

**НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ**

И.С. Белоусов, А.И. Федюнин

**ПУСК
ТРАКТОРНЫХ
ДИЗЕЛЕЙ**

Новосибирск 2007

УДК 62-144

Белоусов И.С. Пуск тракторных дизелей: Учеб. пособие / И.С. Белоусов, П.И. Федюнин / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инж. ин-т. – Новосибирск, 2007. – ... с.

Учебное пособие подготовлено в соответствии с программой дисциплины «Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей» на основе многолетних исследований, выполненных в Новосибирском сельскохозяйственном институте (ныне Новосибирский государственный аграрный университет) с использованием работ по данной тематике ряда научных организаций и учебных заведений: НАТИ, НИКТИД НПО «Автоэлектроника», Иркутский СХИ и др.

Предназначено для студентов Инженерного института НГАУ, студентов и слушателей Института заочного образования и повышения квалификации, а также для инженерно-технических работников, занимающихся зимней эксплуатацией тракторов.

Утверждено методическим советом Института механизации сельского хозяйства.

Рецензент М.Н. Мефояев

Ответственный за выпуск

ВВЕДЕНИЕ

В процессе проектирования и эксплуатации тракторных дизелей важное значение имеют вопросы, связанные с их пуском. Быстрый и надежный пуск способствует улучшению условий труда сельских механизаторов, увеличению сменной выработки машинно-тракторных агрегатов, сокращению расхода топливо-смазочных материалов, повышению долговечности работы двигателей.

Территория нашей страны характерна тем, что около 70% общей площади относится к зоне сурового холодного климата с зимними температурами минус 20-30°С, а перепады температур воздуха зимой и летом достигают 70 и более градусов. Зимой вся Россия покрыта снегом. В Сибирском регионе устойчивые отрицательные температуры продолжаются с ноября по март - апрель. Число дней со среднесуточной температурой -10 °С составляет 180 и более дней. Наиболее холодными месяцами являются декабрь, январь и февраль. В самые морозные зимы 1968-1969 и 2000-2001 гг. абсолютный минимум температур воздуха достигал -44 ... -55°С.

Положение усугубляется тем, что пуск тракторных дизелей производится, как правило, в ранние утренние часы, когда среднесуточная температура воздуха наименьшая. При этом следует учитывать не только температуру окружающего воздуха, но и скорость ветра. Чем выше скорость ветра, тем быстрее идет охлаждение. Особенно это ощущает тракторист. Во взаимосвязанной системе человек – машина – среда человеческий фактор занимает первое место. Воздействие окружающей среды, природных и погодных факторов во многом определяют физическое состояние и здоровье человека. Скорость ветра, наряду с температурой воздуха, обязательно включают во все прогнозы погоды, что позволяет определить истинную температуру окружающей среды.

В табл.0.1, составленной исследователем Арктики географом Полом Сейклом из США [27], показаны ветро-холодовой индекс и эквивалентная температура, которую полезно знать механизаторам, занятым эксплуатацией техники в зимних условиях.

Например, температура -20°С при скорости ветра 10 м/с воздействует на человека так же, как температура -44,5°С при безветренной погоде.

Температура металлических деталей двигателя, охлаждающей жидкости и моторного масла выравнивается с температурой окружающего воздуха тем быстрее, чем выше скорость ветра и, следовательно, скорость понижения температуры двигателя и трактора в целом. Тракторы широко используются зимой на транспортных и дорожных работах, снегозадержании и лесозаготовках. На них вывозят на поля удобрения, подвозят корма на животноводческие фермы, транспортируют в хозяй-

ства стройматериалы и нефтепродукты. часто на значительные расстояния. При зимней эксплуатации тракторов возникает проблема пуска дизельных двигателей. Она приобретает особую остроту в условиях фермерских (крестьянских) хозяйств и вызвана их удалённостью от центральных усадеб, отсутствием гаражей и горячей воды в достаточном количестве для предпускового разогрева тракторных двигателей.

По статистическим данным, в сельскохозяйственных предприятиях на зимних работах занято от 30 до 65% наличного тракторного парка, выполняется 30-45% годового объема работ.

Низкая температура окружающего воздуха затрудняет пуск двигателей по ряду причин. Вследствие повышения вязкости топлива и снижения температуры воздушного заряда цилиндров нарушаются условия смесеобразования и ухудшается самовоспламенение дизельного топлива. Повышение вязкости моторного масла увеличивает момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала, что приводит к снижению частоты вращения вала.

Пуск осуществляется путём прокручивания коленчатого вала дизеля или электростартерной системой с номинальным напряжением 12 и 24В или вспомогательным карбюраторным двигателем с частотой вращения вала дизеля $100-250 \text{ мин}^{-1}$ с целью создания необходимых условий для воспламенения впрыснутого дизельного топлива.

Пусковые качества тракторных дизелей регламентируются государственным стандартом. В соответствии с ГОСТ 20000-S2 «Дизели тракторные и комбайновые. Основные параметры. Общие технические требования» в зависимости от температуры окружающего воздуха пуск должен обеспечиваться:

- с использованием в системе смазки зимних масел типа М-8В₂, М-8Г₂, М-8Д до -10°С без средств предпускового подогрева с применением остальных средств облегчения пуска, предусмотренных в комплекте дизели;
- до -20°С без средств предпускового подогрева, но с использованием загущенных всесезонных масел типа М-4₃/8В₂;
- ниже -20°С с применением средств предпускового подогрев.

В реальных условиях рядовой эксплуатации тракторов в зимнее время продолжительность предпусковой подготовки и пуска дизеля достигает порой 1-1,5 ч. что связано с нарушением правил ТО. неисправностями средств облегчения пуска и т.д.

В учебном пособии рассматриваются особенности рабочих процессов двигателей на режиме пуска, пусковые системы и их характеристики, средства и способы облегчения пуска тракторных дизелей при отрицательных температурах окружающего воздуха.

Глава 1. ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ ПРИ ПУСКЕ

Рабочий цикл дизеля при пуске существенно отличается от рабочего цикла на номинальном режиме. Это обусловлено тем, что частота вращения коленчатого вала и скорость движения поршни во много раз меньше, чем при работе на номинальном режиме. Увеличивается также теплоотдача в стенки цилиндра, ухудшается герметичность, во избежание потерь и утечки воздушного заряда. Происходит обратный выброс заряда через впускные клапаны.

Для надёжного пуска дизелей необходимо, чтобы температура воздуха в конце сжатия превышала температуру самовоспламенения впрыснутого форсункой дизельного топлива. Воспламенение и сгорание топлива при пуске дизелей зависят от предпусковых параметров воздушного заряда: давления P_c и температуры T_c конца сжатия, количества и качества смеси, момента впрыска и cetанового числа дизельного топлива.

1.1. Температура и давление воздушного заряда конца сжатия

На температуру T_c и давление P_c конца процесса сжатия влияют степень сжатия, частота вращения коленчатого вала, температура и давление окружающего воздуха, тепловое состояние двигателя и степень его износа. Различают степень сжатия геометрическую, действительную и фактическую [22]. Геометрическая степень сжатия учитывает только геометрические размеры двигателя. Следует читать, что у современных двигателей впускной клапан закрывается через 30-70° по углу поворота вала после НМТ. Это делается для того, чтобы улучшить наполнение цилиндра за счет газодинамического напора потока поступающего воздуха. Однако чем позднее закрывается впускной клапан, тем позднее начинается сжатие рабочего тела и тем меньше окажется действительная степень сжатия ε_0 , так как в процессе сжатия не участвует некоторый объем цилиндра. Кроме того, на номинальном режиме работы двигателя процессы сжатия протекают практически с постоянным количеством рабочего тела. При прокручивании коленчатого вала с малыми скоростями на пусковых режимах происходят значительные утечки воздушного заряда через неплотности в кольцевом зазоре цилиндро-поршневой группы, возможен обратный выброс заряда через впускные клапаны. Поэтому фактическая степень сжатия ε_{ϕ} учитывает геометрические размеры двигателя, угол закрытия впускного клапана и утечки воздушного заряда в процессе сжатия, т.е. фактическая степень сжатия наиболее полно отражает влияние всех факторов, характеризующих особенности пусковых режимов.

Утечки воздуха не могут существенно изменить закономерности теплообмена между рабочим телом и стенками цилиндра, т.е. процес-

сы сжатия, сопровождающиеся утечками заряда, могут рассматриваться как политропические. Процесс сжатия можно представить в виде большого числа элементарных процессов сжатия с утечками рабочего тела, каждый из которых состоит из двух процессов; сжатия при постоянном количестве рабочего тела ($G = const$) и выпуска при постоянном объеме ($V = const$).

Температура T_c и давление P_c конца сжатия равны:

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon_{\phi}^{n_1 - 1}, \quad (1.1)$$

$$P_c = P_a \cdot \varepsilon_{\phi}^{n_1}, \quad (1.2)$$

где T_a, P_a – температура и давление начала сжатия. К, мПа;

n_1 – средний показатель политропы сжатия;

ε_{ϕ} – фактическая степень сжатия.

$$\varepsilon_{\phi} = \xi \cdot \varepsilon_{\delta}, \quad (1.3)$$

где ξ – коэффициент сохранения заряда.

Действительная степень сжатия с учетом потеряннного объема составляет:

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{(V_h - \Delta V_h) + V_c}{V_c}, \quad (1.4)$$

где V_h, V_c – рабочий объем цилиндра и объем камеры сгорания;

ΔV_h – часть объема цилиндра, образованная в результате потеря хода от нижней мёртвой точки до момента закрытия впускного клапана поршня.

Коэффициент сохранения заряда, характеризующий величину потерь заряда в процессе сжатия, определяется как отношение массы заряда G_c при положении поршня в верхней мёртвой точке в конце пакта сжатия к массе заряда G_a в момент закрытия впускного клапана при ходе сжатия:

$$\xi = \frac{G_c}{G_a} \quad (1.5)$$

Утечки воздушного заряда, обусловленные различными причинами, зависят от скорости прокручивании коленчатого вала, геометрической степени сжатия, состояния черкала цилиндров, поршневых колец и т.д.

Установлена зависимость для определения коэффициента сохранения заряда [22]:

$$\xi = \frac{n^{0,32}}{\varepsilon_2^{0,65}} \quad (1.6)$$

где n – частота вращения коленчатого вала – от 50 до 250 мин⁻¹;

ε_2 – геометрическая степень сжатия – 15-19.

Многочисленные экспериментальные данные свидетельствуют об увеличении температуры и давления в конце сжатия при повышении частоты прокручивания коленчатого вала. При этом существует общая закономерность изменения параметров воздушного заряда при увеличении скорости прокручивания температура T_c и давление P_c резко возрастают при повышении частоты вращения до $170-200 \text{ мин}^{-1}$, затем темп роста этих параметров снижается, дальнейшее увеличение частоты вызывает незначительное их повышение.

Изменение давления и температуры воздуха в конце сжатия при повышении частоты прокручивания двигателя в процессе пуска объясняется, в первую очередь, тем, что при этом сокращается продолжительность процесса сжатия, в результате чего возрастает показатель политропы сжатия n_1 , так как уменьшается отдача тепла в стенки цилиндра двигателя.

Для указанных условий зависимость среднего показателя политропы сжатия n_1 от частоты прокручивания вала дизеля следующая [22]:

$$n_1 = 1,24 \cdot n^{0,015} \quad (1.7)$$

В Новосибирском СХИ исследовались предпусковые параметры тракторных дизелей при отрицательных температурах окружающего воздуха [23].

Экспериментальная установка состояла из дизеля (А-41, Д-240, Д-50), расположенного на открытой площадке, и соединенного с ним электрического универсального стенда КИ-5540, установленного в лаборатории, где находились и остальные измерительные приборы (рис.1.1).

Рис 1.1. Схема экспериментальной установки:

1 – электрический двигатель - тормоз АК-82-6/ЛИС; 2 – коробка передач; 3, 5 – карданный вал; 4 – тензометрический вал; 6 – дизель

Установка обеспечивала прокручивание коленчатого вала дизеля на пусковых режимах: от 0 до 250 мин^{-1} и выше. В головке двигателей А-41 и Д-50 в камере сгорания располагались малоинерционный проволочный датчик температуры и пьезокварцевый датчик давления воздушного заряда. Датчик температуры сделан из вольфрамовой проволоки диаметром 0,008 и длиной 16 мм (рис. 1.2).

На осциллограмме, кроме мгновенных значений температуры и давления воздушного заряда, фиксировались также отметки ВМТ, отметки времени через каждые 0,01 с, отметки угловых интервалов через каждые 5° по углу поворота коленчатого вала.

Рис. 1.2. Установка датчиков температуры и давления воздуха в вихревой камере двигателя: 1 – датчик температуры; 2 – датчик давления, 3 – хромель-копелевая термопара

Затем всё записывалось на фотоплёнку или светочувствительную бумагу (рис. 1.3)

Рис. 1.3.а. Образцы осциллограмм:

1 – отметка времени ($t = 0,01$ с); 2 – отметка угловых интервалов поворота коленчатого вала через каждые 5° ; 3 – температура воздушного заряда; 4 – отметки ВМТ; 5 – давление воздуха; 6 – нулевая линия

Рис. 1.3.б. Образцы осциллограмм:

1 – температура заряда, 2 – давление заряда; 3 – отметка ВМТ

Эксперименты производились при температуре окружающей среды от -1 до -30°C , скорость прокручивания коленчатого вала изменялась от 75 до 250 мин^{-1} .

И давление, и температура воздушного заряда в конце процесса сжатия растут с увеличением частоты прокручивания двигателя (рис. 1.4, 1.5).

Рис. 1.4. Зависимость давления воздуха в конце сжатия от скоростного режима прокручивания при отрицательных температурах окружающего воздуха:
 \otimes - \otimes $t_0 = -1^\circ\text{C}$; O - O $t_0 = -9^\circ\text{C}$; Δ - Δ $t_0 = -14^\circ\text{C}$; \square - \square $t_0 = -25^\circ\text{C}$; \diamond - \diamond $t_0 = -29^\circ\text{C}$

Рис. 1.5. Зависимость температуры воздуха в конце сжатия от скоростного режима прокручивания при отрицательных температурах окружающего воздуха

Затем темп их роста снижается при увеличении частоты вращения независимо от температуры окружающего воздуха. При этом давление P_c в указанных пределах практически не зависит от температуры воздуха, так как средний показатель политропы сжатия остается постоянным.

Температура T_c падает при понижении температуры окружающей среды. Это обусловлено снижением начальной температуры сжатия T_a , которая всегда выше температуры атмосферного воздуха в среднем на 12°C , что объясняется термодинамическим подогревом воздуха, проходящего через впускной тракт и поступающего в цилиндры двигателя. Характер изменения температуры воздуха в конце сжатия (рис. 1.6) дает представление о подготовленности дизеля к пуску при различных отрицательных температурах окружающей среды.

Рис. 1.6. Зависимость давления конца сжатия от теплового состояния дизеля при прокручивании в условиях отрицательных температур отрицательного воздуха: \otimes - \otimes $t_0 = -1^\circ\text{C}$; O - O $t_0 = -9^\circ\text{C}$; Δ - Δ $t_0 = -14^\circ\text{C}$; \square - \square $t_0 = -25^\circ\text{C}$; \diamond - \diamond $t_0 = -29^\circ\text{C}$

Температура самовоспламенения дизельного топлива в пусковой период зависит от ряда факторов.

Момент начала воспламенения топлива в цилиндре дизеля определяется температурой воздуха в конце сжатия T_c и минимальной критической температурой в цилиндре T_{min} , при достижении которой может начаться переход от предпламенных окислительных процессов к горячему пламени.

В этом случае справедливо неравенство [25]:

$$T_c \geq T_{min}, \quad (1.8)$$

$$T_{min} = T_s + \Delta T_s, \quad (1.9)$$

где T_s – температура самовоспламенения дизельного топлива при прокручивании на пусковых частотах;

ΔT_s – дополнительная температура, необходимая для обеспечения воспламенения топлива.

Величина ΔT_s при пуске должна находиться в пределах от 150 до 200°C. Эта температура определяет затраты энергии на активацию впрыснутого в камеру сгорания топлива. В процессе предпламенных реакций топливо нагревается в камере сгорания, испаряется и частично окисляется с образованием перекисей. Следовательно, самовоспламенение топлива при пуске дизеля происходит только тогда, когда температура в конце сжатия достигнет или превысит минимальную критическую.

Температура самовоспламенения дизельного топлива определяется групповым или фракционным составом и зависит от давления среды (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Зависимость температуры самовоспламенения дизельного топлива от давления среды

Давление среды, мПа	0,3	0,9	1,5	3,0
Температура самовоспламенения дизельного топлива, К	673	537	483	473

Чтобы топливо успело прогреться до указанных в табл. 1.1 температур за короткое время (несколько миллисекунд), температура воздуха в камере сгорания должна быть 623К и выше [25].

Из рис. 1.6 следует, что такой частотой при температуре $t_0 = -9^\circ\text{C}$ является 115 мин^{-1} , при температуре $t_0 = -14^\circ\text{C}$ минимальная пусковая частота равна 145 мин^{-1} , а при температуре $t_0 = -25^\circ\text{C}$ условия для смесеобразования отсутствуют, и необходимо применять средства облегчения пуска.

Средства облегчения пуска делятся на действующие в предпуско-

вой период и непосредственно во время пуска двигателя. Наиболее эффективным способом повышения надёжности пуска является предпусковой подогрев, который не только повышает частоту прокручивания коленчатого вала, улучшает условия самовоспламенения топлива, но и снижает изнашивание деталей при пуске, сокращает время до начала самостоятельной работы двигателя и его готовности работать под нагрузкой, а также уменьшает выбросы вредных веществ в окружающую среду. Поэтому предпусковой подогрев полезно применять при любой отрицательной температуре окружающего воздуха. При этом подогревать охлаждающие жидкости и масла целесообразно не до температур, соответствующих рабочим режимам двигателя, а до температур, обеспечивающих надёжный пуск.

Опыты по определению влияния теплового состояния дизеля на давление и температуру воздуха в конце процесса сжатия при прокручивании на пусковых частотах ($100 - 250 \text{ мин}^{-1}$) в условиях отрицательных температур воздуха от -5 до -30°C были проведены на экспериментальной установке (рис. 1.1). Двигатель подогревался серийными предпусковыми подогревателями П-100 и ПЖБ-200 (рис. 3.1).

Зависимости давления и температуры воздушного заряда в конце сжатия от теплового состояния дизеля с рабочим объемом $V_h = 4,75 \text{ л}$ показаны на рис. 1.6 и 1.7: при повышении температуры двигателя от 0 до 100°C давление P_c падает, а температура T_c растёт при прокручивании на пусковых режимах от 100 до 250 мин^{-1} .

Снижение давления конца сжатия P_c обусловлено уменьшением показателя политропы сжатия n_1 , а также уменьшением массы воздушного заряда при подогреве двигателя, что объясняется уменьшением величины коэффициента наполнения.

Температура конца сжатия T_c непрерывно растёт по мере подогрева двигателя, при этом она практически не зависит от температуры наружного воздуха, а зависит от степени предпускового подогрева двигателя, определяющего величину начальной температуры сжатия T_c и скоростного режима прокручивания коленчатого вала.

Анализ зависимости температуры воздушного заряда в конце сжатия от теплового состояния двигателя (рис. 1.7) позволяет установить оптимальные режимы прогрева тракторного дизеля перед пуском в условиях низких температур.

Как отмечалось ранее, для надёжного пуска дизеля температура воздуха в камере сгорания должна быть равна 623 К и выше, но видим, что величины T_c при прокручивании прогретого двигателя с частотой 150 и 250 мин^{-1} значительно превышают указанную температуру на всех тепловых режимах. При прокручивании коленчатого вала с частотой 100 мин^{-1} надёжный пуск дизеля будет происходить при темпе-

ратуре двигателя 23°C и выше. С некоторым запасом можно считать, что надёжный пуск двигателя будет обеспечен при температуре двигателя 30°C.

Рис. 1.7. Зависимость температуры воздушного заряда в конце сжатия от теплового состояния дизеля при прокручивании в условиях отрицательных температур окружающего воздуха (условные обозначения те же, что на рис. 1.6.)

Следовательно, тепловая подготовка дизеля, прокручиваемого с частотой 100 мин⁻¹, равная 30°C, является тем температурным пределом, при котором обеспечивается надёжный пуск тракторного дизеля в условиях отрицательных температур окружающего воздуха до -30°C.

Опыты по определению времени пуска дизеля при различном тепловом состоянии, результаты которых представлены на рис. 1.8, подтвердили правильность этого вывода.

Продолжительность пуска почти не изменяется при повышении температуры от 30 до 100°C и составляет в среднем 1-1,2 с, при температуре 20°C время пуска резко возрастает и составляет 6 с, в отдельных случаях 10-11 с, т.е. увеличивается в 5-6 раз. При 10°C продолжительность пуска увеличивается ещё больше и составляет в среднем 23 с.

Продолжительность пуска уменьшается при увеличении температуры двигателя, хотя при этом наблюдается снижение максимального давления сжатия в среднем на 0,35 мПа при прогреве двигателя от 20 до 100°C. Следовательно, снижение давления конца сжатия не ухудшает условия воспламенения дизельного топлива.

Таким образом, результаты опытов совпадают с данными, полученными при непосредственном измерении параметров воздушного заряда в камере сжатия. Подтверждается, что температурным пределом при предпусковом прогреве двигателя, обеспечивающим надёжный пуск дизеля в условиях отрицательных температур до -30°C, является 30°C при частоте прокручивания вала не ниже 100 мин⁻¹.

Назовем указанное тепловое состояние минимальной тепловой подготовкой тракторного дизеля перед пуском в условиях отрицательных температур окружающей среды. Такое тепловое состояние обеспечивает надёжный пуск, но, по данным ряда исследователей, не создаёт наилучших условий с точки зрения пусковых износов, жёсткости работы и т.д. Такие условия соответствуют оптимальному тепловому режиму: температура двигателя не менее 60°C, температура зимнего дизельного масла на входе в коренные подшипники 0...5°C и выше.

Эффективным способом повышения предпусковых параметров дизеля: температуры T_c и давления P_c – является предварительная заливка топливно-масляной смеси в цилиндры дизеля с целью уменьшения утечек воздуха в процессе сжатия через неплотности подвижного

соединения поршень – цилиндр. Смесь состоит из 2/3 зимнего дизельного масла и 1/3 зимнего дизельного топлива и обладает хорошей текучестью при низких температурах окружающего воздуха. В каждый цилиндр заливается 14-16 см³ смеси.

Рис. 1.8. Зависимость продолжительности пуска дизеля от его теплового состояния

На рис. 1.9 и 1.10 показаны зависимости давления P_c и температуры T_c в конце сжатия при прокручивании дизеля с частотой от 75 до 250 мин⁻¹ без заливки смеси (кривая 1) и с заливкой (кривая 2) при одинаковой температуре окружающей среды. Заливка указанного количества смеси способствует приращению максимального давления сжатия в среднем на 25%, причём тем больше, чем ниже частота прокручивания вала. Аналогично увеличивается и температура рабочего тела.

Рис. 1.9. Зависимость давления конца сжатия от скоростного режима прокручивания дизеля T : I – без заливки топливо-масляной смеси; II – с предварительной заливкой 14-16 см³ смеси

Рис. 1.10. Зависимость температуры конца сжатия от скоростного режима прокручивания дизеля: I – без заливки смеси; II – с предварительной заливкой 14-16 см³ смеси

Параметры заряда в конце процесса сжатия при заливке смеси повышаются по двум причинам: во-первых, увеличивается геометрическая степень сжатия и. во-вторых, снижаются утечки воздуха в процессе сжатия, т.е. возрастает коэффициент сохранения заряда.

Таким образом, заливка топливно-масляной смеси в цилиндры дизеля перед пуском является простым, но весьма эффективным способом повышения параметров процесса сжатия, так как снижает минимальную пусковую частоту примерно на 50 мин⁻¹.

Существенное влияние на пусковые качества двигателя оказывает степень его изношенности. В практике хорошо известны случаи, когда даже в теплое время года двигатели были вынуждены отправлять на ремонт из-за плохих пусковых качеств по причине больших утечек заряда. С износом деталей, образующих рабочий объем цилиндра, увеличиваются утечки воздуха из подпоршневого пространства, снижаются температура и давление сжатия, ухудшаются условия смесеобразования. Особенно сильно это проявляется при понижении температуры окружающего воздуха ниже 0°С.

