$$\xi = \frac{\Delta V_\kappa}{V_h} = 0,005 \cdot \frac{D^{1,5} \cdot f \cdot p_x}{\sqrt[3]{i} \cdot n \cdot V_h}, \quad (11)$$

где ΔV_κ – объем утечек заряда вследствие запаздывания закрытия впускного клапана, м³;

D – диаметр цилиндра двигателя, м;

p_x – расчетное давление при сжатии заряда, Па;

i – число уплотнительных колец;

n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Исходя из вышеизложенного выражаем продолжительность пуска, принимая неизменными значения температуры топлива, минимальную пусковую частоту вращения коленчатого вала, учитывая процесс теплопередачи поверхности камеры сгорания и рабочего тела:

$$\tau_n = e^{139,1 - 3,01 \cdot \ln(T_T) + 1,908 \cdot \ln(n) - 20,27 \cdot \ln(T_a \cdot \varepsilon_\partial^{m_1 - 1} - \Delta T_{mKC})}. \quad (12)$$

Таким образом, одним из направлений повышения пусковых характеристик поршневых двигателей внутреннего сгорания является повышение температуры свежего заряда T_a , а именно определение рациональных значений температуры свежего заряда в начале такта сжатия, повышение которых приведет к уменьшению массы кислорода, а понижение – к недостаточной температуре в конце такта сжатия, что, в свою очередь, не обеспечит воспламенение. В качестве технического решения предложен вихревой индукционный подогреватель впускного воздуха, основанный на новых физических принципах, ранее не используемых в данной области. Данный вопрос недостаточно изучен и не имеет реализации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных исследований выявлена зависимость влияния температуры свежего заряда на продолжительность пуска дизеля. На рисунке 1 изображен график зависимости продолжительности пуска дизеля от температуры свежего заряда с целью выявления рациональных значений, обеспечивающих пуск двигателя в минимальный промежуток времени. Варьируемым параметром являлась температура свежего заряда в воз-

душном тракте. Процесс подогрева свежего заряда осуществлялся в впускном коллекторе, непосредственно перед пуском.

При этом в зависимости 1 не учитывается химическая кинетика горения топлива, а именно изменение пусковых характеристик воспламенения рабочей смеси в зависимости от концентрации кислорода в свежем заряде. Результаты экспериментальных исследований выражены зависимостью 2.

Рациональным значением является температура свежего заряда 336 К (при температуре окружающего воздуха 248 К). При температуре свежего заряда ниже 260 К продолжительность пуска значительно увеличивается, так как температура в конце такта сжатия недостаточная для надежного воспламенения (в первые циклы работы).

Техническое решение основывается на установлении зависимости продолжительности пуска дизеля от температуры воздушного заряда во впускном коллекторе перед его пуском. Использование вихревого индукционного подогревателя в обводном канале впускного коллектора позволит повысить его вибрационную устойчивость в условиях движения по пересеченной местности, по сравнению с другими электронагревательными элементами.

