

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРЕВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПОСЛЕ ХОЛОДНОГО ПУСКА

*Г.М. Крохта, д.т.н, профессор,
Е.Н. Хомченко, к.т.н., доцент кафедры
Н.А. Усатых, ст. преподаватель
Новосибирский государственный аграрный университет*

На основании результатов аналитических и экспериментальных исследований установлено, что при прогреве двигателя только примерно от 10 до 15 % впрыскиваемого в камеру сгорания топлива принимает участие в сгорании, а остальное, в виде пара и конденсата выбрасывается в окружающую среду. Установлены основные причины низкой эффективности процесса сгорания в периоды пуска и послепускового прогрева. Цель исследования — обоснование необходимости и параметров прогрева дизельного двигателя после холодного пуска. В первые секунды после пуска количество несгоревшего топлива достигает 60–70 % и более. К концу второй минуты работы двигателя количество несгоревшего топлива снижается до 20–25 %. По истечении 6 минут неполнота сгорания продолжает снижаться до 10,4 %. Далее, процессы, характеризующие энергопотоки в период послепускового прогрева, постепенно стабилизируются. Экспериментальные исследования показали, что относительно эффективной и экономически выгодной является активация топлива в топливопроводах перед форсунками, а самый оптимальный вариант — непосредственно в форсунках.

Введение

Большая часть территории РФ находится в зоне отрицательных температур. В зимний период в агропромышленном комплексе (АПК) автотракторная техника используется в течение круглого года: транспортировка кормов и продуктов жизнедеятельности животных, отвоз готовой продукции, очистка подъездных путей и площадок и т. п. Часть машин работает на лесозаготовках, строительных площадках и других объектах, где теплых стоянок просто нет и никогда не будет.

Значительная часть машин в межсезонный период хранится на открытых площадках. Холодный пуск стал возможным благодаря применению новых технологий в двигателестроении, а также высококачественных масел, топлив и низкотемпературных жидкостей, что резко сокращает время на предпусковую подготовку машин к работе. Холодный пуск с точки зрения специфики

работы предприятий АПК является наиболее привлекательным, так как обеспечивает высокий коэффициент готовности машин к работе и сопровождается относительно низкими эксплуатационными затратами, что должно положительно отразиться на себестоимости произведенной продукции. Холодным пуском считается пуск, когда температура окружающей среды (ОС), охлаждающей жидкости в двигателе, моторного масла в поддоне и топлива в системе питания отличаются друг от друга не более чем на $\pm 1^\circ\text{C}$

В то же время холодный пуск при низких температурах ОС сопровождается максимальной цикловой подачей топлива. Примерно от 10 до 15 % впрыскиваемого в камеру сгорания топлива принимает участие в сгорании, а остальное, в виде пара и конденсата выбрасывается в ОС [1, 2]. Часть конденсата, смывая масляную пленку с поверхности гильз, попадает в поддон картера двигателя, ухудшая качество моторного масла.

В очень сложных условиях при прогреве после холодного пуска работают сопряжения гильза–поршневое кольцо, палец–втулка верхней головки шатуна и поршневой палец–бобышка поршня. По ряду литературных данных износ при пуске–прогреве составляет от 50 до 70 % общего эксплуатационного износа [3, 4].

В ранних литературных источниках (статьи, руководства по эксплуатации машин) указывалось, что перед началом работы двигатель нужно прогреть до 50°C . В настоящее время в руководствах по эксплуатации записано, что машину нужно прогревать в движении (под нагрузкой). Одновременно в некоторых публикациях рекомендуется прогревать машину в зависимости от температуры ОС в течение 10–15 мин. Таким образом, мнения по поводу необходимости прогрева дизельного двигателя после холодного пуска или его исключения диаметрально противоположны и требуют дополнительного изучения.

Цель исследования — обоснование необходимости и параметров прогрева дизельного двигателя после холодного пуска.

Условия, материалы и методы

В процессе аналитических и экспериментальных исследований применялись известные

методы оптимизации и математической статистики. Использовались теоретические основы теплотехники и теории двигателей внутреннего сгорания. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые» и ГОСТ 24026–80 «Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения». В соответствии с ГОСТ продолжительность пуска не должна превышать 20 с за одну попытку (количество попыток не более трех с интервалом 15 с). Согласно требованиям ГОСТ-Р-54120-20010 «Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования» должен быть гарантирован пуск дизельных двигателей на холодную без применения средств облегчения до температур не выше минус 12 °С.