В Новосибирском СХИ [26] исследовались внутрицилиндровые параметры серийного дизеля А-41 как нового, так и с различной сте-

пению износа гильзо-цилиндровой группы во время пуска при различных температурах окружающей среды и на экспериментальной установке (рис.1.1, 1.3). Кроме того, замерялись утечки воздушного заряда через неплотности гильзо-поршневой группы при прокручивании дизеля на пусковых режимах с помощью газовых счётчиков РС-40М (фиксируемый расход заряда от 4 до 48 м³/ч).

Опыты проводились с новым дизелем А-41 и имеющим большую наработку в моточасах и износ, близкий к предельному. Микрометраж показал, что наибольшему износу подвержены гильзы, кольца, поршневые канавки, на направляющей части поршней заметного износа обнаружено не было. Гильзы цилиндров имели средний износ в зоне установки верхнего компрессионного кольца, равный 0,43 мм.

Испытания дизеля А-41 на номинальном режиме с часовой подачей топлива 17 кг/ч показали, что эффективная мощность изношенного двигателя на 15% ниже, а удельный расход топлива на 16% выше, чем у нового при одинаковых условиях. Причиной существенного снижения эффективных показателей дизеля с изношенной гильзо-поршневой группой является ухудшение индикаторного процесса вследствие увеличенных потерь рабочего тела из цилиндров. Так, прорыв газов в картер на рабочем режиме под нагрузкой возрос с 29 до 103 л/мин, т.е. в 3,5 раза.

На рис.1.11 показаны зависимости температуры T_c и давления P_c воздушного заряда в конце сжатия от частоты прокручивания коленчатого вала дизеля А-41 для новой, неизношенной гильзо-поршневой группы при температуре окружающей среды -14°С (верхние кривые), и изношенной (нижние кривые) при -10°С, т.е. в сопоставимых условиях.

Рис.1.11. Изменение температуры T_c и давления P_c воздушного заряда в конце сжатия в зависимости от скорости прокручивания вала нового двигателя А-41 (верхние кривые) и изношенного (нижние кривые)

Закономерности изменения параметров заряда в конце сжатия в обоих случаях одинаковы, но абсолютные значения этих величин значительно различаются (рис. 1.11). Так, температура T_c в почти одинаковых условиях при частоте вращения вала 75 мин⁻¹ снизилась с 601 до 506К, а при 250 мин⁻¹ – с 635 до 552К.

Повышение частоты прокручивания с 75 до 250 мин⁻¹ привело к увеличению температуры T_c на 34°С у нового двигателя и на 46°С у изношенного, т.е. скорость вращения вала для изношенного двигателя имеет большое влияние на величину параметров конца сжатия. Подобная закономерность сохраняется и для давления P_c . У дизеля с новой поршневой группой рост давления конца сжатия составил 0,6 мПа для изношенной – около 0,9. Это объясняется значительно меньшим

снижением цикловых утечек по мере увеличения частоты вращения.

На рис. 1.12 показана зависимость температуры конца сжатия T_c от температуры окружающего воздуха при частоте прокручивания вала 75, 150 и 250 мин⁻¹ нового дизеля (верхние кривые) и изношенного (нижние кривые). Примечательно, что у изношенного двигателя по сравнению с новым изменение температуры окружающей среды в меньшей мере влияет на изменение температуры T_c . Так, повышение температуры с -35 до -10°C у изношенного двигателя вызывало повышение температуры в конце сжатия на 13...18°C, а для нового двигателя – на 75...85°C. Очевидно, на угол наклона $T_c = f(T_{окр})$ влияют величина теплоотдачи в стенки камеры сгорания, а также характер изменения величины показателя политропы сжатия n_1 . Поскольку у нового двигателя абсолютная величина T_c из-за меньших утечек заряда значительно выше, чем у изношенного, то и перепад температур между стенками камеры сгорания, а также зарядом больше. По мере понижения температуры окружающей среды этот перепад увеличивается, что приводит к росту теплоотдачи в стенки деталей, образующих камеру сгорания, вызывая большее, по сравнению с изношенным дизелем, падение величины T_c . По этой причине двигатель с изношенной гильзо-поршневой группой имеет плохие пусковые качества даже при положительной температуре окружающей среды. В данном случае для успешного пуска необходимы высокие пусковые частоты и продолжительное прокручивание. С учётом того, что надёжное самовоспламенение дизельного топлива происходит при температуре заряда 623К, а пусковой двигатель обеспечивает прокручивание дизеля А-41 с частотой 190 мин⁻¹ (рис. 1.12), двигатель с новой гильзо-поршневой группой может быть пущен до температуры -17...-18°C. У изношенного двигателя при указанных температурах окружающей среды надёжного самовоспламенения топлива не происходит.

Рис. 1.12. Зависимость температуры конца сжатия от окружающей температуры при различности скорости прокручивания коленчатого вала двигателя А-41: о-о-о – нового; Х-Х-Х – изношенного

Таким образом, техническое состояние гильзо-поршневой группы определяет предпусковые показатели дизеля: у изношенного двигателя утечки заряда увеличивались по сравнению с новым в 3-4 раза и достигли 21-59% по объёму в интервале пусковых частот от начального количества заряда против 5,4-22,3% для не изношенной гильзо-поршневой группы. При этом происходит снижение давления P_c от 3,2 до 1,95 мПа, т.е. на 1,25 мПа, а температура конца сжатия T_c снижается на 35...90°C, что неизменно приводит к ухудшению пусковых качеств дизеля (рис. 1.13).

Рис. 1.13. Продолжительность пуска дизеля А-41 без применения вспомогательных средств: о-о-о – нового; X-X-X – изношенного

Надёжный пуск нового дизеля А-41 от пускового двигателя возможен до $-17...-18^{\circ}\text{C}$. Увеличение среднего износа гильз цилиндра до 0,43 мм привело к повышению температурного предела пуска до $-11...-12^{\circ}\text{C}$, при этом в несколько раз возросло время пуска.

Очевидно, что пуск при этих температурах стал возможен в результате длительного прокручивания коленчатого вала и некоторого повышения температуры в конце сжатия вследствие увеличения количества тактов сжатия, а также появления отдельных вспышек и периодического возрастания частоты вращения.

Эффективным средством улучшения пусковых качеств изношенных дизелей в зимних условиях является применение легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) на базе этилового эфира (см. раздел 3.3).

Использование ЛВЖ в сочетании с разжижением моторного масла бензином до 3 л позволило осуществлять пуск изношенного дизеля А-41 при -20°C за 18 с. при -25°C – за 40°C и при -32°C – за 3,3 мин.

Анализ нагрузочных характеристик нового и изношенного двигателя при низких температурах среды показал, что дизель А-41 с предельным износом гильзо-поршневой группы имеет приемлемые мощностно-экономические показатели, которые близки к получаемым при работе в тёплое время года, что позволяет его дальнейшую эксплуатацию, т.е. срок службы гильзо-поршневой группы дизеля может быть увеличен за счёт периода зимней эксплуатации.

1.2. Моменты сопротивления прокручиванию коленчатого вала. Мощность, затрачиваемая на пуск

Для успешного пуска дизеля необходимо преодолеть момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала M_c , который может быть представлен как сумма трёх моментов:

$$M_c = M_T + M_k + M_j, \quad (1.11)$$

где M_T – момент сопротивления, возникающий от сил трения кривошипно-шатунного механизма, а также затрат энергии на привод вспомогательных механизмов (топливный, масляный, водяной насосы и др.);

M_k – момент, необходимый для преодоления сопротивления компрессии;

M_j – момент сопротивления, затрачиваемый на преодоление кинетической энергии всех движущихся частей двигателя при его разгоне.

Момент сопротивления M_k обусловленный затратами энергии на

сжатие воздушного заряда, зависит от степени сжатия (увеличения геометрической степени сжатия ε_v на одну единицу приводит к росту M_c на 2-4%) и в значительной мере снижается при прокручивании двигателя в результате возвращения энергии при расширении сжатой смеси (заряда).

Момент M_f при установившейся частоте вращения равен нулю.

Кроме этого у декомпрессированного двигателя момент, необходимый для преодоления сопротивления компрессии M_k , снижается, и изменение момента M_c пропорционально изменению сопротивления трения M_T .

В связи с тем, что затраты энергии на преодоление момента сопротивления прокручиванию двигателя зависят от большого числа факторов: площади поверхности трения, вязкости моторного масла, частоты и непрерывности вращения коленчатого вала, потерь рабочего тела и тепла в процессах сжатия и расширения – рассчитывать его весьма сложно. Поэтому момент сопротивления M_c обычно определяют опытным путём.

Экспериментальная установка для определения момента сопротивления прокручиванию дизеля А-41 при различных отрицательных температурах окружающего воздуха показана на рис.1.2.

Величина момента сопротивления возрастает по мере понижения температуры двигателя, что объясняется повышением вязкости моторного масла. При этом величина момента сопротивления растёт с увеличением частоты прокручивания коленчатого вала. Это происходит в результате повышения давления трения в кривошипно-шатунном механизме двигателя.

На рис. 1.14 показаны зависимости изменения момента сопротивления прокручивания коленчатого вала дизеля А-41 при различных частотах вращения при понижении температуры коренных подшипников, полученные экспериментальным путём.

Момент сопротивления при частоте вращения вала 200 мин^{-1} на 20-25% выше, чем при 100 мин^{-1} , и увеличивается по мере снижения температуры коренных подшипников. Эффективным средством снижения моментов сопротивления прокручиванию коленчатого вала является использование декомпрессионного механизма.

На рис.1.15 показаны графики изменения момента сопротивления нормально работающего (компрессированного) дизеля А-41 и с включенным декомпрессионным механизмом при одинаковой частоте вращения коленчатого вала, равной 150 мин^{-1} . Моменты сопротивления в обоих случаях растут по мере снижения температуры коренных подшипников, при этом момент сопротивления декомпрессированного дизеля примерно на 15-20% ниже, чем у нормально работающего. При снижении момента сопротивления трения M_T момент M_k остается по-

стоянным, т.е. процентное соотношение между ними при снижении момента M_T изменяется в сторону увеличения процентного содержания момента M_c , в результате чего общий момент сопротивления M_c снижается медленнее, чем у декомпрессированного.

Рис. 1.14. Зависимость момента сопротивления прокручиванию двигателя А-41 от температуры коренных подшипников

Рис. 1.15. Зависимость момента сопротивления M_c коренных подшипников

Расчет моментов сопротивления прокручиванию M_c (Нм) можно проводить по эмпирическим формулам [1]:

– для дизелей с числом цилиндров от 1 до 4 включительно:

$$M_c = 8,523 \cdot V_h \left(0,24 + 0,033 \frac{n}{100} \right) \cdot \nu^{0,37}, \quad (1.12)$$

– для 6-цилиндровых дизелей:

$$M_c = 8,523 \cdot V_h \left(0,10 + 0,033 \frac{n}{100} \right) \cdot \nu^{0,41}, \quad (1.13)$$

– для 8-цилиндровых и более:

$$M_c = 8,523 \cdot V_h \left(0,11 + 0,022 \frac{n}{100} \right) \cdot \nu^{0,39}, \quad (1.14)$$

где V_h – общий рабочий объем цилиндров двигателя, л;
 n – частота прокручивания коленчатого вала, мин⁻¹;
 ν – вязкость моторного масла, сСт.

Двигатели с различным числом и объемом цилиндров оцениваются по величине условного среднего давления трения, под которым понимается отношение силы трения к площади поршня.

$$P_T = 1,257 \cdot \frac{M_c}{V_h}, \quad (1.15)$$

где P_T – среднее давление трения, мПа.

В табл. 1.2 показаны моменты сопротивления прокручиванию коленчатого вала дизелей некоторых отечественных тракторов [1].

Таблица 1.2

Моменты сопротивления прокручиванию тракторных дизелей (Нм) при вязкости масла 3000-3500 сСт

Марка дизеля	Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	
	100	150
Д-21А	78-98	88-98
Д-37Е (Д-144)	157-167	167-176
Д-240	167-176	176-186

А-41С	245-265	255-274
Д-160	412-451	441-480
СМД-65	235-245	245-255
А-01МС	284-294	299-304

Баланс мощности при пуске двигателя представлен в виде уравнения [13]:

$$N_n + \sum N_i = N_T + N_j, \quad (1.16)$$

где N_n – мощность пускового устройства;

$\sum N_i$ – сумма индикаторной мощности, развиваемой отдельными цилиндрами;

N_j – мощность, расходуемая на сопротивление кинетической энергии движущихся частей;

N_T – мощность, расходуемая на преодоление сил трения движущихся частей.

Из уравнения следует, что успешный пуск двигателя произойдет в том случае, когда величина индикаторной мощности будет достаточна для преодоления сопротивления вращения коленчатого вала после отключения пусковой системы:

$$N_i \geq N_T + N_j. \quad (1.17)$$

Для возможности сравнения величин сопротивлений при пуске у различных по размерности двигателей это выражение может быть представлено в следующем виде:

$$P_i \geq P_T + P_j, \quad (1.18)$$

где P_i – среднее индикаторное давление при пуске двигателя;

P_T – среднее давление трения при вращении коленчатого вала;

P_j – среднее сопротивление увеличению кинетической энергии движущихся частей.

По данным В.М. Рютина и Г.А. Ташкинова [13], пуски дизеля ЯМЗ-238Н, проведенные при температуре окружающего воздуха -30°C и различном тепловом состоянии, соответствующем температуре охлаждающей жидкости в системе охлаждения от 0 до 60°C , показали, что среднее индикаторное давление изменяется соответственно от $0,37$ до $0,62$ МПа, что на $32-62\%$ ниже среднего индикаторного давления P_i при работе двигателя на номинальном режиме (рис. 1.16).

Уменьшение среднего индикаторного давления P_i при снижении температуры охлаждающей жидкости в системе от 30°C и ниже объясняется увеличением теплоотдачи в стенки цилиндра и количества топлива, которое при впрыске достигает стенок камеры сгорания, в результате чего в испарении и сгорании участвует меньшее количество топлива. Вследствие того происходит снижение индикаторного к.п.д.

Рис. 1.16. Изменение среднего индикаторного давления при пуске в зависимости от теплового состояния двигателя

Рис. 1.17. Зависимости моментов сопротивления M_c дизеля А-41 и крутящего момента $M_{кр}$ пускового агрегата П-350-1 от n : 1 – $M_{кр} = f(n)$ при $i = 36$; 2 – $M_{кр} = f(n)$ при $i = 18,6$; 6 – $M_c = f(n)$ при $T = -20^\circ\text{C}$; 7 – $M_c = f(n)$ при $T = -15^\circ\text{C}$; 8 – $M_c = f(n)$ при $T = -10^\circ\text{C}$

С повышением температуры охлаждающей жидкости от 30°C и выше заметного увеличения давления P_i не происходит, так как при повышении теплового состояния двигателя возрастает величина подогрева воздуха во впускном коллекторе, что уменьшает плотность воздуха и понижает коэффициент наполнения η_v . Следовательно, с точки зрения надёжности пуска подогревать двигатель при отрицательных температурах воздуха целесообразно до температуры 30°C что согласуется с приведенным выше показателем минимальной тепловой подготовки.

Пусковые качества двигателей внутреннего сгорания оцениваются минимальной пусковой частотой прокручивания коленчатого вала n_{min} и величиной среднего давления трения P_T при заданной вязкости моторного масла. Чем выше величины n_{min} и P_T , тем больше момент сопротивления прокручиванию и необходимая мощность пусковой системы.

В сводной табл. 1.3 приведены полученные экспериментальным путём скоростные режимы ряда отечественных тракторных дизелей без использования средств облегчения пуска и с их применением; свечей подогрева воздуха, свечей накаливания, электрофакельных устройств и легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) при разных температурных условиях [2].

Определить возможную скорость прокручивания вала дизеля при применении определённого пускового двигателя с редуктором, имеющим заданное передаточное отношение i , можно путём совмещения на одном графике кривой приведенного крутящего момента пускового двигателя с кривыми моментов сопротивления дизеля.

На рис. 1.17 показано изменение моментов сопротивления M_c дизеля А-41 при использовании моторного масла М-8В₂ при различных температурах: кривые 6,7 и 8 при -20 , -15 и -10°C соответственно, кривые приведенного крутящего момента $M_{кр}$ пускового двигателя П-350 (кривые 1 и 2 с общими передаточными числами редуктора $i_1 = 30$ и $i_2 = 18,6$ соответственно) в зависимости от частоты прокручивания от 50 до 225 мин^{-1} . Выбор рационального передаточного отношения i необходим для согласования характеристик пускового агрегата и дизеля

Скоростная характеристика пускового двигателя П-350 приведена на рис.2.11.

Из рис. 1.17 следует, что пусковой агрегат П-350-1, установленный на одноступенчатом редукторе с общим передаточным числом $i_2 = 18,6$, обеспечивает частоту прокручивания вала дизеля $120-190 \text{ мин}^{-1}$ при температуре -10°C (кривые 2 и 8). При более низкой температуре пусковой агрегат не обеспечивает вращение коленчатого вала дизеля.

Увеличение передаточного числа редуктора до $i_1 = 30$ обеспечивает прокручивание коленчатого вала дизеля А-41 этим же пусковым агрегатом с частотой $140-150$ и $120-135 \text{ мин}^{-1}$ соответственно при температурах -15°C (кривые 1 и 7) и -20°C (кривые 1 и 6). Продолжительность пуска дизеля при -15°C составила $2,2-2,7 \text{ с}$, при -20°C – $3,2-4,9 \text{ с}$, что свидетельствует о надёжности пуска дизеля А-41 с данным редуктором [2].

Необходимая мощность пусковой системы для заданных условий определяется исходя из среднего момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала дизеля и его частоты вращения:

$$N_{II} = \frac{\kappa \cdot M_c \cdot \omega}{\eta \cdot 1000}, \quad (1.19)$$

где N_{II} – мощность пусковой системы, кВт;

M_c – средний момент сопротивления, Нм;

ω – угловая скорость вращения коленчатого вала, с^{-1} ;

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (1.20)$$

где n – частота прокручивания коленчатого вала, мин^{-1} ;

κ – коэффициент, учитывающий возможное снижение мощности пускового устройства в процессе эксплуатации, изменяющийся от 1,1 до 1,5;

η – к.п.д. передачи от пускового устройства к маховику дизеля, равный 0,85 при электростартерной системе и 0,75 при использовании пускового агрегата с пусковым двигателем при односкоростном редукторе и 0,725 – при двухскоростном.

С учётом характера изменения крутящего момента в зависимости от частоты прокручивания приведенный максимальный крутящий момент пускового двигателя должен быть на 10-15% выше момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала.

Пример расчёта мощности пусковой системы

Исходные данные: дизель 6-цилиндровый, общий рабочий объём $V_h = 7,12 \text{ л}$, частота прокручивания коленчатого вала при пуске $n = 150 \text{ мин}^{-1}$, температура окружающей среды -25°C . моторное масло М-4₃/8В₂.

При температурно-вязкостной характеристике данного масла (рис.4.1) определяем его вязкость при заданной температуре:

$$\nu = 3000 \text{ мм}^2 / \text{с} = 3000 \text{ сСт}$$

Находим момент сопротивления прокручиванию коленчатого ва-

ла дизеля:

$$M_c = 8,523 \cdot V_h \left(0,10 + 0,033 \frac{n}{100} \right) \cdot v^{0,41},$$

$$M_c = 8,523 \cdot 7,12 \left(0,10 + 0,033 \frac{150}{100} \right) \cdot 3000^{0,41},$$

$$M_c = 295,1 \text{ Нм}$$

С учётом изменения крутящего момента пускового двигателя по скоростной характеристике увеличиваем расчётный M_c на 15% и определяем приведенный крутящий момент пускового двигателя:

$$M_{C_{np}} = M_c + 0,15M_c = 308,5 \text{ Нм}$$

Определяем необходимую мощность пускового двигателя:

$$N_{II} = \frac{\kappa \cdot M_{C_{np}} \cdot \omega}{\eta \cdot 1000}$$

Угловая скорость вращения коленчатого вала:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 150}{30} = 15,7 \text{ с}^{-1}.$$

Принимаем коэффициент $\kappa = 1,5$, к.п.д. $\eta = 0,75$.

$$N_{II} = \frac{1,5 \cdot 308,5 \cdot 15,7}{0,75 \cdot 1000} = 9,68 \text{ кВт}$$

По техническим характеристикам пусковых двигателей (табл.2.6) выбираем двигатель П-350 номинальной мощностью 9,92 кВт с частотой вращения коленчатого вала $n_H = 4000 \text{ мин}^{-1}$.

Зная пусковую частоту дизеля n и частоту вращения коленчатого вала пускового двигателя n_H , при номинальной мощности находим общее передаточное число редуктора пускового агрегата:

$$i = \frac{n_H}{n} = \frac{4000}{150} = 26,7$$

Частота вращения вала редуктора при отключении системы автомата двигателя П-350 составляет 2750-3000 мин^{-1} (табл. 2.7).

Глава 2. ПУСКОВЫЕ СИСТЕМЫ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ. ПУСКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

На дизелях отечественных сельскохозяйственных тракторов в качестве пусковых устройств используются электростартерные системы и пусковые агрегаты с карбюраторными двигателями.

Пусковые двигатели имеют значительно больший энергетический ресурс по сравнению с электростартерными системами. Преимущество последних заключается в их компактности, автоматизации управления и ускорении процесса пуска, но ресурс их ограничен возможностями аккумуляторных батарей, что особенно проявляется при эксплуатации в зимних условиях. Масса электростартерных систем, как правило, выше, чем у пусковых двигателей.

Для пуска дизеля его коленчатый вал должен обеспечить такую минимальную частоту вращения, которая была бы достаточной для заполнения цилиндров свежим зарядом воздуха, сжатия, смесеобразования и воспламенения топливно-воздушной смеси. Такая частота вращения вала называется пусковой.

Пусковые характеристики дизеля регламентируются ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые». Пусковые характеристики для тракторных дизелей с электростартерной системой пуска и характеристики продолжительности пуска дизелей, оборудованных системой пуска с помощью карбюраторных пусковых двигателей, определяются в интервале температур окружающего воздуха от $-8...-10$ до $-24...-26^{\circ}\text{C}$.

Продолжительность пуска дизеля определяется временем прокручивания коленчатого вала в процессе пуска до момента отключения пускового устройства. После его отключения и выхода на минимальную устойчивую частоту вращения холостого хода дизель должен работать не менее 2 мин.

Пуск дизеля с электростартерной системой должен осуществляться не более чем с трёх попыток продолжительностью не более 20 с каждая с интервалом между ними 1-1,5 мин.

Пуск дизеля с системой от пускового двигателя должен осуществляться общей продолжительностью не более 5 мин.

Минимальная температура пуска – это наименьшая температура, при которой происходит пуск дизеля.

Пусковые характеристики для дизелей с электростартерными системами определяются не менее чем при трёх значениях температуры окружающего воздуха с интервалами между ними не менее 5°C (рис. 2.1). Пуски при снятии каждой характеристики должны проводиться не менее чем на четырёх скоростных режимах (рис. 2.2). Допускается применение средств облегчения пуска, входящих в комплект дизеля. На каждом температурном режиме следует провести не менее трёх пусков.

Рис. 2.1. Пусковые характеристики

Рис. 2.2. Характеристика продолжительности пуска

2.1. Электростартерные системы

Электростартерная система состоит из аккумуляторной батареи – источника энергии, стартерной цепи – провода, коммутационной системы управления, стартера и средств облегчения пуска (рис.2.3). Типовая схема управления электростартером показана на рис. 2.4.

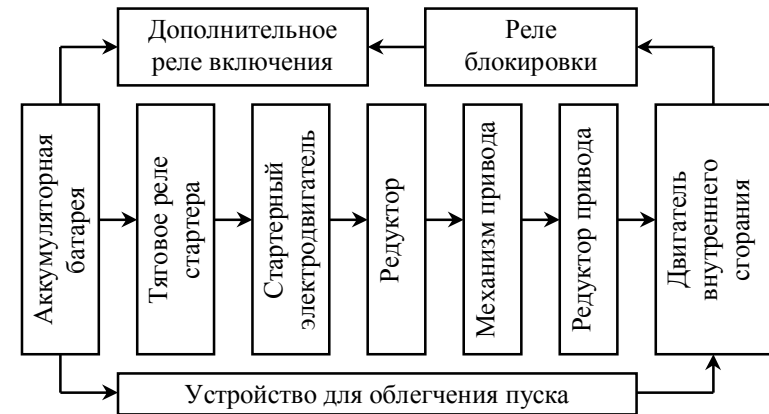


Рис.2.3. Структурная схема системы электростартерного пуска

Рис. 2.4. Типовая схема управления электростартером:

1 – аккумуляторная батарея; 2 – контактные болты; 3 – подвижная контактная пластина; 4 – выключатель стартера; 5 – втягивающая обмотка тягового реле; 7 – якорь тягового реле; 8 – шток; 9 – рычаг привода; 10 – поводковая муфта; 11 – муфта свободного хода; 12 – шестерня привода; 13 – зубчатый венец маховика; 14 – стартерный электродвигатель; 15 – якорь стартерного электродвигателя; 16 – последовательная обмотка возбуждения; 17 – параллельная обмотка возбуждения

В качестве стартерного электродвигателя применяется электродвигатель постоянного тока последовательного или смешанного возбуждения. Основные параметры электродвигателя: номинальное напряжение (12, 24В), номинальная мощность, номинальная частота вращения и крутящий момент, ток при максимальной мощности. Основные параметры электростартеров, применяемых для дизелей отечественных сельскохозяйственных тракторов, приведены в табл. 2.1.