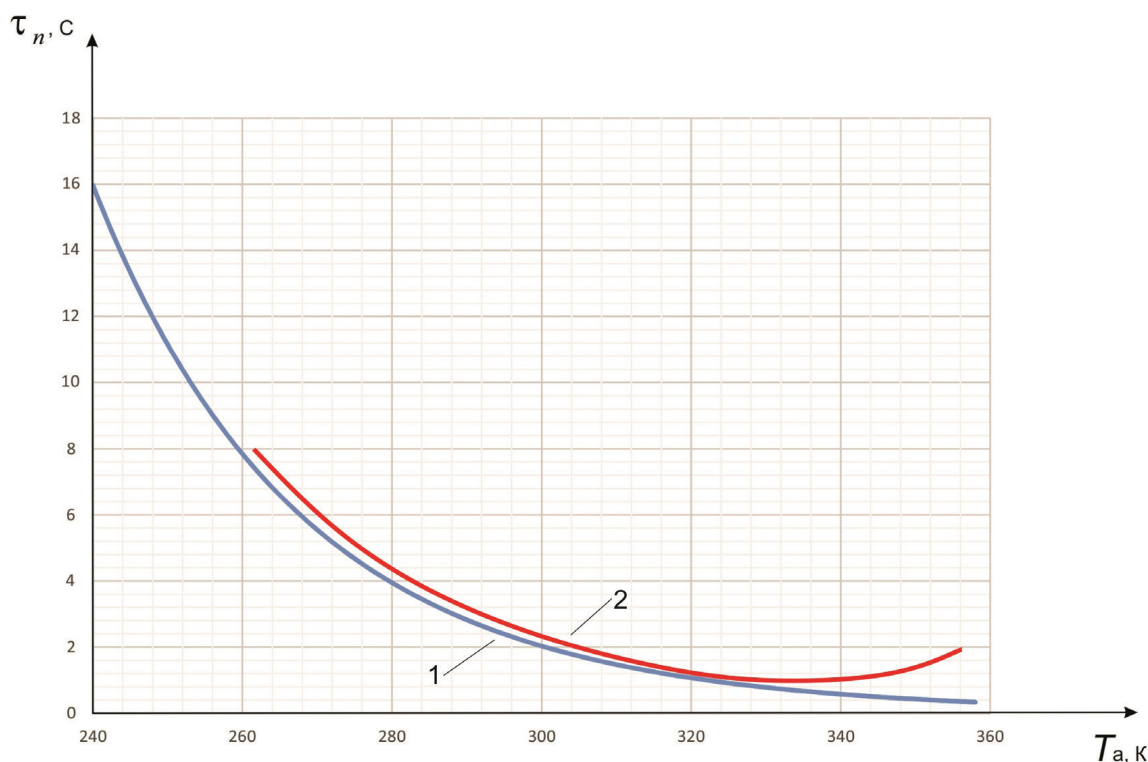


Рисунок 1 – Зависимость продолжительности пуска дизеля от температуры свежего заряда (1 – теоретические расчеты без учета химической кинетики горения топлива, 2 – экспериментальные данные)

Figure 1 – Dependence of the start-up duration of the diesel engine on the fresh charge temperature (1 – theoretical calculations without taking into account the chemical kinetics of fuel combustion, 2 – experimental data)

Проведен анализ средств облегчения пуска дизелей типа В-2 объектов бронетанкового вооружения и военной техники, на основании которого предложен способ сокращения продолжительности пуска в условиях отрицательных температур, заключающийся в дооборудовании дизеля автоматизированным устройством вихревого индукционного подогревателя воздушного заряда [13, 14].

Ввиду ограниченного пространства в моторно-трансмиссионном отделении образца бронетанковой военной техники подогрев воздушного заряда целесообразней проводить с минимальным воздействием свободного объема, чтобы не нарушить целостность бронированного корпуса объекта. Обеспечение автоматизации процесса подогрева воздушного заряда и поддержание температуры в заданных пределах достигается за счет работы электронного блока управления с датчиками температуры [15]. Из-за высокой скорости нагрева исполнительного элемента-сердечника предложен волновой метод подачи тока (импульсный режим) на обмотку индукционного подогревателя, что, в свою очередь, исключит перегрев устройства (низкая теплоемкость рабочего тела – свежего заряда воздуха), уменьшит затраты электроэнергии, сохранив при этом заряд аккумуляторных батарей.

Для приведения в действие вихревого индукционного подогревателя воздушного заряда используется электроэнергия бортовой сети образца военной техники, что отрицательно не скажется на пуске дизеля, так как основной системой пуска дизелей типа В-2 является система воздушного пуска. При этом доля электроэнергии бортовой сети, необходимая на подогрев воздушного заряда, будет незначительной⁶.

Предложение поясняется рисунком 2, где изображено устройство вихревого индукционного подогрева воздушного заряда дизелей типа В-2 в условиях низких температур.

Для облегчения пуска дизелей типа В-2 конструкцией предусмотрен предпусковой подогреватель. В соответствии с инструкцией по эксплуатации объекта подогреватель необходимо использовать при температуре окружающей среды от +5°C и ниже, при этом производится подогрев охлаждающей жидкости, которая в процессе теплообмена (через змеевик основного масляного бака) повышает температуру моторного масла [13].

