**Содержание**

Введение:

1.Пусковые качества двигателя

2.СпецЧасть

5. Заключение

Список используемых источников

**Введение**

Производство двигателей внутреннего сгорания (ДВС) продолжает увеличиваться, так как этот источник энергии обладает высокой топливной экономичностью, достаточно небольшой металлоемкостью, длительным сроком службы, автономностью, простотой, удобством и безопасностью использования.

Применение ДВС во всех сферах народного хозяйства и постоянное увеличение их количества остро ставит вопрос повышения качества двигателей,котороеопределяетсясоответствиемихтребованиям действующегозаконодательства,атакжетехническимуровнем, определяющим конкурентоспособность.

Транспортные средства с двигателями внутреннего сгорания и дизель-генераторные установки работают в различных климатических поясах: от крайнего севера до экватора, что требует от энергетических установок множества качеств, обеспечивающих их надежную работу в широком диапазоне температур.

При понижении температуры пуск двигателей затрудняется, время подготовки двигателя к принятию нагрузки возрастает. Причины этого очевидны: уменьшается частота провертывания коленчатого вала двигателя (возрастаетмоментсопротивлениядвигателя,снижаетсяемкость аккумуляторных батарей), снижается давление и температура воздуха в конце такта сжатия. Все это приводит к тому, что при некоторой критической температуре пуск двигателя становится невозможным.

В настоящее время проведено множество исследовательских и конструкторских работ, направленных на улучшение пусковых качеств дизелей. Успехи, достигнутые в результате их несомненны. Уменьшено минимальное пусковое число оборотов большинства серийно выпускаемых двигателей, созданы и выпускаются специальные средства облегчения пуска, приспособления для впрыска легковоспламеняющихся жидкостей и так далее.

В данном дипломном проекте рассматривается новое устройство облегчения пуска применительно к двигателю ЯМЗ-534.

***Актуальность***  рассматриваемого вопроса касающегося избранной темы, состоит в том, что за счёт применения средств пускается легко и работает в щадящем режиме.

***Цель моей работы,*** заключается в том, чтобы наиболее подробно рассмотреть информацию, касающейся данной темы.

***Задачи:***

# определить назначение и виды средств для облегчения пуска двигателя.

#  Рассмотреть устройство средств для облегчения пуска двигателя.

#  Обозначить требования безопасности при использовании средств для облегчения пуска двигателя.Пусковые качества двигателей



Рисунок 1 – Способы пуска двигателей

## Особенности электростартерногопуска

Пусковые качества двигателей на автомобилях оценивают по минимальной температуре надежного пуска и времени подготовки двигателя к принятию нагрузки. Минимальная температура – это наиболее низкая температура окружающего воздуха, при которой возможен надежный пуск двигателя. При этом температура узлов и деталей двигателя, охлаждающей жидкости и моторного масла не должна отличаться от температуры окружающего воздуха более чем на 1оС. Допускается отклонение температуры электролита аккумуляторной батареи на 2оС.

Под надежным электростартерным пуском понимается пуск двигателя, оборудованного всеми навесными агрегатами, на основном топливе и прииспользовании заряженных на 75 % штатных аккумуляторных батарей не более чем за три попытки пуска. Продолжительность каждой попытки не должна превышать 10 с для карбюраторных двигателей и 15 с для дизельных. Интервалы между попытками устанавливаются равными 1–1.5 мин. Продолжительность пуска тракторных дизелей не должна превышать 5 мин при использовании пусковых карбюраторных двигателей.

Время подготовки двигателя к принятию нагрузки включает время, затрачиваемое на приведение в действие и работу устройства для облегчения пуска холодного двигателя или системы предпускового подогрева, и время, затрачиваемое на пуск двигателя и его работу на холостом ходу до момента принятия нагрузки. Время подготовки двигателя к работе под нагрузкой может меняться в широких пределах в зависимости от условий пуска, пусковых качеств двигателя, типа, конструкции и характеристик основного и вспомогательных пусковых устройств.

Время подготовки двигателя к принятию нагрузки с понижением температуры возрастает вследствие большей продолжительности послепускового прогрева.

Благодаря использованию высокоэффективных средств облегчения пуска и маловязких загущенных маселпусковые системы обеспечивают пуск автомобильных и тракторных двигателей без предварительного подогрева при температурах от –20 до -30 oC.Пуск холодных двигателей получает все большее распространение. Многими экспериментальными исследованиями доказана малая степень возможного при таком способе пуска изнашивания деталей двигателя.

Пуск начинается с момента включения электростартера и продолжается до момента перехода двигателя на устойчивый режим работы. Пусковое устройство должно вращать коленчатый вал с частотой, при которой создаются благоприятные условия для протекания рабочих процессов в двигателе. Минимальная пусковая частота nmin – наименьшая при заданных условиях частота вращения коленчатого вала, достаточная для обеспечения пуска двигателя за две попытки пуска продолжительностью10 с для карбюраторных и 15 с для дизельных двигателей. От минимальной пусковой частоты и соответствующего ей среднего момента сопротивления вращению коленчатого вала Мср зависит требуемая мощность системы пуска.

Момент сопротивления Мс вращению коленчатого вала периодически изменяется по времени τ и углу поворота ϕ коленчатого вала вследствие чередования тактов сжатия и расширения. Кроме того, применяемые в автомобилях электростартеры постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением имеют механические характеристики, отличающиеся значительным изменением частоты вращения с изменением вращающего момента М. Поэтому для электростартерного пуска характерна высокая неравномерность вращения коленчатого вала даже при установившемся вращении его с постоянной средней частотой nср. коэффициент неравномерности вращения, определяемый как отношение разности максимальной и минимальной частот вращения к средней частоте в течение периода изменения частоты, у автотракторных двигателей в диапазоне пусковых частот 50–250 об/мин находится в пределах 0.1–2. У карбюраторных двигателей по сравнению с дизельными степень сжатия и неравномерность вращения коленчатого вала меньше. Неравномерность вращения зависит также от числа цилиндров двигателя.

##  2.Стадии электростартерного пуска



Рисунок 2.– Изменение вращающего момента М электростартера и частоты вращения n коленчатого вала при пуске шестицилиндрового дизеля.

Выделяют четыре стадии электростартерного пуска поршневого двигателя. На первой стадии частота вращения коленчатого вала увеличивается до средней частоты вращения в установившемся режиме. После подключения электростартера к источнику питания его якорь и коленчатый вал двигателя остаются неподвижными, пока вращающий момент электродвигателя не превысит момент трогания системы стартер-двигатель.Когда вращающий момент электродвигателя превышает момент сопротивления вращению коленчатого вала двигателя, частота вращения якоря электростартера и индуктируемая в его обмотке электродвижущая сила (ЭДС) возрастают. При этомсила тока в якоре и вращающий момент достигают максимальных значений, затем уменьшаются до значений, соответствующих установившемуся режиму (2-ая стадия пуска). Продолжительность 1-й стадии пуска зависит от вязкости моторного масла, мощности электростартера, момента инерции системы стартер-двигатель и обычно не превышает долей секунды.

Отличительной чертой 2-й стадии пуска является равенство средних значений вращающего момента (Мср) электродвигателя и момента сопротивления при постоянной средней частоте вращения коленчатого вала nср. возможное увеличение средней частоты на 2-й стадии связано с интенсивным снижением вязкости масла в узлах трения вследствие его нагрева теплотой, выделяемой при трении и сжатии воздуха или топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя. Разряд аккумуляторной батареи на электростартер и увеличение ее внутреннего сопротивления способствует снижению средней частоты вращения коленчатого вала.

Воспламенение топлива в цилиндрах при низкотемпературном пуске двигателя начинается на второй стадии. Возможность и продолжительность пуска зависят от средней частоты вращения коленчатого вала именно на этой стадии. При низких температурах требуется несколько раз провернуть коленчатый вал для создания условий, обеспечивающих воспламенение и горение топливовоздушной смеси. С повышением температуры окружающей среды частота вращения коленчатого вала возрастает, необходимые для воспламенения смеси условия создаются раньше и продолжительность 2-й стадии сокращается. При достаточно высоких температурах воспламенение смеси может произойти уже на 1-й стадии пуска.

Процесс пуска переходит в 3-ю стадию, когда двигатель начинает развивать мощность за счет теплоты сгорания топлива. Если топливо воспламеняется и сгорает во всех цилиндрах, то 3-я стадия характеризуется непрерывным нарастанием частоты вращения коленчатого вала благодаря совместному действию вращающих моментов электростартера и двигателя. Продолжительность 3-й стадии зависит от числа цилиндров, количества и равномерности чередования пропусков сгорания, равномерности распределения смеси по цилиндрам карбюраторного двигателя, момента инерции системы стартер-двигатель, начальной вязкости масла и интенсивности ее снижения в процессе пуска.

В 4-й стадии двигатель работает самостоятельно, но ее целесообразно относить к процессу пуска. Если мощность двигателя, развиваемая на этой стадии, окажется недостаточной для преодоления возрастающего с увеличением частоты вращения момента трения, двигатель остановится и для пуска потребуется включение стартера.

## Факторы влияющие на пуск

электростартерный пуск внутрицилиндровый наддув

### Пусковые свойства моторных масел

Пусковые свойства моторного масла хорошо характеризуются изменением его вязкости при низких температурах. Моторные масла должны обладать необходимыми вязкостными свойствами в широком диапазоне температур. С понижением температуры усиливается взаимодействие между молекулами масла, т. е. возрастает вязкость. Вязкостно-температурная характеристика в этом случае будет круче. Степень возрастания вязкости с понижением температуры зависит от химического состава масла и содержания в нем вязкостной присадки.