Экспериментальные исследования проводились на двигателе СМД-62 6ЧН13,0/11,5. Неполнота сгорания топлива в послепусковой период определялась с помощью частной методики по текущему расходу топлива на холостом ходу [5]. В двигатель заливалось свежее масло марки М-8Г2к ГОСТ 8581–78. Кинематическая вязкость масла измерялась вискозиметром Пинкевича. Температуры охлаждающей жидкости, масла, отработавших газов, окружающей среды регистрировались с помощью устройства УКТ38-Щ4.ТП, адаптера АС2, преобразователя интерфейсов RS-232/USB.

Результаты и обсуждение

При холодном пуске и последующем прогреве причиной неполного сгорания топлива является низкий тепловой режим двигателя (температура охлаждающей жидкости в головке блока и топлива в форсунке). Неполнота сгорания вызвана частичным испарением цикловой подачи топлива, поскольку оно содержит разные по размеру капли. Мелкие капли (до 40 мкм) испаряются, образуя горючую смесь и полностью сгорают, а крупные 150–200 мкм и выше — почти не принимают участия в сгорании. Поэтому с целью улучшения пусковых качеств двигателя в 2–2,5 раза увеличивают цикловую подачу. Одновременно возрастает количество крупных капель. Большая доля несгоревшего топлива нагревается, аккумулируя часть эксергии сжатого в камере сгорания воздуха, и в виде продуктов неполного сгорания выбрасывается в ОС. В результате снижается эксергетический потенциал сжатого воздуха, что ухудшает подготовку горючей смеси к окислительному процессу.

Таким образом, при холодном пуске в образовании горючей смеси участвует только часть цикловой подачи топлива [1, 6]. Большая часть топлива в виде пара выбрасывается в ОС, загрязняя ее, и, одновременно, конденсируясь на холодных стенках цилиндров, попадает в поддон

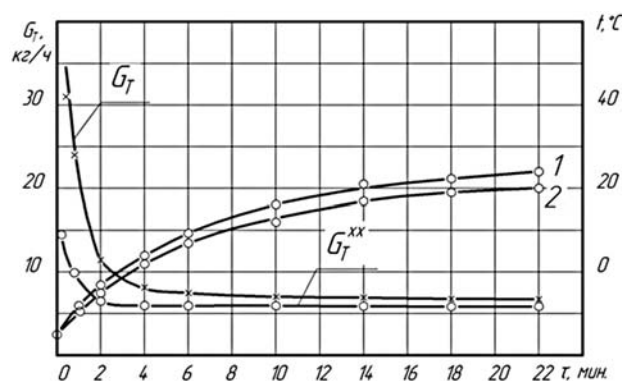


Рис. 1. Зависимость полного расхода топлива G_t и расхода на холостом ходу G_i^{xx} от времени прогрева при $t_{oc} = -16^\circ\text{C}$ (без трансмиссии, пуск холодный, двигатель СМД-62, $n = 2100$ об/мин, $t_{oc} = -16^\circ\text{C}$):

G_t — полный (текущий) расход топлива; G_i^{xx} — расход топлива на холостом ходу, эквивалентный внутренним потерям, величина которых определяется отличием теплового режима от оптимального, при условии полного сгорания; $(G_t - G_i^{xx})$ — часть несгоревшего топлива; 1 — температура охлаждающей жидкости в головке блока; 2 — температура топлива в проточке распылителя

двигателя, ухудшая качество моторного масла, что подтверждается результатами экспериментальных исследований.

На рис. 1 показана зависимость текущего значения (мгновенный расход) топлива от времени прогрева двигателя.

Из рисунка хорошо видно, что в первые секунды двигатель работает на максимальной подаче топлива (включен корректор). Частота вращения коленчатого вала не достигает номинальной величины (2100 об/мин). Основная причина — большие внутренние потери мощности на трение и неполное сгорание из-за низкой активации топлива, впрыскиваемого в камеру сгорания [7].

