

АЛЬТЕРНАТИВА ЛЕГКОТОПЛИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФАКЕЛЬНОГО ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ВПУСКНОГО ВОЗДУХА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

AN ALTERNATIVE TO THE LIGHT FUEL APPLICATION OF A DIESEL ENGINE INTAKE AIR FLARE HEATER

И.В. Матери¹, Ю.А. Колунина²

I.V. Materi, Yu.A. Kolunina

¹*Филиал ВА МТО им. А.В. Хрулёва (г. Омск (ОАБИИ)),*

²*Омский государственный технический университет*

Проблемным вопросом при эксплуатации вооружения и военной техники в условиях отрицательных температур холодного климата является пуск дизельного двигателя после продолжительной стоянки. Промышленностью выпускается специальное вспомогательное оборудование. Широкое распространение в этой связи получили генераторы теплоты — индивидуальные и групповые подогреватели пламенного и инфракрасного типов, обеспечивающие решение задач предпусковой подготовки. Кроме того, существуют средства облегчения пуска. Известно, что на надёжный пуск дизельного двигателя влияют такие факторы, как температура воздушного заряда, момент вращения коленчатого вала, условия распыливания топлива, активность теплообменных процессов и герметичность сопряжений деталей цилиндропоршневой группы. Эффективное решение обозначенной проблемы видится в применении топлив лёгкого фракционного состава электрофакельным устройством.

Ключевые слова: средства облегчения пуска, средства предпусковой подготовки, электрофакельное устройство, условия отрицательных температур, полнота сгорания топлива, обеспечение надёжности пуска, концентрация экологически вредных элементов и соединений в продуктах сгорания.

A problematic issue in the operation of weapons and military equipment in conditions of negative temperatures in a cold climate is starting a diesel engine after a long stay. The industry produces special auxiliary equipment. In this regard, heat generators have become widespread — individual and group heaters of flame and infrared types, which provide a solution to the problems of pre-start preparation. In addition, there are starting aids. It is known that the reliable start of a diesel engine is influenced by such factors as the temperature of the air charge, the torque of the crankshaft, the conditions for spraying fuel, the activity of heat exchange processes and the tightness of the joints of the parts of the cylinder-piston group. An effective solution to this problem is seen in the use of lightweight fuels with an electric torch device.

Keywords: start-up aids, pre-start preparation, electric torch device, negative temperature conditions, fuel combustion completeness, start-up reliability, concentration of environmentally harmful elements and compounds in combustion products.

В последние годы отмечается повышенный интерес к освоению заполярных территорий нашей планеты. Кладезь полезных ископаемых на суше и в шельфах обладает особой привлекательностью. Освоение территорий с суровым климатом возможно на основе применения современных специальных машин и механизмов, обеспечивающих разведку пластов, добычу залежей, транспортировку пород и сырья, а также необходимость охраны и обороны этих территорий. Наиболее распространённым видом транспорта в таких условиях является автомобильный. Большинство автомобильной техники коммерческого и общевойскового назначения оснащены дизельными двигателями, обладающими рядом преимуществ и недостатков по отношению к бензиновым. К преимуществам можно отнести такие показатели, как низкий расход топлива, высокий КПД, большой крутящий момент. К недостаткам относятся высокая стоимость производства и ремонта, высокая концентрованность газов, проблемность пуска холодного двигателя [1].

Последнее имеет огромное значение в вопросе надёжности эксплуатации техники в таких условиях. Длительное и многократное стартерное вращение коленчатого вала сопровождается активным поступлением топливных фракций в смазочную систему, неоправданно продолжительными нагрузками на конструктивные элементы стартера, а также нагрузками на аккумуляторные батареи. При этом активизируются процессы изнашивания поверхностей сопряжённых деталей двигателя.

Для обеспечения надёжности пуска дизельного двигателя в таких условиях применяется специальное оснащение [9]. В современном автомобилестроении в качестве средств предпусковой подготовки и средств облегчения пуска дизельных двигателей используются различные комплекты, которые могут быть встроены в конструкцию, а также применяться как дополнительное оборудование. К существующим средствам предпусковой подготовки дизельного двигателя относятся устройства, осуществляющие заблаговременную тепловую подготовку механизмов и систем [8]. Средства облегчения пуска улучшают условия воспламенения топливовоздушной смеси непосредственно на пусковых режимах и выход двигателя на

устойчивую частоту вращения коленчатого вала. К таким средствам можно отнести источники энергии электропусковых систем увеличенной мощности [2], применение пусковых жидкостей лёгкого фракционного состава, средства подогрева впускного воздуха.