Вязкостно-температурные свойства моторных масел оценивают по значениям вязкости при двух-трех температурах (обычно 0; 50; и 100оС), отношению вязкости при температурах 50 и 100оС (или по индексу вязкости).

С понижением температуры окружающеговоздуха резко возрастает вязкостьмоторного масла. От вязкости масла зависят егоскорость протекания по смазочной системе, вид трения в узлах двигателя иусловия работы трущихся пар. Припуске двигателя с увеличением вязкостимасла возрастают затраты энергии на преодоление сопротивления вращению коленчатого вала электростартером. Масло поступает к узлам двигателя с некоторым опозданием, поэтому детали двигателя изнашиваются интенсивнее. Особенно при пуске трудно обеспечить подвод масла к деталямцилиндропоршневой группы.

При определенной температуре (температура застывания) масло теряет подвижность.

Для устранения этих дефектов промышленностьювыпускаются зимние сорта моторного масла. Для снижения температуры застывания в них добавляютдепрессорные присадки. Также в последнее время стали выпускать специальныемаловязкие загущенные моторные масла

### Сопротивления, возникающие при пуске двигателя

Вращая коленчатый вал двигателя внутреннего сгорания припуске, электростартер преодолевает сопротивление сил трения. Часть энергии пускового устройства затрачивается на приводвспомогательных механизмов, наполнение цилиндров, удаление рабочего заряда или продуктов сгорания и на преодоление момента, обусловленного разностью работ сжатия и расширения. Пока топливо не воспламеняется, работа сжатия больше работы расширения вследствие утечки и охлаждения газов. Интенсивность потерь теплоты воздуха или топливовоздушнойсмеси и сопротивление, обусловленное этими потерями, зависят от степени сжатия, формы камеры сгорания и состояния деталей цилиндропоршневой группы.

Трение может быть без смазочного материала, граничным, со смазочным материалом или смешанным. Вид трения зависит от количества и вязкости смазочного материала в узлах трения, качества, состояния, размеров трущихся поверхностей, их относительной скорости перемещения и нагрузки на них. Условия тренияв отдельных узлах двигателя существенно отличаются. Трение без смазочного материала характеризуется значительным сопротивлением перемещению и изнашиваниемтрущихся деталей. Тонкая граничная пленка на трущихсяповерхностях в 5–10 раз снижает коэффициент трения.

### Влияние установки угла опережения впрыскивания на пуск дизеля

Топливо подается в цилиндр до прихода поршня в ВМТ. Необходимый угол опережения впрыскивания топлива учитывает задержку воспламенения. От правильного выбора момента подачи топлива зависитэффективность пуска. Раннее впрыскивание всреду с низким давлением и температуройзадерживает или исключаетвоспламенение топливовоздушной смеси. Приблагоприятных условиях для воспламенения возможно резкое увеличение давления сгорания доприхода поршня в ВМТ. Нагрузки надетали двигателя и пусковое устройство при этом резко возрастают. При позднем впрыскивании топливовоздушная смесь сгорает во время такта расширения всравнительнобольшом объеме и при быстроувеличивающейся площади поверхности охлаждения. Мощность, развиваемаядвигателем, уменьшается, и продолжительность пуска двигателя возрастает. Наивыгоднейший для пуска уголопережения впрыскивания топлива меньше рекомендуемого для номинального режима на8–11° [2] для дизелей с неразделенными камерами сгорания и на 1,5 – 5° для вихрекамерных дизелей.

## Устройства облегчения пуска

### Электрические свечи накаливания

У дизелей с разделенными камерами сгорания температура в конце такта сжатия при реально возможной частоте прокручивания коленчатого вала двигателя электростартерной системой оказывается недостаточной (до 300–350оС) для обеспечения воспламенения впрыскиваемого в цилиндры топлива. Наиболее эффективным средством, с учетом особенностей рабочего процесса, для дизелей с разделенными камерами сгорания является установка в вихревую или предкамеру свечей накаливания, которые обеспечивают каллоризаторное воспламенение впрыскиваемого топлива.

Свечи накаливания (рисунок 1.6.1.1) бывают открытого и закрытого типов. Материалом спирали свечи накаливания открытого типа служит нихромовая проволока диаметром 1.6–2 мм. Конструкция отличается достаточной коррозийной и вибрационной стойкостями. Двухполюсные свечи накаливания, установленные на двигателе, включаются последовательно с контрольным элементом, дополнительным резистором и источником тока. Время нагрева спирали до рабочей температуры 850–1000оС составляет 30–60 с при силе тока 45–50 А и напряжении 12 В. Готовность к пуску двигателя определяется по степени накала спирали контрольного элемента. Дополнительный резистор служит для компенсации падения напряжения в момент включения стартера, в результате чего сила тока в цепи остается постоянной и степень накаливания свечи не меняется. Во избежание сокращения срока службы, свечи накаливания с открытым нагревательным элементом устанавливают в камеру сгорания таким образом, чтобы струи распыливаемого топлива не касались раскаленной спирали (рисунок 3).



Рисунок 3. – Свечи накаливания

а – общий вид; б – конструкция свечи закрытого типа; I–III – закрытого типа; IV – открытого типа; 1 – кожух свечи;

2 – спираль накаливания; 3 – корпус



Рисунок 4.– Установка свечей накаливания в камере сгорания:

а – открытого типа (дизель Д-50); б – закрытого типа (дизель Д-37Е); в-закрытого типа (дизель Фольсваген) первый вариант; г – закрытого типа (дизель Фольсваген) второй вариант; 1 – топливная форсунка; 2 – свеча накаливания; 3 – головка цилиндров.

В отличие от свечи открытого типа спираль накаливания штифтовой свечи находится внутри кожуха, заполненного порошкообразным наполнителем. В качестве наполнителя используют оксид магния (периклаз), представляющий собой электроизоляционный материал с высокой теплопроводностью. Материалом кожуха служит сплав инконель (железо – никель – хром). Свечи данного типа изготавливаются однопроводными. В связи с большой тепловой инерцией необходимость дополнительного резистора, закорачиваемого при пуске, отсутствует. Время нагрева штифтовых свечей до рабочей температуры (1000оС) зависит от конструкции их нагревательного элемента и составляет от 7 до60 секунд. Свечи с наименьшим временем нагрева предназначены для установки на вихрекамерные дизели с небольшим рабочим объемом и высокой степенью сжатия (22–23). время их нагрева изменяется в зависимости от температуры двигателя и окружающей среды. Для этого используются автоматы с электронными блоками управления, которые предохраняют нагревательный элемент от высоких напряжений и силы тока. Преимуществом таких свечей являются большая механическая прочность и продолжительный срок службы вследствие отсутствия окисления кислородом воздуха нагревательного элемента.

Свечи устанавливают в камеру сгорания так, чтобы конус струй распыливаемого топлива касался лишь раскаленного конца ее кожуха. Как показали исследования, наилучшим расположением свечи в вихревой камере с точки зрения пуска является нижнее (рисунок 1.6.1.2, б). Однако такое расположение не обеспечивает при наименьшем расходе топлива выполнения требований по дымности. Минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала при использовании свечей накаливания для дизелей с разделенными камерами при –20оС на маловязком масле составляет 100 – 150 мин-1. Большая эффективность достигается и при установке штифтовых свечей в камеру сгорания дизеля с непосредственным впрыскиванием топлива (рисунок 3, г). Применение свечей с временем нагрева спирали 60 с обеспечивает пуск дизеля Д-37Е на маловязком масле при –25оС с частотой электростартерного прокручивания 70–80 мин-1. Несмотря на определенные трудности с размещением и нарушением рабочего процесса всвязи с более низким сроком службы, установка штифтовых свечей на дизеле с непосредственным впрыскиванием топлива является наиболее перспективным направлением. В настоящее время этот способ улучшения пуска получает все большее распространение в нашей стране.

### Подогрев воздуха во впускном трубопроводе

Подогрев впускного воздуха улучшает условия пуска дизелей с неразделенной камерой сгорания. Примером устройства, обеспечивающего повышение температуры конца сжатия за счет подогрева впускного воздуха служит свеча подогрева СН-150. Свеча мощностью 400 Вт устанавливается на впускном трубопроводе тракторных дизелей с рабочим объемом до 4–5 литров. Учитывая ее малую мощность, для роста температуры всасываемого воздуха устанавливаются две и более свечи. Но при использовании более одной свечи повышается расход электроэнергии и увеличивается аэродинамическое сопротивление впускного трубопровода.

Спираль свечи изготовляется из проволоки высокого омического сопротивления с диаметром 2 мм. Свеча устанавливается в специальном гнезде на впускном трубопроводе и закрепляется накидкой гайкой. Место установки свечи выбирается экспериментально, исходя из максимально возможного приближения ее к впускным окнам, с учетом количества и схемы расположения цилиндров двигателя. Номинальное напряжение свечи 8,5 В, номинальная сила тока 45–47 А, время нагрева до рабочей температуры (900–1000оС) составляет 40–60 с. Последовательно со свечой включены в электроцепь дополнительный резистор, который закорачивается во время пуска, контрольный элемент, спираль, заключенная в кожух или контрольная лампочка. Время, необходимое для нагрева спирали свечи, контролируется по степени нагрева спирали контрольного элемента или по накалу лампочки.

