

Г. А. Ташкинов, Ф. Т. Усольцев

ИЗМЕНЕНИЕ ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПУСКЕ

При изучении пуска двигателей внутреннего сгорания обычно стремятся выяснить их предпусковое состояние при различных оборотах прокрутки коленчатого вала, которые в пусковом режиме колеблются от 50 до 250 в минуту. На данных оборотах определяется сопротивление проворачиванию деталей двигателя как при положительных, так и при отрицательных температурах окружающего воздуха. Для определения давлений в цилиндре двигателя при указанных оборотах снимаются индикаторные диаграммы без подачи топлива. Наличие индикаторных диаграмм и диаграмм изменения температур в процессах сжатия и расширения позволяет определять теплообмен между зарядом и стенками цилиндров, потери заряда через неплотности поршневой группы при различных оборотах прокрутки коленчатого вала. Однако индикаторные диаграммы без подачи топлива, снятые при установленном режиме, соответствующем пусковым оборотам, не отображают нестационарности процесса пуска. Они не позволяют судить о протекании рабочего процесса в цилиндрах двигателя, так как остаются неизвестными величина периода задержки воспламенения, максимальное давление цикла, жесткость работы и другие показатели. В то же время известно, что процесс пуска сопровождается значительным износом деталей двигателя. Можно предположить, что это вызвано не только плохими условиями смазки, но и большими нагрузками на детали двигателя в результате неудовлетво-

рительного протекания рабочего процесса двигателя при его пуске.

Рабочий процесс дизельного двигателя при пуске существенно отличается от рабочего процесса под нагрузкой и на холостом ходу. Его характерной особенностью является резкий рост скоростного режима от пусковых оборотов до оборотов холостого хода. Изменение скоростного режима сопровождается изменением всех основных показателей цикла: периода задержки воспламенения, максимального давления, жесткости работы, степени повышения давления и т. д.

Для выяснения особенностей протекания рабочего процесса и определения его индикаторных показателей при пуске проведено экспериментальное исследование процесса пуска. Исследование проводилось при температуре окружающего воздуха -10° и трех тепловых режимах двигателя перед пуском, соответствующих температурам 30, 40 и 60° . Тепловой режим двигателя оценивался по температуре воды в рубашке охлаждения блока. Исследование проводилось на двигателе Д-48 ПЛ, пуск которого осуществлялся пусковым двигателем ПД-10М. Перед проведением опытов дизель был проверен и отрегулирован в соответствии с техническими условиями. Пуск двигателя осуществлялся на зимнем дизельном топливе (ГОСТ-305-58).

Процесс пуска от начала подачи топлива в цилиндры до выхода дизеля на холостые обороты подвергался осциллографированию. На осциллограмме записывались индикаторные диаграммы циклов, отметки угла поворота коленчатого вала, отметки начала и конца впрыска топлива, время (0,002 сек.). Индицирование двигателя выполнялось пьезоэлектрическим индикатором, датчик которого был установлен в первом цилиндре.

Эксперименты показали, что изменение оборотов коленчатого вала в процессе пуска от 300 до 1765 в минуту вызывает повышение давления P_c конца сжатия от 26 до 36 кг/см² при всех тепловых режимах двигателя (рис. 1). Повышение давления конца сжатия и уменьшение времени теплообмена между воздухом и стенками цилиндра по мере увеличения числа оборотов приводят к повышению температуры конца сжатия и уменьшению величины периода задержки воспламенения. При тепловых режимах двигателя, равных 30, 40 и

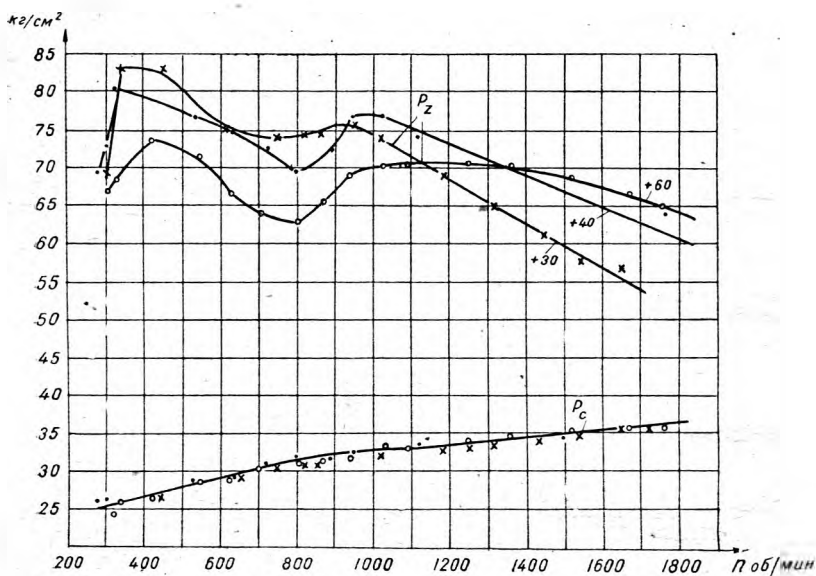


Рис. 1. Изменение максимального давления цикла P_z и давления конца сжатия P_c при пуске.