Исследованиями проблем эксплуатации техники в условиях отрицательных температур занимаются специальные лаборатории России, стран Европы и Америки. Несмотря на высокую динамику развития науки и техники, практика применения средств наземного транспорта с дизельными двигателями в условиях Заполярья продолжает высвечивать вопросы проблемного характера.

В автомобилестроении широкое распространение получили встроенные системы факельного подогрева поточного воздуха во впускных коллекторах. Как известно атмосферный воздух представляет собой смесь газов: (азот — 78 %, кислород — 21,95 %, углерод — 0,0407 %, неон — 0,001818 %, гелий — 0,000524 %, метан — 0,00018 %, водород — 0,000055 %, криптон — 0,000114 %) [3]. Основным средством факельного повышения его температуры является электрофакельное устройство (ЭФУ). В соответствии с руководящими документами применение электрофакельного устройства на примере двигателя КамАЗ-740.10 эффективно при температуре окружающего воздуха не ниже минус 10 °С [4]. Экспериментально доказано, что многократное применение в качестве средства облегчения пуска дизельного двигателя электрофакельного устройства, сопровождается рядом негативных последствий, влияющих на ресурс двигателя и экологические показатели. К основным недостаткам использования электрофакельного устройства относятся:

- низкая надёжность пуска, неравномерный (пульсирующий) характер пламени, по причине нестабильной подачи топлива насосом поршневого типа на нагревательный элемент штифтовой электрофакельной свечи;
- потребность в затратах электроэнергии аккумуляторных батарей на процесс испарения дизельного топлива в электрофакельной свече;
- отложение смол топлива на поверхностях дозирующих жиклёров;
- выделение продуктов неполного сгорания, определяющихся визуально наличием чёрного

дыма, сажи и отложений жидкого агрегатного состояния чёрного цвета на внутренней поверхности впускных коллекторов [5].

Обозначенные недостатки вовлекают в поиск новых научных решений по совершенствованию работы таких устройств.

В качестве альтернативы возможно применение электрических средств подогрева воздушного заряда. Но последнее осложняется изменением конструкции впускных коллекторов и дополнительным расходе электрической энергии [10].

Рациональным решением видится применение топлив лёгкого фракционного состава в работе электрофакельных устройств [7]. До настоящего времени топлива лёгкого фракционного состава применялись лишь для запуска процессов реализации действительного цикла в условиях отрицательных температур. Подогрев воздушного заряда осуществлялся посредством сжигания дизельного топлива в объёме впускного коллектора электрофакельным устройством при параллельном вращении коленчатого вала. Как известно, впускной коллектор представляет собой трубу неправильной формы с боковыми отводами. Конструктивное исполнение форм и размеров отводов обеспечивает герметичное сопряжение с головками цилиндров, хорошую наполняемость воздушным зарядом даже в условиях атмосферной конструкции системы питания воздухом.

Замена дизельного топлива топливом лёгкого фракционного состава не требует значительных изменений в конструкции электрофакельного устройства. Такая замена может позитивно повлиять на эффективность работы последнего. Гипотетически предполагалось повышение полноты сгорания топлива, увеличение температуры поточных газов внутри впускного коллектора и, как следствие, увеличение температуры воздушного заряда в камере сгорания. Прогрессивные изменения в полноте сгорания топлива могут поднять работу электрофакельного устройства на высокий экологический уровень.

Изменив сечение топливного жиклёра свечи электрофакельного устройства и установив регулировочные краны на питающие магистрали, исключив из конструкции топливный насос поршневого типа, возможно получение равномерного горения топлива с рациональным коэффициентом избытка воздуха, снижение затрат аккумуляторной электроэнергии ввиду отсутствия потребности на смену агрегатных состояний, уменьшение отложений продуктов неполного сгорания топлива на поверхностях штифтовой свечи электрофакельного устройства и впускных коллекторов, снижение канцерогенности продуктов горения топлива.

