

ИЗВЕСТИЯ ИРКУТСКОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИНСТИТУТА

Г.А.ТАШКИНОВ

О ПУСКЕ И ПРОГРЕВЕ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

Низкие температуры окружающего воздуха, которыми особенно отличаются в зимний период районы Сибири и Дальнего Востока, создают ряд трудностей в эксплуатации тракторов и автомобилей вообще и их двигателей в частности. Особенно затруднен при низких температурах пуск дизельных двигателей.

Известно, что для пуска дизельного двигателя его коленчатому валу необходимо сообщить минимальное пусковое число оборотов и обеспечить самовоспламенение топлива в цилиндре. Осуществление пуска двигателя при низких температурах окружающего воздуха возможно при подогреве свежего заряда, поступающего в цилиндр. Подогрев свежего заряда рациональнее производить за счет общего подогрева дизельного двигателя, а не только собственно заряда на впуске. Общий подогрев позволяет обеспечить необходимую для самовоспламенения топлива температуру заряда в конце сжатия, понижает вязкость масляной пленки на трущихся поверхностях, уменьшая при этом сопротивление вращению коленчатого вала, что очень важно при пуске в условиях низких температур окружающего воздуха. Кроме того общий подогрев дизельного двигателя сокращает продолжительность его прогрева после пуска. Последние обстоятельства показывают преимущества пуска с предварительным общим подогревом дизельного двигателя перед пуском, для осуществления которого применяются подогрев

только свежего заряда или легковоспламеняющиеся жидкости.

Предпусковой подогрев или соответствующее тепловое состояние дизельного двигателя перед пуском должны обеспечивать такой подогрев свежего заряда, в результате которого температура заряда в конце сжатия была бы достаточна для самовоспламенения топлива.

Как известно, абсолютная температура конца сжатия определяется из выражения:

$$T_c = T_a \varepsilon^{n-1} \quad (1)$$

где T_a - абсолютная температура конца впуска,
 ε - степень сжатия,
 n - показатель политропы сжатия.

Из выражения (1) видно, что температура конца сжатия прямо пропорциональна температуре конца впуска. В свою очередь абсолютная температура конца впуска равна:

$$T_a = \frac{T_a + \Delta T + \gamma T_z}{1 + \gamma} \quad (2)$$

где T_a - абсолютная температура окружающего воздуха,
 ΔT - температура подогрева свежего заряда при впуске его в цилиндр,
 γ - коэффициент остаточных газов,
 T_z - абсолютная температура остаточных газов.

Легко видеть, что в начале пуска, когда самовоспламенение топлива еще не происходит, горячие остаточные газы в цилиндре отсутствуют и их коэффициент равен нулю, температура заряда в конце впуска будет равна:

$$T_a = T_0 + \Delta T$$

Однако при холодном двигателе его температура равна

температуре окружающего воздуха, вследствие чего подогрев заряда не происходит и его температура в конце впуска (пренебрегая ее некоторым снижением от разрежения) будет равна температуре окружающего воздуха.

Для обеспечения самовоспламенения топлива необходима определенная температура конца сжатия. Поскольку температура конца сжатия в цилиндре зависит от температуры конца впуска, постольку температура конца впуска должна иметь определенное значение. С понижением температуры окружающего воздуха температура конца впуска также будет понижаться. Следовательно при пуске дизельного двигателя при низкой температуре окружающего воздуха для получения определенной температуры свежего заряда его необходимо подогреть на величину, равную разности между требуемой температурой конца впуска и температурой окружающего воздуха:

$$\Delta T = T_a - T_0 \quad (3)$$

Так как из выражения (1), чтобы обеспечить температуру конца сжатия, достаточную для самовоспламенения топлива, температура свежего заряда в конце впуска должна быть равна:

$$T_a = \frac{T_c}{\varepsilon^{n_1-1}}$$

то требуемая величина подогрева свежего заряда перед пуском дизельного двигателя может быть выражена в следующем виде:

$$\Delta T = \frac{T_c}{\varepsilon^{n_1-1}} - T_0 \quad (4)$$

Из полученного выражения следует, что для создания температуры самовоспламенения в цилиндре в конце сжатия, то есть для обеспечения пуска дизельного двигателя в условиях низкой температуры окружающего воздуха должен

быть осуществлен вполне определенный подогрев свежего заряда, причем подогрев должен быть тем выше, чем ниже температура окружающего воздуха.