При использовании свечей подогрева впускного воздуха в сочетании с маловязкими маслами и увеличенной цикловой подачей топлива предельная температура надежного пуска холодного дизеля снижается примерно на 5оС.

Для повышения эффективности и снижения температуры пуска применяются фланцевые свечи. У фланцевых свечей за счет удлинения спирали увеличивается поверхность теплоотдачи, ее мощность при этом не меняется. Кроме того, уменьшаются потери теплоты в результате их установки непосредственно около впускных окон. Однако такие свечи не получили широкого распространения из-за невозможности унификации их конструкций для применения на различных типах дизелей.

Эффективность применения свечей подогрева снижается с понижением температуры. Поэтому их применяют для облегчения пуска дизелей с неразделенной камерой сгорания до температур не ниже -15 оС, а при температурах ниже -15 оС подогрев всасываемого воздуха осуществляют электрофакельными подогревателями.

Одним из достоинств электрофакельных подогревателей является возможность их работы как на дизельном топливе, так и на бензине. Это позволяет их использовать для облегчения пуска, кроме дизелей, и на многотопливных двигателях. По сравнению со свечами электрофакельные подогреватели потребляют меньшее количество электроэнергии. Кроме того, наряду с эффективным подогревом воздуха они газифицируют часть несгоревшего топлива, что улучшает внешнее смесеобразование. Несгоревшие частицы топлива в виде паров или газов попадают в цилиндры двигателя и, являясь там очагами воспламенения, способствуют более быстрому сгоранию топлива. Работа подогревателя после пуска дизеля в режиме сопровождения ускоряет прогрев двигателя, уменьшает дымность и снижает токсичность отработавших газов.

На продолжительность пуска двигателя, влияют расположение электрофакела во впускном трубопроводе по отношению к впускным окнам, а также величина выступания его нагревательного элемента в коллекторе. При проектировании двигателей, на которых планируется установка подогревателей, необходимо предусматривать во впускном трубопроводе специальные выступы, снижающие скорость всасываемого воздуха и способствующие устойчивому горению факела при самостоятельной работе двигателя. При наличии у двигателя двух впускных трубопроводов подогреватели располагают в каждом из них.

В качестве примера представляю конструкцию электрофакельного подогревателя является конструкция, устанавливаемая на дизельные двигатели ЯМЗ, выпускаемые для автомобилей КамАЗ, ЗИЛ, ГАЗ и некоторые другие. В его комплект входит одна (две) факельная одноштифтовая свеча, электромагнитный топливный клапан, добавочный резистор с электротермическим реле, а также кнопочный выключатель, реле блокировки и отключения обмотки возбуждения генератора, контрольная лампа готовности к пуску и топливопроводы. У подогревателя имеются топливная и электрическая схемы, подключаемые к соответствующим системам автомобиля. Основным устройством, обеспечивающим получение факела для нагрева поступающего в цилиндры воздуха, является факельная штифтовая свеча. Их количество и место расположения зависят от конструкции впускного трубопровода и рабочего объема двигателя. В связи с тем, что отечественной промышленностью не выпускаются двухштифтовые свечи для дизеля ЯМЗ-240 с рабочим объемом 22 л, требуется установка четырех одноштифтовых свечей. Свечи на впускном трубопроводе размещают таким образом, чтобы обеспечить равномерное распределение нагретого воздуха по цилиндрам. Конструкция свечи допускает их установку в вертикальном, горизонтальном и промежуточном положениях.

Свеча состоит из корпуса 1, внутри которого расположен нагревательный элемент, выполненный в виде штифтовой свечи. Дляподсоединения к топливопроводу имеетсяштуцер 5, в котором установлены фильтр 4и топливный жиклер 3. Фильтр изготовлен из высокопористой бронзы и запрессован в корпус, имеющий шлицы под отвертку. В нижнейчасти корпуса факельной свечи имеется резьба для крепления ее навпускном трубопроводе. В нужном положениисвеча фиксируется контргайкой 9. Поступающее под низким давлением топливо проходит через фильтр и жиклер ипопадает во внутреннее пространство между кольцевой вставкой 6 и штифтом 2 нагревательного элемента.

Между штифтом и кольцевой вставкой расположена мелкая сетка 8, которая смачивается поступающимтопливом. Обеспечивая хорошее испарение топлива, сетка способствует равномерному распределению его вокруг штифта ипрепятствует быстрому вытеканию топлива наружу.

Нагревательный элемент представляетсобой однополюсную свечу накаливания закрытого типа, рассчитанную на напряжение 19 и 9,5 В, и сила потребляемого тока равна соответственно 11 и 22 А. Спираль свечи помещена в тонкий металлическийкожух 10, заполненный периглазом-28, обладающим высокими диэлектрическими качествами иимеющим высокий коэффициенттеплопроводности. При работе топливо, соприкасаясь с горячим воздухом нагревательного элемента, быстро нагревается и испаряется. Испарившиеся частицы топлива, попадая на нижнюю часть свечи, смешиваются споступающим воздухом и воспламеняются, образуя факел пламени. Защитный кожух 7 с отверстиями и окружающая наружнуючасть штифта сетка предохраняютнагревательный элемент от переохлаждения при повышенных скоростях движения воздуха.

Это обеспечивает поддержание непрерывного горения топливовоздушной смеси посленачала самостоятельной работы двигателя. Топливо из системы питания двигателя поступает к свече через запорное устройство, представляющее собой электромагнитный клапан. Клапан открывается при подаче на его катушку напряжения, закрывается клапан с помощью возвратной пружины. Нормальная работа устройства может осуществляться лишь при условии, чтоперед пуском двигателя магистраль низкого давления перед электромагнитным клапаном будет заполнена топливом. Иначе будетпроисходить задержка образования факела, а, следовательно, увеличится время пуска дизеля. Для поддержания давления топлива перед электромагнитным клапаном, применяют аккумулятор топлива. Управление временем нагрева штифта факельной свечи и открытием электромагнитного клапана осуществляется электротермическим реле, размещенным в одном корпусе с добавочным резистором.

Добавочный резистор уменьшает напряжение в момент предварительного нагрева штифта факельной свечи и закорачивается в момент включения стартера.Электротермическое реле имеет два контакта, один из которых расположен на биметаллической пластине. При прохождении токапосле определенного времени, зависящего от температуры окружающей среды, биметаллическая пластинанагревается, и контакты размыкаются. В этот момент включается электромагнитныйклапан и загораетсяконтрольная лампа, сигнализирующая онеобходимости включения стартера, так как штифт факельной свечи нагрелся до требуемой температуры (примерно до 1000° С) в зависимости от температуры окружающей среды составляет 70 – 110 с.

### Легковоспламеняющиеся жидкости

Легковоспламеняющаяся жидкость является наиболее эффективным средством облегчения пуска двигателя. Впрыскивание пусковой жидкости во впускные трубопроводы является универсальным средством для обеспечения пуска с nmin как бензинового двигателя, так и дизеля. Это обеспечивается за счет интенсификации воспламенения топлива или рабочей смеси и повышения эффективности их сгорания вследствие наличия в ней компонентов с низкой температурой самовоспламенения и широкими пределами воспламенения.

Для обеспечения подачи жидкости в цилиндры двигателя разработано много способов. Наибольшее распространение получил способ распыливания легковоспламеняющейся жидкости непосредственно во впускной трубопровод. Для этого используются устройства, работа которых основана на пневматическом или механическом способе распыливания и испарения жидкости.

Широкое распространение получают устройства, основанные на аэрозольном распыливании легковоспламеняющейся жидкости. При одинаковой эффективности пуска холодного двигателя такой способ обеспечивает меньший расход пусковой жидкости, некоторое снижение жесткости работы двигателя и возможность автоматизации процесса подачи.

Легковоспламеняющаяся жидкость хранятся под давлением в пластмассовом или металлическом баллоне с клапанным механизмом. В качестве вытесняющего газа (пропелента) в отечественной аэрозольной упаковке используется двуокись углерода, обеспечивающий достаточное давление распыливания (около 0,2 кПа при -40 оС) при низких температурах. Клапанный механизм баллона срабатывает при нажатии на шток клапана механическим, пневматическим или электромеханическим способом. Аэрозольными упаковками пользуются вручную, для этого во впускном трубопроводе ниже воздушного фильтра необходимо сделать отверстие, закрываемое пробкой. Однако больший эффект получается при применении специального устройства. При пуске двигателя одновременно с включением стартера нажимают на шток клапана и обеспечивают подачу аэрозоли во впускной трубопровод через имеющееся отверстие. В некоторых случаях можно осуществлять подачу жидкости через открытую крышку воздушного фильтра или через отверстие в ней, но при условии, что пусковая жидкость не должна попадать на сухой элемент фильтра, так как в ней присутствует минеральное масло.

Пусковое приспособление для дистанционного управления подачей легко жидкости в аэрозольной упаковке с электромагнитным приводом типа 17.3741 состоит из корпуса с электромагнитом, механизма крепления, аэрозольной упаковки, вихревой форсунки и трубопровода. Пусковые приспособления выпускаются с электромагнитами с номинальным напряжением 12 В (тип 17.3741) и 24 В (тип 171.3741) и комплектуются по заказу потребителя прямыми или прямоугольными штуцерами топливопровода. В зависимости от напряжения, сила тока в электромагнитном клапане, составляет соответственно 12 и 6 А. Крепится приспособление с помощью кронштейна в моторном отсеке в доступном для смены баллонов месте. Во избежание перегрева оно защищено экраном. Перед пуском двигателя устанавливается аэрозольный баллон, для чего его верхнюю часть совмещают с корпусом и прижимают с помощью дужек и опорной пятки. Уплотнение с корпусом обеспечивается резиновыми прокладками.