Для проверки выдвинутой гипотезы проведён эксперимент. Целью эксперимента ставилось: сравнение температур поточных газов в цилиндрических отводах впускных коллекторов при работе электрофакельного устройства на дизельном топливе и пропане автомобильном, в режиме стартерного вращения коленчатого вала и в режиме реализации действительного цикла.

В табл. 1 представлены условия проведения эксперимента.

В соответствии с системой классификации настоящий эксперимент можно отнести к разряду натуральных. Эксперимент имел сравнительный характер. При этом сравнивалась теплотворная эффективность работы электрофакельного устройства на дизельном топливе и пропане автомобильном.

В ходе эксперимента условия его проведения оставались постоянными. В качестве топлива лёгкого фракционного состава электрофакельного устройства возможно применение ацетилена, водорода, метана, пропана автомобильного. Названные горючие газы обладают свойственными им достоинствами и недостатками. Например, водород и ацетилен обладают широкими концентрационными пределами воспламенения, чем обеспечивают устойчивое пламя в активном потоке воздуха, возможность регулирования коэффициента избытка воздуха в значительном

Таблица 1

Условия проведения эксперимента

Температура, °С	-22
Давление, мм рт.ст	0,35
Скорость ветра, м/с	3
Относительная влажность воздуха, %	92

диапазоне. Немаловажное значение имеет теплотворная способность.

В качестве оснащения эксперимента применялись: двигатель КамАЗ-740.10 (установленный на стенд), термопреобразователи сопротивления платиновые ТСП 0501-01, коммутационный распределитель, многоканальный измеритель температуры МИТ-12, баллон пропановый, понижающий редуктор, отрегулированный на давление 2,5 МПа, счётчик газа СГ-1, регулировочные краны, шланги и трубопроводы коммуникационные. Термопреобразователи устанавливались в цилиндрические отводы как показано на рис. 1. Место установки термопреобразователей обеспечивало определение температуры поточных газов непосредственно на входе в каждый цилиндр.

В конструкцию коллекторов внесли изменения. В местах цилиндрических отводов осуществ-

ляли сверления для возможности установки термопреобразователей. В горизонтально расположенных стенках имеющих плоскую форму вырезали окна, на которые установили прозрачные стёкла. Последние обеспечивали визуализацию пламени, внутренней поверхности коллекторов. Все изменения конструкции обеспечили герметичностью.

В табл. 2 представлены характеристики термопреобразователя сопротивления платинового типа ТСП 0501-01 по ТУ 4211-093-02566540-2011.

Планом эксперимента предусматривалось: запуск двигателя после продолжительной стоянки (36 часов) без предварительного разогрева, замер температур поточных газов в цилиндрических отводах в режиме вращения коленчатого вала стартером с частотой 180 мин⁻¹ в течение 1 минуты и в режиме реализации действительного цикла с частотой 1200 мин⁻¹ в течение 1 минуты. Для воз-

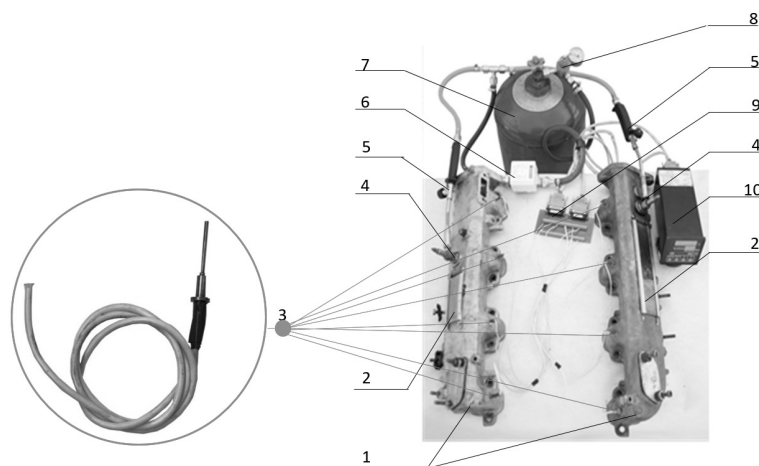


Рис. 1. Оснащение эксперимента: 1 — впускные коллекторы; 2 — смотровые стёкла; 3 — термопреобразователь сопротивления платиновый (ТСП – 0501-01); 4 — иттифтовая газозлектрофакельная свеча; 5 — кран регулировки подачи газового топлива; 6 — счётчик газа (СГ-1); 7 — газовый баллон; 8 — газовый редуктор с манометром; 9 — плата клемных соединителей; 10 — многофункциональный измеритель температуры (МИТ-12)