Под активацией понимается процесс насыщения эксергией цикловой подачи топлива перед впрыском в камеру сгорания. Суммарные затраты эксергии на активацию включают в себя: затраты на нагрев топлива до температуры кипения, испарение и перегрев образовавшихся паров до температуры самовоспламенения, а также затраты на повышение давления впрыска [7].

В свою очередь, величина суммарных затрат зависит от режимов работы двигателя (пуск, послепусковой прогрев, степень загрузки, частота вращения коленчатого вала). Активация топлива может осуществляться как непосредственно в системе питания за счет подвода дополнительной эксергии (внешняя) так и в основном как сейчас — за счет эксергии сжатого в камере сгорания воздуха, и частично за счет «накачки»

топлива механической эксергией в системе питания в момент впрыска (смешанная) [8].

Экспериментальные исследования, выполненные авторами ранее, показали, что относительно эффективной и экономически выгодной является активация топлива в топливопроводах перед форсунками. А самый оптимальный вариант — непосредственно в форсунках [9]. Суть активации в системе топливоподачи заключается в том, что цикловая доза топлива, находящегося в контуре высокого давления, дополнительно «накачивается» термомеханической эксергией. Количество эксергии, которое вносится в камеру сгорания в виде цикловой подачи, регулируется в зависимости от режимов работы двигателя, его теплового состояния, температуры ОС.

Термомеханическая эксергия включает в себя две составляющие: термическую и механическую. Термическая представляет теплоту или может быть преобразована в теплоту непосредственно в контуре высокого давления, а механическая определяется давлением впрыска [9]. Например, в аккумуляторной системе common rail топливо частично активируется за счет значительного повышения механической составляющей — давления впрыскиваемого форсункой в камеру сгорания топлива. Давление в аккумуляторных системах при этом достигает 200–300 МПа, что заметно способствует повышению качества процесса сгорания (улучшение пусковых качеств, снижение расхода топлива и улучшение экологических показателей) [9, 1]. В традиционных системах с ТНВД давление впрыска не превышает 20 МПа.

Даже частичная активация топлива за пределами камеры сгорания сохраняет эксергию сжатого воздуха, увеличивает время, используемое на испарение и перегрев паров топлива в камере сгорания, в результате чего следует ожидать улучшения пусковых качеств двигателя, снижения расхода топлива, сохранения качества моторного масла и снижения вредных веществ, выбрасываемых в ОС в период прогрева. Исследованиями установлено, что до 75 % эксергии от общего количества, необходимого для активации топлива, можно подводить за пределами камеры сгорания (в системе питания) [8, 10].

Активировать топливо можно за счет различных источников: электрические — бортовые или внешние сети; тепловые — газ природный или промышленный, ОГ двигателя; механические, использующие часть развиваемой двигателем мощности (привод топливного насоса и т. п.).

После холодного пуска двигатель работает при низких температурах охлаждающей жидкости и масла, что сопровождается значительными внутренними потерями на трение.

В момент пуска двигателя и последующего прогрева наблюдается резкий заброс температуры отработавших газов (ОГ), причем известно, что величина заброса находится в тесной корреляционной зависимости от развиваемой двигателем индикаторной мощности. Поскольку в этот момент эффективная мощность равна нулю, то индикаторная мощность будет соответствовать мощности внутренних потерь на трение. Например, при температуре ОС в момент пуска +11 °С температура ОГ находится в пределах 280–300 °С, а –16 °С соответственно — 440–450 °С. Судя по температуре, в первом случае развиваемая двигателем мощность достигает 52–56 % номинальной, а во втором — 82–84 %, и расходуется на преодоление внутренних потерь на трение.

На наш взгляд, особый интерес представляет закономерность изменения величины эксергии ОГ от времени послепускового прогрева. Экспериментальными исследованиями установлено, что эксергия теплового потока ОГ в начале прогрева резко возрастает до 440, а затем уменьшается до 190 МДж/ч при достижении температуры охлаждающей жидкости в головке блока 22 °С (рис. 2). При этом следует отметить, что при полностью прогревом двигателя и прочих равных условиях тепловой поток находится в пределах 150–155 МДж/ч.