Стартер как электрическая машина характеризуется комплексом электромеханических характеристик – зависимостями момента M , частоты вращения якоря n , мощности P , к.п.д. и напряжения на зажимах U и тормозного напряжения стартера U_T от потребляемого тока I .

По ГОСТ 9944-77 пусковую мощность стартера определяют при степени заряженности батареи 75%, температуре электролита -15°C в конце третьей попытки пуска двигателя при учете падения напряжения в проводах.

На рис. 2.5 приведена номинальная характеристика одного из электростартеров, применяющихся для пуска отечественных тракторных дизелей. Из характеристики видно, что крутящий момент растит по мере увеличения тока стартера и снижения частоты вращения якоря. Наибольшая мощность, развиваемая стартером, соответствует току, примерно равному половине его максимального значения. При холостом ходе стартера частота вращения якоря наибольшая, а потребляемый ток будет наименьшим.

Рис. 2.5. Номинальная характеристика электростартера СТ-142 при емкости аккумуляторной батареи 190 А·ч

Электростартер является основным потребителем энергии аккумуляторной батареи.

В зависимости от мощности стартера, температуры окружающей среды и условий пуска дизеля сила тока стартерного разряда составляет 100-1500 А. Основные параметры батареи оцениваются по вольт-амперной характеристике. Вольт-амперная характеристика представляет собой зависимость напряжения батареи U_b от тока разряда I_b . На рис. 2.6 показана вольт-амперная, а также мощностная характеристика, которая представляет собой зависимость мощности, отдаваемой батареей в нагрузку, от величины тока или времени разряда. Мощность, развиваемая батареей, соизмерима с мощностью электростартера.

Рис. 2.6. Вольт-амперные и мощностные характеристики батареи при $+25^{\circ}\text{C}$ и -20°C

Начальные разрядные напряжения и токи короткого замыкания некоторых аккумуляторных батарей приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Начальные разрядные напряжения и токи короткого замыкания тракторных аккумуляторных батарей

Аккумуляторная батарея	Температура электролита, $^{\circ}\text{C}$	Начальное разрядное напряжение, В	Ток короткого замыкания, А	Примечание

ЗТСТ-150 ЭМС	-10	11,9	1385	
	-20	11,8	1090	
ЗСТ- 155 ЭР	-20	11,0	2360	Счет сборки* 13/14
	-25	10,8	1680	
ЗСТ-215 ЭМ	-10	11,9	2160	
	-20	11,8	1665	
ЗСТ-225 ЭР	-25	11,2	2550	Счёт сборки 18/19
6ТСТ-132 МС	-10	11,9	1250	
	-20	11,8	970	
6ТСТ-182 ЭМС	-10	11,9	1690	
	-20	11,8	1335	
6СТ-190 ТР	-20	11,8	1905	
	-25	11,8	1730	

* Количество положительных и отрицательных пластин в секции.

На рис. 2.7 показана вольт-амперная характеристика комплекта аккумуляторных батарей, состоящего из двух 6-вольтовых батарей ЗСТ-215ЭМ, применяемого на тракторах МТЗ-80, при температурах электролита -10 и -20°С.

Рис. 2.7. Вольт-амперные характеристики комплекта аккумуляторных батарей 2xЗСТ-215ЭМ: 1 – $C_3 = 75\%$, $t_3 = -10^\circ\text{C}$, $z = 3$; 2 – $C_3 = 75\%$, $t_3 = -20^\circ\text{C}$, $z = 3$

Подготовка к работе аккумуляторных батарей сводится к приготовлению электролита определённой плотности и зарядке батареи. Плотность электролита зависит от района эксплуатации и времени года (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Плотность электролита в аккумуляторной батарее

Климатическая зона	Время года	Плотность электролита, г/см ³ , приведённая к 25°С	
		заливаемого	заряженной батареи
Очень холодная	Зима	1,290	1,310
	Лето	1,250	1,270
Холодная	Весь год	1,270	1,270
Умеренная	Весь год	1,250	1,270

Срок службы аккумуляторных батарей определяется временем с начала эксплуатации до того момента, когда её ёмкость снизится до 40% от номинального значения. В реальных условиях аккумуляторная батарея обычно имеет срок службы до 4 лет, который зависит от качества и периодичности обслуживания, регулируемого напряжения генератора, условий хранения и т.п. Срок длительного хранения су-хозаряженных батарей составляет 3-4 года. В эксплуатации величина

регулируемого напряжения определяется возможностью обеспечения подзаряда аккумуляторной батареи, которая зависит от места установки батареи, климатической зоны и времени года (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Регулируемое напряжение генератора

Климатическая зона	Время года	Рекомендуемое напряжение при установке батареи, В	
		наружной	подкапотной
Холодная	Зима	14,5-15,5	14,2-15,0
	Лето	13,8-14,8	13,2-14,2
Умеренная	Весь год	13,8-14,8	13,2-14,2

При недостаточной плотности электролита и значительной разряженности батареи возможно замерзание электролита. При начальной плотности $1,30 \text{ г/см}^3$ электролит даже полностью заряженной батареи может замёрзнуть при -24°C . С уменьшением начальной плотности до $1,24 \text{ г/см}^3$ возможно замерзание электролита уже при -5°C . Низкие температуры значительно ухудшают условия заряда аккумуляторных батарей. Уже при -10°C разряженная на 50% батарея может быть заряжена только на 60-65% от номинальной ёмкости. При температурах ниже -10°C для поддержания батареи в заряженном состоянии необходимо повышать регулируемое напряжение генератора (табл. 2.4).

Надёжность пуска тракторных дизелей в зимних условиях при использовании в качестве пускового устройства электростартерных систем в значительной мере определяется температурой электролита аккумуляторных батарей. Известно [14], что ёмкость кислотных стартерных аккумуляторов уменьшается на 1-1,5% на каждый градус снижения температуры электролита (от 30°C). Так, если температура электролита после ночной стоянки опускается до $-20...-25^\circ\text{C}$, то это снижает ёмкость батареи не менее чем на 50-55% от номинальной величины. Следовательно, аккумуляторная батарея, например 6СТ-132, ёмкостью 132 А·ч при указанной температуре будет иметь ёмкость не более 66 А·ч, что почти соответствует ёмкости батареи 6СТ-60, имеющей комнатную температуру. Совершенно очевидно, что такая батарея не обеспечит минимальной пусковой частоты. По данным А.Н. Гаврилова [14], за время межсменной стоянки на открытой, защищённой от ветра площадке неутеплённая аккумуляторная батарея остывает со скоростью 2,6 град/ч, т.е. за 16 ч температура электролита приближается к температуре окружающего воздуха и отстаёт от неё в конце периода примерно на 10°C (рис. 2.8) и в дальнейшем сравнивается с ней.

Рис. 2.8. Скорость остывания электролита в аккумуляторах: а – утепленной войлоком батареи; б – не утепленной батареи; в – температура окружающей

го воздуха

Скорость остывания батарей можно уменьшить путём тщательного утепления без изменения конструкции гнезда батареи. При утеплении без изменения конструкции гнезда однослойным войлоком и только верхней поверхности аккумуляторов температурный режим батареи изменяется незначительно от неутепленной всего на 3-5°C.

Во время эксплуатации тракторов в течение смены температура электролита (табл. 2.5) изменяется незначительно.

Таблица 2.5

Изменение температуры электролита в зависимости от температуры окружающего воздуха

Температура окружающего воздуха, °С	Температура электролита, °С
-18	-16
-23	-20
-25	-23

При этом плотность электролита с уменьшением его температуры повышается, что можно объяснить увеличением его вязкости и ухудшением условий подзарядки аккумуляторов во время работы. Результаты измерения плотности электролита с учетом поправки денсиметра, проведённого на двух тракторах МТЗ-80 с дизелями №208865 и 204572, показаны на рис. 2.9.

Рис. 2.9. График зависимости плотности электролита от его температуры

Вследствие низких температур батарея способна получить лишь частичный заряд. При температуре электролита -20°C и ниже дальнейший заряд её прекращается даже при повышении зарядного напряжения до предельной величины. Все это может привести к отказу работы стартера. Чтобы избежать этого и обеспечить надёжный пуск холодного двигателя, целесообразно подогревать электролит в аккумуляторах.

Известны несколько способов подогрева батарей при наружной их установке:

- горячей водой из системы охлаждения двигателя через специальный змеевик, смонтированный в теплоизоляционный ящик, в котором установлена батарея;
- отработанными газами двигателя из выпускной трубы через термоизоляционный кожух.

Подогрев батарей горячей водой и отработанными газами происходит только во время работы двигателя, поэтому он не эффективен при пуске холодного двигателя с остывшими батареями, т.е. тогда, когда необходима максимальная отдача энергии аккумуляторными.

Подогрев электролита перед пуском двигателя от постороннего ис-

точника тока применяется в специальных аккумуляторных батареях (например 6СТ-190 ТР-Н для автомобилей КАМАЗ), внутри которых имеются нагревательные элементы (НГТФ-100-1), выполненные из графитизированного вязкого шнура с фторопластовой изоляцией. Аккумуляторы снабжены термовыключателем, срабатывающим при температуре электролита 15°C. Подогреватель имеет мощность 600 Вт.

В Иркутском СХИ разработан подогрев аккумуляторов отработавшими газами предпусковых жидкостных подогревателей, которые могут устанавливаться на тракторах (см. раздел 3.1 настоящего учебного пособия). Чтобы восстановить работоспособность холодных аккумуляторных батарей, перед пуском двигателя необходимо за короткий срок подогреть электролит в батарее до 10... 15°C. Для этого к стандартному подогревателю изготавливается (в хозяйствах) специальная насадка, позволяющая направлять и регулировать поток газов на верхнюю плоскость аккумуляторной батареи, через которую передается около 80% тепла, подводимого к электролиту. Скорость нагрева электролита составляет 1°C/мин. продолжительность примерно 20 мин. При большей скорости нагрева (1,5°C/мин) отмечается размягчение герметизирующей мастики аккумуляторов [14].

Самый простой, доступный, но трудоемкий способ сохранения ёмкости аккумуляторов в зимних условиях – хранение батарей в межсменный период в теплом помещении.

2.2. Пусковые агрегаты

Пусковые агрегаты состоят из пусковых двигателей и передаточных редукторов. В качестве пусковых двигателей тракторных дизелей используются карбюраторные двухтактные двигатели ПД-8М, ПД-10У, ПД-10УД, П-350, П-700 мощностью 6-24 л.с. (5,1-17,6 кВт), а также четырехтактный карбюраторный двигатель П-23М мощностью 19 л.с. (П.97 кВт). Технические характеристики пусковых двигателей приведены в табл. 2.6.

Вес двухтактные пусковые двигатели имеют кривошипно-камерную продувку, работают на смеси бензина и дизельного масла в пропорции 20:1.

Индикаторная диаграмма двухтактного карбюраторного двигателя свёрнутого вида (а) и круговая диаграмма фаз газораспределения (б) показаны на рис. 2.10. Цилиндр двигателя имеет три окна: выпускное 1 и продувочное 2, которое открывается верхней частью поршня и сообщается с внутренней полостью цилиндра. Внутреннее окно 3 открывается юбкой поршня и сообщается с кривошипной камерой.

Рис. 2.10. Схема работы, свернутая индикаторная диаграмма (а) и круговая

диаграмма фаз газораспределения (б) двухтактного карбюраторного двигателя с кривошипно-камерной продувкой

В двухтактных двигателях рабочий цикл завершается за один оборот коленчатого вала. В этом заключается их основное преимущество перед четырёхтактными, у которых рабочий ход чередуется с тактом впуска и его литровая мощность оказывается значительно больше, что позволяет снизить габариты и массу двигателя. Недостатком двухтактного двигателя является сокращение процесса газообмена по углу поворота коленчатого вала примерно вдвое, что проявляется в худшей очистке цилиндров от отработавших газов, потерях определённой части горючей смеси при одновременном открытии продувочных 2 и выпускных 1 окон (позиция Г'-Г на рис. 2.10 б). Это приводит к повышению относительного количества остаточных газов в смеси (до 15-25%), ухудшению процесса сгорания, повышению содержания СО в выхлопных газах и значительному увеличению удельного расхода топлива, т.е. снижению экономичности по сравнению с четырёхтактным.

Этот недостаток компенсируется малой продолжительностью работы пускового двигателя в течение смены. Системы охлаждения пусковых двигателей ПД-10У, П-10УД, П-350, П-700 – термосифонные, сообщающиеся с системой охлаждения двигателя, система охлаждения пускового двигателя ПД-8М воздушная, независимая.

Скоростная характеристика пускового двигателя П-350 приведена на рис.2.11.

Все пусковые двигатели, кроме П-23М, имеют редукторы, которые увеличивают крутящий момент и обеспечивают передачу вращения коленчатому валу дизеля (табл. 2.7).

Рис. 2.11. Скоростная характеристика двигателя П-350

Рис. 2.12. Кинематическая схема пускового агрегата дизеля Д-240Л с пусковым двигателем П-10УД

Кинематическая схема пускового агрегата дизеля Д-240Л трактора МТЗ-80 (82) с пусковыми двигателями П-ШУД приведена на рис.2.12.

Крутящий момент пускового двигателя передаётся от шестерни 2 коленчатого вала 1 через промежуточную шестерню 3 к шестерне муфты сцепления редуктора 4. При сжатых ведущих и ведомых дисках муфты сцепления 5 вращение передаётся через роликовую муфту свободного хода 6 на вал редуктора 7 и далее через шестерню автомата 8 к венцу маховика 10. При появлении вспышек в цилиндрах дизеля происходит расклинивание роликов муфты свободного хода. Нарастание скорости вращения коленчатого вала дизеля при пуске приводит к срабатыванию центробежного автомата 9, шестерня 8 выходит из зацепления и коленчатые валы пускового двигателя и дизеля разъединяются.

Надёжность пуска пусковых двигателей в значительной мере определяет общую продолжительность пуска трактора. По сравнению с четырёхтактными автотракторными ДВС двухтактные карбюраторные двигатели имеют отличия, которые существенно влияют на их пусковые качества: наличие кривошипной камеры для предварительного сжатия рабочей смеси, наличие масла в топливе, применение роликовых и шариковых подшипников коленчатого вала, использование в системе зажигания магнето, применение дублирующего пускового механизма, наличие многодисковых муфт сцепления, расположенных в масляной ванне и др. Пуск двухтактных карбюраторных двигателей в условиях низких температур окружающего воздуха имеет свои особенности.

Двухтактные двигатели по сравнению с четырёхтактными характеризуются более сложной системой впуска, значительными потерями бензовоздушной смеси (в результате совмещённого открытия выпускных и продувочных окон), плохой очисткой цилиндров от остаточных газов, что существенно ухудшает процесс наполнения цилиндров свежим зарядом. На пусковые качества двухтактных карбюраторных двигателей большое влияние оказывает реальная степень сжатия ϵ_r , которая представляет собой отношение объёма цилиндра в момент закрытия выпускных окон к объёму камеры сгорания:

$$\varepsilon_p = \frac{V_h' + V_c}{V_c}, \quad (2.1)$$

где V_h' – рабочий момент цилиндра в момент закрытия выпускных окон (рис. 2.10);

V_c – объём камеры сгорания.

Принимая во внимание сходство протекания процессов рабочего цикла двухтактных и четырёхтактных двигателей, его параметры можно определять по зависимостям, приводимым для четырёхтактных двигателей, но с учётом реальной степени сжатия ε_p .

Влияние на ухудшение пусковых качеств двухтактных карбюраторных двигателей имеет неравномерность вращения коленчатого вала δ . Опытным путём установлено, что процесс пуска ухудшается уже при $n < 250 \text{ мин}^{-1}$. Это определяет, несмотря на сравнительно небольшое значение среднего момента сопротивления M_c , достаточно высокую величину пусковой частоты n_{min} у двухтактных двигателей.

В Новосибирском СХИ проводились испытания пусковых агрегатов ПА-700 с целью определения продолжительности пуска (или количества попыток пуска дублирующим пусковым механизмом от руки) двигателей П-700 без предварительного разогрева в зимних условиях со штатной электростартерной системой (электростартер Ст-367. аккумуляторная батарея 6СТ-75), а также при использовании дублирующего пускового механизма от руки без применения каких-либо средств облегчения пуска.

В целях снижения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала пускового двигателя было произведено разжижение масла М-8В₂ в картере передаточного механизма зимним дизельным топливом в пропорции 1:1.

Пуски двигателя производились при температурах окружающего воздуха от -6 до -31,5°C. Всего за период испытаний проведено 75 пусков, из них 36 с помощью электростартерной системы, 29 – с использованием дублирующего пускового механизма от руки.

При штатной электростартерной пусковой системе в интервале температур от -6 до -25°C продолжительность пуска двигателя составила 0,5-2,0с с первой попытки. При применении дублирующего пускового механизма количество попыток (рывков) для успешного пуска двигателя в указанном диапазоне температур находилось в пределах 1-4. Эти данные согласуются с результатами исследований, проведённых в НИКТИД (г. Владимир) в холодильной камере в аналогичных условиях (с разжижением зимнего масла М-8В₂ в картере передаточного механизма). При этом отмечается, что пусковые качества двухцилиндрового двигателя П-700 выше, чем у одноцилиндровых П-10УД и ПД-

8М, температурным пределом пуска которых оказалось -20°C . Опыты, проведенные в Новосибирском СХИ в интервале температур окружающего воздуха от $-26,5$ до -29°C . показали, что пуск двигателя П-700 с помощью электростартерной системы также осуществляется с первой попытки продолжительностью 1-10 с (табл. 2.8)

Таблица 2.8

Продолжительность пуска двигателя П-700

Температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Температура охлаждающей жидкости, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность пуска, с
-27,0	-26,0	3,5
-29,0	-27,0	3,0
-28,0	-27,0	10,0
-26,5	-24,5	1,0
-27,0	-26,0	1,5

Пуски двигателя при температурах ниже -26°C с помощью дублирующего механизма (от руки) также оказались успешными и были осуществлены с 2-4 попыток (рывков) (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Количество попыток пуска двигателя П-700 от руки

Температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Температура охлаждающей жидкости, $^{\circ}\text{C}$	Количество попыток (рывков), при которых осуществлен пуск
-26,5	-24,5	2
-27,0	-24,0	4
-27,0	-25,0	2

Показателен пуск, проведённый при температуре окружающего воздуха $-31,5^{\circ}\text{C}$, охлаждающей жидкости $-29,5^{\circ}\text{C}$, масла в редукторе топливной смеси, электролита -30°C , плотности электролита $1,29 \text{ г/см}^3$.

Двигатель запустился с помощью электростартерной системы с первой попытки через 3 с, однако через 5 с работы заглох. Подобные случаи прекращения работы двигателя вскоре после его пуска наблюдались и в ряде других опытов. Причины прекращения работы двигателя следующие:

1. Забрасывание электродов свечи горючей смесью, так как юбка центрального электрода холодная, и топливо на ней не сгорает. Способ устранения неисправности – чистка или замена свечи.
2. Недостаточная подача бензо-масляной смеси карбюратором. Способ устранения – подкачка топлива путём неоднократного нажатия на кнопку диафрагмы карбюратора.
3. Наличие токопроводящей наледи между центральным и боковым электродами. Чаще всего это наблюдается после продолжитель-

ной работы двигателя и его прогрева, что при последующем охлаждении двигателя приводит к образованию конденсата и затем к его обледенению. Способ устранения – чистка или замена свечей.

В ряде опытов двигатель сразу не запускался ввиду какой-либо неисправности, но после ее устранения запускался, как правило, с первой попытки. Причины следующие: не было своевременно подкачено топливо перед отеком с помощью кнопки диафрагмы карбюратора, наличие токопроводящей наледи на электродах свечей или забрасывание их бензо-масляной смесью. Способы устранения указаны выше.

Проведёнными в НАТИ испытаниями установлено, что минимальная пусковая частота вращения коленчатого вала двигателя П-700 составляет 220-260 мин⁻¹ и, как правило, определяется минимальной частотой устойчивого искрообразования магнето. Замеры частоты вращения коленчатого вала двигателя П-700 в описанных выше опытах при электростартерном пуске показали, что она значительно превосходит минимальную пусковую частоту, например, при температуре окружающего воздуха -15°С и охлаждающей жидкости -12°С она составила 500 мин⁻¹.

Все отечественные сельскохозяйственные тракторы тягового класса 30 кН и выше оснащены в качестве пусковых систем карбюраторными пусковыми двигателями (например, тракторы ДТ-75М, Т-150К, Т-4А, Т-130МГ и др.). Исключение составляет трактор К-701 тягового класса 50 кН, где применяется 24-вольтовая электростартерная система. Это объясняется тем, что двигатели ЯМЗ-240Б изготавливаются Ярославским моторным заводом, который специализируется на выпуске автомобильных двигателей, где электростартерные системы являются традиционными.

В начале настоящей главы, сравнивая достоинства и недостатки обеих пусковых тракторных систем, мы отметили, что надежность пуска дизелей электростартерными системами в значительной мере зависит от состояния аккумуляторных батарей, их емкости, степени заряженности. что особенно проявляется при эксплуатации в осенне-зимний период. В связи с этим в условиях рядовой эксплуатации некоторые сельские механизаторы Новосибирской, Тюменской и других областей Западной Сибири перевели свои тракторы К-701 на пуск дизелей ЯМЗ-240Б с помощью пусковых двигателей ПД-10У (ПД-10 УД), переоборудовав пусковую систему в условиях ремонтных мастерских. Это свидетельствует о приверженности трактористов к пусковым двигателям.

Глава 3. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

При безгаражном хранении тракторов тепловое состояние двигателей зависит, прежде всего, от температуры окружающего воздуха. При длительной стоянке трактора температура отдельных узлов и механизмов двигателя, охлаждающей жидкости и картерного масла выравнивается с наружной.

Суровые климатические условия нашей страны predeterminedили разработку большого количества различных средств и способов облегчения пуска тракторных дизелей в холодное время года.

Способы облегчения пуска двигателя в общем классифицируются на групповые (стационарные и подвижные) и индивидуальные.

Групповые средства осуществляют предпусковой разогрев двигателя следующими теплоносителями: горячей водой, паром, горячим воздухом, инфракрасными лучами, электрической энергией.

Индивидуальные средства пуска включают различные штатные (предусмотренные конструкцией двигателя) и дополнительные, которые могут устанавливаться на двигатели (жидкостные подогреватели, электрофакельные подогреватели воздуха, свечи накаливания, пусковые приспособления для подачи легковоспламеняющейся жидкости и др.). Достоинством индивидуальных средств является то, что они создают наилучшие условия для пуска дизелей в любых условиях хранения тракторов независимо от внешних источников энергии. Они позволяют применять низкотемпературные жидкости, что облегчает условия эксплуатации тракторов в осенне-зимний период, улучшает условия труда механизаторов и увеличивает сменную производительность машинно-тракторных агрегатов.

3.1. Предпусковой подогрев двигателей

Предпусковой подогрев является одним из распространённых и эффективных способов облегчения пуска двигателей при низких температурах окружающего воздуха.

Отечественной промышленностью выпускаются жидкостные предпусковые подогреватели, где в качестве топлива могут быть использованы бензин, дизельное топливо или сжиженный газ.

При их работе происходит подогрев охлаждающей жидкости за счёт термосифонной циркуляции, а также разогрев масла в картере отработавшими газами подогревателя.

В табл. 3.1 показаны технические характеристики предпусковых жидкостных подогревателей типа ПЖБ для тракторных дизелей, работающих на бензине.