Очевидно, что для осуществления нормального пуска дизельного двигателя при низкой температуре окружающего воздуха, то есть пуска при котором протекание рабочего процесса в цилиндрах дизельного двигателя соответствовало бы его протеканию при пуске в условиях положительной температуры окружающего воздуха, каждой температуре окружающего воздуха должна соответствовать определенная или оптимальная температура подогрева свежего заряда.

В свою очередь оптимальная температура подогрева свежего заряда может быть обеспечена определенной тепловой подготовкой дизельного двигателя. Следовательно нормальный пуск дизельного двигателя возможен при определенном его тепловом состоянии, которое зависит от температуры окружающего воздуха.

Исследование рабочего процесса при пуске дизельного тракторного двигателя Д-48, приведенное на кафедре тепловых двигателей Иркутского сельскохозяйственного института, подтвердили высказанные положения. Эксперименты показали, что при температурах окружающего воздуха минус 10°C , минус 20°C , минус 30° и ниже минус 30°C двигатель перед пуском должен быть прогрет соответственно до следующих температур в системе охлаждения: до 40° , 45° , 50° и до 60°C . При указанной тепловой подготовке дизельного двигателя пуск в условиях отрицательных температур и протекание рабочего процесса происходят практически так же, как и в нормальных расчетных условиях, то есть при температуре окружающего воздуха плюс $15-20^{\circ}\text{C}$.

Известно, что работа двигателей внутреннего сгорания происходит при определенном тепловом режиме, который обычно характеризуется температурой охлаждающей жидкости в системе охлаждения. Для автотракторных дизельных двигателей оптимальным является тепловой режим равный $80-90^{\circ}\text{C}$. Чтобы достигнуть оптимального теплового режима, двигатель после пуска должен быть прогрет.

Прогрев двигателей после пуска осуществляется, как правило, его работой на холостом ходу при постепенном увеличении числа оборотов коленчатого вала и связан с непроизводительным расходом топлива, повышенным износом деталей двигателя и простоем трактора или автомобиля. С понижением температуры окружающего воздуха продолжительность прогрева, износ и расход топлива также увеличиваются.

Практика эксплуатации дизельных двигателей зимой в условиях низких температур окружающего воздуха, а также наши исследования показывают, что при отрицательных температурах окружающего воздуха прогреть дизельный двигатель до его оптимальной температуры работой на холостом ходу невозможно. Поэтому в практике прогрев дизельного двигателя в этих случаях осуществляется его работой под нагрузкой. Однако исследований о допустимой нагрузке при прогреве дизельного двигателя нет. Существует мнение, что прогрев двигателя под нагрузкой увеличивает расход топлива. Известно, что повышение нагрузки двигателя вызывает увеличение износа его деталей, хотя каких либо сопоставлений величин износа при прогревах на различных нагрузочных режимах в литературе нет. Существующие рекомендации по режимам прогрева двигателей после пуска исходят из соображений обеспечения наименьших износов в процессе прогрева без учета расхода топлива, а также затрат времени (или простоев тракторов).

Очевидно оптимальным режимом прогрева дизельного двигателя будет такой режим, который наиболее экономичен, то есть сопровождается не только минимальным износом, но и вызывает наименьшие затраты материалов и времени.

Чтобы оценить влияние нагрузки на расход топлива и продолжительность прогрева дизельного двигателя, рассмотрим протекание процесса прогрева.

Прогрев двигателя происходит за счет части тепла,

выделяемого при сгорании топлива в цилиндрах. Из теплового баланса двигателя внутреннего сгорания известно, что тепло, выделяемое при сгорании топлива, расходуется на полезную эффективную работу, отводится во внешнюю среду через систему охлаждения, теряется с отработавшими газами, из-за недогорания и в виде прочих потерь.

Тепловой баланс дизельного двигателя в процессе прогрева под нагрузкой при сгорании в нем одного килограмма топлива может быть представлен в виде следующего выражения:

$$Q_H = Q_{\text{эф}} + Q_{\text{мех}} + Q_{\text{охл.}} + Q_2 + Q_{\text{пр}} \quad (5)$$

- где Q_H - низшая теплотворность топлива,
 $Q_{\text{эф}}$ - тепло, использованное на эффективную работу,
 $Q_{\text{мех}}$ - тепло, затраченное на преодоление механических сопротивлений в двигателе,
 $Q_{\text{охл.}}$ - тепло, переданное через стенки цилиндров в систему охлаждения,
 Q_2 - тепло, отведенное с отработавшими газами,
 $Q_{\text{пр}}$ - прочие потери тепла.