Характер зависимости потока эксергии от времени прогрева создает благоприятные условия для вторичного использования теплоты ОГ с целью сокращения времени прогрева основных узлов МТУ до оптимальных температур. Особое внимание следует обратить на то, что в начальный

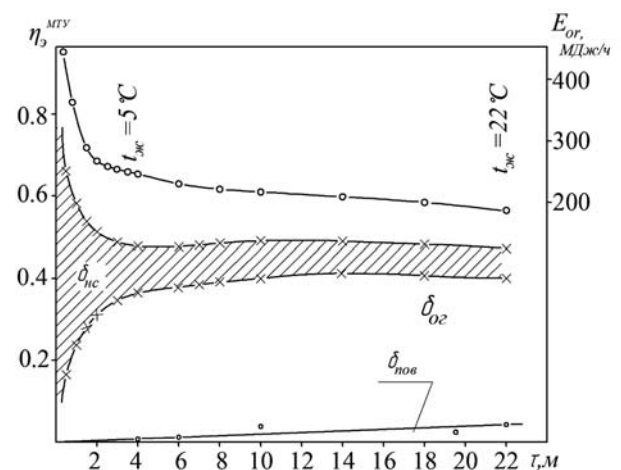


Рис. 2. Эксергетический баланс теплоты израсходованного топливом двигателем в период послепускового прогрева двигателя СМД-62 с КП:

пуск холодный, $n = 2100$ об/мин, $t_{oc} = -16^{\circ}\text{C}$

период прогрева величина эксергии ОГ достигает максимального значения, а затем постепенно снижается. Абсолютная величина эксергии ОГ зависит от температуры холодного пуска: чем ниже температура пуска, тем выше температура потока эксергии.

Согласно энергетической теории Б.И. Костецкого принято считать, что энергия, затрачиваемая на преодоление сил трения, идет на генерацию теплоты, которая запасается во вторичных структурах поверхностных слоев. В первые минуты работы двигателя величина внутренних потерь может достигать больших величин. В результате трансформации потерь в теплоту разогревается масло на трущихся поверхностях, снижается его вязкость и, как следствие, потери.

Стабилизация температуры ОГ и, следовательно, потерь на трение при температуре воздуха +11 °С наступает после 1,5–2 мин прогрева, а –16 °С — после 6 мин. Повышенный расход топлива в период прогрева — результат увеличения внутренних потерь мощности на трение и низкого качества процесса смесеобразования.

При обработке экспериментальных данных была применена методика, позволяющая оценить эффективность полезного использования теплоты сгоревшего в двигателе топлива в период прогрева, с помощью эксергетического коэффициента теплоиспользования ($\eta_{т^э}$), который описывается следующим равенством [5]:

$$\eta_{т^э} = 1 - \delta_{нс} - \delta_{пов} - \delta_{ог},$$

где $\delta_{ог}$ — доля теплоты от общего количества израсходованного топлива в режиме прогрева в одной и той же точке временного интервала, выбрасываемой с ОГ в ОС; $\delta_{пов}$ — доля теплоты от общего количества израсходованного топлива в режиме прогрева в одной и той же точке временного интервала, рассеиваемой в ОС боковой поверхностью двигателя; $\delta_{нс}$ — доля теплоты от общего количества израсходованного топлива в режиме прогрева в одной и той же точке временного интервала, приходящейся на несгоревшее топливо.

В первые секунды после пуска двигатель работает на максимальной подаче топлива (см. рис. 2). Количество несгоревшего топлива достигает 60–70 % и более [5]. Из выпускной трубы двигателя в большом количестве выбрасываются пары и капли несгоревшего топлива (дым серого или черного цвета).

К концу второй минуты работы двигателя количество несгоревшего топлива снижается до 20–25 %. По истечении 6 минут неполнота сгорания продолжает снижаться до 10,4 %. В то же время температура масла в поддоне достигает 5–7 °С, охлаждающей жидкости в головке блока — 4–6 °С и топлива в проточке распы-

лителя — 3–5 °С. Далее, процессы, характеризующие энергопотоки в период послепускового прогрева, постепенно стабилизируются.

По истечении 22-ой минуты прогрева температура жидкости в головке блока достигает 22 °С, а неполнота сгорания снижается до 8,2 %. Очевидно, что при снижении температуры ОС доля потерь с отработавшими газами будет возрастать и, наоборот, по мере увеличения температуры ОС — падать.