60° , период задержки воспламенения в процессе пуска уменьшался соответственно от 0,0060 до 0,0025 сек., от 0,0050 до 0,0020 сек, и от 0,0036 до 0,0016 сек. Наибольшая величина периода задержки воспламенения для указанных тепловых режимов наблюдалась при изменении оборотов от 300 до 450 в минуту. На рис. 2 представлено изменение периода задержки воспламенения по времени и углу поворота коленчатого вала в процессе пуска при различных тепловых режимах двигателя. С повышением скоростного режима, несмотря на уменьшение периода задержки по времени, продолжительность его по углу поворота коленчатого вала увеличивается с $5-10^\circ$ до $15-25^\circ$. Увеличение периода задержки при тепловых режимах 30 и 40° приводит к значительному сдвигу начала видимого горения за верхнюю мертвую точку. Из графика (рис. 2) видно, что при тепловом состоянии двигателя 60° период задержки воспламенения топлива при 350

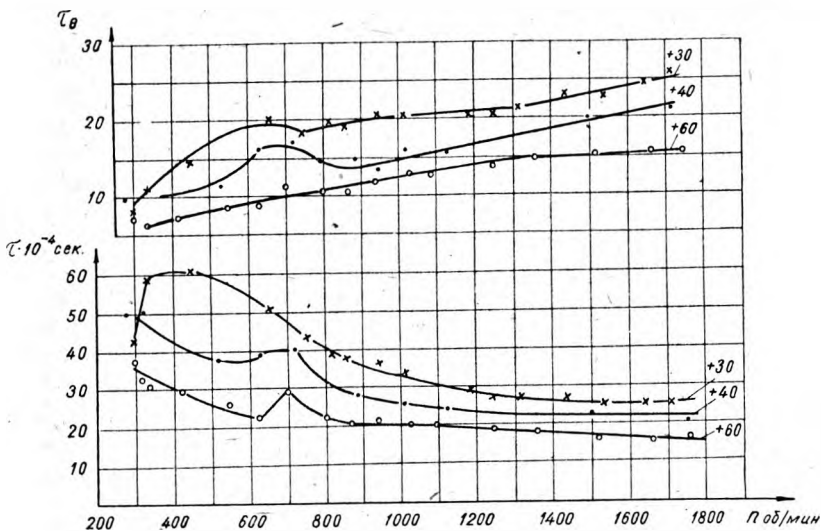


Рис. 2. Изменение периода задержки воспламенения топлива по времени τ и углу поворота коленчатого вала τ_θ при пуске.

об/мин на 0,025 сек. меньше, чем при тепловом режиме в 30°.

Максимальное давление цикла P_z в процессе пуска при тепловых режимах двигателя 30, 40 и 60° уменьшается соответственно от 83,0 до 57,1 кг/см², от 80,5 до 58 кг/см² и от 73,4 до 64,8 кг/см² (рис. 1). В протекании кривых максимального давления при пуске четко выделяются два характерных участка. При изменении оборотов от 300 до 400 об/мин отмечается его рост. Это объясняется, во-первых, тем, что в данном интервале изменение оборотов имеет место значительное (от 72 мм³ до 83 мм³) увеличение цикловой подачи топливного насоса и, во-вторых, тем, что в результате длительного периода задержки воспламенения топлива, к началу видимого горения в цилиндре двигателя скапливается большая часть цикловой подачи. С увеличением оборотов от 400 до 1765 в минуту максимальное давление понижается. Это вызвано уменьшением цикловой подачи в результате окончания работы корректора и увеличением периода задержки вос-

пламенения по углу поворота коленчатого вала, вследствие чего сгорание топлива происходит при увеличивающемся объеме надпоршневого пространства. При тепловом режиме двигателя, соответствующем 60° , величина периода задержки воспламенения по углу поворота коленчатого вала значительно меньше, чем при режимах 30 и 40° . В результате этого при разгоне начало видимого горения не перемещается далеко за верхнюю мертвую точку, сгорание топлива происходит при незначительном изменении объема, что не приводит к заметному уменьшению максимального давления.

Следует отметить, что жесткость работы и степень повышения давления в процессе пуска значительно выше, чем при номинальном скоростном режиме. При тепловых режимах двигателя в 30 , 40 и 60° жесткость работы при пуске уменьшалась соответственно от $16,4$ до $4,7$ $\text{кг/см}^2 \cdot 1^\circ$; от $20,8$ до $4,6$ $\text{кг/см}^2 \cdot 1^\circ$ и от $11,4$ до $4,4$ $\text{кг/см}^2 \cdot 1^\circ$. Наибольшая жесткость работы отмечена при тепловом режиме двигателя в 40° , тогда как период задержки воспламенения топлива при данном тепловом режиме двигателя меньше, чем при режиме в 30° . Можно было ожидать более высокой жесткости работы при тепловом режиме в 30° , так как при этом режиме к началу горения в цилиндре скапливается большее количество топлива от цикловой подачи, чем при режиме в 40° . Меньшая жесткость при тепловом режиме в 30° объясняется тем, что горение топлива при этом режиме начинается значительно позднее верхней мертвой точки, когда плотность заряда и скорость распространения пламени уменьшаются.