Таблица 3.1

Технические характеристики предпусковых жидкостных подогревателей для тракторных дизелей

Параметры	ПЖБ-200	ПЖН-300	ПЖБ-400	П-100
Номинальная теплопроизводительность, кДж/ч, кВт	79550 (22)	117230 (32)	159100 (44)	58615 (16)
Расход топлива при номинальной теплопроизводительности, кг/ч	3,0	4,2	6,4	2,0
Род тока напряжения, В	Постоянный			
Напряжение, В	12	12	12	12
Мощность электродвигателя, необходимая для работы подогревателя, Вт	40	60	80	32
Температура отработавших газов, °С	650	650	650	650
Размеры, мм				
диаметр котла	156	180	206	170 (высота)
длина котла	470	540	630	380
Масса подогревателя, кг	11,0	15,0	17,0	7,0

Рекомендуются для дизелей с рабочим объёмом до 6,5 л подогреватели типа ПЖБ-200 и П-100, с объёмом 6,5-8,0 л – ПЖБ-300, с объёмом 7,0-15,0 – ПЖБ-400.

Рассмотрим устройство и процесс работы предпусковых подогревателей Шадринского завода типа П-100 и ПЖБ-200.

В комплект подогревателя П-100 (рис. 3.1) входят котёл 1, вентилятор 2, топливный бачок 3, регулятор подачи топлива 4, свеча накаливания 5, а также пульт управления.

Рис. 3.1. Схема подогревателя П-100: 1 – котел; 2 – вентилятор; 3 – топливный бачок; 4 – регулятор подачи топлива; 5 – свеча накаливаем; 6 – выпускной патрубок; 7,8 – бензопроводы; 9 – сливная трубка

Котел состоит из четырёх концентрично расположенных цилиндров, образующих центральную жаровую трубу, газоход и две жидкостные рубашки, сообщающиеся между собой. Конструкция котла неразборная. Топливо сжигается в камере сгорания, имеющей лопаточный завихритель и асбестовую футеровку. Горячие газы направляются в жаровую трубу. После поворота они идут по газоходу к выпускному патрубку 6, нагревая обе жидкостные рубашки. В результате начинается термосифонная циркуляция охлаждающей жидкости. Выхлопные газы направляются в лоток, расположенный под поддоном двигателя, и подогревают масло в картере.

Топливо из бачка поступает в камеру сгорания самотёком по бензопроводам 7 и 8. Равномерность подачи поддерживается регулятором с электромагнитным запорным клапаном и поплавковой камерой, к которой присоединена сливная труба 9. Количество поступающего топлива изменяют регулировочной иглой 6 регулятора (рис 3.3).

Для зажигания топливной смеси служит свеча накаливания, включаемая на короткое время – только на период розжига. В дальнейшем бензин горит от соприкосновения с раскаленными частями горелки. Это уменьшает разряд аккумуляторной батареи во время работы подогревателя.

У подогревателя ПЖБ-200 котёл разборной конструкции. Основные части его: горелка, водяные рубашки - внутренняя и наружная, отводящий и подводящий коллекторы, сливной краник.

Функцию регулятора подачи топлива выполняет электромагнитный клапан (рис. 3.3).

Электрооборудование подогревателей П-100 и ПЖБ-200 унифицировано (рис. 3.2).

В него входят аккумуляторная батарея 1, переключатель 2, включатель 3, свечи накаливания, контрольная спираль 4, спираль 5 свечи накаливания, электромагнитный клапан 6 и вентилятор 7.

Подогреватель устанавливается и закрепляется на двигателе таким образом, чтобы его расположение соответствовало конструкции двигателя. Например, подогреватель на двигатель СМД-14А устанавливаются слева от двигателя (рис. 3.4).

Подогреватель соединяется с системой охлаждения двигателя в двух местах. Нагретая жидкость через патрубков подогревателя подводится к цилиндру пусковой двигателя или непосредственно в верхнюю часть блок-картера. Отвод охлаждающей жидкости в подогреватель должен осуществляться из нижней части блок-картера двигателя, например, через его сливное отверстие.

Рис. 3.2. Схема электрооборудования подогревателей П-100 и ПЖБ-200: 1 – аккумуляторная батарея; 2 – переключатель; 3 – включатель свечи; 4 – контрольная спираль; 5 – спираль свечи накаливания; 6 – электромагнитный клапан; 7 – мотор вентилятора

Рис. 3.3. Схема электромагнитного клапана: 1 – корпус; 2 – катушка; 3 – пружина клапана; 4 – сердечник; 5 – основание; 6 – регулировочная игла

Под масляным поддоном двигателя устанавливается специально изготовленный лоток, в который направляются для подогрева масла отработанные газы из подогревателя. Для хорошей очистки газоходов продувка котла подогревателя перед розжигом должна производиться

в течение 15 с. После выключения подогрева продувка котла продолжается в течение минуты.

Рис. 3.4. Схема соединения подогревателя ПЖК-200 с системой охлаждения двигателя СМД-14А: 1 – двигатель; 2 – цилиндр пускового двигателя; 3 – сливное отверстие блока цилиндров; 4 – подогреватель; 5 – лоток

В Новосибирском СХИ проведены всесторонние испытания подогревателей ПЖБ-200 и П-100, установленных на тракторные дизели Д-50, СМД-14А и А-41. Рассмотрим результаты испытаний подогревателей ПЖБ-200 и П-100 на дизелях СМД-14А.

Всего было проведено 102 опыта при температуре наружного воздуха от -1 до -40°C, причём каждый подогреватель испытан 51 раз.

Продолжительность работы каждого подогревателя в зависимости от температуры наружного воздуха была следующей: до -10°C – 10 мин, -11...-15°C – 15, -16...-35°C – 20, ниже -35°C – 30 мин.

Подготовка подогревателя П-100 к розжигу длилась во всех опытах 15 с. Общее время подготовки и розжига находилось в пределах 30-40 с. Подготовка подогревателя ПЖБ-200 к розжигу продолжалась 30 с, а общее время подготовки и розжига в большинстве опытов составляло от 60 до 90 с.

Для оценки теплового состояния двигателей во время работы измеряли температуру жидкости, поступающей в цилиндр пускового двигателя, а также в головке основного двигателя (вблизи первого цилиндра), и при выходе из блока цилиндра, масла в поддоне картера (около маслоприёмника насоса) и в главной магистрали (со стороны фильтров).

После обобщения результатов опыта, в которых подогреватели П-100 и ПЖБ-200 работали по 20 мин, получены средние данные по 48 пускам, характеризующие динамику прогрева двигателей при температуре наружного воздуха от -30 до 16°C (рис.3.5 и 3.6).

На 20-й минуте прогрева температура охлаждающей жидкости (тосол А-40) на входе в цилиндр пускового двигателя устанавливается равной 104...106°C, в головке дизельного двигателя 92...98, поступающая в подогреватель 22...23, температура картерного масла повысилась до 3...8°C. Такое тепловое состояние обеспечивало надёжный пуск пускового и дизельного двигателя.

Время пуска двигателей не зависело от температуры окружающего воздуха и составило в среднем: пускового – 1,5-2,0 с, дизельного – 3,5-4,0 с.

Временем пуска дизеля считалась продолжительность прокручивания двигателя при включенной компрессии от начала подачи топлива до начала устойчивой работы.

Замер температуры через 2 мин после пуска дизельного двигателя

показал, что происходит выравнивание температуры охлаждающей жидкости во всей системе охлаждения двигателя в результате действия водяного насоса.

Испытания подогревателя ПЖБ-200 и дизеля А-41 трактора ДТ-75М проводились с целью определения пусковых качеств дизеля и продолжительности работы подогревателя в зависимости от температуры окружающего воздуха.

Продолжительность предпусковой тепловой подготовки дизеля определялась согласно методике испытаний, согласованной с Волгоградским тракторным заводом, временем достижения температуры охлаждающей жидкости (тосол А-40) в головке двигателя 50°C по штатному термометру.

Рис. 3.5. График изменения температуры жидкости в двигателях при прогреве подогревателями в интервале температур окружающего воздуха -30° до -16°:
——— – подогреватель П-100; - - - - - – подогреватель ПЖБ-200;
o-o-o – температура жидкости, поступающей в цилиндр пускового двигателя;
•-•-• – температура жидкости в головке основного двигателя;
x-x-x – температура жидкости, выходящей из блока цилиндров

Рис. 3.6. График изменения температуры масла в двигателях при прогреве подогревателями в интервале температур наружного воздуха от -30° до -16°С:
——— – подогреватель П-100; - - - - - – подогреватель ПЖБ-200;
o-o-o – температура масла в поддоне картера;
•-•-• – температура масла в магистрали

Рис. 3.7. Зависимость времени предпусковой подготовки дизеля А-41 от температуры окружающей среды

На рис. 3.7 показан график изменения времени предпусковой подготовки дизеля А-41 в зависимости от температуры окружающего воздуха.

Суммарное время предпусковой тепловой подготовки дизеля А-41 выражается практически прямо пропорциональной зависимостью при температуре окружающего воздуха от -1 до -33°C.

Продолжительность пуска пускового двигателя составила 1-3 с, а дизеля А-41-7 – 60 с, что свидетельствует о надёжности пуска после подогрева подогревателем ПЖБ-200 пускового и основного двигателей. При этом дизель через 1-2 мин после работы на холостом ходу полностью готов к работе под нагрузкой.

Опыты по подогреву дизелей СМД-14А на тракторах Т-74 подогревателями ПЖБ-200 при более низких температурах воздуха (39°C) показали, что общее время тепловой подготовки и пуска двигателей составило 30 мин.

Эти данные и результаты испытаний показаны на рис. 3.7 и свидетельствуют о том, что суммарное время тепловой подготовки и пуска дизелей соответствует требованиям ГОСТ 19677-74, где устанавливается, что время пуска тракторных дизелей с тепловой подготовкой при температуре окружающего воздуха до -40°C не должно превышать 30 мин.

К недостаткам подогревателей типа ПЖБ можно отнести срыв пламени и заглохание в процессе подогрева двигателей.

Газовый подогреватель с горелками инфракрасного излучения

Перспективным направлением в области предпускового подогрева тракторных дизелей является применение сжиженных газов, что позволяет избавиться от потребности в электроэнергии, обеспечить автономность подогревателя и высокую эффективность подогрева.

В Новосибирском СХИ разработан оригинальный тип газового подогревателя с горелками инфракрасного излучения, отличающийся простотой устройства и эксплуатации, надёжностью работы и отсутствием потребности в электроэнергии. Устанавливается подогреватель под картером двигателя (рис. 3.8).

Он состоит из котла-теплообменника, кожуха и двух горелок инфракрасного излучения ГИИВ-1 или одной горелки ГИИВ-2. В опытной конструкции газового подогревателя использованы две горелки ГИИВ-1.

Рис. 3.8. Принципиальная схема газового подогревателя с горелками инфракрасного излучения: 1 – кожух, 2 – котел-теплообменник; 3 – газовые горелки

Котел водотрубный, ёмкостью 2,5 л. Для увеличения поверхности нагрева он выполнен в виде шести овальных трубок, приваренных к двум трубкам. Изготавливается котёл из мягкой листовой стали толщиной 0,5 мм. Котёл закрепляется внутри кожуха наклонно, с возвышением на 10 мм по направлению к выходу жидкости, и подключается к системе охлаждения дизеля с помощью двух резиновот-каневых шлангов. Один подсоединяется к патрубку, установленному вместо заглушки в блоке, второй соединяется с патрубком у выхода жидкости из радиатора.

Кожух сварен из листовой стали толщиной 1 мм и внутри облицован листовым асбестом для уменьшения потерь тепла в окружающую среду. В нижней части кожуха имеется отверстие с направляющими для установки горелок. Кожух крепится к блоку с помощью четырёх болтов, ввёрнутых в блок. Горелки легкосъёмные, устанавливаются в кожухе только на период прогрева двигателя. Во время работы трактора отверстие в кожухе закрыто крышкой, попадание снега и грязи исключено. Уменьшение дорожного просвета трактора не происходит, так как детали заднего моста расположены ниже, чем кожух, по-

этому эксплуатационные качества трактора не снижаются.

Работает газовый подогреватель следующим образом. Сжиженный газ зимний (ГОСТ 65S5-83) подаётся из баллона в газовый редуктор, который создаёт давление, равное 300 мм вод.ст., и затем по резиноканевому шлангу поступает к газовому крану и жиклерам горелок. Из жиклеров газ направляется к инжекторам, где смешивается с воздухом.

Полностью готовая для сгорания смесь поступает в большое количество отверстий малого диаметра (0,85мм), сделанных в керамических плитках горелки, и полностью сгорает в очень тонком слое у поверхности плиток. В результате этого поверхность керамики разогревается до температуры 720...800°C, и длина волны составляет 10-15 мк, что соответствует диапазону коротких волн инфракрасных лучей спектра.

Инфракрасные лучи, поглощаясь поверхностью котла и поддона масляного картера, вызывают преобразование лучистой (электромагнитной) энергии в тепловую, в результате чего происходит нагрев масла и охлаждающей жидкости и интенсивный прогрев двигателя.

Испытания подогревателя, проведенные на двигателе Д-240, показали, что газовый подогреватель с горелками инфракрасного излучения обеспечивает эффективный прогрев двигателя (рис. 3.9).

Рис. 3.9. График прогрева двигателя Д-240 газовым подогревателем:

○ - ○ – температура охлаждающей жидкости в головке блока;

Δ - Δ – температура охлаждающей жидкости на входе в подогреватель (возврат);

□ - □ – температура масла в картере;

◇ - ◇ – температура масла в главной магистрали

Так, при температуре окружающего воздуха до -20°C прогрев двигателя Д-240 газовыми подогревателями в течение 25 мин обеспечивает нагрев охлаждающей жидкости в головке дизеля до 83°C, в блоке 91°C, стенок гильз цилиндров 51°C. Очень эффективно прогревается картерное масло. Температура его к концу прогрева составляет 81°C. Слабее прогреваются коренные подшипники, но при высокой температуре картерного масла они быстро прогреваются после пуска дизеля. Время нагрева охлаждающей жидкости до 65°C не превышает 14 мин, масла в картере до 50°C – 19 мин.

Расход сжиженного газа в среднем составляет 0,6 м³/ч.

Таким образом, газовый подогреватель с горелками инфракрасного излучения обеспечивает минимальную тепловую подготовку тракторного двигателя перед пуском в зимних условиях.

3.2. Применение легковоспламеняющихся жидкостей

Существенное улучшение пусковых качеств тракторных дизелей

достигается при использовании легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). в частности в аэрозольных упаковках, в результате более низкой температуры самовоспламенения ЛВЖ по сравнению с дизельным топливом.

Аэрозольная упаковка – портативное автономное устройство в виде баллона с герметическим клапаном и сифонной трубкой, где легковоспламеняющаяся пусковая жидкость находится под давлением вытесняющего вещества – пропеллента.

Отечественная легковоспламеняющаяся жидкость в аэрозольной упаковке, защищённая авторскими свидетельствами № 445348 и 550847. состоит из этилового спирта, масла судовых газовых турбин и композиции присадок, обеспечивающих высокие противозадирные, антиицидные и другие качества и препятствующих образованию ледяных пробок. В качестве пропеллента для отечественной упаковки после испытаний различных составов был выбран сжатый газ – двуокись углерода.

Рецептура пусковой жидкости приведена в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Рецептура пусковой жидкости

Сырьё	ГОСТ, ТУ	Содержание, %
Диэтиловый эфир	ГОСТ 6265-52	60
Концентрат присадок (КН)	ТУ-38-255-69	3,5
Масло веретенное АУ или индустриальное 12 (веретенное 2)	ГОСТ 1642-50 ГОСТ 1707-51	28,45
Противозадирная присадка ОЗ-28	ТУ 38-301-71	5,0
Этилцеллозоль	ГОСТ 83 13-60	3,0
Ионоп		0,05

Подобное соотношение компонентов (пропеллента к пусковой жидкости) обеспечивает достаточное давление в аэрозольной упаковке для качественного распыления пусковой жидкости при низких температурах и относительно высокое – при положительных. Так, при -35°С давление составляет 0,12-0,15, а при 50°С – 0,62-0,69 мПа. По действующим правилам, давление в баллонах из алюминиевого сплава может достигать 0,8 мПа.

Для аэрозольного распыления пусковой жидкости во впускном трубопроводе дизеля разработано приспособление, устанавливаемое в моторном отсеке и управляемое тягой из кабины трактора. Приспособление состоит из корпуса, где расположен механизм управления впрыском пусковой жидкости, аэрозольного баллона, механизма крепления аэрозольного баллона и форсунки (рис. 3.10).

Рис. 3.10. Конструкция пускового приспособления ППА

Корпус 1 пускового приспособления имеет полость, в которой расположены валик 2 с кулачком и толкатель 5. Валик уплотняется резиновыми кольцами, которые устанавливаются во фланце 8. Между фланцем и корпусом находится паранитовая прокладка 7. На внешнем конце валика с помощью гайки 18 и шайбы 19 закреплён рычаг 10. Возвратная пружина 9 устанавливает рычаг в положение, при котором кулачок, закреплённый на валике 2, находится в горизонтальном положении. В нижней части пускового приспособления устанавливается аэрозольный баллон 22, который уплотняется резиновым кольцом 15. Аэрозольный баллон крепится на корпусе с помощью скобы и винтового механизма. Скоба 14 ставится в вертикальное положение на цапфах корпуса. В продольных скобах корпуса устанавливается поперечная пластина 13. В резьбовой части 12 поперечной пластины с помощью маховичка перемещается винт 11 с закреплённой на его конце опорной тарелкой 3 баллона. Конец винта выполнен в виде пробки. С двух концов корпуса установлены штуцера 16 (вместо одного из них может быть установлена пробка 21), к которым подсоединяются эмульсионные трубки, соединённые с вихревой форсункой, установленной во впускном коллекторе двигателя. Вихревая форсунка пусковой жидкости состоит из корпуса, штуцера-завихрителя, выполненного в виде двухзаходного винта. Корпус имеет калиброванное отверстие, определяющее расход пусковой жидкости.

Пусковое приспособление работает следующим образом: при повороте рычага 10 сжимается возвратная пружина 9 пускового приспособления и поворачивается валик с кулачком; кулачок валика 2, набегая на толкатель 5, перемещает его вниз; толкатель нажимает на шток аэрозольного баллона и открывает его клапан; под давлением газа жидкость из баллона вытекает в полость корпуса по эмульсионным трубам, подается к форсунке, установленной во впускном коллекторе двигателя, и распыливается. После пуска двигателя рычаг 10 приводят в выключенное положение. Этому способствует сжатая возвратная пружина 9. Валик 1 поворачивается, и кулачок прекращает воздействие на толкатель 5, который под действием пружины клапана аэрозольного баллона перемещается вверх. Клапан баллона закрывается, прекращая подачу пусковой жидкости.

На рис. 3.11 приведена пусковая характеристика двигателя Д-240 трактора МТЗ-80, снятая при температуре -30°C с применением описанного пускового приспособления и аэрозольных легковоспламеняющихся жидкостей. Для сравнения на том же графике дана пусковая характеристика двигателя Д-240 в серийной комплектации, т.е. с электрофакельным подогревателем впускного воздуха ЭФП-8101500.

Рис. 3.11. Пусковая характеристика двигателя Д-240 при температуре -20°C с применением электрофакельного подогревателя впускного воздуха ЭФП-8101500 (1) и при -30°C с применением пускового приспособления ППА (2)

Представленные данные показывают, что с применением электрофакельного подогревателя воздуха пуск двигателя Д-240 обеспечивается при -20°C и частоте прокручивания не ниже 80 мин⁻¹. Использование же аэрозольных упаковок легковоспламеняющихся жидкостей позволяет обеспечить пуск двигателя Д-240 при температуре -30°C и частоте прокручивания коленчатого вала 55-60 мин⁻¹.

Высокая эффективность аэрозольного распыливания легковоспламеняющейся жидкости при пуске двигателя Д-240 объясняется высоким давлением насыщенных паров и низкой температурой испарения и самовоспламенения смеси пусковой жидкости с воздухом.

Одной из причин ухудшения пусковых качеств дизеля с понижением температуры окружающего воздуха является уменьшение частоты прокручивания коленчатого вала из-за повышения вязкости моторного масла, а также снижение мощности электростартерной пусковой системы. Понижение температуры электролита увеличивает его вязкость, что приводит к понижению вольт-амперных характеристик батареи в стартерном режиме разряда.

Для повышения вольт-амперных характеристик аккумуляторных батарей ЭСТ-215 ЭМ на её базе с использованием серийного моноблока разработана батарея с увеличенным счётом сборки пластин 18/19 вместо 13/14 за счёт более тонких пластин и сепараторов. Установка большего числа пластин увеличила их суммарную рабочую поверхность и резко повысила вольт-амперные характеристики батарей при температуре электролита -25...-30°C. При температуре -30°C и с разрядом тока 525А напряжение на комплекте серийных батарей 2хЗСТ-215 ЭМ составляет около 7,6, а опытных -2хЗСТ-225 ЭР – 9,0 В.

На рис. 3.12 приведены характеристики прокручивания коленчатого вала Д-240 при -30°C с использованием полностью заряженных батарей серийных ЗСТ-215 ЭМ и вновь созданных ЗСТ-225 ЭР. Испытания показали, что на третьей попытке прокручивания частота вращения коленчатого вала двигателя Д-240 составила при серийных батареях 40, а при опытных с повышенными вольт-амперными характеристиками 75 мин⁻¹.

Рис. 3.12. Характеристика прокручивания коленчатого вала двигателя Д-240 со стартером СТ-212 при температуре -30°C с использованием аккумуляторных батарей 2хЗСТ-225 ЭР (1) и 2хЗСТ-215 ЭМ (2). Моторное масло типа М-4з/6В

Стендовые испытания двигателей Д-240, оборудованных аэрозольными установками с легковоспламеняющейся жидкостью, при ис-

пользовании аккумуляторных батарей 2хЗСТ-225 ЭР с заливкой загущенного масла показали, что пусковые качества двигателей при отрицательных температурах окружающей среды значительно улучшаются по сравнению с серийными средствами улучшения пуска.

Для проверки пусковых качеств дизелей Д-240 в производственных условиях были проведены эксплуатационные испытания двух тракторов МТЗ-80 в хозяйствах Новосибирской области. Двигатели тракторов оборудовались пусковыми приспособлениями с ЛВЖ в аэрозольной упаковке, аккумуляторными батареями 2хЗСТ-225ЭР, использовалось загущенное моторное масло типа М-4₃/6В₂. Системы охлаждения двигателей были заполнены тосолом А-40, в трансмиссию тракторов также заливалось загущенное масло с целью снижения момента сопротивления прокручиванию вала, так как у тракторов МТЗ в силовой передаче расположен неотключаемый блок шестерен привода вала отбора мощности. При пуске двигателя обязательно выключалась муфта сцепления трактора, был отключен масляный насос гидросистемы.

Эксплуатационные испытания проводились в течение трех лет. За это время трактор МТЗ-80 (заводской № 012962 с двигателем Д-240 №204572) имел наработку 2286 моточасов, количество пусков без предварительного подогрева при отрицательных температурах окружающего воздуха с использованием опытных систем составило 206. Трактор МТЗ-80 (заводской №012963 с двигателем Д-240 №208865) наработал 1260 моточасов, количество опытных пусков – 196.

Установка пусковых приспособлений на гидроусилителе рулевого механизма и на баке гидросистемы на кронштейне реле РБ-1 обеспечила надежную работу приспособлений, отказов в работе не наблюдалось. Установка приспособлений ко второму варианту предпочтительнее.

Испытания показали, что пуск двигателей Д-240 без предварительного разогрева с применением указанных средств облегчения пуска осуществляется при отрицательных температурах до -29°С (рис. 3.13).

Продолжительность пуска двигателей в большинстве случаев составила 2-10 с. Более напряженным в отношении пуска является интервал температур картерного масла -26...-30°С.

Возможность пуска двигателя определяет не температура окружающего воздуха, а температура масла в картере и его прокачиваемость. Об этом свидетельствует, в частности, опыт, когда температура воздуха резко понизилась до -36°С, а температура масла в картере составляла -26°С, продолжительность пуска двигателей 8 с.

Рис. 3.13. Продолжительность пуска дизелей Д-240 при использовании ЛВЖ

Количество пусков двигателей с помощью одного баллона составило 8-10 и более, а продолжительность подачи ЛВЖ в большинстве

опытов не превышала 2-10 с. Кроме механического приспособления впрыска ЛВЖ может применяться приспособление с электромагнитным приводом.

При отсутствии приспособлений пусковая жидкость может подаваться нажатием на кнопку аэрозольного баллона, а струя в течение 2-3 с направляется в воздухоочиститель. При бумажном фильтрующем элементе нужно предварительно снять крышку воздухоочистителя и направить струю непосредственно в пусковой трубопровод двигателя. Одновременно включают полную подачу дизельного топлива и стартер.