Выполненные расчеты по данным экспериментальных исследований показывают, что в первые 4–6 мин прогрева доля эксергии, рассеиваемой боковой поверхностью двигателя, практически равна нулю. Таким образом, после 6–8 мин прогрева и температуре ОС –16 °С коэффициент теплоиспользования достигает 52–53 %. Это означает, что по истечении 6 мин после пуска большая часть эксергии затрачивается на прогрев двигателя. Однако, лучшие автономные предпусковые подогреватели, например, «Webasto» имеют КПД до 90–92 %, что на 38–39 % больше коэффициента теплоиспользования двигателя в режиме прогрева. Увеличение коэффициента теплоиспользования возможно путем снижения потерь эксергии в ОС за счет уменьшения доли потерь от неполноты сгорания и с отработавшими газами (применения газо-жидкостных теплообменных аппаратов и улучшения процесса смесеобразования). Неполнота сгорания оказывает существенное влияние на коэффициент теплоиспользования, особенно в период пуска и первые 4–6 мин прогрева (см. рис. 2).

Таким образом, в результате проведенных аналитических и экспериментальных исследований установлено, что в первые минуты после холодного пуска двигатель работает неустойчиво с большими по величине внутренними потерями на трение, выбросом в ОС значительного количества продуктов неполного сгорания топлива, вредных для флоры и фауны веществ. Показатели, характеризующие эффективность процесса сгорания, начинают стабилизироваться через 4–6 мин работы двигателя в режиме прогрева и почти заканчиваются по истечению 8 мин. Следует отметить, что с понижением температуры ОС время стабилизации показателей процесса сгорания возрастает.

Большинство исследователей утверждают, что в это время смазка в сопряжениях трущихся поверхностей: гильза–поршень, поршневой палец–втулка головки шатуна, поршневой палец–бобышка поршня не поступает [11, 3].

Появление масляного тумана в картере двигателя, на что указывается во многих публикациях, фиксируется по истечении 6–8 мин после пуска. Незначительное количество исследователей ука-

зывают на время появления масла на поверхностях сопряжений ЦПГ по истечении 10 мин и более. За время задержки поступления смазки к трущимся поверхностям температура масла в поддоне и охлаждающей жидкости в головке блока достигает 6–10 °С. Неполнота сгорания топлива снижается до 10–11 %. При этом температура масла, вытекающего из коренных и шатунных подшипников, выше на 3–5 °С по сравнению с маслом в поддоне, что объясняется значительными потерями на трение в подшипниках. Кинематическая вязкость, при которой зафиксировано появление масла в узлах трения ЦПГ, находится в пределах 292–300 Сст.

Очень интересные результаты получены в ходе испытаний двигателя ЯМЗ-238 НБ. При заливке в сухой поддон картера двигателя горячего масла (70–80 °С) задержка поступления его к узлам трения составила всего 4–8 с. По сравнению с холодным пуском двигателя задержка масла сократилась в 70 раз. Время появления масляного тумана в картере двигателя составляет всего несколько секунд.

Обратим внимание еще раз на то, что при холодном пуске и последующем прогреве двигателя в очень сложных условиях работают сопряжения гильза–поршневое кольцо, палец–втулка головки шатуна и поршневой палец–бобышка поршня [11]. При этом кинематическая вязкость моторного масла может достигать $1 \cdot 10^3$ мм²/с и более.

В начальный момент прогрева после пуска масло, находящееся в шатунных и коренных подшипниках нагревается и довольно обильно вытекает из зазоров между шейками коленчатого вала и подшипниками. Далее стекает по внутренним стенкам картера в поддон в виде хорошо сформированных масляных жгутов диаметром до 15 мм, количество которых равно удвоенному числу шатунных и коренных шеек за минусом одной. Например, у двигателя Д-440 наблюдается 8 жгутов. Этот процесс напоминает картину, которая имеет место при переливании меда из одной посуды в другую (полная копия одного жгута).

С повышением температуры масляные жгуты начинают распадаться на более мелкие ручейки, которые, попадая в плоскость вращающихся масс, разбиваются на капли. Крупные капли под действием гравитационных сил падают в поддон картера. По мере прогрева масла его вязкость снижается.