Включение пускового приспособления осуществляется дистанционно и блокируется с выключателем стартера. При включении сердечник электромагнитного клапана, перемещаясь вниз, давит на клапан аэрозольной упаковки. Легковоспламеняющаяся жидкость под давлением пропелента поступает в корпус электромагнитного клапана и по трубопроводу к форсунке. В форсунке легковоспламеняющаяся жидкость получает завихрение двухзаходным шнеком и в виде аэрозоля распыливается во впускном трубопроводе. Распыленная аэрозоль смешивается с поступающим воздухом (в дизеле) или с топливовоздушной смесью (в бензиновом двигателе) и поступает в цилиндры двигателя. При обесточивании электромагнитного клапана поступление аэрозоля во впуск ной трубопровод исключается. Следует отметить, что легковоспламеняющаяся жидкость является эффективным, экономичным и удобным в эксплуатации средством облегчения пуска, которую применяют для разнообразных двигателей, особенно для дизелей с малой степенью сжатия. При использовании маловязких масел обеспечивается снижение предельной температуры надежного пуска примерно на 10–15 оС. Минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала для различных двигателей при температуре -30 оС составляет в среднем 40–80 мин-1.

Опыт эксплуатации тракторов МТЗ-80 показал, что применение аэрозольной легковоспламеняющейся жидкости обеспечивает незначительные износы деталей двигателей. Это подтверждается результатами экспертизы технического состояния двигателей после наработки ими порядка 2300 мото-часов при низких температурах.

При температурах ниже -30 оС легковоспламеняющуюся жидкость используют с одновременным разогревом двигателя индивидуальными подогревателями, что сокращает продолжительность его пуска. Это подтверждается зарубежным и отечественным опытом при пуске двигателей при температурах до -50 оС. Например, канадские автопоезда, осуществляющие междугородние перевозки, наряду с индивидуальными подогревателями-отопителями оснащаются приспособлениями различных фирм, обеспечивающими подачу во впускной трубопровод легковоспламеняющейся жидкости.

### Пусковые накопители энергии

Накопители энергии (НЭ) для систем пуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС) – сверхвысокоемкие конденсаторы оптимизированные для разряда высокими плотностями тока. Система пуска ДВС с НЭ предполагает использование комбинации: аккумуляторная батарея + НЭ. При этом реализация мощностных характеристик – прокрутка стартера ДВС ложится на НЭ, а батарея выполняет функции буферного источника энергии для заряда НЭ перед пуском и обеспечения функционирования энергопотребителей транспортного средства при неработающем ДВС.

В настоящее время для пуска ДВС в интервале от легковых до тяжелых грузовых автомобилей и тракторов используются батареи емкостью 44–210 Ач. В случае использования комбинированной системы с НЭ, этот диапазон сократится до, соответственно, 25–60 А-ч при той же номенклатуре ДВС.

**Преимущества применения емкостных накопителей энергии**

1. Применение НЭ обеспечивает гарантированный запуск ДВС при отрицательных температурах, что важно для районов Крайнего Севера, а также для решения задач приведения в готовность специальной техники в любых погодных условиях.

2. Система пуска предполагает разделение функций хранения и выдачи энергии, а также снижение участия батареи в мощных разрядных режимах. Это дает возможность применять на борту автомобиля не стартерную батарею с ее относительно низким сроком службы, а батарею среднего режима разряда. В совокупности с высокоресурсным НЭ, общий срок службы системы возрастает в 2–3 раза.

3. Применение НЭ позволяет произвести гарантированный пуск ДВС даже при наличии старой, неисправной или глубоко разряженной батареи, неспособной давать требуемый ток прокрутки стартера, но способной зарядить малым током НЭ.

4. Применение системы пуска с НЭ позволяет (особенно для тяжелых типов грузовиков) на 10–30 % уменьшить объем батарейного ящика и на 25–40 % снизить вес источника тока.

5. НЭ экологически чистый источник тока. Во время хранения и эксплуатации он не выделяет в окружающую среду никаких веществ. Нет также проблем с утилизацией отработанных НЭ, т. к. они не содержат токсических компонентов.

6. НЭ полностью безуходен и не требует обслуживания в течение всего срока эксплуатации.

7. НЭ не боится глубоких разрядов, переполюсовок, короткого замыкания. В настоящее время накопители уже используются для пуска двигателей внутреннего сгорания от легковых – 12ПП-4/0.003 (4 кДж), до грузовых автомобилей -24ПП-30/0.003 (30 кДж), а также мощных дизелей (200… 1000 кВт) специального назначения (2…4х30 кДж).

# Спецчасть

## Объект модернизации

|  |  |
| --- | --- |
| N п/п | Параметры двигателя |
|  | Число цилиндров | 4 |
|  | Расположение цилиндров | рядное |
|  | Диаметр цилиндра, мм | 102 |
|  | Ход поршня, мм | 122 |
|  | Рабочий объем цилиндров, л | 4 |
|  | Степень сжатия | 17.5 |
|  | Номинальная мощность, кВт (л.с.) | 118 (161) |
|  | Номинальное число оборотов, об/мин | 2400 |
|  | Максимальный крутящий момент, (Н.м) | 588 |
|  | Число оборотов при максимальном крутящем моменте, об/мин | 1200 |
|  | Минимальный удельный расход топлива по скоростной характеристике, г/(л.с.ч) (г/(кВт ч)) | 148 (201) |
|  | Направление вращения коленчатого вала (вид со стороны вентилятора) | правое |
|  | Способ смесеобразования | непосредственный впрыск топлива |
|  | Камера сгорания | однополостная в поршне |
|  | Число клапанов на цилиндр:впускныхвыпускных | 22 |
|  | Диаметр тарелки клапана, мм:впускноговыпускного | 3030 |
|  | Привод распределительного вала | шестеренчатый |
|  | Топливоподающая аппаратура | разделенного типа (топливные насосы высокого давления и форсунки) |
|  | Топливный насос высокого давления | Индивидуальный на каждый цилиндр |
|  | Форсунки | Закрытые с многодырчатым распылителем |
|  | Расход масла,% к расходу топлива | 0,3 |
|  | Масса двигателя, кг | 420 |

## Анализ внутрицилиндровых процессов, сопровождающих запуск двигателя

В результате сжатия в цилиндре дизеля создаются условия, которые обеспечивают воспламенение и последующее сгорание топлива, впрыскиваемого через форсунку. Эти условия характеризуются, с одной стороны, давлением и температурой заряда в конце процесса сжатия, а с другой – интенсивностью движения воздуха в цилиндре и камере сгорания двигателя.

Сжатие воздушного заряда в цилиндрах дизелей ЯМЗ начинается при ϕ>236о поворота коленчатого вала, после закрытия впускного клапана. Вследствие неравномерного вращения коленчатого вала, утечек заряда через неплотности поршневых колец и теплообмена со стенками цилиндра темпы роста давления и температуры по мере приближения поршня к ВМТ непрерывно изменяются.

Показатель политропы сжатия, определенный из уравнения политропыpVn=const, увеличивается от значений близких 1 в начале сжатия до 1.32 – 1.34 перед ВМТ. Около ВМТ в результате уменьшения скорости поршня и увеличения относительной поверхности теплоотдачи темпы роста давления и температуры заряда снижаются, уменьшается и показатель политропы n.

Показатель адиабаты воздушного заряда k вследствие увеличения температуры в течение всего процесса сжатия непрерывно уменьшается.

Параметры заряда в конце сжатия при пуске дизелей зависят от целого ряда факторов: степени сжатия –ε, числа оборотов коленчатого вала в минуту, утечек воздуха через неплотности цилиндра, теплообмена и значений давленийи температуры в начале сжатия.

В результате совокупного влияния этих факторов давление в конце процесса сжатия Pc при прокручивании двигателя с n=-0–100 об/мин существенно уменьшается по сравнению с соответствующим давлением при (nн) =2100 об/мин (Таблица 2.1.1)

Таблица 2.1.1 – давление Pс в цилиндрах двигателя ЯМЗ-240 после заводской обкатки (t =-5oC).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № ц | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| n об/мин | 100 | 95 | 95 | 90 | 90 | 90 | 100 | 100 | 100 | 95 | 95 | 90 |
| Pcкг/см2 | 26,4 | 26,2 | 28 | 28,4 | 27,6 | 27,2 | 31,4 | 27,2 | 30,8 | 39,9 | 29 | 30,6 |
| При nн=2100об/мин |
| Pcкг/см2 | 43,6 | 43,2 | 45,1 | 42 | 41,5 | 42,1 | 44 | 42,5 | 45,6 | 43,4 | 41,5 | 44 |

Решающее влияние на результаты процесса сжатия оказывает степень сжатия двигателя –ε. Величина ее определяется возможностью получения удовлетворительных пусковых качеств, высоко эффективным протеканием рабочего процесса, а также условиями прочности и долговечности двигателя.