Таблица 2

Характеристики термопреобразователя сопротивления платинового

Технические характеристики	ТСП 0501-01
Диапазон измеряемых температур, °С	-40 ... +250
Класс допуска	В
Материал защитной арматуры	12Х12Н10Т
Диапазон условных давлений, МПа	0,4
Масса, кг	0,07
Длина монтажной части, мм	57
Максимальное время термической реакции, с	2

Характеристики пропана автомобильного, применяемого в газо-электрофакельном устройстве

Характеристики	Значение
Массовая доля пропана, %	85
Массовая доля непредельных углеводородов, %	6
Давление насыщенных паров при минус 30 °С, МПа	0,07
Массовая доля сероводорода, включая меркаптаны, %	0,01

возможности построения графической зависимости на каждом режиме осуществлялось 8 замеров. Первая серия замеров происходила при использовании дизельного топлива в штатном электрофакельном устройстве. Вторая — по завершении первой, после выдержки двигателя в состоянии покоя в течение 36 часов. Успешный запуск при этом обеспечивался поддержкой электрофакельного устройства, работающего на топливе, именуемом «пропан автомобильный». Некоторые характеристики последнего представлены в табл. 3.

Параметры эксперимента делились на фиксированные и варьированные. Фиксированными параметрами являлись: частота вращения коленчатого вала, давление подачи газа, расход которого составил 0,001 м³/мин, продолжительность вращения коленчатого вала. К варьированным параметрам относились температуры поточных газов в цилиндрических отводах впускных коллекторов. Нумерация термопреобразователей сопротивления соответствовала нумерации цилиндров, как показано на рис. 2.

Результаты замеров температур поточных газов в цилиндрических отводах впускных коллекторов представлены в табл. 4.

Температуры поточных газов в цилиндрических отводах зависят от теплотворной способности топлива, строения пламени, направления движения газов и места положения свечи электрофакельного устройства [6]. Например, работа последнего не оказывает влияния на температуру поточных газов четвертого цилиндра. В то же время максимальные значения температур поточных газов зафиксированы в отводе первого цилиндра.

На рис. 3 представлены графические зависимости изменения температур поточных газов в цилиндрических отводах, в соответствии с расположением и нумерацией цилиндров, в условиях работы электрофакельного устройства при стартерном вращении коленчатого вала, и в режиме реализации действительного цикла двигателя, на дизельном топливе и пропане автомобильном.

В результате эксперимента установлено, что теплотворная эффективность электрофакельного устройства, работающего на пропане автомобильном, преобладает над теплотворной эффективностью штатного электрофакельного устройства во всех цилиндрических отводах (за исключением четвертого цилиндра). Так общая средняя температура поточных газов в цилиндрических отводах впускного коллектора с применением ЭФУ на дизельном топливе в режиме стартерного вращения коленчатого вала составила плюс 28,7 °С. При работе ЭФУ на пропане автомобильном (ГЭФУ) в тех же условия соответствовала 56,6 °С. Таким образом, за счёт применения топлива лёгкого фракционного состава удалось повысить среднюю температуру поточных газов в два раза. Повышение температуры поточных газов во впускном коллекторе может оказать повышающее воздействие на температуру воздушного заряда в камере сгорания на пусковых режимах. После пуска,

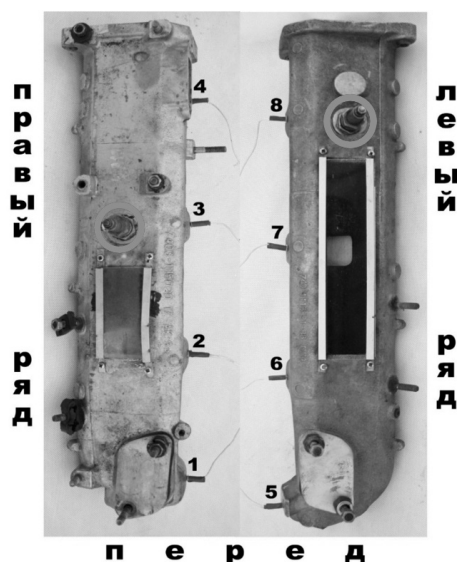


Рис. 2. Термопреобразователи сопротивления платиновые ТСП 0501-01 установленные в цилиндрические отводы впускных коллекторов в соответствии с нумерацией цилиндров