При дальнейшем повышении температуры масла силы взаимодействия между молекулами уменьшаются настолько, что способствуют еще большему дроблению капель и насыщению ими воздушного пространства картера, в результате чего возникает масляный туман. Капли, витающие

в воздушном пространстве, теряют скорость и оседают на поверхностях пар трения, находящихся в картере двигателя.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала двигателя возрастает кинетическая энергия капель масла за счет удара вращающимися деталями КШМ, что способствует разрушению и дополнительному увеличению скорости полета капель по разным траекториям. Одновременно в картере двигателя повышается скорость движения воздушных масс, которые увлекают за собой более крупные капли, которые, разрушаясь, увеличивают концентрацию мелких капель в воздушном пространстве картера.

Обобщая результаты анализа ранних публикаций разных организаций, а также своих наблюдений и экспериментальных исследований, можно сделать вывод, что время, в течение которого появляется смазка в сопряжениях ЦПГ, укладывается во временной отрезок 6–8 мин [9].

А это означает, что перечисленные выше сопряжения, работающие в самом лучшем случае в условиях граничного или полусухого трения относительно длительный промежуток времени, должны подвергаться интенсивным износам. Тем более, что в этот промежуток времени двигатель загружен внутренними потерями на трение. И эти нагрузки велики. Надежная работа сопряжений ЦПГ в таких условиях маловероятна.

Можно предположить, что, по всей видимости, существуют другие факторы, компенсирующие негативные последствия задержки поступления смазки к трущимся поверхностям. Косвенным подтверждением существования такого варианта смазки могут быть результаты износных испытаний двух двигателей Д-240. Исследования величин и характера износов были выполнены в три этапа. Первый этап включал в себя 34 пуска-прогрева двух двигателей, оснащенных системами автоматического пуска, второй этап — 27 пусков-прогревов двигателя, оборудованного предпусковым подогревателем, третий этап — 100 пусков горячего двигателя и его последующую работу в течение двух минут. Пусковые испытания показали, что критических износов в сопряжениях ЦПГ не наблюдалось [12].

Что же получается: на трущихся поверхностях практически нет смазки, а величина износов изменилась незначительно.

Многие исследователи объясняют этот феномен наличием сохранившихся на трущихся поверхностях ЦПГ хемосорбированных и адсорбированных пленок на базе моторного масла. С этим частично можно согласиться. Но и по поводу того, что пленки не долговечны и в период межсменных стоянок легко разрушаются, тоже больших возражений нет. Кроме того, при пуске и прогреве

пленки, если они сохранились, в течение нескольких циклов просто выгорают. По логике сопрягаемые пары должны перейти в режим полусухого или даже сухого трения. А далее аварийная остановка двигателя. Но этого не происходит.

Объяснить это, на наш взгляд, можно следующим образом. В дизельном топливе присутствует химически активный элемент — сера. С одной стороны содержание серы в топливе нежелательно. Дело в том, что при окислении серы возникают кислотные остатки, которые, соединяясь с водой, образуют серную или сернистую кислоту. Наличие кислот вызывает коррозионный износ деталей и снижает моющие свойства моторных масел. Поэтому содержание серы в больших количествах нежелательно. В товарном дизельном топливе содержание серы ограничено на уровне не более 0,5 %.

Немаловажно, что при температурах -10 – 20 °С кинематическая вязкость зимнего топлива находится в пределах 507 Сст. Эта вязкость соответствует вязкости моторного масла при оптимальном температурном режиме.

С другой стороны, в камере сгорания работающего после холодного пуска двигателя остаются продукты неполного сгорания топлива, которые конденсируются на стенках верхней части цилиндров. Одновременно через неплотности в ЦПГ конденсат проникает в подпоршневое пространство, где часть оседает на стенках гильз, а другая часть увлекается перемещающимися массами воздуха и, потеряв скорость, оседает на поверхностях трения. В результате взаимодействия с поверхностью металлов образуются хемосорбированные и адсорбированные пленки. Наличие пленок обеспечивает приемлемые антифрикционные свойства в узлах трения. Эта способность химически активных элементов образовывать на поверхности трения модифицированные слои особо активно проявляется в момент значительного повышения температуры в зоне трения.

