

В подальшому перспективним є аналіз можливості організації якісного сумішоутворення в КЗ дизеля при зменшеній швидкості обертання свіжого заряду.

Список літератури:

1. Рязанцев Н.К. Конструкция форсированных двигателей наземных транспортных машин: Учебное пособие. - Ч1, Ч2. - Харьков: ХГПУ, 1996. 2. Алехин С.А., Пелепейченко В.И. Определение коэффициента трения вращающегося воздушного заряда о стенки цилиндра двигателя внутреннего сгорания. //Харьков, 1994 – 13 с. – Деп. в ГНТБ Украины, №124-Ук 95, 16.01.95. 3. Алехин С.А., Пелепейченко В.И. Выбор параметров системы воздухообеспечения те-

пловозной модификации дизеля ДН12/2х12 из условия достижения заданных показателей газообмена. //Харьков, 1994 – 16 с. – Деп. в ГНТБ Украины, №125-Ук 95, 16.01.95. 4. Пелепейченко В.И. Модификация метода крупных частиц для расчета трехмерного нестационарного движения заряда в цилиндре ДВС. //Харьков, 1994 – 13 с. – Деп. в ГНТБ Украины, №126-Ук 95, 16.01.95. 5. Пелепейченко В.И. Моделирование турбулентного движения заряда в цилиндре двигателя внутреннего сгорания на основе метода крупных частиц. //Харьков, 1994 – 13 с. – Деп. в ГНТБ Украины, №127-Ук 95, 16.01.95.

УДК 621.431

В.А. Жуков, канд. техн. наук, М.С. Курин, асп.

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГАЗОТУРБИННОГО НАДДУВА АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

Введение

Одним из важнейших направлений развития конструкции ДВС является совершенствование систем газотурбинного наддува [1]. Первоначально наддув рассматривался только как средство повышения агрегатной мощности двигателей [3], однако ужесточение требований к экологическим показателям ДВС приводит к необходимости уделять все больше внимания влиянию параметров наддува на токсичность и дымность отработавших газов [5], а так же уровень шума, сопровождающего работу двигателя. Обязательным элементом современных систем газотурбинного наддува являются охладители надувочного воздуха, поэтому следует комплексно подходить к

выбору наилучших для заданного режима работы параметров наддува.

Перспективными направлениями совершенствования систем газотурбинного наддува являются: применение новых конструкционных материалов для изготовления турбокомпрессоров, использование турбокомпрессоров с переменной геометрией, повышение эффективности охладителей надувочного воздуха, автоматическое регулирование наддува [1, 4, 7].

Формулирование проблемы

Основными параметрами газотурбинного наддува являются давление надувочного воздуха и глу-

бина его охлаждения. Очевидно, что повышение давления обеспечивает повышение литровой мощности, одновременно приводя к увеличению тепловых и механических нагрузок на детали двигателя. Охлаждение наддувочного воздуха позволяет частично решать эти проблемы [6], однако переохлаждение наддувочного воздуха приводит к ухудшению смесеобразования и воспламенения, увеличивает период задержки воспламенения, ухудшает экологические показатели двигателя, при этом возрастают также затраты мощности на прокачивание охладителя.

Таким образом актуальной является задача выбора оптимальных параметров наддува с учетом максимального числа факторов, в том числе и режима работы двигателя.

Решение проблемы.

Численное моделирование рабочего процесса дизеля

Основным методом проведенных исследований являлся численный эксперимент с использованием программного комплекса «Diesel – RK», разработанного под руководством к.т.н. А.С. Кулешова в МГТУ им. Н.Э. Баумана. В процессе исследований моделировался рабочий цикл дизеля с последующей оценкой токсичности отработавших газов, топливной экономичности и жесткости работы двигателя, которая характеризует механические нагрузки на детали шатунно-поршневой группы и определяет надежность двигателя.