Конструктивно подогрев воздушного заряда может осуществляться системой экстренного пуска (далее по тексту – ПВВ) с помощью двух электрофакельных горелок 16, пользоваться которыми в повседневной деятельности запрещено, их ресурс строго ограничен. О каждом использовании производится запись в паспорт (формуляр) объекта вооружения и военной техники. Другим способом (то есть в повседневной деятельности) подогрев впускного заряда воздуха не предусмотрен. При этом температура в конце такта сжатия может быть недостаточной для надежного воспламенения рабочей смеси [14].

Предлагаемое устройство вихревого индукционного подогрева воздушного заряда дизелей типа В-2 в условиях низких температур работает следующим образом.

При включении питания электронный блок управления 4 обрабатывает показания датчиков температур 6 и 7, сигнал от генераторной установки 13. Условиями для активации устройства служат: отсутствие сигнала от генераторной установки 13 (дизель не заведен), показания на датчике температуры воздуха 7 (+5°C и ниже), показания на датчике температуры охлаждающей жидкости 6 (на ΔT ниже минимальной температуры для пуска дизеля (время работы предпускового подогревателя намного продолжительнее, чем время, необходимое на подогрев воздушного заряда во впускном коллекторе). При пуске подогревателя в условиях низких температур производится нагрев охлаждающей жидкости, показания считываются датчиком температуры охлаждающей жидкости 6. При достижении температуры охлаждающей жидкости значения

$$T_{\text{пвип}} = T_{\text{мпд}} - \Delta T, \quad (13)$$

где, $T_{\text{пвип}}$ – температура охлаждающей жидкости на датчике 6, соответствующая началу работы вихревого индукционного подогревателя;

$T_{\text{мпд}}$ – минимальная температура, для надежного пуска дизеля (определяется техническими условиями в зависимости от температуры окружающей среды);

ΔT – разница температур, при которой происходит нагрев воздушного заряда вихревым индукционным подогревателем во впускном коллекторе (то есть время, необходимое для подогрева воздушного заряда во впускном коллекторе, соответствующее времени повы-

⁶ Козлов А.А. Регулирование температуры воздушного заряда при пуске дизеля в условиях низких температур. Материалы III межвузовской научно-практической конференции «Основные направления развития системы ремонта в ВС РФ». Омск: ОАБИИ. 2016. С. 88–91.

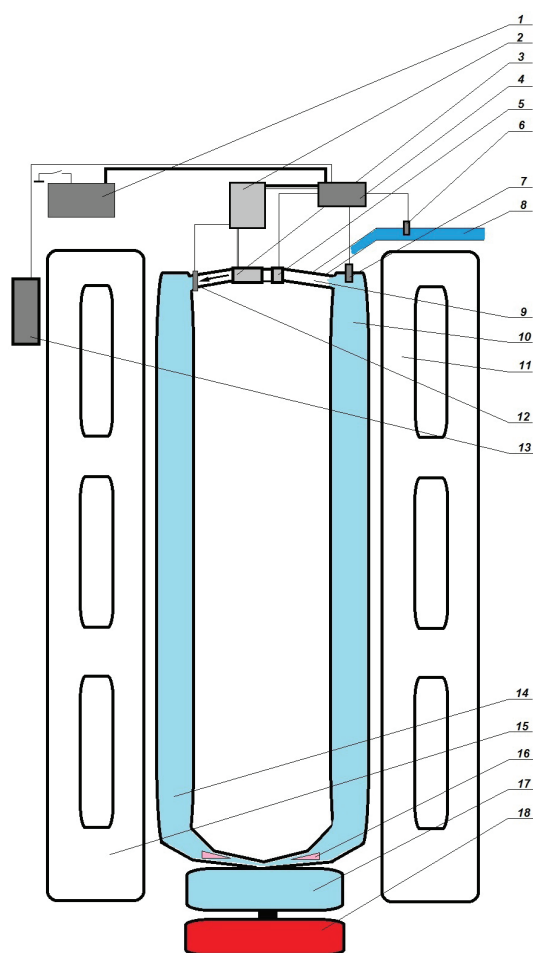


Рисунок 2 – Устройство вихревого индукционного подогрева воздушного заряда дизелей типа В-2 (штатные аккумуляторные батареи 1, блок индуктора 2, вихревая камера с сердечником 3, электронный блок управления 4, электроventильатор 5, датчик температуры охлаждающей жидкости 6, датчик температуры воздуха во впускном коллекторе 7, трубопровод охлаждающей жидкости 8; дополнительный соединительный канал впускных коллекторов 9, правый воздушный коллектор 10, правый полублок двигателя 11, заслонка в дополнительном соединительном канале впускных коллекторов с исполнительным механизмом 12, генераторная установка 13, левый воздушный коллектор 14, левый полублок двигателя 15, топливный ПВВ 16, компрессор 17, турбина 18)