Исследования показали, что в процессе пуска в интервале оборотов от 500 до 900 в минуту в протекании кривых изменения максимального давления (рис. 1), жесткости работы и степени повышения давления наблюдается провал. Это явление не нашло достаточного объяснения и, очевидно, оно связано с резким увеличением угла опережения начала впрыска топлива при оборотах коленчатого вала от 500 до 700 в минуту. Увеличение угла опережения начала впрыска в указанном диапазоне оборотов можно объяснить следующим. Процесс пуска в интервале оборотов от 300 до 800 в минуту характеризуется ростом ускорения коленчатого вала от $0,5$ до $10,5$ об/сек^2 (рис. 3) и ростом ускорений движущихся деталей топливного насоса. Видимо, увеличение ускорения коленчатого

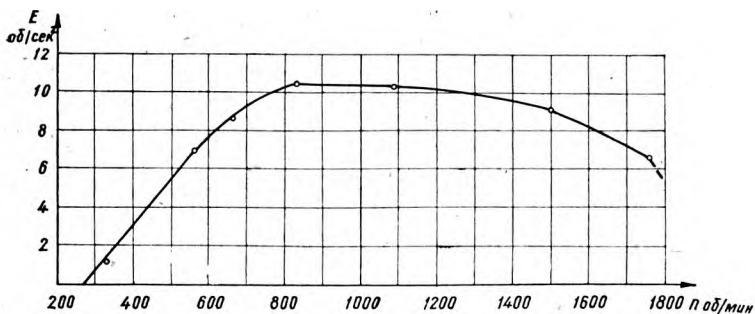


Рис. 3. Изменение ускорения E коленчатого вала двигателя при пуске.

го вала до $5,5 \text{ об/сек}^2$ не оказывает существенного влияния на работу топливopодающей аппаратуры, дальнейший же рост его ведет к более раннему впрыску топлива (рис. 4). Можно предположить, что рост ускорения от $5,5$ до $10,5 \text{ об/сек}^2$ в определенном диапазоне оборотов вызывает более резкое нарастание давления топлива в топливопроводах высокого давле-

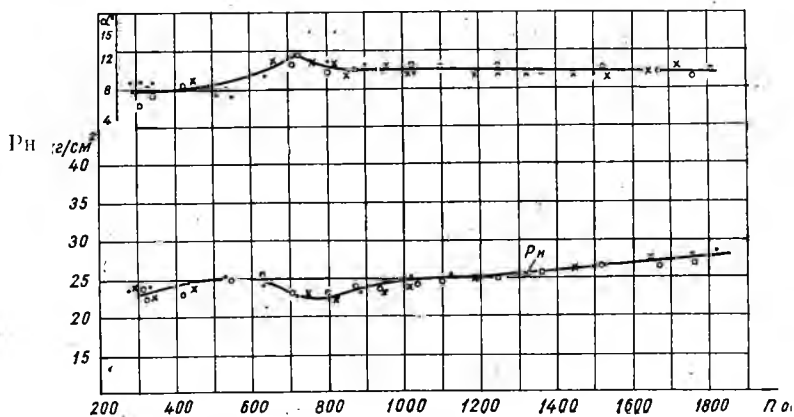


Рис. 4. Изменение угла опережения α и давления в цилиндре в начале впрыска топлива P_n при пуске.

ния, увеличение скорости его истечения из распылителя форсунки и дальнотойности струи. Повышение дальнотойности струи с одновременным понижением давления среды (рис. 4), в которую впрыскивается топливо, приводит к достижению части топлива стенок камеры сгорания. Это увеличивает продолжительность процесса сгорания по углу поворота коленчатого вала и сдвигает его за верхнюю мертвую точку. Сгорание же топлива при увеличивающемся надпоршневом пространстве цилиндра вызывает понижение максимального давления цикла, жесткости работы и степени повышения давления.

Проведенные исследования индикаторных показателей в процессе пуска позволяют сделать следующие выводы.

1. В процессе пуска тракторного дизеля период задержки воспламенения топлива, максимальное давление цикла и жесткость работы имеют наибольшую величину до 450 оборотов в минуту.

2. Жесткость работы в процессе пуска значительно выше жесткости номинального скоростного режима. Например, при тепловых режимах двигателя 30, 40 и 60° жесткость работы в процессе пуска превышает жесткость номинального скоростного режима соответственно до 8,2 раза, до 10,4 раза и до 5,7 раза.

3. В процессе пуска в интервале изменения оборотов от 500 до 950 в минуту наблюдается провал в протекании кривой максимального давления цикла. Это отрицательно сказывается на разгоне двигателя.

4. Наименьшее изменение и наиболее благоприятное протекание индикаторных показателей в процессе пуска имеют место при более высоком тепловом режиме двигателя.