Таблица 4

Температуры в цилиндрических отводах впускных коллекторов при применении ЭФУ и ГЭФУ в стартерном режиме вращения коленчатого вала, а также в режиме реализации действительного цикла двигателя

Средняя температура поточных газов в цилиндрических отводах впускного коллектора с применением ЭФУ в режиме стартерного вращения коленчатого вала							
1	2	3	4	5	6	7	8
+89,0	+65,7	+19,7	-18,3	+27,3	+13,3	+29,6	+3,4
Средняя температура газов правого коллектора				Средняя температура газов левого коллектора			
+39				+18,4			
Общая средняя температура газов							
+28,7							
Средняя температура поточных газов в цилиндрических отводах впускного коллектора с применением ЭФУ в режиме реализации действительного цикла							
1	2	3	4	5	6	7	8
+47,1	+24,5	+0,2	-12,6	+10,8	+7,5	+4,8	+1,8
Средняя температура газов правого коллектора				Средняя температура газов левого коллектора			
+14,8				+6,2			
Общая средняя температура газов							
+10,5							
Средняя температура поточных газов в цилиндрических отводах впускного коллектора с применением ГЭФУ в режиме стартерного вращения коленчатого вала							
1	2	3	4	5	6	7	8
+121,3	+101,7	+59,0	-17,6	+66,9	+56,1	+50,1	+15,6
Средняя температура газов правого коллектора				Средняя температура газов левого коллектора			
+66,1				+47,2			
Общая средняя температура газов							
+56,6							
Средняя температура поточных газов в цилиндрических отводах впускного коллектора с применением ГЭФУ в режиме реализации действительного цикла							
1	2	3	4	5	6	7	8
+88,2	+76,7	+27,7	-10,8	+27,5	+33,7	+37,9	+1,8
Средняя температура газов правого коллектора				Средняя температура газов левого коллектора			
+45,4				+25,2			
Общая средняя температура газов							
+35,3							

в режиме реализации действительного цикла, функционирование устройств обеспечивало стабильность частоты вращения коленчатого вала 1200 мин⁻¹. Несмотря на то, что скорость поступательного движения газов впускного коллектора возросла, подача топлива ГЭФУ, на пропане автомобильном оставалась неизменной. В результате визуального наблюдения работы ГЭФУ на пропане автомобильном можно констатировать о высокой стабильности пламени. При работе ЭФУ на дизельном топливе средняя температура поточных газов в цилиндрических отводах впускного коллектора в режиме реализации действительного цикла составила плюс 10,5 °С, а работа ГЭФУ на пропане авто-

мобильном обеспечивала среднюю температуру плюс 35,3 °С при тех же условиях. Увеличение скорости поступательного движения газов после пуска привело к снижению температуры во впускном коллекторе в обоих случаях и активному переносу тепла в камеру сгорания. При работе электрофакельного устройства на пропане автомобильном визуально не определялось наличие чёрного дыма, сажи, отложений чёрного цвета на внутренней поверхности коллекторов. Характерными особенностями работы электрофакельного устройства на пропане автомобильном являлись надёжный поджиг, устойчивый и стабильный характер пламени. Перечисленные достоинства объясняются приспособлен-