Объем камеры сжатия Vс, а следовательно, и степень сжатия двигателя зависят от объемов камеры в поршне – Vк, углублений под клапаны – Vкл, надпоршневого зазора δнз и выступания бурта втулки цилиндра. Допуски по соответствующим чертежам на эти объемы, определяемые технологией производства и сборки, при неблагоприятных сочетаниях могут привести к существенному уменьшению степени сжатия и различию ее по цилиндрам двигателя.

В двигателях ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, ЯМЗ-240 основное влияние на степень сжатия оказывает надпоршневой зазор, величина которого по ТУ изменяется от 1,198 мм до 1,98 мм.

Только это может привести к изменению степени сжатия, примерно, на 2 единицы. Поэтому устанавливаемая степеньсжатия от двигателя к двигателю может изменяться от 16,5 до ~ 14,5.

Подобное изменение степени сжатия приводит к уменьшению температуры конца сжатия, примерно, на 20 ÷ 250С, а давления – на 2,5 кг/ см2. Естественно, что такое изменение параметров в конце сжатия может привести к тому, что пусковые качества отдельных двигателей могут существенно отличаться.

Из таблицы2.1.1 видно, что и в цилиндрах одного двигателя давления в конце процесса сжатия могут существенно отличаться. Значительное различие в степенях сжатия, а, следовательно, в давлениях и температурах воздушного заряда в конце процесса сжатия является основной причиной пуска двигателей ЯМЗ не на всех цилиндрах.

Вместе с этим, увеличение надпоршневого зазора в пределах допуска снижает интенсивность радиальных перетеканий в цилиндре и приводит к уменьшению отношения Vк/Vс, примерно, с 0,82 до 0,73. В результате этого уменьшается относительное количество воздуха в камере сгорания и ухудшаются условия испарения и смесеобразования, особенно при низкотемпературном пуске дизеля.

Увеличение давления и температуры воздушного заряда в период пуска в цилиндре дизеля начинается лишь после закрытия впускного клапана (ψкл = 560 поворота к.в. после НМТ) [3].

Если учесть также то, что процесс «чистого» сжатия заканчивается в момент начала поступления топлива в цилиндр, то относительное изменение объема цилиндра за процесс сжатия окажется еще меньшим.

Если обозначить через

Vψ– объем, потерянный вследствие позднего закрытия впускного клапана;

Vθ– изменение объема цилиндра, соответствующее продолжительности периода опережения впрыска θ0 поворота к.в., то «действительная» степень сжатия



после несложных преобразований можно получить

 2.1.1

λ– отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;

 – геометрическая степень сжатия.

Формула(2.1.1) дает возможность найти относительное изменение объема цилиндра за процесс сжатия («действительную» степень сжатия) в условиях различных начала и конца сжатия, что соответствует осуществлению процесса при различных запаздываниях закрытия впускного клапана и разных углах опережения впрыска топлива.

Расчеты показывают, что при геометрической степени сжатия εг=16,5, закрытии впускного клапана через 560 поворота к.в. после НМТ установка угла опережения впрыска топлива θ в 100, 200и 300 поворота к.в. до ВМТ приводит к уменьшению «действительной» степени сжатия εд, соответственно, до 11,9; 8,62 и 5,97, что в процентах составит 72,3 %, 52,2 % и 36,2 % от 16,2.

Таким образом, относительное изменение объема за процесс сжатия оказывается значительно меньше εг.Это приводит к соответствующему уменьшению параметров воздушного заряда в конце процесса сжатия.

Если принять, что в момент закрытия впускного клапана Тзк=2730К = idem, а процесс сжатия совершается со средним показателем политропы n = 1,3 = idem, то подобное изменение степени сжатия εд приведет к уменьшению температуры в конце сжатия с 6330К до 5750К; 5220К и 4670К соответственно.

Уменьшение угла запаздывания закрытия впускного клапана благоприятно сказывается на относительном изменении объема заряда при сжатии; закрытие клапана в НМТ при прочих равных условиях приводит к увеличению εд, в среднем, на 20 %.

Таким образом, кроме геометрической степени сжатия температурные условия в цилиндре в момент впрыска топлива в значительной мере будут зависеть от моментазакрытия впускного клапана и угла опережения впрыска топлива.

Из рисунка 2.2.1 следует, что наибольшее влияние запаздывания закрытия впускного клапан на величину εд наблюдается в диапазоне больших значений углов ψкл, примерно, до 40÷450 поворота

к.в. после НМТ. Дальнейшее уменьшение этого угла на двигателях ЯМЗ, по-видимому, нецелесообразно, так как «действительная» степень сжатия при этом повышается незначительно.



Рисунок 5. – Зависимость действительной степени сжатия εд от геометрической –εг, угла запаздывания закрытия впускного клапана ψкл и угла опережения впрыска топлива –θ.

В результате исследования процессов наполнения и сжатия было установлено, что одним из реальных способов улучшения пусковых качеств двигателя является сокращение продолжительности запаздывания закрытия впускных клапанов ψкл с 560 до 44–460 [3] поворота к.в. после НМТ.

Это позволило бы увеличить при θ = 200 поворота к.в. «действительную» степень сжатия –εд с 7,86 до 8,4 ÷ 8,6 и поднять температуру в момент начала впрыска топлива, примерно, на 8 – 100С по сравнению с исходным вариантом (εг = 14,0; ψкл = 56 поворота к.в. после НМТ) [3].

Исследования двигателя ЯМЗ -238 с экспериментальным кулачковым валиком в камере холода подтвердили результаты расчетов.

Уменьшение угла запаздывания закрытия впускного клапана до 460 поворота к.в. НМТ позволило увеличить при n =90 ÷ 100 об/мин давление заряда в ВМТ на ~ 1,1 ÷ 1,2 кг/см2 и снизить минимальную температуру пуска двигателя со стартером СТ-103 на ~ 50С [3]. При этом мощностные и экономические показатели двигателя при работе на номинальном режиме и по скоростной характеристике практически не изменились.

Как и предполагалось, дальнейшее сокращение продолжительности запаздывания закрытия впускного клапана вследствие слабого влияния на параметры воздушного заряда в конце сжатия и заметного ухудшения наполнения цилиндра на номинальном режиме оказалось нецелесообразным.

Надежный пуск дизеля возможен только в том случае, если в результате сжатия в цилиндре достигается достаточная для воспламенения топлива температура воздушного заряда.

## Расчеты ожидаемых параметров по температуре конца сжатия

Как видно из главы 2.2 для надежного пуска дизеля важна высокая температура конца сжатия. Во время работы двигателя на рабочих режимах на двигателе ЯМЗ-534 работает турбокомпрессор, который обеспечивает требуемую массу свежего заряда в цилиндре вследствие повышения давления впуска. При повышении давления впуска увеличивается и давление конца сжатия и температура конца сжатия.

*Pa=Pk-ΔPa – давление конца такта впуска.*

*ΔPa=0.1· Pk – падение давления при такте впуска.*

*– давление конца сжатия.*

*– температура конца сжатия (при пуске Ta=T0).*

*– температура при повышении давления.*

Поэтому на рабочих режимах не возникает проблемы воспламенения топлива, связанной с низкой температурой конца сжатия.

Во время пуска двигателя турбокомпрессор не работает, а даже создает дополнительное сопротивление на впуске. При пуске в холодных условиях температура конца сжатия в результате низкого давления впуска, по сравнению с рабочими режимами, и перетекания теплоты в стенки цилиндра температура конца сжатия значительно понижается, что приводит к ухудшению воспламенения топлива (Таблица 2.2.1).

На пусковые качества двигателя также влияет число оборотов провертывания коленчатого вала электропусковой системой. При повышении числа оборотов увеличивается политропа сжатия (n1). При изменении числа оборотов провертывания коленчатого вала от 100 об/мин до 400 об/мин политропа сжатия изменяется от 1.12 до 1.22.

Из таблицы 2.2.1 видно, что наибольшее влияние на температуру конца сжатия оказывает начальное давление и число оборотов коленчатого вала.

Еще один из важных параметров, влияющих на пусковые качества двигателя – степень сжатия ε. Как было сказано ранее, степень сжатия геометрическая определяетсяпо формуле, где Vh – полный объем цилиндра; Vc – объем камеры сгорания. Если учесть то, что сжатие заряда в цилиндре начинается после закрытия впускного клапана, а заканчивается после попадания топлива, то действительная степень сжатия εд окажется иной. То есть действительная степень сжатия зависит от угла запаздывания закрытия впускного клапана после НМТ и от угла опережения впрыска топлива. При увеличении этих углов уменьшается степень сжатия и, как следствие, понижаются давление и температура конца сжатия (Таблица 2.2.2).

Из расчетов можно сделать вывод, что во время пуска двигателя целесообразно было быповышать давление на впуске, и увеличивать действительную степень сжатия.

В грузовых автомобилях и автобусах применяется пневматическая тормозная система. Например, в тормозной системе КамАЗа постоянно находится 120 литров воздуха под давлением 0,7 МПа. Этот воздух находится в системе и после остановки двигателя и не используется до того момента, когда двигатель выйдет на рабочий режим и не начнется движение автомобиля. Этот воздух можно использовать для поднятия давления во впуском коллекторе двигателя во время пуска.