Для повышения эффективности действия пусковой жидкости во впускном трубопроводе после воздухоочистителя просверливают отверстие и нарезают резьбу М12 или М14. Отверстие глушится винтом и уплотняется прокладкой. Перед пуском двигателя винт выворачивается, и пусковая жидкость подаётся во впускной трубопровод через отверстие. Здесь трактористу может понадобиться помощь второго человека.

Надо помнить, что аэрозоль категорически запрещается применять на горячем двигателе, а также одновременно с применением свечей накаливания, электрофакельных подогревателей или спиралей накаливания впускного воздуха.

Применение пусковых приспособлений с аэрозольными баллонами на других типах тракторов также существенно улучшало пусковые качества. Так, в условиях производственной эксплуатации трактора Т-130 время пуска холодного дизеля Д-160 с помощью пускового двигателя П-23 с применением ЛВЖ при температуре окружающего воздуха -20°C составило 7 с, а пуск контрольного дизеля этой же марки трактора, эксплуатируемого в аналогичных условиях, продолжается более 10 мин. что свидетельствует о высокой эффективности применения ЛВЖ в аэрозольной упаковке.

3.3. Применение свечей накаливания

Свечи накаливания относятся к средствам калоризаторного воспламенения топлива при пуске дизелей в осенне-зимний период эксплуатации тракторов. При их применении воспламенение впрыснутого дизельного топлива происходит не за счёт самовоспламенения топлива, а в результате его воспламенения при контакте с раскалёнными поверхностями свечей (спирали накаливания, кожух свечи), имеющими высокую температуру.

Для воспламенения топлива при пуске дизелей с разделенными камерами сгорания, например вихревыми у дизеля Д-50, применяются свечи с открытым нагревательным элементом.

На рис. 3.14 показана свеча накаливания СНД-100Б3, которой комплектуются тракторные дизели Д-50. Спираль свечи накаливания

изготовлена из стали 0x23Ю5 диаметром 2 мм. Номинальное напряжение двухпроводной свечи составляет 1,7 В, потребляемый ток 45-50А. На двигателе Д-50 свечи накаливания соединяются последовательно между собой и контрольным элементом, установленным в кабине трактора, дополнительного сопротивления СЭ50Б, которое после включения стартера закорачивается. Через 30 с прогрева температура свечи достигает 950...1000°С, что обеспечивает калоризаторное воспламенение впрыснутого дизельного топлива.

Установка свечи накаливания в головке дизеля Д-50 показана на рис. 3.15. Для обеспечения надежности и долговечности спирали свечи накаливания она должна находиться в нише и не должна выходить в вихревую или предкамеру у предкамерных дизелей.

Рис. 3.14. Свеча накаливания СНД-100Б3 с открытым нагревательным элементом

Рис. 3.15. Установка свечи накаливания СНД-100 Б3 в камере сгорания дизеля Д-50: 1 – форсунка; 2 – свеча накаливания; 3 – головка цилиндров; 4 – вставка камеры сгорания

Рис. 3.16. Штифтовая свеча накаливания с закрытым нагревательным элементом: 1 – кожух свечи; 2 – спираль накаливания; 3 – корпус свечи; 4 – штырь выводной

Рис. 3.17. Установка штифтовой свечи накаливания в головке цилиндра дизеля Д-37Е: 1 – форсунка с распылителем 4x0,28 мм; 2 – штифтовая свеча накаливания

Пуск дизелей с разделенными камерами сгорания при отрицательных температурах окружающей среды с применением зимних сортов моторного масла и с использованием свечей накаливания обеспечивается в условиях температур до -10...-15°С при частотах прокручивания коленчатого вала 60-80 мин⁻¹.

Пуск тракторных двигателей с воздушным охлаждением при низких температурах в процессе рядовой эксплуатации вызывает особые трудности тем, что у них отсутствует возможность подогрева двигателя проливкой горячей воды, что широко практикуется при пуске двигателей с жидкостной системой охлаждения.

Улучшить пусковые качества указанных дизелей можно путём применения штифтовых свечей накаливания со скрытым нагревательным элементом (рис. 3.16). В штифтовых свечах накаливания спираль заклю-

чена в защитную оболочку из сплава инконель (железо – никель – хром). Для изоляции кожух свечи (1) заполняется окисью магния, обладающей высокими теплопроводными свойствами. Свечи накаливания однопроводные и соединяются на двигателе параллельно. Благодаря большой тепловой инерции штифтовые свечи не требуют применения дополнительного сопротивления, закорачиваемого при включении стартера. Величина тока составляет 18-20А, напряжение не менее 10,5В. Температура кожуха свечи после её 2-минутного прогрева достигает 800°С.

Установка штифтовых свечей в головке цилиндра дизелей воздушного охлаждения типа Д-120, Д-37Е, Д-144 Владимирского тракторного завода показана на рис.3.17. Выступ штифтовой свечи в камеру сгорания около 5 мм. На касание с кожухом свечи ориентировано одно из сопловых отверстий распылителя. Стендовые испытания, проведенные в холодильной камере НАТИ (Москва), показали, что пуск дизеля Д-37Е со штифтовыми свечами накаливания осуществляется при -25°С с частотой прокручивания коленчатого вала 70...80 мин⁻¹.

В Новосибирском СХИ проводились испытания двухцилиндровых дизелей воздушного охлаждения Д-120 тракторов Т-25А ВТЗ, оборудованных штифтовыми свечами накаливания СШ5А фирмы Магнети-Марелли (Италия) с целью определения продолжительности пуска в условиях отрицательных температур окружающего воздуха, а также надёжности работы свечей и пусковых износостойкости. В картер двигателя заливалось моторное масло М-4₃/8В₂.

На рис.3.18 показана зависимость времени пуска дизеля Д-120 от температуры масла в картере.

Рис. 3.18. Зависимость времени пуска дизеля Д-120 от температуры масла в картере

Анализ опытов показывает, что по длительности пуска холодного дизеля Д-120 после 2-минутного прогрева свечей накаливания можно выделить три характерных температурных интервала (по температуре масла в картере двигателя): от -1 до -15°С продолжительность пуска в большинстве опытов составляет 1-3 с; от -16 до -20°С – соответственно 5-10 с; от -21 до -25°С время пуска находится в пределах 10-25 с с одной и двух попыток (продолжительность первой попытки не более 20 с).

Таким образом, пуск двигателя Д-120 с применением средств облегчения происходит без каких-либо затруднений до температур окружающей среды до -25°С. Последовательность операций пуска следующая:

- прогрев штифтовых свечей накаливания в течение 2 мин;
- прокручивание вала дизеля при включенном декомпрессионном механизме в течение 3-5 с для облегчения проворачивания и ускоре-

ния разгона вала с последующим выключением декомпрессионного механизма, т.е. переводом дизеля на нормальную работу;

– включение полной подачи топлива, после чего дизель запускается с первой или второй попыток.

3.4. Подогрев воздуха на впуске

Температура воздуха на впуске оказывает существенное влияние на параметры рабочего процесса дизеля, в частности на температуру T_c и давление P_c с конца сжатия, а также на величину максимального давления сгорания P_z и скорости нарастания давления $\Delta P/\Delta\alpha$, что в конечном счете определяет надёжность пуска при отрицательных температурах окружающего воздуха. Понижение температуры воздуха сопровождается повышением плотности воздуха и увеличением весового заряда цилиндра.

Так, при пуске холодного дизеля А-41 при температуре воздуха на впуске (около воздухоочистителя) от 0 до -26°C наблюдалось повышение давления конца сжатия P_c с 2,9 до 3,2 мПа. Вследствие снижения температуры конца сжатия T_c даже при прокручивании дизеля при частотах вращения 200 мин^{-1} и более пуск двигателя вызывал затруднение.

В случае успешного пуска интенсивный разгон двигателя сопровождался резким повышением давления P_z , достигающим 8 мПа, что может привести к разрушению масляной плёнки в подшипниках коленчатого вала и к повреждению антифрикционного слоя вкладышей коренных и шатунных подшипников. Это особенно опасно при задержке подачи масла к подшипникам в начальный момент пуска. В дальнейшем при работе дизеля на холостом ходу представляет опасность скорость нарастания давления в цилиндрах (жёсткость работы двигателя). Так, через 0,5-2,0 мин после пуска при температуре воздуха $-12...-16^\circ\text{C}$ максимальная скорость нарастания давления достигла 0,75-1 мПа/град. что значительно (примерно вдвое) превышает эти показатели при работе на номинальном режиме. По мере прогрева двигателя до 50°C жёсткость работы снижается до 0,3-0,5 мПа/град.

Пусковые качества дизеля и параметры рабочего процесса значительно улучшаются при подаче на впуск теплого воздуха. Так, при температуре окружающей среды до -32°C и подаче в воздухоочиститель воздуха температурой 2°C двигатель пускался через 4-6 с после подачи топлива, а при температуре воздуха -10°C пуск происходил через 45-50 с.

Следовательно, подогрев воздуха на впуске (при помощи электроподогрева или иными источниками тепла) является эффективным средством пуска дизелей без специальной подготовки других систем

двигателя.

Рассмотрим некоторые способы подогрева воздуха на впуске, применяемые на отечественных тракторных дизелях. Для этих целей используются свечи и спирали подогрева (мощностью 400-1000 Вт), электрофакельные подогреватели воздуха.

Отечественные тракторные дизели Д-21А и Д-144 Владимирского тракторного завода комплектуются свечами подогрева типа СН-150 номинальным напряжением 8,5 В, мощностью около 400 Вт. Свеча включается в электрическую цепь последовательно с дополнительным сопротивлением и контрольным элементом, которые автоматически закорачиваются при работе электростартера. Пусковые характеристики дизеля Д-21А без подогрева воздуха на впуске и с подогревом при использовании свечи СН-150 при температуре окружающего воздуха -10°C показывают, что применение свечей накаливания позволяет улучшить пусковые качества дизеля путём снижения частоты вращения коленчатого вала примерно на 25 мин⁻¹.

Спирали подогрева фланцевого типа более эффективны, так как они располагаются ближе к впускному окну головки двигателя.

Электрофакельные подогреватели воздуха устанавливаются на впускном трубопроводе. Рассмотрим принцип его работ на примере подогревателя воздуха дизеля СМД-14 (рис. 3.19).

Рис. 3.19. Электрофакельный подогреватель дизеля СМД-14: 1 – колпачок клапана; 2, 12 – болты полые; 3 – полость к крышке; 4 – клапан; 5 – болт контактный; 6 – стержень; 7 – контакт, 8 – спираль; 9 – впускной трубопровод; 10 – чашечка; 11 – седло клапана

При прокачке системы питания дизеля насосом ручной подкачки топливо из фильтра болту 2 поступает в полость 3. При нажатии на колпачок 3 клапан 4 открывается, и топливо стекает в чашечку 10, боковые стенки которой имеют прорези для подвода воздуха и вывода пламени.

Электрический ток для накала спирали 8 подводится через контактный болт 5 и стержень 6. Нижний конец спирали 8 соединен со стержнем 6, а верхний с контактом 7, ввёрнутым в корпус подогревателя. Кнопкой включают спираль 8. Топливо, находящееся в чашечке 10, испаряется и, смешиваясь с потоком всасываемого воздуха, воспламеняется. Образуется устойчивый факел пламени, который обеспечивает нагрев воздуха.

Для контроля за степенью накала спирали 8 на щитке приборов устанавливается дополнительная спираль, включаемая в электрическую цепь последовательно со спиралью подогревателя.

На тракторных дизелях Д-240, А-41С, А-01С устанавливаются

электрофакельные нагреватели ЭФП-8101500 (рис. 3.20), отличающиеся от описанного выше только тем, что в нём применён электромагнит, который открывает подачу топлива к спирали путём включения её в электрическую сеть.

Рис. 3.20. Устройство электрофакельного подогревателя ЭФП-8101500

Рис. 3.21. Пусковые характеристики дизелей Д-240 (кривая 1) и Д-37Е (кривая 2) при температуре -20°C с применением электрофакельного подогревателя впускного воздуха ЭФП-8101

На рис. 3.21 показаны пусковые характеристики дизелей Д-240 (кривая 1) и Д-37Е (Д-144) (кривая 2) при наружной температуре 20°C с применением электрофакельных подогревателей ЭФП-8101500. Пуск дизелей происходит при частотах прокручивания коленчатого вала $75-110 \text{ мин}^{-1}$, что достигается при исправных и заряженных аккумуляторных батареях.

3.5. Подогрев впрыскиваемого форсункой топлива

Для надёжного пуска дизеля необходимо обеспечить достаточно высокую температуру конца такта сжатия (более 623K), высокую степень дисперсии распыленного форсункой топлива (диаметр капли должен быть менее 40 мкм) и минимальные потери теплоты воздушного заряда в период нагрева, испарения и перегрева впрыснутого в камеру сгорания топлива.

Согласно существующей многостадийной модели начального окисления (самовоспламенения) топлива [18, 19], в цилиндре дизеля происходит следующее. После впрыска топлива в камеру сгорания в течение периода задержки воспламенения оно нагревается и испаряется. В процессе испарения образуются продукты неполного окисления: альдегиды, в частности формальдегиды, что вызывает люминесцентное свечение всего заряда. Далее процесс развивается в виде цепной реакции с образованием перекисей и радикалов, которые дают вторичное холодное пламя по всему объёму заряда. И только после накопления необходимого количества активных центров реакции с одновременным выделением теплоты наступает самоускорение реакции и появление горячего желтого пламени в зоне реакции горючей смеси.

При впрыске холодного топлива в камеру сгорания при холодном пуске образуются преимущественно крупные капли диаметром до 300 мкм , в которых сосредоточено до $80-90\%$ цикловой подачи топлива. Крупные капли достигают стенок цилиндра, конденсируются, образуют плёнку и частично смывают смазку с поверхности гильзы, попадают в поддон двигателя, разжижая масло, что увеличивает износ всех

поверхностей трения дизеля. Часть несгоревшего топлива выбрасывается в атмосферу в виде продуктов термического разложения паров топлива. Увеличивается лако- и нагарообразование на поршнях, гильзах и выпускных клапанах.

Мелкие капли (диаметр менее 40 мкм), в которых сосредоточено 10-15% цикловой подачи, равномерно распределяются по объёму камеры сгорания. Но из-за низкой концентрации топлива в объёме воздуха, заключенном в камере сгорания, переход от предпламенных окислительных процессов к горячему пламени невозможен. Поэтому с целью увеличения концентрации топлива в мелкораспыленном виде, которое может быстро прогреться и достигнуть температуры самовоспламенения, увеличивают цикловую подачу. Например, если пуск дизеля А-41 при -10°C с цикловой подачей топлива 190 мм^3 можно было осуществить за 65-70 с, то с установкой цикловой подачи на уровне 250 мм^3 его продолжительность уменьшилась в 3 раза. Пустить двигатель А-41 с цикловой подачей $88-105 \text{ мм}^3$ (цикловая подача, соответствующая номинальному режиму работы двигателя) не удалось даже при увеличении частоты вращения коленчатого вала до $250-260 \text{ мин}^{-1}$ [20].

Благодаря впрыскиванию больших доз топлива создаются переобогащенные зоны, и развитие холодного пламени (первой стадии воспламенения) происходит более интенсивно. Однако увеличение цикловой подачи топлива при пуске снижает температуру конца сжатия и, несмотря на образование большого количества паров, не обеспечивает надёжного его воспламенения.

В период пуска дизеля холодное топливо, подаваемое в камеру сгорания форсункой, нагревается и испаряется за счёт теплоты слоев воздушного заряда, прилегающих к топливному факелу. В результате этого происходит значительное снижение температуры воздуха по оси топливных факелов (по ряду данных, до $150...200^{\circ}\text{C}$). В то же время приток теплоты от наиболее отдаленных участков воздушного заряда к топливным факелам из-за скоротечности процесса тепло-, массообмена и недостаточной турбулизации затруднен. Поэтому улучшение пусковых качеств двигателя может осуществляться в двух направлениях: повышения температуры воздушного заряда или увеличения энергии топливных факелов.

В первом случае затраты энергии будут почти в 6 раз больше, чем во втором, так как нужно обеспечить нагрев воздушного заряда и впрыскиваемого топлива за счёт теплопередачи от нагретого воздуха. Во втором случае энергия тратится только на нагрев топлива. Кроме того, при подогреве топлива снижается имеющий место температурный градиент между топливом по оси факела и воздушным зарядом,

Исследования, проведенные в Новосибирском СХИ: показали, что

дисперсностью топлива, а, следовательно, качеством смесеобразования, можно управлять путём предварительной тепловой подготовки топлива в форсунке. При этом подогрев топлива даёт возможность одновременно увеличить общее теплосодержание топливовоздушной смеси в конце такта сжатия, повысить дисперсность топлива, подаваемого форсункой в цилиндр, увеличить начальную температуру капель и уменьшить период задержки воспламенения. Отечественные автотракторные дизели оснащены системой питания, тепловой режим которых не регулируется.

В Новосибирском СХИ была разработана и запатентована форсунка со встроенными нагревательными элементами. Варианты установки нагревательных элементов: на распылителе, в топливном канале форсунки, штанге форсунки и её корпусе – показаны на рис 3.22.

Рис. 3.22. Схема установки нагревателей в форсунке: 1 – в штанге; 2 – в топливном канале; 3 – на корпусе форсунки; 4 – на распылителе

Нагревательные элементы предназначены для предварительного нагрева топлива перед впрыском в камеру сгорания. В период предпусковой тепловой подготовки необходимо обеспечить режим «термофорсирования», что соответствует кратковременному нагреву топлива в распылителе до 200...230°C. «Термофорсирование» сопровождается термической деструкцией молекул и образованием химически неопределённых углеводородов, в результате чего повышается скорость предпламенных реакций [21].

После пуска двигателя температура топлива в форсунках автоматически поддерживается на уровне 80...90°C. Подогрев топлива отключается при достижении температуры жидкости в системе охлаждения двигателя 80°C.

Питаются нагреватели от бортовой сети трактора. Напряжение на нагревателе равно 12В.

В процессе испытания четырёх типов нагревателей, установленных в форсунке, более надёжными и технологичными оказались встроенные в штангу (рис. 3.22, 1). Этот тип нагревателей является экспериментальным.

На рис. 3.23 приведена зависимость времени пуска дизеля Д-240 от температуры окружающего воздуха и температуры топлива в форсунке. Температура топлива «в кармане» распылителя форсунки в первом случае соответствовала температуре окружающего воздуха, а во втором составила 110...115°C.

Рис. 3.23. Зависимость времени пуска двигателя Д-240 от температуры окружающего воздуха и температуры топлива в форсунке: о-о-о – без подогрева топлива в форсунке; х-х-х – с подогревом топлива до 110...115°C

3.6. Применение емкостных накопительных систем

Известно, что с понижением температуры электролита в аккумуляторной батарее уменьшается ее энергоотдача. По ряду данных, при температуре близкой к -30°C и ниже батарея неспособна работать в стартерном режиме.

Одним из перспективных направлений повышения надежности пуска дизелей при низких температурах, снижения потребности в стартерных аккумуляторных батареях большой емкости является применение емкостных накопителей энергии, опытные образцы которых выпускаются НПО «Квант» и ОА «Элит» (г. Курск), ОДО «АЛТРА» (г. Ржев), ЗАО «ЭСМА» (г. Троицк) [44, 45].

Накопители энергии работоспособны в стартерном режиме разряда при температуре наружного воздуха $-40\dots-50^{\circ}\text{C}$, не требуют обслуживания в течение всего срока эксплуатации трактора и представляют собой экологически чистые источники, т.к. во время эксплуатации и хранения не выделяют в окружающую среду никаких веществ. Емкостный накопитель представляет собой комплект конденсаторов с преобразователем напряжения. Конструкция электрохимических конденсаторов позволила объединить качества аккумулятора и традиционного конденсатора. Электрохимический конденсатор представляет собой элемент полярной конструкции с водным электролитом. Отрицательный электрод выполнен из активированного углеродного материала, положительный – гидроксидноникелевый.

Рис. 3.24. Емкостный накопитель энергии типа 24ПП-30/0,003

На рис. 3.24 показан емкостный накопитель энергии производства ОА Курский завод «Аккумулятор» по технической документации АО «Элит» типа 24ПП-30/0,003.

В результате исследований, проведенных в НАТИ [45], установлено, что:

– наиболее рациональной схемой применения накопителей энергии в системе электростартерного пуска дизеля является такая, когда они заряжаются от аккумуляторной батареи емкостью 75-90 А·ч повышенным напряжением (28-30 В) через преобразователь, при пуске дизеля аккумуляторная батарея не применяется;

– система электростартерного пуска дизеля с накопителем энергии, заряженным повышенным напряжением, может характеризоваться как система импульсного типа, требующая обязательного применения эффективного средства облегчения воспламенения и сгорания топлива, например пускового приспособления аэрозольного типа с использованием аэрозольных упаковок «Автожидкость для запуска двигателей»;

– применение накопителей энергии позволяет перейти на комплектацию тракторов аккумуляторными батареями вдвое меньшей емкости.

Можно предположить, что поскольку аккумуляторная батарея в этом случае будет использоваться на тракторе (автомобиле) только для питания светотехники, приборов и зарядки накопителей энергии (ток зарядки до 100 А), то срок ее службы значительно возрастет, особенно при использовании необслуживаемых аккумуляторных батарей нового поколения 6СТ – 77 А. 6СТ – 90 А.

Сравнительные испытания различных образцов накопителей энергии ряда отечественных фирм, проведенные в лаборатории пуска двигателей НАТИ, выявили, что наиболее эффективны накопители энергии ЗАО «ЭСМА» (г. Троицк) [44].

С использованием опытного образца 16 ЭК401 этой фирмы проведены испытания 6-цилиндрового дизеля ОАО «Алтайдшслъ» Д-4601 с рабочим объемом 11,15 л при температуре -25°С. При испытаниях накопитель энергии заряжался от вспомогательного источника тока до напряжения 24. 26 и 28 В.

Основные параметры накопителя энергии 16 ЭК401

Номинальное напряжение, В	24
Запасаемая энергия, кДж	260
Электрическая емкость, Ф	1250
Габариты, мм	270×175×240
Масса, кг	22

Испытания показали необходимость применения преобразователя напряжения для зарядки повышенным напряжением.

На рис. 3.25 показана частота прокручивания коленчатого вала тракторного дизеля Д-4601 электростартером СТ-142Б1 при использовании накопителя энергии при различных напряжениях зарядки. Пуски дизеля Д-4601 при температуре -25°С обеспечивались с первой попытки при питании электростартера от накопителя энергии, заряженного до 28В. Для облегчения пуска использовалась автожидкость для запуска двигателей с ЛВЖ в аэрозольной упаковке (см. раздел 3.2).

Рис. 3.25. Частота прокручивания коленчатого вала двигателя Д-4601 электростартером СТ-142Б1 при использовании накопителя энергии 16ЭК401. Напряжение зарядки 24В (1), 26В (2) и 28В (3). Температура - 25°С. Моторное масло типа SAE10W / 30

Применение электростартерных систем пуска двигателей с накопителями энергии является перспективным, прежде всего в условиях низких температур окружающей среды.

Повышение температуры топлива в форсунке на 126...131°С при-

вело к изменению его физических свойств: уменьшились в 1,1 раза плотность, в 1,4 раза коэффициент поверхностного натяжения и в 6,5 раза вязкость.

В свою очередь столь значительное и благоприятное изменение физических свойств топлива не может не сказаться на улучшении качества смесеобразования, а вместе с тем и на улучшении пусковых качеств двигателя. Например, без подогрева топлива при температуре окружающего воздуха -15°C двигатель запустился за 105 с, а с подогревом – за 40-45. При -10°C в первом случае двигатель запустился за 16 с. а во втором – за 6. С повышением температуры воздуха выше нуля заметного улучшения пусковых качеств двигателя при подогреве топлива не наблюдается вследствие малой продолжительности процесса пуска. Таким образом, с точки зрения улучшения пусковых качеств подогрев топлива целесообразно применять при температуре окружающего воздуха ниже 0°C .

Испытания показали эффективность даже частичной предпусковой тепловой подготовки топлива в форсунке (температура топлива не превышала 115°C). Полная тепловая подготовка с режимом «термофорсирования» (не более 230°C) способствует значительному улучшению пусковых качеств и создаст более благоприятные условия для достижения большей полноты сгорания топлива в период послепускового прогрева.

3.7. Влияние регулировок топливной аппаратуры на пусковые качества дизелей

Существенное влияние на пусковые качества дизелей оказывает угол впрыска топлива φ_{on} . Уменьшение угла впрыска от оптимального увеличивает продолжительность пуска и величину минимальной пусковой частоты (табл. 3.3). Это объясняется тем, что сгорание топлива начинается после прохождения поршнем верхней мёртвой точки во время такта расширения при быстро увеличивающейся площади охлаждения, снижения давления сгорания и, как следствие, среднего индикаторного давления P_i . Изменение угла впрыска от оптимального в сторону увеличения также приводит к повышению n_{min} .