Токсичность отработавших газов

Для дизелей форсированных по наддуву с объемным смесеобразованием и неразделёнными камерами сгорания токсичность отработавших газов в существенной мере зависит от коэффициента избытка воздуха, который в свою очередь определяется цикловой подачей топлива и сочетанием температуры и давления наддувочного воздуха. С целью уста-

новления влияния температуры и давления наддувочного воздуха на токсичность отработавших газов были произведены исследования дизеля ЯМЗ-8481.10, производства ОАО «Тулаевский моторный завод». Численное моделирование было проведено для пяти скоростных режимов: 1100, 1300, 1500, 1700, 1900 мин⁻¹ и 3 нагрузочных режимов, соответствующих 100%, 75% и 50% подаче топлива. Задаваемые характеристики топливоподачи соответствовали параметрам, которые обеспечивает штатный ТНВД, и предоставленные заводом-изготовителем (АО «Топливоподающие системы»).

Программный комплекс «Diesel – RK» позволяет оценить эмиссию оксидов азота и содержание твердых частиц в отработавших газах.

Результаты исследований свидетельствуют, что охлаждение наддувочного воздуха значительно снижает выбросы оксидов азота. Это объясняется тем, что при снижении температуры наддувочного воздуха повышается плотность воздушного заряда и коэффициент избытка воздуха, а также снижается максимальная температура цикла, которая и оказывает определяющее влияние на эмиссию оксидов азота. Увеличение давления наддува при неизменной цикловой подаче и температуре наддувочного воздуха вызывает рост выбросов оксидов азота. Это также обусловлено ростом максимальных температур цикла.

Снижение глубины охлаждения и повышение температуры наддувочного воздуха приводят к росту максимальной температуры цикла. В результате этого происходит интенсификация процесса диссоциации диоксида углерода с образованием угарного газа и сажи, одновременно с этим улучшается испарение топлива, приводящее к снижению образования сажи. Численное моделирование показало, что для исследуемого двигателя преобладает диссоциация CO₂ и с увеличением температуры наддувочного воздуха и выброс «твёрдых частиц» увеличивается. Этому спо-

сопутствует существенное снижение коэффициента избытка воздуха, который приближается к значению с 1,3, соответствующему пределу дымления. С увеличением давления наддува выбросы «твёрдых частиц» снижаются. Это связано главным образом с улучшением условия смесеобразования и уменьшения количества локальных зон в камере сгорания, где коэффициент избытка воздуха меньше 1. Рост выброса твердых частиц на долевых скоростных режимах связан с уменьшением турбулентности воздушного заряда в цилиндре.

Таким образом для обеспечения экологических нормативов необходимо наряду с совершенствованием топливоподачи оптимизировать параметры наддува: давление и температуру надвучного воздуха. В процессе оптимизации следует учитывать, что давление наддува и температура надвучного воздуха существенно влияют на экономичность двигателя, теплонапряженное состояние деталей цилиндро-поршневой группы, а следовательно и на надежность двигателя.

Топливная экономичность

В качестве показателя топливной экономичности был принят удельный эффективный расход топлива g_e . Увеличение давления наддува повышает массовое наполнение цилиндров воздушным зарядом. При неизменной величине цикловой подачи это вызывает рост коэффициента избытка воздуха, который сопровождается уменьшением продолжительности процесса сгорания топлива и тепловых потерь за процесс сгорания. В итоге это приводит к росту эффективного КПД и соответственно удельного эффективного расхода топлива.

Однако с другой стороны, рост величины давления наддува в системах со «свободным турбокомпрессором» обусловлен необходимым повышением противодействия выпуску поршневой части, со стороны турбины. Вследствие этого повышаются затра-

ты полезной работы на процессы газообмена, а при неизменных фазах газообмена повышается количество остаточных газов, что отрицательно сказывается на величине эффективного КПД и удельного эффективного расхода топлива. С увеличением давления наддува растёт отрицательное действие противодействия на выпуске на топливную экономичность. Таким образом минимум удельного эффективного расхода топлива имеет место при определённой величине давления наддува. Для исследуемого двигателя она составляет около 1,8 бар.

Температура воздуха на входе в двигатель также существенно влияет на топливную экономичность. С ростом глубины охлаждения надвучного воздуха повышается массовое наполнение цилиндра воздушным зарядом, а также значительно сокращается продолжительность процесса сгорания. Необходимо отметить, что её уменьшение более ярко выражено при низких давлениях наддува. Проведённые расчёты показали, что это уменьшение составило при $p_k=1,6$ бар – 6,6 % при снижении температуры на 10 К, а для $p_k=2,2$ бар – 2,5% при снижении температуры на 10 К.