Figure 2 – Vortex induction heating device of the diesel engines' air charge of B-2 type (standard accumulator batteries 1, inductor unit 2, vortex chamber with core 3, electronic control unit 4, electric fan 5, coolant temperature sensor 6, intake manifold temperature sensor 7, coolant line 8, additional connection channel of intake manifolds 9, right air manifold 10, right half block of the engine 11, damper in the additional connecting channel of the intake manifolds with the actuator 12, generator set 13, left air manifold 14, left half-block of the engine 15, PVV fuel 16, compressor 17, turbine 18)

шения температуры охлаждающей жидкости на температуру ΔT , определяется в зависимости от температуры окружающей среды).

Сигнал с электронного блока управления 4 поступает на блок индуктора, где электрический ток преобразуется и направляется в вихревую камеру индукционного подогревателя 3, повышая внутреннюю энергию находящегося в ней сердечника (нагревательного элемента). Параллельно с этим открывается заслонка 12 дополнительного соединительного канала впускных коллекторов 9, включается электроventильатор 5, принудительно подавая в вихревую камеру 3 холодный воздух. Осуществляется циклический подогрев воздушного заряда во впускных коллекторах 10 и 14 полублоков 11 и 15 соответственно. Цикличность подогрева обеспечивается созданием разрежения в зоне соединения дополнительного соединительного канала впускных коллекторов 9 и правого воздушного коллектора 10 полублока 11 за счет работы электроventильатора 5. Направление движения воздуха в процессе подогрева: левый воздушный коллектор 14 полублока 15, зона компрессора 17, правый воздушный коллектор 10 полублока 11, дополнительный соединительный канал впускных коллекторов 9. При достижении необходимой температуры воздушного заряда датчиком 7 подается сигнал на электронный блок управления 4 и система подогрева отключается. При понижении температуры воздуха во впускном коллекторе (до пуска дизеля) на ΔT 1 подогрев возобновляется, поддерживая температуру воздушного заряда в заданных пределах. При достижении температуры охлаждающей жидкости до значения $T_{мгд}$ механик-водитель производит пуск дизеля. После пуска дизеля электронный блок управления считывает сигнал от генераторной установки 13 и деактивирует систему (выключая вихревой индукционный подогреватель, электроventильатор 5 и закрывая заслонку 12 в дополнительном соединительном канале впускных коллекторов 9). Расположение данного устройства в дополнительном канале производилось с целью недопущения создания дополнительного сопротивления во впускных коллекторах на различных режимах работы дизеля, понижения давления наддува, вследствие чего понижения мощностных, экономических и экологических показателей дизеля. При этом датчик температуры воздуха в впускном коллекторе 7 выступает в качестве защитного устройства, автоматически отключающего подогреватель в аварийной ситуации.

Устройство вихревого индукционного подогрева воздушного заряда дизелей типа В-2

характеризуется использованием вихревого индукционного подогревателя, имеющего ряд преимуществ:

- отсутствие открытого горения, что исключает выжигание кислорода, уменьшая его массу в впускном заряде;
- повышенный ресурс работы (отсутствие продуктов горения, закоксованности в впускном коллекторе), относительно штатного ПВВ;
- снижение пожарной опасности (отсутствие топлива, наличие защитного устройства, автоматически отключающего подогреватель в аварийной ситуации);
- возможность регулирования температуры воздушного заряда.

Устройство позволяет осуществить более качественное регулирование процесса воздухообеспечения дизеля за счет вихревого индукционного подогрева воздушного заряда в условиях низких температур [16].