Таблица 3.3

Минимальная пусковая частота

Дизель	Температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Угол впрыска, φ_{on}	Минимальная пусковая частота, n_{min}^{-1}
А-41	-10	25	75
		20	80
		13	100
А-01	-10	28	170

		23	90
		25	100
СМД-81	-10	25	100
		20	80

Каждый конкретный тип тракторного дизеля имеет свой оптимальный угол $\varphi_{оп}$ для пуска при отрицательных температурах, который зависит от вида камеры сгорания, степени сжатия, характеристик топливной аппаратуры, длины трубопровода и т.д. Он определяется для каждого тракторного дизеля экспериментальным путем (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Оптимальный угол впрыска топлива

Дизель	Д-21А1	Д-37Е	Д-240	А-41	Д-01М	А-03	СМД-60	Д-10К
Угол впрыска, град	16-18	19-20	20-22	15-18	22-25	18-20	19-21	24-28

Оптимальный для пуска угол опережения впрыска меньше рекомендуемого для номинального режима работы на 11-14° для дизелей с неразделенными камерами сгорания и на 1,5-5° для вихрекамерных дизелей и дизелей с камерами типа ЦНИДИ [2]. При этом фактический угол опережения впрыска меньше установленного по мениску (рис. 3.26).

Удельная подача топлива при пуске также влияет на величину минимальной пусковой частоты n_{min} и независимо от вида камеры сгорания составляет $g_T = 67-130$ мг/цикл, определяется для каждого вида дизеля экспериментально (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Удельная цикловая подача топлива при пуске

Дизель	Температура окружающего воздуха, °С	Удельная цикловая подача топлива g_T , мг/цикл	Минимальная пусковая частота n_{min} , мин ⁻¹
А-41	-10	72	170
	-10	104	120
Л-50	-5	67	63
	-5	100	45

В данных испытаниях у дизеля А-41 не применялись средства облегчения пуска, а при пуске вихрекамерного двигателя использовались свечи накаливания (см. рис. 3.15).

Рис. 3.26. Зависимость фактического угла опережения впрыскивания $\varphi_{оп,ф}$ топлива от установочного

На рис. 3.26 и 3.27 даны графики изменения продолжительности

пуска дизелей в зависимости от угла впрыска $\varphi_{оп}$ и удельной цикловой подачи топлива g_T . Оптимальные углы влияют на продолжительность пуска и зависят от типа дизеля.

Впрыскивание дополнительного топлива улучшает пусковые качества дизеля, так как происходит ускорение воспламенения основного топлива благодаря предпламенным реакциям, протекающим во впрыснутом дополнительном топливе.

Рис. 3.27. Зависимость продолжительности пуска дизелей от $\varphi_{оп}$: 1 – вихрекамерный дизель, $V_h = 5,97$ л при -10°C со свечами накаливания; 2 – тракторный дизель с неразделенной камерой, $V_h = 4,75$ л при -15°C с электрофакельным устройством; 3 – тракторный дизель с неразделенной камерой, $V_h = 22,6$ л при -5°C без средств облегчения

Рис. 3.28. Зависимость продолжительности пуска от удельной цикловой подачи топлива при $n = 100$ мин⁻¹: 1 – тракторный дизель, $V_h = 4,75$ л с камерой в поршне при -10°C с электроподогревом подаваемого воздуха; 2 – дизель $V_h = 9,14$ л с камерой в поршне при -5°C без средств облегчения

Глава 4. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ПУСКЕ ДИЗЕЛЕЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Среди многочисленных проблем, возникающих при пуске тракторных дизелей при низких температурах, следует особо выделить влияние вязкостно-температурных свойств моторных масел.

Рассмотрим классификации отечественных и импортных моторных масел, их характеристики, влияние температуры воздуха на свойства масел.

4.1. Свойства масел и их влияние на пусковые характеристики

При низких температурах окружающего воздуха резко возрастает вязкость масел, что приводит к значительному увеличению момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала и, как следствие, к уменьшению частоты вращения вала и снижению скорости движения поршня. Это затрудняет достижение необходимой температуры воздуха в конце такта сжатия и поддержания устойчивого рабочего режима в цилиндрах двигателей. Повышение вязкости масла приводит к затруднениям в подаче и циркуляции масла, что является причиной повышения износов деталей при пуске двигателей и даже может привести к разрушению коренных и шатунных подшипников.

Таким образом, надежность пуска тракторных дизелей в зимних условиях зависит от вязкостно-температурных свойств масла и работы системы смазки. При подборе масла к определённому двигателю внутреннего сгорания нужно учитывать, прежде всего, тип двигателя (уровень форсирования) и температуру окружающего воздуха, при которой будет происходить его эксплуатация.

Масла, применяемые для смазывания поршневых двигателей внутреннего сгорания, называются моторными,

В зависимости от назначения они подразделяются на масла для дизелей, для бензиновых двигателей и универсальные единые, предназначенные для смазки двигателей обоих типов.

Все современные моторные масла представляют собой коллоидный раствор базовых масел и присадок. По составу базового масла они подразделяются на *минеральные* (дисциплинарные компоненты различной вязкости, остаточные компоненты и их смеси); *синтетические* (используются синтетические продукты – полиальфаолефины, алкилбензолы, эфиры и др.) и *полусинтетические* (обычно в качестве базового масла используются смеси минеральных и синтетических компонентов).

Система обозначений (классификация) отечественных масел сводится к делению масел по вязкостно-температурным эксплуатационным свойствам.

Отечественные моторные масла, предназначенные для всех типов

ДВС, по вязкости делятся на летние и зимние (7 классов, которым соответствует вязкость 6-20 сСт при 100°С).

Следует отметить, что летние и зимние сорта масла необходимо менять два раза в год в зависимости от сезона. Это усложняет и удорожает эксплуатацию двигателей. Проблема решена созданием все-сезонных, загущенных полимерными высокомолекулярными загущающими присадками – полиизобутилены, полиметакрилаты и др. Механизм их действия основан на изменении формы макромолекул полимеров в зависимости от температуры. В холодном состоянии эти молекулы, будучи свёрнутыми в спиральки, не влияют на вязкость масла, при нагреве же они расширяются и масло густеет, или, точнее, не становится слишком жидким [46].

Вязкостно-температурные свойства загущенных масел таковы, что при отрицательных температурах они подобны зимним, а при высоких температурах летним.

Вязкость может быть динамической и кинематической.

Динамическая вязкость (η), или коэффициент внутреннего трения жидкости, численно равен силе в Па·с, затрачиваемой на перемещение двух слоев жидкости площадью в 1 м², находящихся на расстоянии 1 м со скоростью в 1 м/с.

Кинематическая вязкость (ν) представляет собой удельный коэффициент трения жидкости.

Кроме того, при низких температурах существует понятие структурной вязкости, характеризуемой появлением в масле структур из застывших углеводородов. Под действием деформирующей силы вязкость масла, содержащего твердые углеводороды, может изменяться, то есть при одной и той же температуре в зависимости от величины деформирующей силы масло будет иметь различную вязкость. С увеличением градиента скорости сдвига вязкость масла снижается.

Кинематическая вязкость ν измеряется в стоксах (Ст) и сантистоксах (сСт). При этом 1 Ст = 1 мм²/с, 1 сСт = 0,01 Ст. Динамическая вязкость η – в пуазах (П) и сантипуазах (сП). 1 П = 1 г/(см·с). 1 сП = 0,01 П. Между кинематической и динамической вязкостью существует зависимость:

$$\nu = \eta / \rho,$$

где ρ – плотность масла, г/см³.

Величина кинематической вязкости масла, определяемая при 100°С. входит в маркировку моторных масел. При пуске дизелей вязкость при низких температурах должна обеспечивать жидкостный режим трения сопряженных деталей.

С точки зрения вязкостных характеристик моторное масло должно выполнять две функции: во-первых, обеспечить быстрый запуск

двигателя в зимних условиях и, во-вторых, его устойчивую и надежную работу в прогретом состоянии. Масла подразделяются на сезонные (зимние и летние) и всесезонные – эксплуатируемые круглый год.

Изначально вязкостные характеристики моторных масел определяются вязкостью базовой основы и в дальнейшем корректируются вязкостными (загущающими) присадками. Именно загущающие присадки позволили создать всесезонные (загущенные) моторные масла с пологими вязкостно-температурными характеристиками, когда зависимость вязкости масел от его температуры менее выражена.

Классы вязкости моторных масел и группы масел по эксплуатационным свойствам приведены в табл. 4.1, и 4.2.

Таблица 4.1

Классы вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1-85

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре	
	100°С	-18°С, не более
3з	≥3,8	1250
4з	≥4,1	2600
5з	≥5,6	6000
6з	≥5,6	10400
6	Св. 5,6 до 7,0 включ.	—
8	7,0 до 9,3	—
10	9,3 до 11,5	—
12	11,5 до 12,5	—
14	12,5 до 14,5	—
16	14,5 до 16,3	—
20	16,3 до 21,9	—
24	21,9 до 26,1	—
3V8	7,0 до 9,3	1250
4з/6	5,6 до 7,0	2600
4з/8	7,0 до 9,3	2600
4з/10	9,3 до 11,5	2600
5з/10	9,3 до 11,5	6000
5з/12	11,5 до 12,5	6000
5з/14	12,5 до 14,5	6000
6з/10	9,3 до 11,5	10400
6з/14	12,5 до 14,5	10400
6з/16	14,5 до 16,3	10400

Таблица 4.2

Группы моторных масел по назначению и эксплуатационным свойствам по ГОСТ 17479.1-85

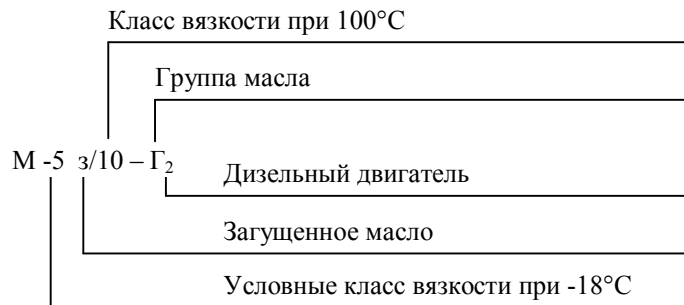
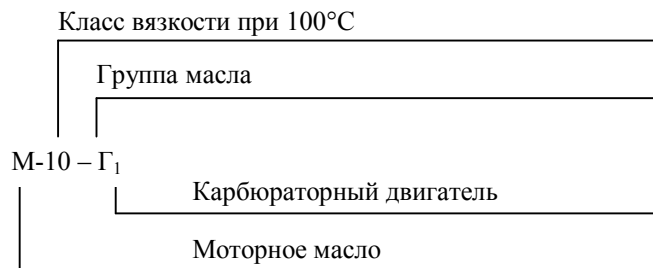
Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
А		Нефорсированные бензиновые двигатели
Б	Б ₁	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников
	Б ₂	Малофорсированные дизели
В	В ₂	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют окислению масла и образованию отложений всех видов
	В ₂	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противоизносным свойствам масел и способности предотвращать образование высокотемпературных отложений
Г	Г ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию отложений всех видов и коррозии
	Г ₂	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений
Д	Д ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Г ₁
	Д ₂	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений
Е	Е ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели и дизели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел групп Д ₁ и Д ₂ . Отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами
	Е ₂	

Цифра 1 (В₁), стоящая у основания буквы, обозначающая группу, указывает на пригодность масла к карбюраторному двигателю, а цифра 2 – к дизельному (В₂). Отсутствие цифрового индекса (В) указывает на принадлежность масла к универсальному, которое может использоваться как в карбюраторном, так и в дизельном двигателе.

По вязкости масла делятся на семь классов (6; 8; 10; 12; 14; и 20), а всепогодные (загущенные) на четыре класса (3з; 4з; 5з; 6з), масло с индексом вязкости 8 относится к зимним, а с классом 10 и выше – к летним. Класс вязкости масел обозначает их вязкость в мм²/с (сСт) при 100°С. Для всепогодных масел класс вязкости маркируется дробью, в которой числитель обозначает условную вязкость масла при его тем-

пературе -18°C (условной цифрой от 3 до 6), а в знаменателе – вязкость в $\text{мм}^2/\text{с}$ при 100°C . Например, цифра 4 условно обозначает вязкость, находящуюся в пределах $2600 \text{ мм}^2/\text{с}$, цифра 6 – вязкость $10400 \text{ мм}^2/\text{с}$. Буква Z, стоящая у основания цифры, указывает на присутствие в масле загущающей присадки.

Примеры маркировки масел



Международная система маркировки моторных масел

Качественный уровень масла оценивается по квалификационной системе, разработанной Американским нефтяным институтом – сокращенно API. Буквы API на этикетке предшествуют символам класса качества. А их всего два: шкала S – для бензиновых двигателей и шкала C – для дизельных.

Ступени качественного уровня обозначаются латинскими буквами, начиная от A, при этом классы A и B уже не применяются.

Вязкость определяется и указывается по методике, разработанной Американским обществом автомобильных инженеров (сокращенно SAE). Буква W (winter - зима) ставится в обозначениях зимних сортов, у летних буквы нет.



Таблица 4.3

Ориентировочное соответствие классов качества моторных масел по отечественной (ГОСТ 17479-85) и международной (API) системе классификации

ГОСТ 17479-85	API
В	SD/CB
В ₁	SD
В ₂	CB
Г	SE/CC
Г ₁	SE, SF
Г ₂	CC

В маркировке моторных масел по ГОСТ 17479.1-85 цифра или рофь указывает вязкостно-температурные свойства масла.

Примеры маркировки моторных масел:

М-6з/10В – моторное всесезонное универсальное масло для среднефорсированных дизелей и бензиновых двигателей (группа В);

М-4з/8-В₂Г₁ – моторное всесезонное масло, универсальное для среднефорсированных дизелей (группа В₂) и высокофорсированных бензиновых двигателей (группы Г₁);

М-10-Г₂(к) – моторное летнее масло для высокофорсированных дизелей без наддува или с умеренным наддувом (группа Г₂), рекомендовано для применения в двигателях КамАЗ (индекс «к»).

М-8-В₂ – моторное масло для среднефорсированных дизельных двигателей.

На рис. 4.1 показаны вязкостно-температурные характеристики нескольких образцов летних, зимних и всесезонных (загущенных) моторных масел для тракторных дизелей. С понижением температуры

вязкость масла изменяется в широком диапазоне, особенно существенно при отрицательных температурах, при этом увеличение вязкости у загущенных масел происходит наиболее медленно и плавно.

Рис. 4.1. Вязкостно-температурные характеристики моторных масел: 1 – М-10Г₂; 2 – М-8В; 3 – М-4з/8В₂

Кроме вязкости масла и вязкостно-температурных характеристик важное значение имеет температура застывания и связанная с этим прокачиваемость (текучесть) масла. Одной из причин потери текучести масла при низких температурах в двигателях является образование структурного каркаса из кристаллов парафина, что вызвано ограниченной растворимостью высокоплавких парафинов в маслах и выпадением кристаллов из раствора при низких температурах. Это особенно опасно на тех участках системы смазки, где давление и скорость масла невелики – поддон картера, всасывающая линия масляного насоса, сетка на маслоприемник. Там, где давление и скорости масла достаточны, образовавшийся структурный каркас разрушается, и масло приобретает текучесть. Например, при давлении 1 мПа прокачиваемость масла возможна при температуре ниже температуры застывания.

Если проворачивание двигателя при пуске происходит на загустевшем масле, то образовавшийся структурный каркас разрушается под действием тангенциальных сил, обусловленных перемещением слоев массы относительно друг друга. В то же время во всасывающей магистрали такой каркас может сохраняться, и поступление масла к насосу не обеспечивается, т.е. наблюдается «масляное голодание». Это может происходить, например, при предпусковой прокачке холодного масла дополнительным масляным насосом.

Температура застывания отечественных моторных масел составляет: летних типа М-10В₂ – (-15°C), зимних типа М-8В₂, М-8Г₂, – (-25°C), загущенных типа М-4з/8В₂ – (-35°C).

Во время эксплуатации тракторов в зимних условиях Западной Сибири наибольший эффект при пуске дизелей достигается при применении всесезонных (загущенных) масел.

Испытания в холодной камере НАТИ показали, что при использовании масел М-4з/8В₂ обеспечивается надежный пуск тракторных дизелей без подогрева до -25°C, а при использовании зимних масел М-8В₂ до -10°C.

В последнее время в условиях рядовой эксплуатации наряду с использованием отечественных моторных масел находят применение и масла зарубежного производства. Поэтому необходимо знать международные стандарты моторных масел с целью грамотного их применения.

В соответствии с классификацией SAE J 300 предусмотрено 11

классов вязкости: 6 зимних – 0W, 5W, 10W, 15W, 20W и 25W и 5 летних (без буквенного обозначения) – 20, 30, 40, 50 и 60. Всесезонные службы обозначают двойной маркировкой, например. SAE 15W – 40 или SAE 10W – 30 и т.п. Чтобы правильно подобрать масло к зиме, полезно знать так называемое «правило 35» [42]. Для этого нужно вычесть из числа 35 зимний индекс вязкости, получится предельная температура прокачиваемости масла. Например, минеральное масло SAE 10W – 40 (летний индекс 40 в данном случае роли не играет) сохраняет текучесть до -25°C (35 – 10 = 25).

Следует отметить, что это правило полностью применимо к минеральному маслу, но синтетические масла всегда «холоднее» минеральных примерно на 10...15°C.

Что касается «летнего» числа в универсальном масле, то оно приблизительно соответствует температуре воздуха в градусах Цельсия, при которой допустимо применение данного масла. Например, отечественное масло «лукойл-стандарт» SAE 10W – 40 надежно применимо до температуры 30...35°C выше нуля.

В таблицах 4.4 и 4.5 приведена классификация моторных масел по вязкости SAE J 300 и, соответственно, вязкости моторных отечественных масел, и по классификации SAE.

Таблица 4.4

Классификация моторных масел по вязкости SAE J 300 (декабрь 1995 г.)

Класс вязкости по SAE	Высокотемпературная вязкость	
	Кинематическая вязкость, мм ² /с при 100°C	
	min	max
0W	3,8	–
5W	3,8	–
10W	4,1	–
15W	5,6	–
20W	5,6	–
25W	5,6	–
20	5,6	9,4
30	9,3	12,5
40	12,5	16,3
50	16,3	21,9
60	21,9	26,1

Таблица 4.5

Аналоги вязкости класса моторных масел по классификации России и SAE

Россия	SAE	Россия	SAE
Зз	5W	Зз/8	5W/20

4з	10W	4з/6	10W/20
5з	15W	4з/8	10W/20
6з	20W	4з/10	10W/30
6	20	5з/10	15W/30
8	20	5з/12	15W/30
10	30	6з/10	20W/30
12	30	6з/12	20W/30
14	40	6з/14	20W/40
16	40	6з/16	20W/40
20	50	–	–

Правильный и грамотный выбор моторного масла позволит повысить моторесурс двигателя, увеличить интервалы замены масла, снизить эксплуатационные расходы.

4.2. Предпусковая прокачка масла

В начальный период пуска двигателя при отрицательных температурах окружающего воздуха из-за высокой вязкости моторных масел происходит задержка поступления масла к трущимся поверхностям, и пуск осуществляется в условиях недостаточной смазки. Это приводит к повышенному износу деталей кривошипно-шатунного механизма, а в отдельных случаях – к задиру или проворачиванию коренных подшипников.

Поэтому желательно, чтобы система пуска предусматривала возможность создания рабочего давления и подачи масла к трущимся поверхностям до момента пуска двигателя, т.е. желательно применять предварительную прокачку масла через коренные подшипники коленчатого вала.

В Новосибирском СХИ изучалось предпусковое состояние системы смазки в начальный период пуска двигателя в зимних условиях. Экспериментальная установка состояла из дизеля А-41, установленного на открытой площадке, и соединенного с ним электрического универсального стенда, расположенного в лаборатории, где находились и остальные измерительные приборы (рис 1.2). Момент начала поступления масла, а также его давление в коренных подшипниках и в главной магистрали находили путём осциллографирования процесса прокручивания дизеля А-41 на пусковых режимах (рис. 4.2). Тензометрические датчики давления устанавливались в 5-коренном подшипнике и главной магистрали.

Рис. 4.2. Образец осциллограммы, полученной при прокручивании двигателя А-41 на пусковом режиме: 1 – отметка времени; 2 – давление масла в главной магистрали; 3 – давление масла в 5-ом коренном подшипнике; 4 – отметка

каждого пол-оборота коленчатого вала; 5 – нулевая линия

В картер двигателя заливалось зимнее дизельное масло типа М-8В₂, система охлаждения заправлялась низкотемпературной жидкостью.

Очевидно, процесс пуска двигателей с точки зрения обеспеченности подшипников смазкой подразделяется на три периода, последовательно сменяющих друг друга, в течение каждого из которых в подвижных соединениях (коренные подшипники – коленчатый вал) наблюдается определённый вид трения скольжения:

1. Начальный период – до момента подачи масла к коренным подшипникам.
2. Период от момента начала подачи масла к коренным подшипникам до момента установившегося давления масла.
3. Период прокручивания двигателя при установившемся давлении масла в магистрали.

Продолжительность первого, наиболее неблагоприятного, периода зависит от температуры масла в картере двигателя (табл. 4.6). Он увеличивается по мере снижения температуры, достигая при -23°C и частоте прокручивания коленчатого вала 240 мин^{-1} 49-56 с, или 196-224 оборота вала. Следует отметить резкое увеличение времени прокручивания до начала появления давления при температуре масла ниже -20°C . Это объясняется тем, что температура застывания моторного масла соответствует указанной величине.

Длительность второго периода весьма непродолжительна и, как показало осциллографирование процесса прокручивания двигателя, составляет на пусковых оборотах примерно 4 с.

Таблица 4.6

Изменение давления масла при прокручивании двигателя на пусковых режимах

Температура масла в картере, $^{\circ}\text{C}$	Частота прокручивания коленчатого вала, мин^{-1}	Интервал времени от начала прокручивания до момента появления давления		Давление масла	
		в главной магистрали, с	в 5-коренном подшипнике, с	в главной магистрали, мПа	в 5-коренном подшипнике, мПа
-7	207	14	15,5	0,42	0,21
-8	236	12,5	13,5	0,55	0,29
-9	207	–	–	0,48	0,22
-10	230	17,5	19,5	0,42	–
-15	240	–	–	0,50	0,20
-15	240	–	–	0,45	0,22
-15	240	12,3	14,6	0,37	0,28
-16	219	17	19	0,43	0,21
-17	240	18,5	–	0,31	–

-17	207	20	22,5	0,40	0,21
-20	240	–	18	–	0,18
-20	220	24	29	0,47	–
-23	240	37	56	0,30	0,20
-23	240	33	50	0,39	0,20

В течение первых двух периодов в сопряжениях может иметь место сухое или граничное трение, так как подача смазки отсутствует. При этом возможны задиры и даже проворачивание вкладышей подшипников, особенно при низких температурах. Устранить эту опасность можно либо с помощью предпусковой прокачки масла, либо путем увеличения длительности прокручивания дизеля при работе пускового двигателя без подачи топлива. Продолжительность прокручивания двигателя в последнем случае при температурах масла в картере до -23°C должна составлять не менее 1,5-2 мин.

Третий период прокручивания на пусковых режимах характеризуется наличием установившегося давления масла, которое находилось в диапазоне исследованных температур от -7 до -23°C в главной магистрали в пределах 0,3-0,55 мПа, а в 5-коренном подшипнике около 0,2 мПа.

В исследованиях, выполненных в НАТИ (Москва) на дизеле А-41, установлено, что устойчивая масляная плёнка между коленчатым валом и вкладышами коренных подшипников обеспечивается уже при давлении в главной магистрали 0,07 мПа. Это позволяет сделать вывод о том, что данный период является безопасным для коренных подшипников и коленчатого вала.

Другим способом обеспечения необходимого режима смазки является применение предпусковой прокачки масла, которая может осуществляться тремя способами:

- с приводом масляного насоса от электродвигателя (ЯШ-240Б);
- с приводом от пускового двигателя (А-41, СМД-62);
- с приводом плунжерного насоса от руки.

Маслозакачивающий насос дизеля А-41 был сконструирован СКВ Алтайского моторного завода с учетом исследований, выполненных в Новосибирском СХИ, специально для двигателей этой серии в северном исполнении (рис. 4.3).