Таким образом, в результате проведенных аналитических и экспериментальных исследований установлено, что в первые минуты после холодного пуска двигатель работает неустойчиво с большими по величине внутренними потерями на трение, выбросом в ОС значительного количества продуктов неполного сгорания топлива, вредных для флоры и фауны веществ. Подтверждена задержка поступления масла для смазки деталей ЦПГ. Установлена и обоснована технологическая цепочка, которая позволяет сохранить ресурс деталей ЦПГ в результате временной задержки поступления масла в периоды пуска и прогрева.

Рекомендации производству

1. При холодном пуске без применения средств облегчения рекомендуется послепусковой прогрев в течение не менее 6–8 мин (время появления масляного тумана в картере, значительного снижения внутренних потерь в двигателе и неполноты сгорания).

2. При температурах окружающей среды ниже температуры холодного пуска рекомендуется предпусковая тепловая подготовка двигателя с помощью любого подогревателя минимум до 8 – 10 °С охлаждающей жидкости в головке блока.

Заключение

Разработана методика определения коэффициента теплоиспользования при прогреве после холодного пуска. Коэффициент теплоиспользования после 4–6 мин прогрева достигает 52–53 %. При этом, до 47–48 % потерь теплоты приходится на неполноту сгорания и отработавшие газы.

2. При холодном пуске в первые секунды прогрева из-за недостаточной активации не сгорает до 60–70 % топлива, впрыскиваемого в камеру сгорания. Большая его часть выбрасывается в ОС в виде пара и других углеводородных соединений.

3. Двигатель сразу после пуска загружен внутренними потерями, которые могут достигать 70 % и более номинальной мощности, развиваемой им, что создает тяжелые условия для надежности работы кривошипно-шатунного механизма. Дополнительная полезная нагрузка может усложнить ситуацию.

4. Для сохранения ресурса двигатель после холодного пуска рекомендуется прогревать в течение 6–8 мин. В это время температура масла в поддоне и охлаждающей жидкости в головке блока достигает 8 – 10 °С, в картере появляется масляный туман, неполнота сгорания топлива снижается до 8,2 %.

5. Наиболее оптимальный вариант обеспечения готовности двигателя к работе при температурах ОС ниже гарантируемой температуры надежного холодного пуска — предпусковая тепловая подготовка охлаждающей жидкости в головке блока и масла в поддоне до 8 – 10 °С от постороннего источника теплоты.

Литература

1. Heywood J.B. Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill. 2019. 056 p.
2. Viskup R. Introduction to Diesel Emissions. IntechOpen. 2020. 19 p.
3. Суранов Г.И. Уменьшение износов автотракторных двигателей при пуске. М. : Колос. 1982. 143 с.

4. Крохта Г.М. Влияние смазки сопряжения гильза—кольца—поршень на пусковые качества автотракторного дизеля // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сб. III Всероссийской (национальной) научной конференции (г. Новосибирск, 20 декабря 2018 г.) / Новосиб. гос. ун-т. - Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2018. 406 с.
5. Крохта Г.М. Особенности эксплуатации тракторов условиях низких температур: монография / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. Ин-т, Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. 376 с.
6. Reiter M.S. The problem of cold starts: a closer look at mobile source emissions levels // Transportation Research Part D. 2016. № 43. С. 123–132.
7. Крохта Г.М. Эксергетический метод и критерии оценки готовности дизельного двигателя к пуску / Г.М. Крохта // Вестник НГАУ. 2012. № 1 (18), ч. 2. С. 132–135.
8. Крохта Г.М. Управление качеством процесса смесеобразования в период пуска и послепускового прогрева дизельного двигателя // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 4. С. 3–11.
9. Микулин Ю.В., Карницкий В.В., Энглин Б.А. Пуск холодных двигателей при низкой температуре. М. Машиностроение, 1971. С. 131–136.
10. Балабин В.И., Васильев В.Н. Особенности применения термофорсирования топлива на локомотивных дизелях // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 4. С. 107–113.
11. Семенов В.С. Режим смазки пар трения поршневое кольцо—цилиндровая втулка двигателя внутреннего сгорания // Двигателестроение. 1991. № 10. С. 19–23.
12. Крохта Г.М., Усатых Н.А. Закономерности пусковых и послепусковых износов двигателя 4Ч11,0/12,5 (Д-240) при безгаражном хранении машин // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 5. С. 49–53.