Таблица 2.2.1 – Давление и температура конца пуска в зависимости от начального давления, числа оборотов и степени сжатия

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| nк | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| nс | 1.12 | 1.136667 | 1.153333 | 1.17 | 1.186667 | 1.203333 | 1.22 |
| P= | 0.1 | МПа | Т0= | 248 | К |  |
| ε= | 15 |
| P, МПа | 1.868378 | 1.954638 | 2.04488 | 2.139288 | 2.238055 | 2.341382 | 2.44948 |
| T, К | 343.2279 | 359.0742 | 375.652 | 392.9952 | 411.139 | 430.1206 | 449.9785 |
| ε= | 16 |
| P, МПа | 2.008431 | 2.103418 | 2.202897 | 2.307081 | 2.416193 | 2.530464 | 2.65014 |
| T, К | 345.8964 | 362.2553 | 379.3878 | 397.3307 | 416.1221 | 435.8022 | 456.4131 |
| ε= | 17.5 |
| P, МПа | 2.220471 | 2.328962 | 2.442754 | 2.562106 | 2.687289 | 2.818588 | 2.956303 |
| T, К | 349.6361 | 366.7191 | 384.6368 | 403.43 | 423.1413 | 443.8158 | 465.5004 |
| ε= | 18 |
| P, МПа | 2.291647 | 2.404744 | 2.523423 | 2.64796 | 2.778642 | 2.915773 | 3.059673 |
| T, К | 350.82 | 368.1337 | 386.3019 | 405.3666 | 425.3723 | 446.3653 | 468.3943 |
| P= | 0.2 | МПа | Т0= | 248 | К |  |
| ε= | 15 |
| P, МПа | 3.736756 | 3.909275 | 4.089759 | 4.278576 | 4.47611 | 4.682765 | 4.898959 |
| T, К | 686.4559 | 718.1483 | 751.3039 | 785.9903 | 822.2781 | 860.2412 | 899.957 |
| ε= | 16 |
| P, МПа | 4.016862 | 4.206836 | 4.405794 | 4.614162 | 4.832385 | 5.060929 | 5.300281 |
| T, К | 691.7929 | 724.5106 | 758.7757 | 794.6613 | 832.2441 | 871.6044 | 912.8261 |
| ε= | 17.5 |
| P, МПа | 4.440942 | 4.657924 | 4.885508 | 5.124211 | 5.374577 | 5.637176 | 5.912606 |
| T, К | 699.2722 | 733.4382 | 769.2736 | 806.8599 | 846.2827 | 887.6316 | 931.0008 |
| ε= | 18 |
| P, МПа | 4.583294 | 4.809489 | 5.046847 | 5.295919 | 5.557283 | 5.831547 | 6.119345 |
| T, К | 701.6401 | 736.2674 | 772.6037 | 810.7333 | 850.7446 | 892.7306 | 936.7887 |
| P= | 0.3 | МПа | Т0= | 248 | К |  |
| ε= | 15 |
| P, МПа | 5.605134 | 5.863913 | 6.134639 | 6.417864 | 6.714166 | 7.024147 | 7.348439 |
| T, К | 1029.684 | 1077.222 | 1126.956 | 1178.985 | 1233.417 | 1290.362 | 1349.935 |
| ε= | 16 |
| P, МПа | 6.025293 | 6.310254 | 6.608691 | 6.921244 | 7.248578 | 7.591393 | 7.950421 |
| T, К | 1037.689 | 1086.766 | 1138.164 | 1191.992 | 1248.366 | 1307.407 | 1369.239 |
| ε= | 17.5 |
| P, МПа | 6.661413 | 6.986886 | 7.328262 | 7.686317 | 8.061866 | 8.455765 | 8.868909 |
| T, К | 1048.908 | 1100.157 | 1153.91 | 1210.29 | 1269.424 | 1331.447 | 1396.501 |
| ε= | 18 |
| P, МПа | 6.874941 | 7.214233 | 7.57027 | 7.943879 | 8.335925 | 8.74732 | 9.179018 |
| T, К | 1052.46 | 1104.401 | 1158.906 | 1216.1 | 1276.117 | 1339.096 | 1405.183 |

Рисунок 6. – Зависимость температуры конца сжатия от давления на впуске и числа оборотов коленчатого вала во время пуска двигателя.

Таблица 2.2.2 – Давление и температура конца пуска в зависимости от начального давления, числа оборотов, угла опережения впрыска топлива и угла запаздывания закрытия впускного клапана после НМТ

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| εг= | 17.5 |  | 0.3 | Т0= | 248 | К |  |
| nк | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| nс | 1.12 | 1.1366667 | 1.1533333 | 1.17 | 1.1866667 | 1.2033333 | 1.22 |
|  |  | P= | 0.1 | МПа |  |  |  |
|  | 15 |  | = | 60 |  | ε= | 9.1252166 |
| P, МПа | 1.0708161 | 1.1110125 | 1.1527177 | 1.1959886 | 1.2408837 | 1.2874641 | 1.3357931 |
| T, К | 323.35595 | 335.49412 | 348.08793 | 361.15449 | 374.71155 | 388.7775 | 403.37147 |
|  | 10 |  | = | 40 |  | ε= | 12.951916 |
| P, МПа | 1.5850998 | 1.6542286 | 1.7263722 | 1.801662 | 1.8802354 | 1.9622355 | 2.0478117 |
| T, К | 337.23432 | 351.94165 | 367.29039 | 383.30851 | 400.02521 | 417.47096 | 435.67754 |
|  | 7 |  | = | 36 |  | ε= | 14.350607 |
| P, МПа | 1.7780224 | 1.8587389 | 1.9431198 | 2.0313312 | 2.1235472 | 2.2199494 | 2.3207281 |
| T, К | 341.4099 | 356.90882 | 373.11135 | 390.04941 | 407.75641 | 426.26725 | 445.61843 |
|  | 5 |  | = | 20 |  | ε= | 16.196966 |
| P, МПа | 2.0361427 | 2.1328752 | 2.2342032 | 2.3403451 | 2.4515295 | 2.5679961 | 2.6899957 |
| T, К | 346.40466 | 362.86155 | 380.10027 | 398.15796 | 417.07353 | 436.88774 | 457.64328 |
|  | 0 |  | = | 0 |  | ε= | 17.5 |
| P, МПа | 2.2204711 | 2.3289621 | 2.442754 | 2.5621056 | 2.6872887 | 2.8185882 | 2.9563029 |
| T, К | 349.63608 | 366.71911 | 384.63681 | 403.42996 | 423.14133 | 443.81579 | 465.50039 |
|  |  | P= | 0.2 | МПа |  |  |  |
|  | 15 |  | = | 60 |  | ε= | 9.1252166 |
| P, МПа | 2.1416321 | 2.2220249 | 2.3054355 | 2.3919772 | 2.4817674 | 2.5749283 | 2.6715862 |
| T, К | 646.71191 | 670.98824 | 696.17587 | 722.30899 | 749.42309 | 777.55501 | 806.74295 |
|  | 10 |  | = | 40 |  | ε= | 12.951916 |
| P, МПа | 3.1701997 | 3.3084572 | 3.4527443 | 3.6033241 | 3.7604708 | 3.924471 | 4.0956235 |
| T, К | 674.46864 | 703.8833 | 734.58078 | 766.61703 | 800.05043 | 834.94191 | 871.35507 |
|  | 7 |  | = | 36 |  | E= | 14.350607 |
| P, МПа | 3.5560448 | 3.7174779 | 3.8862395 | 4.0626624 | 4.2470943 | 4.4398989 | 4.6414561 |
| T, К | 682.81981 | 713.81765 | 746.22269 | 780.09883 | 815.51283 | 852.53451 | 891.23686 |
|  | 5 |  | = | 20 |  | ε= | 16.196966 |
| P, МПа | 4.0722855 | 4.2657504 | 4.4684065 | 4.6806902 | 4.9030591 | 5.1359922 | 5.3799914 |
| T, К | 692.80931 | 725.7231 | 760.20054 | 796.31592 | 834.14707 | 873.77549 | 915.28656 |
|  | 0 |  | = | 0 |  | ε= | 17.5 |
| P, МПа | 4.4409422 | 4.6579242 | 4.8855079 | 5.1242112 | 5.3745774 | 5.6371764 | 5.9126058 |
| T, К | 699.27217 | 733.43823 | 769.27363 | 806.85992 | 846.28267 | 887.63158 | 931.00079 |
|  |  | P= | 0.3 | МПа |  |  |  |
|  | 15 |  | = | 60 |  | ε= | 9.1252166 |
| P, МПа | 3.2124482 | 3.3330374 | 3.4581532 | 3.5879657 | 3.7226512 | 3.8623924 | 4.0073793 |
| T, К | 970.06786 | 1006.4824 | 1044.2638 | 1083.4635 | 1124.1346 | 1166.3325 | 1210.1144 |
|  | 10 |  | = | 40 |  | ε= | 12.951916 |
| P, МПа | 4.7552995 | 4.9626858 | 5.1791165 | 5.4049861 | 5.6407062 | 5.8867065 | 6.1434352 |
| T, К | 1011.703 | 1055.8249 | 1101.8712 | 1149.9255 | 1200.0756 | 1252.4129 | 1307.0326 |
|  | 7 |  | = | 36 |  | ε= | 14.350607 |
| P, МПа | 5.3340672 | 5.5762168 | 5.8293593 | 6.0939936 | 6.3706415 | 6.6598483 | 6.9621842 |
| T, К | 1024.2297 | 1070.7265 | 1119.334 | 1170.1482 | 1223.2692 | 1278.8018 | 1336.8553 |
|  | 5 |  | = | 20 |  | ε= | 16.196966 |
| P, МПа | 6.1084282 | 6.3986257 | 6.7026097 | 7.0210353 | 7.3545886 | 7.7039883 | 8.0699871 |
| T, К | 1039.214 | 1088.5846 | 1140.3008 | 1194.4739 | 1251.2206 | 1310.6632 | 1372.9298 |
|  | 0 |  | = | 0 |  | ε= | 17.5 |
| P, МПа | 6.6614133 | 6.9868864 | 7.3282619 | 7.6863168 | 8.0618661 | 8.4557646 | 8.8689087 |
| T, К | 1048.9083 | 1100.1573 | 1153.9104 | 1210.2899 | 1269.424 | 1331.4474 | 1396.5012 |

Рисунок 7. – Зависимость температуры конца сжатия от давления на впуске и числа оборотов коленчатого вала во время пуска двигателя.