Установка маслозакачивающего насоса осуществлялась на редукторе пускового двигателя без сколько-нибудь значительных изменений в конструкции двигателя. Привод насоса – от шестерни редуктора пускового двигателя. Для этой цели насос непосредственно крепили к корпусу редуктора.

Принципиальная схема включения маслозакачивающего насоса в систему смазки дизеля А-41 показана на рис. 4.4. При работе пускового двигателя на холостом ходу масло подавалось насосом МЗН-1 из

картера двигателя в главную магистраль. При этом всасывающий клапан 7 открыт, а обратный клапан 3 закрыт, и всё масло подавалось непосредственно в главную магистраль, минуя центрифуги.

После пуска дизеля начинает работать масляный насос 6 дизеля, и масло идёт по обычной схеме. Маслозакачивающий насос отключается, обратный клапан 3 открывается, а всасывающий 7 закрывается, что препятствует сливу масла в картер через МЗН-1.

Производительность насоса при температуре масла 50...55°C и давлении 0,9 мПа составила 13 л/мин при частоте вращения вала 2200 мин⁻¹.

При прокручивании коленчатого вала дизеля от пускового двигателя масло подавалось из картера в главную магистраль одновременно насосом 1 и масляным насосом дизеля 6. При этом закрывался обратный клапан 8, что препятствовало сливу масла в картер через маслозакачивающий насос в случае резкого возрастания давления в главной магистрали.

Рис. 4.4. Схема молочения маслозакачивающего насоса в систему смазки двигателя А-41

Производительность маслозакачивающего насоса падает при понижении температуры масла (рис. 4.5).

При этом давление растёт из-за увеличения вязкости масла, так как масло, заполняя каналы, медленно сливается через зазоры. Так, давление масла в главной магистрали при работе только маслозакачивающего насоса составляет: при 25°C – 0,6 мПа, при 0°C – 0,78 мПа, при -20°C – около 0,9 мПа. Однако только наличие давления в главной магистрали при малой производительности насоса может оказаться недостаточным для обеспечения нормальных условий смазки, так как оно (давление) возникает при недостаточном количестве масла. Холодное масло при вращении коленчатого вала быстро выдавливается из зазоров, а новая порция подаётся медленно и условия для гидродинамического трения коленчатого вала оказываются крайне неблагоприятные.

Указанных недостатков можно избежать при заправке двигателя маловязкими маслами, разжижением моторного масла бензином, предпусковым разогревом масла и т.д.

Рис. 4.5. Зависимость производительности МЗН от температуры прокачиваемого масла

Момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала при пуске зависит от механических потерь в двигателе, которые приходится на трение поршней и поршневых колец о стенки цилиндров, и потерь в подшипниках коленчатого вала. При нормальных тепловых условиях основная доля механических потерь приходится на цилиндры-

поршневую группу, которая достигает 65-70% от общей суммы механических потерь.

Скорость прогрева подшипников растёт по мере повышения температуры картерного масла. Так, при увеличении температуры масла с 25 до 88°C скорость прогрева возросла с 1,3 до 4,5°C/мин. Следовательно, для обеспечения эффективного подогрева коренных подшипников двигателя с предварительной прокачкой масла целесообразно применять его подогретым до 90...95°C. Указанная скорость прогрева была достигнута при производительности маслозакачивающего насоса МЗН-1 в пределах 9,25-9,35 л/мин. При этом мощность на привод насоса почти не меняется и находится на уровне 0,725 кВт.

При пуске холодного двигателя картина распределения сил трения резко меняется. На рис 4.6 показано распределение сил трения в кривошипно-шатунном механизме тракторного дизеля в зависимости от его температуры. С понижением температуры масла наряду с общим повышением сопротивления прокручиванию двигателя (в 3-4 раза) значительно увеличивается доля трения, приходящаяся на коленчатый вал. В частности, при снижении температуры с 10°C до -25°C часть трения, приходящаяся на коленчатый вал и его остальные узлы, возрастает с 35 до 65% и составляет основную долю сопротивления прокручиванию двигателя.

Рис. 4.6. Распределение сил трения в кривошипно-шатунном механизме тракторного дизеля в зависимости от его теплового состояния

При разработке и осуществлении мероприятий по облегчению пуска тракторных дизелей обычно основное внимание уделяется прогреву системы охлаждения и картерного масла. В то же время прогрев коренных подшипников в достаточной мере не производится, хотя это мероприятие могло бы в значительной мере снизить величину сопротивления прокручиванию коленчатого вала.

Предпусковые жидкостные подогреватели типа ПЖБ чрезвычайно слабо прогревают коренные подшипники, так как теплоносители - нагретая охлаждающая жидкость, находящаяся в двигателе, и отработавшие газы подогревателя - непосредственного контакта с поверхностями коренных подшипников не имеют. Опытами, проведёнными в Новосибирском СХИ на дизеле Д-240, оборудованном подогревателями ПЖБ-22, установлено, что в результате прогрева двигателя и 5-минутной выдержки после выключения подогревателя температура коренных подшипников возрастает всего на 8...10°C.

Эффективным средством прогрева коренных подшипников и снижения момента сопротивления прокручиванию является предпусковая прокачка подогретого масла.

Температуру масла на входе в коренные подшипники целесообразно доводить примерно до 0°C. Разогрев зимнего дизельного масла типа М-8В₂ до более высокой температуры большого эффекта не даёт, поскольку вязкость его в дальнейшем повышается незначительно.

В Новосибирском СХИ проведены опыты по определению моментов сопротивления прокручиванию дизеля А-41 с предварительной прокачкой масла и без неё при температурах окружающего воздуха от -18 до -21,5°C, при прочих равных условиях.

Подогрев двигателя производился подогревателем ПЖБ-22. При этом температура коренных подшипников повысилась всего на 2...3,5°C. Последующая 5-минутная прокачка залитого горячего масла повысила температуру в первом случае от -16,5 до -1°C, во втором от -20,5 до -4°C. Предпусковая прокачка масла обеспечила достаточно эффективный прогрев коренных подшипников (табл. 4.7).

Таблица 4.7

Изменение момента сопротивления прокручиванию прогретого двигателя

Параметры	Без прокачки масла	С прокачкой масла	
Температура окружающего воздуха, °С	-21	-18	-21,5
Температура масла в картере, °С	64	70	70
Температура охлаждающей жидкости в головке двигателя, °С	67	72	80
Температура коренных подшипников до подогрева двигателя, °С	-20	-18,5	-24
Температура коренных подшипников после подогрева двигателя, °С	-18	-16,5	-20,5
Температура коренных подшипников после 5-минутной прокачки масла, °С	-18	-1,0	-4,0
Температура коренных подшипников в момент опыта, °С	-11	2,0	1,0
M_c нормально работающего двигателя при 200 мин ⁻¹ , Нм	309	269	270
Снижение M_c (по сравнению с холодным двигателем), Нм	141	181	180
То же, %	31,0	40,5	40,0

Предпусковой подогрев обеспечивает снижение момента сопротивления прокручиванию двигателя на всех пусковых режимах. В частности, при скорости прокручивания коленчатого вала 200 мин⁻¹ снижение момента сопротивления двигателя без прокачки масла по сравнению с холодным двигателем составило 141 Нм, или 31%, с предварительной прокачкой – 181 и 180 Нм, или соответственно 40,5 и 40,0%.

Таким образом, прокачка масла позволяет уменьшить дополни-

тельно величину момента сопротивления прокручиванию ещё примерно на 10%.

Таким образом, предпусковая прокачка подогретого масла обеспечивает повышение температуры коренных подшипников, является эффективным средством снижения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала, уменьшения износов и опасности проворачивания вкладышей подшипников при пуске тракторных дизелей в зимних условиях.

4.3. Разжижение масла в картере дизеля

Одним из простых, доступных и достаточно хорошо изученных способов, обеспечивающих быстрый пуск двигателей при низких температурах и не причиняющих вреда двигателю, является разжижение масла бензином. Однако этот способ не нашел широкого применения в практике, в условиях рядовой эксплуатации при безгаражном хранении тракторов, очевидно, из-за недостаточной его популяризации. Определённую роль играет предубежденность некоторых специалистов против снижения вязкости масла, даже кратковременного.

Однако результаты многих исследований показали, что даже значительное снижение вязкости масла не влечет за собой увеличение скорости изнашивания пар трения. Введение в масло бензина не уничтожает, а лишь отодвигает в область более низких температур проявление структурной вязкости.

Разжижение масла бензином позволяет снизить температуру надёжного пуска двигателей на 14...18°C по сравнению с пуском на неразжиженном масле [6].

Впервые систематичное разжижение масла бензином стало широко практиковаться в авиации США в 30-е годы для всех типов самолётов в условиях зимней эксплуатации. Применение разжиженного масла позволило проводить надёжный пуск при температурах до -42°C, причём при налете до 1000 ч никаких неполадок обнаружено не было.

Исследования влияния разжижения масла бензином проводились и в нашей стране. Установлено, что залитый в систему смазки бензин быстро испаряется, при этом достаточно 40-50 мин работы авиационного двигателя после пуска для выпаривания бензина [7]. Основная часть бензина испаряется из масла в первые 10-15 мин работы.

Скорость износа при работе на разжиженном масле не увеличилась, так как вязкость масла быстро восстанавливается. Разжижение масла бензином не ухудшает его противоизносных свойств. Наибольшее относительное снижение вязкости – при сравнительно небольших добавлениях бензина. В табл. 4.8 приводятся рекомендуемые степени разжижения зимних сортов масел бензином при различных отрица-

тельных температурах окружающего воздуха.

Таблица 4.8

Рекомендуемые степени разжижения масла бензином
при отрицательных температурах

Пределы температур окужающею воздуха, °С	Количество заливаемого в картер бензина, % от объёма масла
От 0 до -5	4
От -5 до -10	6
От -10 до -15	8
От -15 до -20	10
От -20 до -25	12
От -25 до -30	14

Бензин следует заливать по окончании работы после остановки двигателя, затем двигатель следует кратковременно запустить для перемешивания и поступления разжиженной смазки в подшипники коленчатого вала, заглушить и оставить трактор на стоянке. На следующее утро двигатель готов к быстрому пуску.

В Новосибирском СХИ были проведены опыты по заливке бензина в картерное масло дизеля А-41 с целью определения влияния разжижения масла на изменение момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала в условиях отрицательных температур.

Методика проведения опытов была следующая: после длительной работы двигателя на номинальном режиме в картер (масло типа М-8В₂) заливали 3 л бензина А-80, что составило 12% от количества масла, находящегося в картере двигателя А-41 (25 л). После этого двигатель с целью хорошего перемешивания бензина и масла работал на холостом ходу в течение 3-5 мин. После этого двигатель глушили и он остывал не менее 12 ч.

Для определения момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала холодного двигателя он прокручивался с включенной и выключенной компрессией с частотой вращения 150 и 200 мин⁻¹ при температуре окружающего воздуха до -29°С и температуре коренных подшипников до -25°С.

Установлено, что указанное количество залитого бензина позволяет снизить момент сопротивления двигателя на одну треть. Таким образом, разжижение масла бензином как бы способствовало переводу двигателя по моменту сопротивления к тем условиям, которые возникают, если двигатель прокручивается на температурах на 12...14°С выше, чем температура опыта, что обеспечивает его уверенный запуск при низких температурах окружающего воздуха в условиях достаточной смазки подшипников.

Отмечено, что после пуска дизеля А-41 с разжижением масла при

работе на номинальном режиме под нагрузкой давление в главной магистрали несколько снизилось по сравнению с двигателем, работающим на неразжиженном масле. Однако снижение давления масла весьма незначительное – с 0,29 до 0,25 мПа, что не может иметь каких-либо отрицательных последствий.

В нашей стране в практике отечественного тракторостроения разжижение масла бензином впервые разрешено заводской инструкцией по эксплуатации дизеля воздушного охлаждения Д-37М Владимирского тракторного завода. Это свидетельствует о том, что данный способ облегчения пуска является достаточно надёжным.

Таким образом, разжижение моторного масла бензином в условиях низких температур является эффективным способом упрощения и ускорения пуска дизелей без повышения их износов и может широко применяться при рядовой эксплуатации тракторов при безгаражном хранении, в частности, в условиях фермерских хозяйств.

Глава 5. ПОСЛЕПУСКОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ. ПРОГРЕВ, ИЗНОСЫ

В научно-технической литературе приводятся сведения о большом количестве исследований, где отмечается значительный износ деталей при пуске двигателей в условиях низких температур окружающей среды.

Поданным А.И. Нисневича и Д.И. Высотского [8], при каждом пуске холодного двигателя он изнашивается так же, как при нормальной работе в течение 4,82 ч, а при пуске горячего двигателя износ равноценен износу при работе двигателя в течение 2,22 ч. В.В. Петровский и Ю.К. Гончарук отмечают [9], что при пуске автомобильных двигателей в условиях отрицательных температур износ соответствует пробегу 200-250 км. По данным Целинного филиала ГосНИТИ [10], величина износа цилиндрико-поршневой группы за 100 холодных пусков с последующим прогревом эквивалентна 800-1000 ч нормальной работы двигателя. Отдельные учёные считают, что пуск холодных двигателей можно рекомендовать только как вынужденную меру.

Повышенный износ при пуске вызывается, главным образом, несовершенством смазки узлов трения в начальный период, недостаточным поступлением и неустойчивой циркуляцией масла. Особенностью пусковых режимов является то, что в первую очередь прогреваются камеры сгорания, затем поршневая группа. Масло в картере, магистралях и фильтрах, которые обдуваются потоками холодного воздуха от вентилятора, прогревается в последнюю очередь. Холодное масло плохо прокачивается, и доступ его к узлам трения затрудняется. Наблюдались случаи, когда при пуске холодного двигателя в сильные морозы выплавлялись вкладыши тех подшипников, которые наиболее удалены от места подвода масла в магистраль. На смазку цилиндрико-поршневой группы масла поступает недостаточно. Часть масла после первых вспышек выгорает. Под действием указанных факторов происходит значительный износ деталей холодного двигателя при его прогреве.

При низких температурах возрастает не только время пуска, но и продолжительность послепускового прогрева двигателя, который сопровождается не только повышенным износом его деталей, но и непроизводительным расходом топлива, значительными простоями тракторов. Поэтому важное значение имеет выбор оптимального (с точки зрения затрат времени и топлива, а также минимального износа) режима послепускового прогрева тракторного двигателя при различных температурах окружающего воздуха.

5.1. Режимы послепускового прогрева двигателя и его износы

В практике эксплуатации тракторов и автомобилей чаще всего

принято прогревать двигатели на режиме холостого хода, т.е. при минимальных частотах вращения коленчатого вала. Обычно считается, что повышение скоростного режима непрогретого двигателя очень вредно и увеличивает изнашивание трущихся частей деталей.

Однако результаты ряда исследований, проведённых в последние годы, показывают, что прогревать двигатели, особенно в холодное время года, целесообразно на повышенном скоростном режиме (относительно холостого хода) и под нагрузкой.

Это даёт возможность снизить пусковые износы в результате:

- ускорения прогрева двигателя до нормальной температуры;
- увеличения несущей способности подшипников за счёт действия гидродинамических сил;
- усиления разбрызгивания масла на стенки цилиндра;
- увеличения количества поступления масла в подшипники.

Учитывая относительную скоротечность процессов пуска, следует считать, что основная доля износа деталей приходится на режим послепускового прогрева. На величину износа при послепусковом прогреве двигателя значительное влияние оказывает температура жидкости в системе охлаждения, которая должна составлять в тракторных дизелях 75...95°C. Работа двигателя при более низкой температуре охлаждающей жидкости сопровождается повышенными износами деталей.

Исследованиями, выполненными В.В. Поповым на дизеле Д-50, установлено, что прогрев двигателя после пуска до нормального теплового состояния деталей путём работы на холостом ходу при отрицательных температурах воздуха невозможен [12]. Прогрев двигателя после пуска до нормального теплового состояния при температуре окружающего воздуха от 0 до -10°C возможен только при работе под нагрузкой до 1/3 от номинальной, при температуре от -10 до -20°C – только под нагрузкой не менее 1/3 номинальной, при температуре от -20 до -30°C – под нагрузкой не менее 2/3 от номинальной, при температуре ниже -30°C – при номинальной нагрузке. Прогрев дизеля работой под нагрузкой, вплоть до номинальной, при положительных температурах воздуха сокращает его продолжительность в 2,5-7 раз. Прогрев двигателя под номинальной нагрузкой при температуре окружающего воздуха -30°C по продолжительности втрое короче, чем прогрев работой на холостом ходу при температуре окружающего воздуха 20°C.

Скорость повышения температуры подшипников коленчатого вала в первые 5-12 мин прогрева (в зависимости от температуры двигателя перед пуском) практически постоянна при работе на всех нагрузочных режимах. Поэтому прогрев двигателя под нагрузкой не оказывает вредного влияния на работу подшипников коленчатого вала. Прогрев двигателя работой под нагрузкой требует меньшего расхода топ-

лива и уменьшает износ деталей в период пуска – прогрева двигателя. Это объясняется сокращением времени прогрева.

Прогрев дизеля сопровождается значительным износом его деталей (табл.5.1).

Таблица 5.1

Износ деталей при прогреве двигателя

Режим прогрева	Температура окружающего воздуха, °С					
	20	10	0	-10	-20	-30
Продолжительность работы дизеля, эквивалентная по износу пуску-прогреву, ч						
Хол. ход	2,3	2,4	2,8	3,1	4,0	5,0
1/3 N_e ном.	1,6	1,8	2,0	2,5	3,7	4,4
2/3 N_e ном.	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	2,7
N_e ном.	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,9

При температуре 20 и -30°С один пуск и последующий прогрев работой на холостом ходу по износу эквивалентен соответственно 2,3 и 5,0 ч на номинальном режиме работы двигателя при температуре воздуха 20°С. Уменьшить износ двигателя можно при его работе под нагрузкой, но не на холостом ходу. Один пуск и прогрев дизеля работой на номинальной нагрузке при температуре 20 и -30°С по износу эквивалентен соответственно 0,8 и 1,9 ч работы на номинальном режиме при температуре воздуха 20°С т.е. значительно ниже, чем при работе на холостом ходу.

Таким образом, после пуска двигателя при появлении давления в масляной магистрали и отсутствии отклонений от нормальной работы прогрев его следует производить под нагрузкой вплоть до полной. Это можно осуществить, например, путём движения трактора вскоре после пуска на низких передачах.

Аналогичные результаты получены во время испытаний дизелей А-41 по пуску-прогреву при температурах окружающего воздуха от 0 до -34°С, проведенных в Новосибирском СХИ.

Прогрев осуществлялся под нагрузкой 75% от номинальной после холодного пуска. Это позволило снизить износ верхних компрессионных колец при температуре окружающего воздуха -20°С в 2,1 раза по сравнению с прогревом на холостом ходу, а при 0°С в 2 раза.

Для гильз цилиндров снижение среднего износа происходит 2,1 и 1,83 раза соответственно. Создание нагрузки позволяет сократить продолжительность прогрева при температуре -20°С в 3,4 раза, при 0°С – в 4 раза [15].

На рис. 5.1 представлен средний радиальный износ по четырём гильзам при температурах 0, -10, -20, -35°С на холостом ходу и под нагрузкой 0,75 N_{en} . Износ за пуск-прогрев при понижении температуры

	№204572	№208865
Наработка, моточасы	2286	1260
Продолжительность эксплуатации, мес	30	30
Количество пусков без разогрева при температурах до -30°C	206	196

Перед разборкой двигателя были проведены измерения давления масла по штатному манометру. Они показали, что давление масла находится в пределах, указанных заводом-изготовителем, что косвенно характеризует удовлетворительное состояние двигателей (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Давление масла при различных режимах работы двигателей

Режим работы	Давление масла по штатному манометру, МПа	
	Д-240 №204572	Д-240 №208865
Номинальный при температуре воды 80...90°C	0,25-0,27	0,20-0,25
50...60°C	0,3	0,3
Минимальные обороты холостого хода (900-1000 мин ⁻¹) при температуре воды 40°C	0,32	0,35

Визуальный осмотр поверхностей 2-го и 4-го коренных вкладышей и 4-го шатунного подшипников двигателя Д-240 №204572 и вкладышей 3-го коренного и 3-го шатунного подшипников двигателя Д-240 №208865 показали отсутствие заметных отличий по сравнению с состоянием при более ранних контрольных осмотрах. Подшипники пригодны для дальнейшей эксплуатации.

Визуальный осмотр поверхностей гильз цилиндров и поршней также показал их нормальное техническое состояние: задиры, риски отсутствуют, поршневые и маслосъемные кольца подвижны. На поршне двигателя Д-240 №208865 нагароотложение было несколько больше, что объясняется режимом работы двигателя на тракторе, используемом в основном на транспортных работах. На поверхностях поршней незначительное лакообразование.

Результаты микрометража гильз цилиндра показали, что при размере по чертежу $110^{+0,06}_{+0,04}$ мм размеры в различных плоскостях, как правило, не выходят за пределы допусков.

Аналогичные результаты получены при изменении толщины и высоты поршневых колец, зазоров в замке компрессионных колец в рабочем состоянии.

Наружный диаметр поршней по чертежу в поясе «3», соответствующий в плоскости АА 109,72-109,86 мм, в плоскости ББ 109,88-

109,90 мм, также не выходит за пределы допуска.

Техническая экспертиза дизелей Д-120, установленных на тракторах Т-25А, после 3,5 лет эксплуатации с наработкой 2230-2660 моточасов показал, что штифтовые свечи сохранили свою работоспособность.

В таблице 5.4 приведены результаты определения параметров свечей накаливания, установленных в головках цилиндров, и степень их накаливания.

Таблица 5.4

Параметры штифтовых свечей накаливания С1М5А

Номер трактора	Напряжение, В		Ток, А		Степень накала	
	через 60 с	через 120 с	через 60 с	через 120 с	через 60 с	через 120 с
После эксплуатационных испытаний						
1	$\frac{12,5}{12,5}$	$\frac{12,5}{12,5}$	$\frac{10,6}{10,5}$	$\frac{10,5}{10,5}$	Вишнёвый	Светло-вишнёвый
8	$\frac{12,4}{12,5}$	$\frac{12,4}{12,5}$	$\frac{10,3}{10,0}$	$\frac{10,3}{10,0}$	Вишнёвый тёмный Ярко-светлый	Вишнёвый тёмный Ярко-светлый
После очистки свечей и свечных отверстий в головках цилиндров от нагара						
1	$\frac{12,5}{12,5}$	$\frac{12,5}{12,5}$	$\frac{10,3}{10,5}$	$\frac{10,2}{10,5}$	Ярко-красный Ярко-красный	Ярко-красный Ярко-красный
8	$\frac{12,5}{12,5}$	$\frac{12,5}{12,5}$	$\frac{10,2}{10,1}$	$\frac{10,2}{10,0}$	Ярко-красный Ярко-светлый	Ярко-красный Ярко-светлый

Примечание. В числителе – параметры свечи первого цилиндра; в знаменателе – второго.

Указанные параметры свечей являются нормальными. Сами свечи необходимо периодически очищать от нагара.

Изменение давления в системе смазки по штатному манометру показало, что состояние двигателей вполне удовлетворительное (табл. 5.5). Величина тока в цепи штифтовых свечей накаливания у обоих тракторов составляет 18А, что является нормальным.

Таблица 5.5

Давление масла и системе смазки дизеля Д-120

Режим работы двигателя и температура масла по штатному манометру	Давление масла по штатному манометру в тракторе, мПа	
	№1	№8
Номинальная частота вращения коленчатого вала при температуре масла		
40°С	–	0,38
60°С	0,3	0,3
80°С	0,25	0,22

Минимальная частота вращения холостого хода при температуре масла 80°C	0,20	0,20
--	------	------

Зазоры в стыке верхних поршневых колец находятся в пределах 0,6-0,9 мм, что значительно меньше допустимого зазора, равного 3,5 мм, и тем более предельного – 6,0 мм, а зазор между канавками поршня и верхними компрессионными кольцами составляет 0,15-0,20 мм, что также меньше допустимого, равного 0,30 мм, и предельного-0,50 мм [11].

Микрометраж цилиндров, поршней и поршневых колец обоих тракторов после наработки 2234-2260 моточасов показал, что износ этих деталей незначителен. Например, у трактора №1 диаметр первого цилиндра на глубине 22 мм до испытаний был 105,02-105,03 мм, после испытаний 105,25-105,31, т.е. увеличился на 0,22-0,28 мм. Толщина верхнего кольца первого цилиндра трактора №1 до испытаний составляла 2,995 мм, после испытаний уменьшилась до 2,80-2,88 мм (на 0,22-0,05 мм).