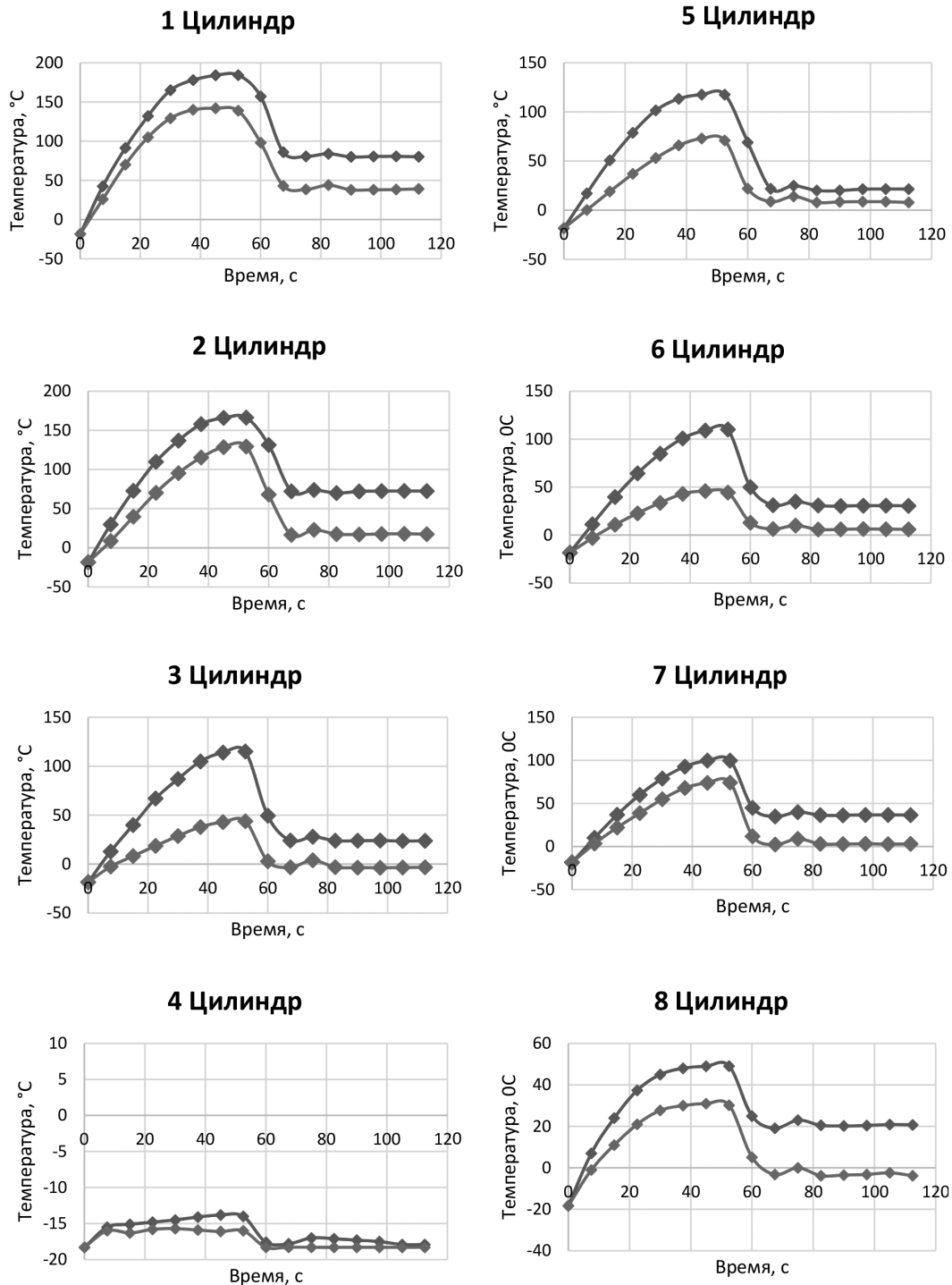


Рис. 3. Графические зависимости температур поточных газов в цилиндрических отводах впускных коллекторов дизельного двигателя КамАЗ-740.10 в режиме низкотемпературного пуска

ностью топлива лёгкого фракционного состава к работе в условиях отрицательных температур холодного климата, отсутствием тяжёлых фракций, отсутствием потребности на смену агрегатных состояний, высокой полнотой сгорания.

Применение топлив лёгкого фракционного состава в факельных подогревателях впускного воздуха, именуемых электрофакельными устройствами, при эксплуатации автомобилей с дизельными двигателями может обеспечить

повышение надёжности пуска, снижение минимальной температуры пуска, снижение концентрации экологически вредных элементов и соединений в продуктах сгорания. В свою очередь, повышение надёжности пуска минимизирует нагрузки на конструктивные элементы стартера и аккумуляторные батареи, снижает активность процессов изнашивания поверхностей сопряжённых деталей на пусковых режимах.

Литература

1. Лурье В.А., Мангушев В.А., Маркова И.В. Автомобильные двигатели // Итоги науки и техники. Серия «Двигатели внутреннего сгорания». — М.: ВИНТИ. Т. 4. 1985. 284 с.