При установившемся тепловом режиме двигателя все тепло, полученное при сгорании топлива, кроме пошедшего на эффективную работу, теряется в окружающий воздух через систему охлаждения, с отработавшими газами и в виде прочих потерь.

В процессе прогрева двигателя после его пуска в окружающий воздух теряется только тепло, содержащееся в отработавших газах и некоторое количество тепла, отдаваемое поверхностью двигателя. Тепло, затраченное на преодоление механических сопротивлений и тепло, отводимое в систему охлаждения остается внутри двигателя и расходуется на нагревание металла двигателя, картерного масла и охлаждающей жидкости.

Количество тепла, необходимое для нагревания двигателя (металла, масла и охлаждающей жидкости) от температуры, которую он имел после пуска до температуры после прогрева, равно:

$$Q_{гб} = (C_1 G_{мет} + C_2 G_{м} + C_3 G_{охл}) (T_{гб} - T_n) \quad (6)$$

где C_1, C_2, C_3 - удельная теплоемкость соответственно металла двигателя, картерного масла и охлаждающей жидкости,

$G_{мет}, G_{м}, G_{охл}$ - вес двигателя, масла и охлаждающей жидкости,

$T_n, T_{гб}$ - температура двигателя до и после прогрева.

Поскольку вес и теплоемкость металла двигателя, картерного масла и охлаждающей жидкости постоянны, то выразив эти величины соответственно через общий вес двигателя и средневзвешенное значение теплоемкости, получим следующее выражение для определения количества тепла, необходимого для нагревания двигателя до температуры после прогрева:

$$Q_{гб} = C G_{гб} (T_{гб} - T_n) \quad (7)$$

Так прогрев двигателя при его работе происходит за счет тепла, передаваемого в систему охлаждения и тепла, расходуемого на преодоление механических сопротивлений, то в соответствии с тепловым балансом, количество тепла, затрачиваемого для прогрева будет равно:

$$Q_{гб} = (Q_{мех} + Q_{охл}) G_{ч} t_n \quad (8)$$

где $G_{ч}$ - часовой расход топлива двигателем при прогреве
 t_n - продолжительность прогрева.

В процессе прогрева происходит теплопередача от поверхности двигателя в окружающий воздух. Количество тепла, отданного двигателем в окружающий воздух за время прогрева:

$$Q'_{воз} = KF [T(t) - T_0] , \quad (9)$$

где K - коэффициент теплопередачи по поверхности двигателя,
 F - поверхность теплоотдачи двигателя,
 $T(t)$ - температура двигателя, меняющаяся с течением времени прогрева от T_n до $T_{гв}$.

Таким образом общее количество тепла, необходимое для прогрева двигателя, складывается из тепла, затраченного на собственно прогрев и тепла, переданного в процессе прогрева поверхностью двигателя в окружающий воздух:

$$Q_{гв} = Q'_{гв} + Q_{воз} \quad (10)$$

Подставив в выражение (10) значение входящих в него величин, получим:

$$(Q_{мех} + Q_{охл}) G_{гч} t_n = c G_{гв} (T_{гв} - T_n) + KF [T(t) - T_0] t_n \quad (11)$$

откуда продолжительность прогрева двигателя после пуска равна:

$$t_n = \frac{c G_{гв} (T_{гв} - T_n)}{(Q_{мех} + Q_{охл}) G_{гч} - KF [T(t) - T_0]} \quad (12)$$

Из полученного выражения следует, что продолжительность прогрева двигателя зависит от следующих основных

факторов: от разности температур двигателя после прогрева и до прогрева, от часового расхода топлива двигателем в течение прогрева, от разности температур двигателя и окружающего воздуха в процессе прогрева.