Таким образом, техническая эксплуатация двигателей Д-240 и Д-120, оборудованных пусковыми устройствами с ЛВЖ или штифтовыми свечами накаливания с применением загущенного масла М-4з/8В₂, показала, что пуск холодных дизелей в зимних условиях Западной Сибири без предварительного подогрева в условиях рядовой эксплуатации обеспечивается при сохранении надёжности, износостойкости и долговечности двигателей.

5.2. Послепусковой прогрев двигателей

В послепусковой период двигатель работает при низких температурах охлаждающей жидкости и масла, что приводит к значительному росту внутренних потерь на трение. Потери на трение в период прогрева двигателя, особенно после холодного пуска, когда температура основных систем равна температуре окружающей среды, достигают значительных величин (рис. 5.2).

Анализ литературных данных показывает, что потери на трение в основном определяются потерями в цилиндро-поршневой группе, а также в коренных и шатунных подшипниках. Их доля в общих потерях на трение в двигателе составляет около 80%.

Низкий тепловой режим двигателя при пуске и в период прогрева характеризуется высокой вязкостью моторного масла, которая интенсивно снижается под действием деформирующей силы и теплоты, выделяющейся в сопряжениях «гильза-поршень» работающего двигателя. На стенки гильзы в первые 3-5 мин работы двигателя после холодного пуска масло практически не поступает.

Рис. 5.2. Зависимость внутренних потерь мощности (N_n) и температуры масла от времени прогрева двигателя СМД-62 (без трансмиссии): 1 – темпе-

Кроме того, существующая масляная плёнка на её поверхности очень быстро разжижается под действием выделившегося тепла и части несгоревшего топлива. Вследствие этого потери на трение в цилиндро-поршневой группе резко снижаются, вызывая, в свою очередь, существенное уменьшение общих потерь на трение в двигателе. Новая порция масла на стенки цилиндра в большинстве автотракторных двигателей может поступать только в мелкокапельном или туманообразном виде, что практически исключает влияние температуры масла в поддоне в первоначальный момент прогрева на потери в цилиндро-поршневой группе.

В подшипниках коленчатого вала масло под действием сил трения нагревается и разжижается, после чего через зазоры сливается в поддон двигателя. При этом масляным насосом постоянно подаётся свежая порция масла. Но этой причине следует ожидать монотонного снижения потерь на трение в подшипниках с ростом температуры масла в поддоне. Величина дополнительных потерь на трение N_{mp} и её изменение в зависимости от времени прогрева определяется по температуре отработавших газов и соответствующей нагрузочной характеристике.

В момент пуска двигателя и последующий период работы наблюдается резкий «заброс» температуры отработавших газов, причём величина «заброса» зависит от температуры окружающей среды и теплового состояния двигателя в момент пуска. Так, например, если при температуре окружающего воздуха в момент пуска -11°C температура отработавших газов достигает $300\text{...}350^{\circ}\text{C}$, то при -16°C – соответственно $400\text{--}500^{\circ}\text{C}$. Судя по температуре отработавших газов; развиваемая двигателем мощность достигает 40-50% от номинальной, а во втором случае 60-70%. Очевидно, что в этот период из-за больших затрат мощности на преодоление внутренних потерь выделяется значительное количество теплоты, разогревающей масло на трущихся поверхностях двигателя. В результате этого происходит резкое снижение потерь на трение. Стабилизация температуры отработавших газов, а следовательно, потерь на трение при температуре воздуха 11°C наступает после 1,5...2 мин прогрева, а при -16°C после 6 мин.

Повышенный расход топлива двигателем в период послепускового прогрева - результат увеличения потерь мощности на трение N_{mp} и низкого качества процесса смесеобразования (рис.5.3). Расход топлива G_T^{xx} эквивалентен дополнительным потерям на трение из-за повышенной вязкости моторного масла, а разность $(G_T - G_T^{xx})$ составляет часть несгоревшего топлива (G_T^{He}) . Причиной этого является низ-

кое тепловое состояние двигателя, вследствие чего топливо, поданное в камеру сгорания, не успевает полностью испариться и сгореть.

Рис. 5.3. Зависимость полного расхода топлива (G_m) и расхода холостого хода (G_m^{xx}) от времени прогрева при $t_{oc} = -16\text{ }^\circ\text{C}$ (без трансмиссии): 2 – температура охлаждающей жидкости в головке блока; 3 – температура топлива в «кармане» распылителя

Известно, что воспламенение начинается при достижении критической температуры, при которой наступает равновесие: отвод теплоты в стенки камеры сгорания и на испарение капель равен выделяющейся теплоте предплазменного окисления топливных паров. В послепусковой период наблюдается неполное сгорание топлива, что, по всей видимости, обусловлено низкой температурой конца такта сжатия, в результате чего определённая часть топлива не вступает в реакцию окисления. Поэтому в период прогрева возможен выброс части топлива в виде промежуточных продуктов окислительного процесса и паров топлива, которое частично конденсируется на холодных стенках цилиндра, попадая в поддон двигателя, и в выпускном тракте.

Применительно к трактору Т-150К единый агрегат, включающий двигатель, муфту и коробку передач, называют моторно-трансмиссионной установкой (МТУ) трактора. В период прогрева двигателя (вернее, МТУ трактора) внутренние потери в КП (в основном гидравлические) будут создавать дополнительную нагрузку двигателю. Последнее вызывает соответствующее изменение общего суммарного расхода топлива двигателем $\sum_{i=1}^n G_T$ с учетом потерь на неполноту сгорания G_T^{He}

(рис.5.3). Величина $\sum_{i=1}^n G_T^{xx}$ представляет суммарный расход топлива, необходимый для преодоления внутренних потерь в МТУ трактора в период послепускового прогрева.

Рис. 5.4. К эксергетическому анализу баланса эксергии теплоты израсходованного двигателем топлива

В послепусковой период прогрева определённый научный и практический интерес представляет оценка эффективности использования израсходованного двигателем топлива. С этой целью авторами была разработана методика такой оценки с использованием энергетического метода и получено уравнение для коэффициента теплоиспользования в режиме послепускового прогрева:

$$\eta_{ЭМТУ} = (1 - \delta_{He}^C) - \delta_{нов} - \delta_{вз}, \quad (5.1)$$

где δ_{He}^C – доля эксергетических потерь от неполноты сгорания;

$\delta_{нов}$ – доля эксергетических потерь боковой поверхности МТУ;

$\delta_{вс}$ – доля эксергетических потерь с выхлопными газами.

Как и следовало ожидать, в первые секунды после пуска двигатель работает на большой подаче топлива (включен корректор). Количество несгоревшего топлива достигает 50-60%. Оно частично выбрасывается в атмосферу в виде мелких капель и пара. К концу 2-й минуты работы двигателя количество несгоревшего топлива значительно снижается, составляя только 20-25%. На 4-й минуте работы двигателя неполнота сгорания составляет 12-13%. Температура охлаждающей жидкости при этом достигает 5...8°C.

По истечении 22-й минуты прогрева ($t'_c = 25^\circ$) неполнота сгорания топлива снижается до 6-7%.

В начальный момент работы с отработанными газами выбрасывается до 20% эксергии сгоревшего топлива. По мере прогрева это количество возрастает до 30%. Очевидно, что по мере снижения температуры окружающей среды величина дог будет снижаться, и наоборот, по мере увеличения температуры окружающей среды – возрастать. Изменение $\delta_{ор}$ составляет 0,8% на каждые 10°C изменения окружающей среды.

Расчеты показывают, что в первые 4 мин прогрева доля эксергии теплоты, рассеиваемой боковой поверхностью МТУ трактора $\delta_{нов}$, практически равна нулю. Выделяющаяся в результате внутренних потерь на трение теплота идет на разогрев узлов, деталей, масла и охлаждающей жидкости. В процессе разогрева МТУ до 40...45°C потери теплоты поверхностью МТУ в окружающую среду возрастают до 1,5-2%.

Таким образом, после 4 мин прогрева коэффициент теплоиспользования достигает 60-62%. Аналогичные результаты были получены при межменном самопрогреве автомобилей КАМАЗ-5410 и КАМАЗ-5511, где коэффициент теплоиспользования достигал значений 65-70%. Дальнейшего повышения коэффициента теплоиспользования, как видно из рис. 5.5, можно добиться путем снижения потерь эксергии топлива в окружающую среду с отработанными газами и от неполноты сгорания. Доля потерь $\delta_{ор}$ при самопрогреве может быть снижена за счёт частичного использования эксергии выпускных газов для подогрева воздуха на впуске, а для двигателей с газотурбинным наддувом, кроме того, частичным или полным отключением турбокомпрессора.

Рис. 5.5. Эксергетический баланс теплоты израсходованного двигателем топлива в период послепускового прогрева МТУ трактора Т-150К (пуск холодный $t_{oc} = -16^\circ\text{C}$)

Несомненно, большой практический интерес представляет на-

правление по снижению потерь энергии от неполноты сгорания при отклонении теплового режима от оптимального.

Таким образом, существуют реальные возможности повысить коэффициент теплоиспользования при самопрогреве до 70%.

Глава 7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПУСКЕ

Пуск двигателя – ответственная операция, обеспечивающая готовность трактора к работе. К пуску следует относиться со всей серьёзностью, так как несоблюдение правил техники безопасности в это время может привести к трагическим последствиям, тяжёлым травмам, нередко со смертельным исходом, причём как непосредственно самого тракториста, так и окружающих его лиц.

Правила техники безопасности достаточно просты и направлены на облегчение нелёгких условий труда сельских механизаторов и их безопасность. Они требуют строгого и точного выполнения. Нарушения этих правил могут быть заложены в недостаточно продуманной с точки зрения безопасности конструкции трактора или же иметь место в процессе рядовой эксплуатации.

Требования техники безопасности при конструировании пусковых систем тракторных дизелей регламентируются ГОСТ 12.2.019-86 «Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности».

В разделе «Требования к узлам и механизмам» говорится: «7.1. Система пуска двигателя должна соответствовать требованиям ГОСТ 19677 в части блокировки и ГОСТ 20000, приводиться в действие (за исключением системы предпускового подогрева) из кабины и быть пожаробезопасной.

При наличии пускового двигателя запуск его должен осуществляться из кабины.

Большинство современных сельскохозяйственных тракторов с дизелями, оснащёнными в качестве пусковых устройств пусковыми карбюраторными двигателями, не удовлетворяют требованиям ГОСТ 12.2.019-86 в части обеспечения пуска дизеля из кабины. Очевидно, это можно объяснить тем, что тракторы начали выпускаться тогда, когда подобного требования ещё не существовало. Исключение представляют тракторы более позднего выпуска, в частности Т-150К и его модификации, где пуск дизеля осуществляется из кабины двухкаскадной системой: пуск пускового двигателя П-350 от электро-, стартера, затем с помощью пускового двигателя.

Специфика силовой передачи трактора Т-150К заключается в том, что двухплечий рычаг переключения передач, расположенный на рулевой колонке, не имеет нейтрального положения. Этот рычаг поворачивает золотник, направляющий поток рабочей жидкости (масло) под давлением к поршню (бустеру) одной из четырёх фрикционных гидropоджимных муфт, что обеспечивает включение одной из четырёх передач без остановки трактора и без разрыва потока мощности. Переключение диапазонов (рядов) скоростей трактора – рабочего или

транспортного – осуществляется подвижной зубчатой муфтой шестерни первичного вала раздаточной коробки, рычаг которого имеет и нейтральное положение. В этом заключалась большая опасность. Тракторист, включивший обычно в начале смены в зависимости от вида выполняемой работы один из рядов – транспортный или рабочий – в дальнейшем пользуется только рычагом переключения передач, а заглушив дизель в конце смены, иногда забывал перевести рычаг переключения рядов в нейтральное положение. В результате этого при пуске дизеля на следующий день трактор внезапно трогался с места. По сведениям Харьковского тракторного завода, в начальный период эксплуатации тракторов Т-150К первых выпусков в стране произошло 120 случаев травмирования людей со смертельным исходом. С учетом этих трагедий разработана система блокировки запуска пускового двигателя П-350 путем установки выключателя блокировки (на крышке отсека ходоуменьшителя). В результате этого при включении любого из рядов контакты замыкают первичную обмотку магнето на массу, электрический ток не вырабатывается, и пуск пускового двигателя становится невозможным.

На тракторах ДТ-75 первых выпусков управление муфтой сцепления осуществлялось не педалью, а рычагом, который фиксировал положение «включено» и «выключено». Известны случаи, когда трактористы, переведя и зафиксировав рычаг муфты сцепления в выключенном положении, не устанавливали при этом рычаг коробки передач в нейтральное положение, т.е. не выключали скорость. От вибрации работающего двигателя рычаг муфты сцепления иногда срывался с места, и трактор неожиданно начинал движение. Имели место случаи смертельного травмирования механизаторов. Позднее на тракторе управление муфтой сцепления было переведено на педальное.

В условиях рядовой эксплуатации к пуску тракторных двигателей необходимо относиться внимательно и без лишней поспешности, которая чревата опасными последствиями.

Прежде всего, необходимо убедиться в наличии моторного масла в картере двигателя и достаточного количества жидкости в системе охлаждения. Проверить и убедиться в том, что рычаг переключения передач находится в нейтральном положении. Это главное условие безопасного пуска. Именно невыполнение этого условия, причём чаще всего из-за простой невнимательности, приводит к опасным последствиям. При этом спереди и сзади трактора в момент пуска не должны находиться люди во избежание наезда при внезапном трогании трактора с места.

При управлении пуском двигателя из кабины необходимо в обязательном порядке выжать педаль муфты сцепления. Этим действием достигается двойная польза: во-первых, исключается неожиданное

движение трактора в случае, если всё же оказалась включена передача, во-вторых, происходит отключение первичного вала коробки передач, что значительно снижает момент сопротивления прокручиванию коленчатого вала, повышает скорость его прокручивания и, как следствие, улучшает условия пуска дизеля.

Однако не на всех тракторах можно снизить момент сопротивления прокручиванию вала путём отключения только муфты сцепления. На тракторах МТЗ-80 и его модификациях в трансмиссии имеется неотключаемый блок шестерен привода отбора мощности, который находится в масляном картере, что значительно увеличивает сопротивление прокручиванию коленчатого вала в зимних условиях, если не предпринять специальных мер. Такой мерой, в частности, является заливка в трансмиссию трактора загущенных моторных масел, имеющих пологую температурно-вязкостную характеристику. Так было сделано, например, во время эксплуатационных испытаний тракторов МТЗ-80 в Новосибирском СХИ (см. раздел 3.2). Тракторы эксплуатировались в течение 3 лет без каких-либо замечаний.

На тракторе Т-150К для этих же целей отключается муфта вала отбора мощности.

В случае применения дублирующего механизма пуска от руки на некоторых типах пусковых двигателей с помощью веревочного тросика с поперечной переключной следует учитывать вероятность обратного удара во время отдельных вспышек. Поэтому во избежание затягивания руки под маховичок запрещается обхватывать пальцами переключную вокруг, а нужно располагать все пальцы, включая большой, над переключной. В случае обратного удара достаточно разжать пальцы, и тросик выскользнет из руки.

Безопасный, быстрый и надёжный пуск тракторных дизелей, особенно в холодное время года, не только существенно улучшает условия труда трактористов, но и способствует увеличению времени полезной работы в течение смены, т.е. увеличивает сменную выработку тракторных агрегатов и повышает производительность труда сельских механизаторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тракторные дизели: Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 435 с.
2. Квайт С.М., Менделевич Я.М., Чижков Ю.П. Пусковые качества и системы пуска автотракторных дизелей. – М.: Машиностроение. 1990. – 256 с.
3. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. – М.: Колос, 1992. – 414 с.
4. Белоусов И.С., Кушнир А.Ф. Исследование предпусковых параметров тракторного дизеля А-41 при эксплуатации в зимних условиях // Сиб. вести, с.-х. науки. – 1971. – № 6.
5. Белоусов И.С., Купершмидт В.Л. Пути улучшения пуска тракторных двигателей в зимних условиях Западной Сибири. – Новосибирск, 1982. – 24 с.
6. Венцель С.В. Применение смазочных масел в автомобильных и тракторных двигателях. – М.: Химия, 1969. – 228 с.
7. Рево В.Д. Работа авиационных двигателей на маслах, разжиженных бензином // Тр. ЦИАМ. – М.: Оборониз, 1944. – № 71.
8. Нисневич А.Н., Высотский Д.Н. Атомная энергия. – М., 1958. – №3. – 341 с.
9. Петровский Д.В., Гончарук Ю.К. Эксплуатация автомобилей на Крайнем Севере. – М.: Автотрансиздат, 1960. – 250 с.
10. Эксплуатация тракторов и уход за ними в зимних условиях. – М.; Целиноград: Колос, 1966. – 110 с.
11. Бельских В.И. Справочник по техническому обслуживанию и диагностированию тракторов. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 106 с.
12. Попов В.В. Использование прогрева тракторного дизельного двигателя после пуска в условиях низких температур окружающего воздуха: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Новосибирск, 1975. – 20 с.
13. Рютин В.М., Ташкинов Г.А. Пуск дизельного двигателя в условиях низких температур // Работа дизельных двигателей при низких температурах. – Иркутск, 1977. – 86 с.
14. Гаврилов А.Н. Подогрев аккумуляторных батарей при эксплуатации автомобилей и тракторов в условиях низких температур // Там же.
15. Головин А.М. Зависимость износа гильзы цилиндров дизеля А-41 от температуры окружающей среды и степени загрузки при пуске-прогреве // Там же.
16. Величкин И.Н. и др. Ускоренные испытания дизельных двигателей на износостойкость. – М.: Машиностроение, 1964. – 152 с.
17. Бельских В.И. Влияние теплового состояния тракторного двигателя на износ и параметры рабочего процесса при различных ва-

- риантах охлаждения // Сб. науч.-иссл. работ аспирантов ВИМ. – М., 1959. – 82 с.
18. Свиридов Ю.Б. Смесеобразования и сгорание в дизелях. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1972. – 224 с.
 19. Соколик А.С. О самовоспламенении углеводородно-воздушных смесей // Поршневые двигатели внутреннего сгорания. – М.; Изд-во АН СССР, 1956. – 83 с.
 20. Назаров В.А. Исследование процесса пуска тракторных дизелей Алтайского моторного завода: Автореф. дис... канд, техн. наук. – М., 1967.
 21. Гаврилов Б.Г., Булин Е.Н. и др. Химические основы термофорсирования дизеля. – М.; Л.: Изд-во АН СССР. – Т.36, вып. 2. 1963. – 2498 с.
 22. Купешмидт В.Л. Исследование пусковых качеств дизеля с неразделённой камерой сгорания: Дис. канд. техн. наук. – М., 1965. – 170 с.
 23. Белоусов И.С. Исследование предпусковых параметров тракторного дизеля при эксплуатации в зимних условиях: Дис. канд. техн. наук. – Омск, 1969. – 192 с.
 24. Болтинский В.Н. Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей. – М.: Изд-во с.-х. лит., 1962. – 390 с.
 25. Крохта Г.М. Повышение эффективности эксплуатации энергонасыщенных тракторов в условиях Западной Сибири: Дис., д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1995. – 409 с.
 26. Исследование влияния степени изношенности гильзо-поршневой группы на пусковые параметры дизеля А-41: Отчет о НИР / Новосибир. с.-х. ин-т. – Новосибирск, 1974. – 83 с.
 27. Комсомольская правда. – 1998. – 15 января.
 28. Волох А.Ф. и др. Снижение расхода трансмиссионных масел при эксплуатации трактора Т-150К // Тракторы и сельхозмашины. – 1987. – №7. – С.18-20.
 29. Кошлев А.И. Исследование тяговой динамики пахотного агрегата на базе трактора Т-150К. Автореф. дис... канд. техн. наук. – ЛСХИ. – Л., 1975.
 30. Голлауэр Р.И. и др. Влияние скорости ветра на теплопередачу в трансмиссии трактора ДТ-75 // Зимняя эксплуатация двигателей внутреннего сгорания. – Иркутск, 1979. – С. 80-82.
 31. Зимняя эксплуатация тракторов / Под ред. Т.К. Надршина. – Пермь: Перм. кн. изд-во, 1974. – 208 с.
 32. Кувшинов Я.И., Чернов С.А. Эксплуатация тракторов и автомобилей в зимних условиях. – М.: Изд. МСУ РСФСР, 1963. – С. 63-65.
 33. Чешуин Л.В. Исследование температурных режимов работы ступенчатых передач типа «Беларусь» в условиях зимней эксплуатации: Автореф. дис...канд. техн. наук. – Барнаул, 1970.

34. Борисов С.Г. и др. Трансмиссии с переключением передач под нагрузкой и тенденции их развития // Исследование трансмиссий с переключением под нагрузкой и их узлов // Науч. тр. / НАТИ. – М., 1979. – Вып.264. – С. 28-41.
35. Акопян Г.А., Киселев Л.А. Исследование тракторных и трансмиссионных масел // Исследование перспективных трансмиссий и их узлов для тракторов и сельхозмашин // Науч. тр. / НПО НАТИ – М., 1986. – 71 с.
36. Бережное Н.Г. Основы эксплуатации машинно-тракторного парка в условиях Западной Сибири. – Барнаул, 1975.
37. Матвеев В.В. Исследование работы тракторной коробки передач при различных системах смазки: Автореф. дис. д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1987. – 40 с.
38. Глазков В.Ф. Эффективность работы трансмиссии и гидросистемы с.-х. тракторов с объединенной масляной емкостью // Вопросы тракторной химмотологии. – Куйбышев, 1986. – С. 10-14.
39. Патент №1427944 (РФ). Система смазки / Г.М. Крохта, А.И. Госман, С.Л. Абдула. – 1993.
40. А.с. №1474293 СССР. кл. – 01 М 1/00, В60 17/00. Система смазки коробки передач транспортного средства с двигателем внутреннего сгорания / Г.М. Крохта, А.И. Госман. С.Л. Абдула. – 1988.
41. Ивлев К.К., Воробьев В.А. Лабораторные исследования потерь мощности в коробках передач с переключателями под нагрузкой // Науч. тр. / НАТИ. – М., 1979. – № 264. – С. 11-15.
42. Комсомольская правда. – 2000. – 6 октября.
43. Блинов А.Д. и др. Современные подходы к созданию дизелей для легковых автомобилей и малотоннажных грузовиков. – М.: НИЦ «Инженер», 2000. – 331 с.
44. Купершмидт В.Л. Средства обеспечения пуска двигателей в холодных условиях // Тракторы и сельхозмашины. – 2001. – №1.
45. Купершмидт В.Л. Средства пуска дизелей в холодных условиях // Тракторы и сельхозмашины. – 1996. – № 1.
46. Моторные и трансмиссионные масла, присадки. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 160 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение	3
Глава 1. Особенности рабочего цикла дизеля при пуске	6
1.1. Температура и давление воздушного заряда конца сжатия	6
1.2. Моменты сопротивления прокручиванию коленчатого вала. Мощность, затрачиваемая на пуск	23
Глава 2. Пусковые системы тракторных дизелей. Пусковые характеристики	33
2.1. Электростартерные системы	35
2.2. Пусковые агрегаты	44
Глава 3. Способы улучшения пусковых качеств тракторных дизелей при низких температурах	53
3.1. Предпусковой подогрев двигателей	53
3.2. Применение легковоспламеняющихся жидкостей	65
3.3. Применение свечей накаливания	72
3.4. Подогрев воздуха на впуске	77
3.5. Подогрев впрыскиваемого форсункой топлива	80
3.6. Применение емкостных накопительных систем	84
3.7. Влияние регулировок топливной аппаратуры на пусковые качества дизелей	87
Глава 4. Особенности применения моторных масел при пуске дизелей в зимних условиях	90
4.1. Свойства масел и их влияние на пусковые характеристики	90
4.2. Предпусковая прокачка масла	99
4.3. Разжижение масла в картере дизеля	100
Глава 5. Послепусковые показатели. Прогрев, износы	111
5.1. Режимы послепускового прогрева двигателя и его износы	111
5.2. Послепусковой прогрев двигателей	111
Глава 7. Техника безопасности при пуске	120
Литература	120

**Белоусов Игорь Степанович
Крохта Геннадий Михайлович**

ПУСК ТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Учебное пособие

Редактор: Н.К. Крупина
Компьютерный верстка: В.Я. Вульферт

Подписано к печати 2007 г.
Формат 84×108/32 Объем уч.-изд.л.
Тираж 100 экз. Изд. №..... Заказ №

Отпечатано в мини-типографии Инженерного института НГАУ
630039, г. Новосибирск, ул. Никитина, 147, ауд. 211