Из таблиц 2.2.1 и 2.2.2 видно, что оптимальное давление впуска (наддува) 0,2 МПа. Объем воздуха с этим давлением можно найти из уравнения:

*P1·V1=P2·V2*

,

где: *P1=0,7 МПа; V1=120 л, P2=0,2 МПа.*

 л.

Расход воздуха при пуске рассчитывается по формуле:

,

где: Vц – объем цилиндра; i – число цилиндров; n – число оборотов коленчатого вала при пуске; tп – время пуска (по нормативам tп=15 с=0,25 мин).

Скорость воздуха в сечениях подключения «наддува» к впускному коллектору во время пуска двигателя можно найти по следующим уравнениям:

*S·v·t=V*

где: *V* – объем воздуха проходящего через сечение трубопровода за весь цикл пуска;

*v* – скорость потока воздуха; *t* – время пуска; *S* – площадь поперечного сечения трубопровода.



где:*d* – диаметр трубопровода.

**

Результаты расчетов расходов воздуха в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и скоростей потока воздуха в зависимости от сечения трубопровода приведены в таблице 2.2.3 и рисунке 2.2.3.

Таблица 2.2.3 – расход воздуха при пуске двигателя ЯМЗ-534 в зависимости от числа оборотов коленчатого вала при пуске и скорости потока воздуха при различных диаметрах трубопровода

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Vц= | 1 | л | i= | 4 | tп= | 0.25 | мин |
| n (об/мин) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| V в(л) | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 |
| V(м3) | 0.05 | 0.075 | 0.1 | 0.125 | 0.15 | 0.175 | 0.2 |
|  | d= | 0.005 | м | tп= | 15 | с |  |
| *v(м/с)* | 169.77 | 254.65 | 339.53 | 424.41 | 509.30 | 594.18 | 679.06 |
|  | d= | 0.0075 | м | tп= | 15 | с |  |
| *v(м/с)* | 75.45 | 113.18 | 150.90 | 188.63 | 226.35 | 264.08 | 301.80 |
|  | d= | 0.01 | м | tп= | 15 | с |  |
| *v(м/с)* | 42.44 | 63.66 | 84.88 | 106.10 | 127.32 | 148.54 | 169.77 |
|  | d= | 0.02 | м | tп= | 15 | с |  |
| *v(м/с)* | 10.61 | 15.92 | 21.22 | 26.53 | 31.83 | 37.14 | 42.44 |
|  | d= | 0.03 | м | tп= | 15 | с |  |
| *v(м/с)* | 4.72 | 7.07 | 9.43 | 11.79 | 14.15 | 16.50 | 18.86 |

Рисунок 8. – Расход воздуха при пуске и скорости потока воздуха при различных диаметрах трубопровода

Как следует из результатов расчетов, оптимальным является значение диаметра трубопровода 20 мм. При таком диаметре трубопровода его можно подключить к двигателю, используя отверстие для установки электрофакельной свечи.

**Вывод:** как видно из приведенных графиков, повышение давления на впуске ведет к повышению температуры конца сжатия, что благотворно сказывается на испарении и воспламенении топлива в цилиндрах. Из этих же графиков видно, что температура конца сжатия существенно зависит и от частоты вращения коленчатого вала во время пуска двигателя. Притемпературе окружающего воздуха -250С некоторые сорта масел застывают, увеличивая момент сопротивления провертыванию коленчатого вала, что приводит к уменьшению частоты вращения его при пуске. Поэтому необходим подбор нужной марки моторного масла.

## Определение влияния масел на пусковые качества двигателя ЯМЗ-534

### Цель испытаний

Определить влияние масел с различными вязкостно-температурными характеристиками на частоту провертывания двигателя от электропусковой системы (ЭПС).

### Объект испытаний

#### Двигатель ЯМЗ-2Э460 № 6 собранный и отрегулированный согласно ДПП –2Э460.10 и Т.Т. 5.133. – 99

#### Моторныемасла:

– BP Vanellus C3 Extra SAE 15W-40

– BP Vanellus FE Extra SAE 10W-40

– BP Vanellus DI SAE 5W-40

– М-8-Г2(к)

#### Стартер фирмы ISKRAAZJ 3542 № 1

#### Аккумуляторные батареи 6-СТ-88.

### Условия и метод испытаний

#### Испытания проводили в камере холода экспериментального цеха ОАО «Автодизель».

#### Подготовку двигателя к испытаниям проводили в соответствии с программой – методикой 236М-1000410ПМ2.

#### При испытаниях использовали следующие эксплуатационные материалы:

– в системе смазки всесезонныеи зимнее моторное масла:

– BP Vanellus C3 Extra SAE 15W-40;

– BP Vanellus FE Extra SAE 10W-40;

– BP Vanellus DI SAE 5W-40.

– М-8-Г2(к).

– в системе питания – дизельное топливо з – 0,2 минус 35 по ГОСТ 305–82;

– в системе охлаждения – тосолА 40М.

#### Для контроля теплового состояния двигателя использовали хромель-копелевые термопары, работающие в комплекте с потенциометром КВП1–503. Термопары были установлены в масляном поддоне, в системе охлаждения, во впускном трубопроводе, в электролите аккумуляторных батарей.

#### Частоту провертывания и токи в цепи ЭПС для каждого варианта ЭПС определяли при температуреминус10; 15; 20; 25; 30 °С.

#### Аккумуляторные батареи 2×6СТ-88 готовили на 75 % для каждой серии опытов.

#### В процессе испытаний фиксировали следующие параметры:

– частоту вращения коленчатого вала, мин-1;

– ток стартера, А;

– напряжение на аккумуляторных батареях, В;

– температуру двигателя,°С;

### Порядок испытаний

#### Подготовка двигателя.

#### Подготовка аккумуляторных батарей.

#### Определение частоты провертывания коленчатого вала и тока в цепи ЭПС от стартера фирмы ISKRAAZJ 3542, аккумуляторных батарей 6СТ-88.

#### Контрольные пуски.

### Результаты испытаний

В таблице 5.1 приведены результаты прокруток двигателя ЯМЗ-2Э460 № 6от ЭПС в составе аккумуляторные батареи 2×6 СТ-88 с 75 % степенью заряженности и стартер AZJISKRA 3542 № 1 на моторных маслах 5W-40, 10W-40, 15W-40, М-8-Г2(к). По этим данным на рисунке 5.1 построены зависимости частоты провертывания и тока стартера от температуры.Из графика и таблицы видно, что наилучшими пусковыми качествами обладают загущенные масла с пологой вязкостно-температурной характеристикой. При этом преимущество по частоте провертывания и токовым нагрузкам возрастает по мере снижения температуры. Наиболее лучшим, по пусковым качествам является масло 5W-40, так при температуре минус 10 ºС преимущество по частоте вращения перед маслом М-8-Г2(к) составляет 29 мин-1 по силе тока 40 А, при температуре минус 20 ºС преимущество по частоте вращениясоставляет 63 мин-1 по силе тока 91А. При более низкой температуре ЭПС не в состоянии прокручивать двигатель в системе смазки которого используется масло М-8-Г2(к), на масле 5W-40 можно пустить двигатель с применением ЭФУ до минус 27 ºС (минимальные пусковые обороты двигателя с применением ЭФУ приблизительно равны 60 мин-1). Эксплуатационные свойства по пусковым качествам остальных масел находятся в интервале между маслами 5W-40 и М-8-Г2(к).

Таблица 5.1 – Прокрутки двигателя ЯМЗ-2Э 460 № 6 от ЭПС в составе аккумуляторные батареи 2×6СТ-88 и стартер AZJISKRA 3542 при использовании в системе смазки различных масел

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Моторное масло | Температура двигателя и аккумуляторных батарей, ºС. | Частота провертывания коленчатого вала,мин-1 | Ток стартера, А |
| 5W-40 | -10 | 181 | 245 |
| -15 | 163 | 285 |
| -20 | 123 | 339 |
| -25 | 74 | 400 |
| -30 | 26 | 490 |
| 10W-40 | -10 | 167 | 260 |
| -15 | 138 | 311 |
| -20 | 106 | 361 |
| -25 | 56 | 431 |
| -30 | 10 | 512 |
| 15W-4015W-40 | -10 | 159 | 280 |
| -15 | 125 | 331 |
| -20 | 81 | 375 |
| -25 | 32 | 450 |
| М-8-Г2(к) | -10 | 152 | 285 |
| -15 | 121 | 345 |
| -20 | 60 | 430 |

Рисунок 9. – Прокрутки двигателя ЯМЗ-2Э 460 № 6 от ЭПС в составе аккумуляторные батареи 2×6СТ-88 и стартер AZJISKRA 3542 при использовании в системе смазки различных масел

### Выводы

Моторные масла с более пологой вязкостно-температурной характеристикой при низких температурах имеют значительное преимущество и обеспечивают предельную температуру пуска двигателя на 5–7 ºС ниже по сравнению с зимним маслом класса вязкости –8. Кроме того во всем диапазоне температур частота провертывания на загущенных маслах выше а токовые нагрузки ниже. Наилучшим маслом по пусковым качествам из испытуемых является масло 5W-40.