2. Козлов В.Е., Козлов В.В., Миндин Г.Р., Судаченко В.Н. Электронагревательные устройства автомобилей и тракторов. — Л.: Машиностроение Ленингр. отд-ние. 1984. 127 с.

3. Андреева Е.В., Кладо Т.Н. Атмосфера и жизнь. — М.: Гидрометеорологическое издательство. 1993. 268 с.

4. Руководство по эксплуатации КамАЗ-4310 (4310-3902001 РЭ). — М.: Военное издательство. 1987. 376 с.

5. Цыплакова Е.Г. Анализ климатических условий и их влияние на экологоэкономический ущерб при эксплуатации автотранспорта. — Л.: Вестник Ленинградского государственного университета им. А.С. Пушкина. 2012. С. 188–199.

6. Kaminsky V.N., Kostyukov A.V., Kolumin A.V., Materi I.V. The use of light fractional composition fuels in the electric flame jet of a diesel engine // Journal of Physics: Conference Series 1260 (11.2021).

7. Матери И.В., Бурьян И.А., Колунина Ю.А. Сравнительный анализ эффективности работы ЭФУ и ГЭФУ дизельного двигателя ВАТ // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 9–10 (147–148). С. 109–114.

8. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Улучшение пусковых качеств дизелей, работающих в условиях крайнего севера // Науч. техн. сб. «Природный газ в качестве моторного топлива». — М.: ИРЦ ГАЗПРОМ. 1997. № 12. С. 38–42.

9. Найман В.С. Всё о предпусковых подогревателях и отопителях. — М.: Изд-во «За рулём». 2007. 252 с.

10. Неговора А.В., Байрамов Р.А. Совершенствование системы предпусковой подготовки автотракторных дизелей в условиях низких температур // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 5. С. 49–50.

References

1. Lur'e V.A., Mangushev V.A., Markova I.V. Avtomobil'nye dvigateli // Itogi nauki i tehniki. Seriya «Dvigateli vnutrennego sgoraniya». — М.: VINITI. Т. 4. 1985. 284 p.

2. Kozlov V.E., Kozlov V.V., Mindin G.R., Sudachenko V.N. Elektronagrevatel'nye ustroystva avtomobiley i traktorov. — L.: Mashinostroenie Leningr. otd-nie. 1984. 127 p.

3. Andreeva E.V., Klado T.N. Atmosfera i zhizn'. — М.: Gidrometeorologicheskoe izdatel'stvo. 1993. 268 p.

4. Rukovodstvo po ekspluatatsii KamAZ-4310 (4310-3902001 RE). — М.: Voennoe izdatel'stvo. 1987. 376 p.

5. Tsyplakova E.G. Analiz klimaticheskikh usloviy i ih vliyanie na ekologoekonomicheskiy uscherb pri ekspluatatsii avtotransporta. — L.: Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.S. Pushkina. 2012. P. 188–199.

6. Kaminsky V.N., Kostyukov A.V., Kolumin A.V., Materi I.V. The use of light fractional composition fuels in the electric flame jet of a diesel engine // Journal of Physics: Conference Series 1260 (11.2021).

7. Materi I.V., Bur'yan I.A., Kolumina Yu.A. Sravnitel'nyy analiz effektivnosti raboty EFU i GEFU dizel'nogo dvigatelya VAT. // Voprosy oboronnoi tekhniki. Seriya 16. Tekhnicheskie sredstva protivodeystviia terrorizmu. 2020. № 9–10 (147–148). P. 109–114.

8. Gorbunov V.V., Patrakhaltsev N.N. Uluchsheniye puskovykh kachestv dizeley, rabotayushchikh v usloviyakh kraynego severa // Nauch. Tekhn. Sb. «Prirodnyy gas v kachestve motornogo topliva». — М.: IRTS GAZPROM. 1997. № 12. P. 38–42.

9. Naiman V.S. All about preheaters and heaters. — Moscow: Izd-vo «Za rulem». 2007. 252 p.

10. Negovora A.V., Bairamov R.A. Perfecting system of prestarting training of automotive diesel engines at low temperatures // Traktory i sel'skhozjajstvennyye mashiny. 2008. № 5. P. 49–50.