Указанные преимущества свидетельствуют о достижении поставленной задачи – совершенствовании системы воздухообеспечения с целью повышения пусковых качеств дизелей типа В-2 в условиях низких температур и, как следствие, сохранении их ресурса.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлены зависимости влияния температуры свежего заряда на продолжительность пуска дизеля, обоснованы рациональные значения температуры в начале такта сжатия. Данные теоретические аспекты реализованы в техническом решении – автоматизированном устройстве вихревого индукционного подогрева воздушного заряда, – обладающим наибольшими функциональными возможностями (в сравнении с штатными средствами облегчения пуска) по обеспечению адаптации к факторам, обусловленным широким диапазоном температур при эксплуатации дизелей типа В-2 объектов бронетанкового вооружения и военной техники. Цель работы достигнута, результаты данных исследований расширяют знания о процессе пуска дизелей как в общем, так и в более узких областях исследования рабочих процессов, применимо к конструкциям дизелей типа В-2.

Основными направлениями для дальнейшего исследования являются: поиск всесторонних зависимостей влияния негативных факторов на процесс пуска дизелей (с учетом их конструктивных особенностей); выполнение задач оптимизации для последующей реализации выявленных закономерностей с целью повышения пусковых характеристик и

исключения неэффективного использования энергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Купершмидт В.Л., Эфрос В.В. Улучшение пуска дизеля Д-37 // *Техника в сельском хозяйстве*. 1967. № 12. С. 16–21.
2. Hamouda L.B., Ayadi M.A. Fuzzy fault tolerant predictive control for a diesel engine air path (Article). Hamouda, L.B., *International Journal of Control, Automation and Systems* Volume 14, Issue 2, 1 April 2016, Institut de Recherche en Systèmes Electroniques Embarqués (IRSEEM), BP 10024, Avenue Galilée, Rouen, France. Pages 443–451.
3. Вырубов Д.Н. Смесеобразование в двигателях дизеля. Сб. Рабочие процессы внутреннего сгорания // *Машгиз*, 1947. С. 5–54.
4. Карташевич А.Н., Кухаренок Г.М., Гордеенко А.В., Разинкевич Д.С. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации. Монография. Минск, 2005. 180 с.
5. Николаев Л.А., Сташкевич А.П., Захаров И.А. Системы подогрева тракторных дизелей при пуске. М.: Машиностроение, 1977. 191 с.
6. Камалтдинов В.Г., Марков В.А. Холодный пуск двигателя. Результаты исследования процессов подачи и распыливания топлива // *Автомобильная промышленность*. 2010. № 9. С. 9–11.
7. Купершмидт В.Л. Улучшение пусковых качеств дизелей // *Тр. НАТИ*. Вып. 200. М.: ОНТИ НАТИ, 1968. С. 15–22.
8. Henien N. Autoignition and combustion in diesel engines under cold starting condition. Final report. US Army research office. Center for automotive research. Contract № DAAL 03-88-K-0016, 1997. 78 p.
9. Mitchell K. The cold performance of diesel engines // *SAE*, 1993. Paper 932768. pp. 678–687.
10. Park J.K. Simulation of starting process of diesel engine under cold condition // *International Journal of Automotive Technology*. 2007. № 3. Vol. 8. pp. 289–298.
11. Shayler J., Leong D., Murphy M. Contributions to engine friction during cold, low-speed running and the dependence on oil viscosity // *SAE Paper* 2005-01-1654, 2005. E 2003, Fall Technical Conference.
12. Энглиш К. Поршневые кольца. М.: Машиностроение. 1962 – 1963. 583 с.
13. Ивасенко В.А. Танк Т-72Б. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть 2. Воениздат. Москва. 2001. 320 с.

14. Танк Т-72А. Инструкция по эксплуатации. Книга вторая. Часть 1. Воениздат. Москва, 1989. 508 с.

15. Карноухова И.В. Определение оптимальной температуры воздуха во впускном коллекторе двигателя // Вестник СибАДИ. 2014. № 3 (37). С. 7–12.

16. Лосавио Г.С. Исследование пусковых качеств и пусковых износов дизельного двигателя при низких температурах // Автомобильный транспорт. 1964. № 6. С. 25–27.

REFERENCES

1. Kupersmidt V.L., Ehfrs V.V. Uluchshenie puskа dizelyа D-37 [Improving of the diesel D-37 start-up]. *Tekhnika v sel'skom khozyajstve*, 1967, no 12. pp. 16–21. (in Russian)

2. Hamouda L.B., Ayadi M.A. Fuzzy fault tolerant predictive control for a diesel engine air path(Article). Hamouda, L.B., International Journal of Control, Automation and Systems Volume 14, Issue 2, 1 April 2016, Institut de Recherche en Systèmes Electroniques Embarqués (IRSEEM), BP 10024, Avenue Galilée, Rouen, France. Pages 443–451.