Из выражения (12) можно также видеть, что условием успешного прогрева двигателя после пуска является необходимость обеспечения такого режима его работы при прогреве, при котором первое слагаемое знаменателя всегда больше второго слагаемого. При пуске двигателя без предварительного подогрева температура двигателя и окружающего воздуха в начале прогрева одинаковы и второе слагаемое знаменателя равно нулю. Величина знаменателя в этом случае наибольшая и скорость прогрева двигателя максимальна. По мере прогрева двигателя второе слагаемое знаменателя будет увеличиваться, отчего скорость прогрева будет снижаться. В случае равенства обоих слагаемых знаменателя продолжительность прогрева становится равной бесконечности, то есть прогрев двигателя прекратится, так как при этом количество тепла, идущего на прогрев становится равным количеству тепла, отдаваемого двигателем окружающему воздуху. Прекращение прогрева произойдет тем раньше, чем ниже часовой расход топлива (чем ниже обороты или нагрузка двигателя) и чем ниже температура окружающего воздуха. В практике эксплуатации тракторов и автомобилей можно наблюдать, как при низкой температуре окружающего воздуха прогрев двигателя на холостом ходу или при недостаточной нагрузке прекращается при температуре, которая значительно ниже оптимальной. Закончить прогрев в этом случае возможно увеличением нагрузки (часового расхода топлива) и утеплением двигателя.

Анализ выражения (12) показывает, что для сокращения продолжительности прогрева двигателя необходимо уменьшить величину числителя и увеличить знаменатель рассматриваемого выражения. Практически можно достигнуть следующими мероприятиями:

- увеличением температуры двигателя до прогрева, то есть подогревом его перед пуском;
- повышением часового расхода топлива путем увеличения числа оборотов или нагрузки двигателя;
- применением утепительного чехла (капота), который препятствует проникновению холодного воздуха к двигателю и тем самым уменьшает разность температур двигателя и окружающего двигатель воздуха.

При прогреве двигателя важно не только уменьшить его продолжительность, но и сократить непроизводительный расход топлива. Так как расход топлива за прогрев есть произведение продолжительности прогрева и часового расхода топлива, то есть:

$$G_{\text{толл}} = t_n \cdot G_{\text{ч}}$$

то из (11) получим следующее выражение для определения расхода топлива двигателем за время прогрева:

$$G_{\text{толл}} = \frac{c G_{\text{ув}} (T_{\text{ув}} - T_n) + \kappa F [T(t) - T_0] t_n}{Q_{\text{мех}} + Q_{\text{охл}}} \quad (13)$$

Из полученного выражения видно, что количество топлива, которое необходимо израсходовать двигателем на его прогрев, прямо пропорционально сумме количества тепла, необходимого для нагревания двигателя и количества тепла, отданного в процессе прогрева поверхности двигателя окружающему воздуху, и обратно пропорциональная теплу, затраченному на преодоление механических сопротивлений, а также теплу, переданному в систему охлаждения при сгорании в двигателе одного килограмма топлива.

При постоянной разности температур после и до прогрева, количество тепла, необходимое для нагревания собственно двигателя есть величина постоянная. Известно,

что потери тепла на преодоление механических сопротивлений (сопротивление трения), а также потери, связанные с передачей тепла в систему охлаждения, составляют определенную долю тепла, выделенного при сгорании одного килограмма топлива и изменяются в довольно узких пределах. Поэтому изменение знаменателя выражения (13) не может вызвать значительное влияние на колебание расхода топлива за прогрев. Отсюда следует, что основное влияние на расход топлива при прогреве оказывают потери тепла двигателем в окружающий воздух, которые тем выше, чем ниже его температура и чем больше продолжительность прогрева. При неизменной температуре окружающего воздуха потери тепла в воздух пропорциональны продолжительности прогрева. Продолжительность же прогрева двигателя, в свою очередь, как это было показано выше, зависит от часового расхода топлива двигателем при прогреве, уменьшаясь с его увеличением.

Таким образом, теоретический анализ процесса прогрева показывает, что сокращение расхода топлива дизельным двигателем за период прогрева, при прочих равных условиях, может быть достигнуто уменьшением его продолжительности. Сокращение же продолжительности прогрева можно обеспечить увеличением часового расхода топлива дизельным двигателем, то есть повышением его нагрузки. Следовательно, чем выше нагрузка дизельного двигателя при прогреве, тем меньше его продолжительность и тем ниже расход топлива за время прогрева.

Экспериментальные исследования процесса прогрева дизельного вихрекамерного тракторного двигателя, проведенные при различных нагрузках и в условиях различных температур окружающего воздуха (до минус 30°C) подтверждают выводы теоретического анализа.