## Функциональная схема и принцип работы пускового наддув

### Описание работы наддува

Для осуществления наддува с целью увеличения давления впускного воздуха, к впускному коллектору через отверстие для присоединения электрофакельной свечи, подсоединяется воздуховод, подводящий сжатый воздух под давление 0,2 МПа из тормозной системы автомобиля. Для предотвращения выхода воздуха через впускной тракт захлопывается аварийная воздушная заслонка, при этом питание двигателя воздухом осуществляется только из тормозной системы автомобиля.

Когда двигатель запустится, автоматика взведет аварийную заслонку, переведя двигатель на питание воздухом из окружающей среды, и перекроет воздух, поступающий из тормозной системы.

### Пуск

При повороте ключа в положение II включается блок микропроцессорного управления работой двигателя. С помощью датчиков он измеряет температуру окружающей среды давление в ресивере тормозной системы. Если температура воздуха ниже нуля градусов Цельсия, а давление в ресивере составляет не менее 0,35 МПа (чего хватит на одну попытку),то микропроцессор начинает готовить двигатель к запуску:

1. Производит закрытие аварийной заслонки;
2. Открывает подачу воздуха во впускной коллектор;
3. Дает сигнал водителю об условиях пуска и о готовности к нему.

При повороте ключа в положение III блок микропроцессорного управления начинает запуск двигателя:

1. Начинается проворачивание коленчатого вала двигателя;
2. Осуществляется контроль числа оборотов коленчатого вала, контроль вспышек в цилиндрах.

При установившемся рабочем режиме двигателя блок микропроцессорного управления переводит двигатель на питание воздухом из атмосферы и отключает подачу воздуха из тормозной системы двигателя.

Данная система устраняет проблему, связанную с тем, что при пуске двигателя не работает турбокомпрессор. При этом давление на впуске существенно ниже давления на рабочих режимах работы двигателя, что при низких температурах затрудняет пуск двигателя.

## Сравнение устройств облегчения пуска

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Устройство | Достоинства | Недостатки |
| ЭФУ | Повышение температуры воздуха на впуске. | Затруднен контроль.Ненадежность работы.Наличие специфических конструкционных элементов. |
| ЛВЖ | Повышение воспламеняемости топливовоздушной смеси в цилиндре. | Увеличение номенклатуры расходных материалов.Наличие специфических конструкционных элементов. |
| Пусковой наддув | Нет затрат на расходные материалы (топливо или пусковые жидкости). | Некоторое повышение момента сопротивления прокручиванию из-за повышения давления в цилиндрах. |
| Пусковой наддув с декомпрессором | Устраняет проблему пускового наддува.Система облегчения пуска приобретает функцию системы запуска вообще, при одновременном снижении ее энергонасыщенности.Широкие возможности применения электроники. | Некоторое усложнение конструкции.Необходимость применения электронного управления. |

Предложено использовать с целью повышения надежности пуска – пусковой наддув. Разработана схема реализации пускового наддува применительно к двигателю. Проанализированы основные параметры определяющие запуск в условиях пускового наддува без декомпрессора. Предложен качественно новый подход к проблеме запуска, охватывающий не только специфические условия зимнего пуска, и предполагающий снижение энергонасыщенности процесса пуска вообще, на основе сочетания пускового наддува с декомпрессором.

#

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|   | Токарная.Точить торец выдерживая размер(20-0,52) мм. | Второй торец, внутренняя поверхность. | Специальный токарный полуавтомат 1А73ЧН046 |
|  | Токарная.Точить наружную поверхность и фаску, выдерживая размеры (∅403,75-0,44) мм, (0,2…0,5) мм. | Торец, внутренняя поверхность. | Специальный токарный полуавтомат 1А73ЧН046 |
|  | Токарная.Точить торец и фаску, выдерживая размеры (18-0,33) мм, (2±0,8) мм. | Второй торец, наружная поверхнось. | Токарный полуавтомат 1А73ЧН047 |
|  | Токарная.Расточить отверстие и фаску, выдерживая размеры (∅353+0,12) мм, (2±0,8) мм. | Торец, наружная поверхнось. | Токарный полуавтомат 1А73ЧН047 |
|  | ЗубофрезеровальнаяФрезеровать зуб Z=93; m=4.25 | Торец, внутренняя поверхнось. | Зубофрезерный 53А80 |
|  | ЗубофрезеровальнаяФрезеровать скос зуба, выдерживая размеры (2 max) мм; (0±0.4) мм;(0.9 max) мм; (5.4 max) мм. | Торец, внутренняя поверхнось. | Зубофрезерный 53А80Н |
|  | СлесарнаяПритупить острые кромки, снять заусенцы. |  | Слесарный верстак |
|  | Промывка.Промыть деталь и высушить воздухом. Подать детали на контроль. |  | Моечная машина |
|  | Операционный контроль.Проверить (∅353-0,12) мм. |  | Стол контролера |
|  | Маркирование.Маркировать товарный знак. |  |  |
|  | Термическая.Закалка ТВЧ – поверхности зубьев, заправленные кромки, торцы зубьев со стороны заправки, твердость ≥ 48 HRC |  |  |
|  | Термическая.Отпустить 40…50 HRC. |  |  |
|  | Приемочный контроль |  | Стол контролера |
|  | Укладывание.Уложить деталь в тару. |  |  |

## Расчет и определение припусков и допусков на механическую обработку

Отверстие диаметром∅353+0,11 мм и шероховатостью Ra – 5 мкм необходимо расточить в ободе маховика.

Размер ∅353+0,11 мм соответствует 8-му квалитету точности по значению допуска [6, c. 104]. Восьмого квалитета точности можно добиться с помощью тонкого растачивания. Качество поверхности поковки– 14 квалитет, Rz=200 мкм

**Заключение**

Модернизация заключается в том, что на двигатель ЯМЗ-534 для обеспечения пуска двигателя при пониженных температурах вместо электрофакельного устройства устанавливается принципиально новая система для пускового наддува двигателя сжатым воздухом из тормозной системы автомобиля. Расчет показал, что себестоимость проектного двигателя выше чем базового. Экономический эффект от модернизации получился за счет уменьшения расхода на горюче-смазочные материалы при пуске двигателя в холодное время (что и было целью модернизации двигателя).

**Список используемых источников**

1. Ю.П. Чижков, С.М. Квайт, Н.Н. Сметнев. Электростартерный пуск автотракторных двигателей. М.: Машиностроение, 1985. 160 с.
2. С.М. Квайт, Я.А. Менделевич, Ю.П. Чижков. Пусковые качества и системы пуска автротракторных двигателей. М. Машиностроение. 1990. 258 с.
3. Исследование возможностей улучшения организации смесеобразования и рабочего процесса на пусковых режимах двигателей ЯМЗ: Отчет по НИР / Ярославский политехнический институт. – Ярославль, 1974. – 187 с.
4. Автомобили КамАз: Техническое обслуживание и ремонт/ В.Н. Барун, Р.А. Азаматов, В.А. Трынов и др. – М.: Транспорт, 1984. 251 с.
5. Желтяков В.Т., Хрящев Ю.Е., Погорелов С.А. Технологические методы обеспечения современных показателей качества ДВС: Учебное пособие / ЯГТУ – Ярославль, 1997 – 104 с.
6. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. Метод. указания/ Сост. Ю.Е. Хрящев. ЯПИ – Ярославль, 1991 – 48 с.
7. Режимы резания металлов: Справочник/ Под ред. Ю.Б. Барановского – 3-е изд., перераб. и доп. – М., 1972 – 408 с.
8. Сборник задач по технологии двигателестроения: Учебное пособие / ЯПИ – Ярославль, 1994 – 104 с.
9. Справочник технолога – машиностроителя./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова: В 2 т. – 4-е изд., перераб. и доп. – М: Машиностоение, 1985.
10. Методические указания к курсовой работе по экономике и организации машиностроительного предприятия для специальности «Двигатели внутреннего сгорания», ч. 1 [Сост.: Т.Я. Гольдина]. – Ярославль, ЯПИ, 1980, 35 с.
11. Методические указания к курсовой работе по экономике и организации машиностроительного предприятия для специальности «Двигатели внутреннего сгорания», ч. 2 [Сост.: Т.Я. Гольдина]. – Ярославль, ЯПИ, 1980, 35 с.
12. Экономическая эффективность затрат на охрану окружающей среды: Методические указания для студентов специальности «Эксплуатация автомобильного транспорта», «Двигатели внутреннего сгорания» [Сост.: Т.Я. Гольдина]. – Ярославль, ЯГТУ, 1994, 28 с.
13. В.А. Красавин. Охрана труда и защита окружающей среды в дипломных проектах: Методические указания для студентов специальности «Двигатели внутреннего сгорания»/ Ярославский политехнический институт – Ярославль, 1990. – 14 с.
14. Безопасность производственных процессов: Справочник/ С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Векшин и др. – М: Машиностроение, 1985. – 448 с.

Размещено