3. Vyubov D.N. Smeseobrazovanie v dvigatelyakh dizelyа. Sb. Rabochie protsessy vnutrennego sgoraniya [Mixture formation in diesel engines]. *Mashgiz*, 1947, pp. 5–54. (in Russian)

4. Kartashevich A.N., Kukharenek G.M., Gordeenko A.V., Razinkevich D.S. *Uluchshenie puskovykh kachestv avtotraktornykh dizelej v zimnij period ehkspluatatsii* [Improvement of starting qualities of autotractor diesel engines in winter operation]. Minsk, 2005. 180 p. (in Russian)

5. Nikolaev L.A., Stashkevich A.P., Zakharov I.A. *Sistemy podogreva traktornykh dizelej pri puske* [Systems of heating of tractor diesel engines at start-up]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 191p. (in Russian)

6. Kamaltdinov V.G., Markov V.A. Kholodnyj pusk dvigatelyа. Rezul'taty issledovaniya protsessov podachi i raspylivaniya topliva [Cold start of the engine. Results of the investigation of fuel supply and spraying processes]. *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2010, no 9, pp. 9–11. (in Russian)

7. Kupersmidt V.L. Uluchshenie puskovykh kachestv dizelej [Improvement of the start-up diesel engines]. *Tr. NATI*, Vyp. 200, Moscow, ONTI NATI, 1968. pp. 15–22. (in Russian)

8. Henien N. Autoignition and combustion in diesel engines under cold starting condition. Final report. US Army research office. Center for automotive research. Contract № DAAL 03-88-K-0016, 1997. 78 p.

9. Mitchell K. The cold performance of diesel engines // SAE, 1993. Paper 932768. pp. 678–687.

10. Park J.K. Simulation of starting process of diesel engine under cold condition // International Journal of Automotive Technology. 2007. № 3. Vol. 8. pp. 289–298.

11. Shayler J., Leong D., Murphy M. Contributions to engine friction during cold, low-speed running and the dependence on oil viscosity // SAE Paper 2005-01-1654, 2005. E 2003, Fall Technical Conference.

12. EHnglish K. *Porshnevye kol'tsa* [Piston rings]. Moscow, Mashinostroenie. 1962–1963. 583 p. (in Russian)

13. Ivasenko V.A. *Tank T-72B. Tekhnicheskoe opisaniye i instruktsiya po ehkspluatatsii. CHast' 2. Voениzdat* [Technical description and instruction manual]. Moscow, 2001. 320 p. (in Russian)

14. *Tank T-72A. Instruktsiya po ehkspluatatsii. Kniga vtoraya. CHast' 1. Voениzdat* [Tank T-72A. User's manual]. Moscow, 1989. 508 p. (in Russian)

15. Karnoukhova I.V. Opredeleniye optimal'noj temperatury vozdukha vo vpusknom kollektore dvigatelyа [Determination of the optimum air temperature in the intake engine manifold]. *Vestnik SibADI*, 2014, no 3 (37), pp. 7–12. (in Russian)

16. Losavio G.S. Issledovanie puskovykh kachestv i puskovykh iznosov dizel'nogo dvigatelyа pri nizkikh temperaturakh [Research of starting qualities and start-up wear of the diesel engine at low temperatures]. *Avtomobil'nyj transport*, 1964, no 6. pp. 25–27. (in Russian)

Поступила 20.03.2018, принята к публикации 19.10.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Козлов Андрей Александрович (Россия, г. Омск) – адъюнкт филиала Военной академии материально-технического обеспечения, ORCID ID 0000-0002-9908-9820 (644098 г. Омск, 14 в/г e-mail: extraskyline@mail.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Kozlov Andrey Aleksandrovich (Russia, Omsk)– Postgraduate of the Branch of the Military Academy of Material and Technical Support, ORCID ID 0000-0002-9908-9820 (644098, Omsk, 14 v/g, e-mail: extraskyline@mail.ru).