Нагрузки на детали шатунно-поршневой группы

Параметры наддува оказывают влияние на механические нагрузки деталей ШППГ. В качестве показателей механических нагрузок можно принять максимальное давление цикла p_z и максимальную скорость нарастания давления $dp/d\phi$ [2]. Рост давления на впуске приводит к повышению уровня температур и давлений в характерных точках цикла

Введение охлаждения надвучного воздуха ведёт к повышению p_z , что обуславливается повышением интенсивности тепловыделения. По результатам расчёта его прирост составляет 1,06 – 1,58 % при снижении температуры на 10 К. Большие значения относятся к меньшим давлениям наддува ($p_k = 0,14$ Мпа).

Жёсткость работы двигателя, характеризуемая максимальной скоростью нарастания давления в значительной мере определяется параметрами наддува. Увеличение давления наддува без применения охлаждения воздуха после компрессора вызывает её снижение. Согласно расчётам, оно составляет 1,85 – 3,3% при его повышении p_k на 0,1бар. Большие значения относятся к меньшим давлениям наддува. В значительной мере это обусловлено уменьшением периода задержки воспламенения. Однако, при введении охлаждения наддувочного воздуха и поддержании одинаковых температур наблюдается увеличение жёсткости работы с ростом p_k . Определяющим фактором для этого является интенсификация процесса тепловыделения с одновременным уменьшением продолжительности сгорания. По результатам моделирования для исследуемого дизеля повышение жёсткости работы составляет 0,65 – 4,4% при повышении p_k на 0,1бар. Снижение температуры наддувочного воздуха на входе в двигатель вызывает значительный рост максимальной скорости нарастания давления $dp/d\phi$ обусловленный увеличением периода задержки воспламенения. По результатам моделирования рост $dp/d\phi$ составляет 4,3 – 5,6 % при снижении температуры наддувочного воздуха на каждые 10 К.

Заключение

Выполненное численное моделирование позволяет сделать вывод, что на каждом из режимов работы дизельного двигателя существует наиболее предпочтительная пара параметров наддува (давлении наддувочного воздуха перед цилиндром p_k и температура наддувочного воздуха после охладителя T_5).

Проведение численных и моторных экспериментов должно быть направлено на выявление таких пара параметров и разработку закона комплексного

управления давлением наддува и температурой наддувочного воздуха. Автоматическое регулирование параметров наддува может осуществляться электронными блоками управления через заслонки и перепускные клапаны.

Оптимизация указанных параметров обеспечит повышение топливной экономичности двигателя и повышение его надежности при соблюдении экологических требований и сокращении затрат энергии на прокачивание теплоносителя через охладитель наддувочного воздуха.

Следующим этапом исследований является проведение моторных испытаний с целью создания оптимального закона управления параметрами наддува дизеля ЯМЗ-8481.10.

Список литературы:

1. Турбодвигатели и компрессоры: Справ. Пособие / Г.Хак, Лангкabelь. – М.: ООО «Издательство Астрель» : ООО «Издательство АСТ», 2003, - 351 с. 2. Дьяченко Н.Х., Костин А.К., Пугачев Б.П., Русинов Р.В., Мельников Г.В. Теория двигателей внутреннего сгорания. Под ред. д.т.н. Н.Х. Дьяченко. Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1974. – 552 с. 3. Турбонаддув высокооборотных дизелей. М.: Машиностроение, 1976. - 288 с. Авт.: А.Э. Симсон, В.Н. Каминский, Ю.Б. Моргулис и др. 4. Аболтин Э.В., Лямцев Б.Ф. Основные направления развития автомобильных турбокомпрессоров // Автомобильная промышленность. 1982, № 10, с. 6-9. 5. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей – М.: Академический Проект, 2004. – 400 с. 6. Ханин Н.С., Э.В.Аболтин, Б.Ф.Лямцев и др. Автомобильные двигатели с турбонаддувом. - М.: Машиностроение, 1991.- 333 с. 7. Циленкин Г.Е., Дейч Р.С. Обзор докладов по турбокомпрессорам // Двигательное строительство. 2002, № 2, с.43-46.