

Список литературы:

1. Приложение VI к МАРПОЛ 73/78. Правила предотвращения загрязнения атмосферы с судов / ЦНИИМФ: СПб, 2004.-80 с. 2. Варбанец Р.А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей // Судостроение.-2004.-№6.-С.24-27. 3. Варбанец Р.А., Ивановский В.Г. Система разделенного мониторинга D3.2H, определение параметров рабочего процесса СДВС МАК М25 // Збірник наукових праць. Вип.1(7),- Севастополь: Севастопольський ВМІ ім..П.С.Нахімова, 2005.- С. 145 – 153. 4. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателей. М.: Машгиз, 1962. - 272 с. 5. Семенов В.С. Современные проблемы теории судовых дизелей / В.С.Семенов. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1991. – 112 с. 6. Варбанец Р.А. Синхронизация данных при индексировании СДВС // Збірник наукових праць. Вип..2(8), - Севастополь: Севастопольський ВМІ ім..П.С.Нахімова,

2005. – С.255-258. 7. An efficient method for finding the minimum of a function of several variables without calculating derivatives. Powell M.J.D., Computer J.,1964, №7, p.155. 8. Варбанец Р.А. Параметрическая диагностика дизелей SBV6M540 и Pegaso 9156 // Авіаційно-космічна техніка і технологія. Харків: ХАІ. 2006. - №8(34). – с 144-148. 9. Варбанец Р.А., Морозов А.И., Михайлов Д.Ю. Определение фазы начала сгорания топлива в задачах математического моделирования рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. - №2(49). – С.65-72. 10. Варбанец Р.А. Уточнение формулы средней теплоемкости газов в расчете рабочего процесса дизеля с учетом динамики тепловыделения // Вісник Одеського державного морського університету 2006.-№20 –с. 173-179.

УДК. 621.43: 62-66: 62-62

Е.В. Белоусов, канд. техн. наук, Т.П. Белоусова, инж.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ СЖАТИЯ НА ХАРАКТЕР ПРОТЕКАНИЯ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ЦИКЛА ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Актуальность проблемы

Стремительный рост цен на нефть, произошедший за несколько последних лет, усилил интерес к проблеме поиска альтернативных топлив для ДВС.

Как один из альтернативных вариантов решения проблемы расширения топливной базы поршневых ДВС, в настоящее время рассматривается возможность использования в качестве моторного топлива углей различных сортов и суспензии на их основе.

Комплексный подход к решению проблемы требует разработки новых методов прямого сжигания твердых топлив в поршневых двигателях, которые бы позволяли реализовать в них наиболее эффективные термодинамические циклы. К числу таких методов можно отнести слоевое сжигание твердых топлив с принудительной управляемой продувкой слоя. Исследование различных факторов, влияющих на рабочий процесс твердотопливных

поршневых двигателей (ТТВД) со слоевым сжиганием топлива, позволит на практике реализовать в них наиболее рациональные термодинамические циклы. К числу неисследованных факторов относится влияние на основные параметры рабочего процесса двигателя степени сжатия заряда в рабочем цилиндре. Исследованию этого вопроса и посвящена данная статья.

Анализ литературных источников

Современная теория ДВС говорит о том, что повышение степени сжатия приводит к возрастанию термического КПД цикла. В бензиновых двигателях максимальное значение степени сжатия, как правило, ограничено детонационной стойкостью топлива, в дизелях ростом механических потерь, связанных с увеличением нагрузок на детали кривошипно-шатунного механизма [1]. Особенности конструкции ТТВД позволяют предположить, что для данного

класса двигателей влияние степени сжатия на параметры рабочего процесса будет более сложным [2, 3]. В отличие от классических ДВС заряд распределяется по нескольким объемам рабочего пространства, условия тепло- и массообмена в которых сильно отличаются. Основные особенности протекания термодинамического цикла ТППД состоят в следующем:

- при сжатии часть заряда забрасывается в топочную камеру, что приводит к непродуктивному выгоранию топлива и подводу теплоты уже на линии сжатия [2];

- подвод теплоты осуществляется путем продувки слоя топлива в условиях изменяющейся плотности заряда поступающего в слой;

- в процессе сжатия возможно охлаждение заряда, например распыливанием водяного аэрозоля при подаче воздуха в рабочий цилиндр [2];

- в двигателях данного типа возможен управляемый подвод теплоты.

Эти и другие факторы и определяют характер протекания термодинамического цикла ТППД в зависимости от степени сжатия заряда в рабочем пространстве двигателя.

Решение проблемы

Для анализа влияния степени сжатия на характер протекания термодинамического цикла ТППД была использована математическая модель рабочего процесса с использованием классических уравнений термодинамики и теории ДВС. Целью исследования являлось изучение влияния степени сжатия на индикаторные показатели рабочего процесса. В качестве объекта моделирования был выбран ТППД на базе малоразмерного высокооборотного четырехтактного дизеля 4Ч 10,5/12 (Д-144), частота вращения которого была принята равной 1500 мин⁻¹.

Выполненный ранее анализ влияния начала и продолжительности продувки на эффективность рабочего процесса показал, что для рассматриваемого

случая оптимальный момент начала продувки лежит в диапазоне $-25...-21^\circ$ до ВМТ, оптимальная продолжительность продувки $85...115^\circ$. Закон перемещения вытеснителя принимался линейным. При исследовании влияния степени сжатия на основные параметры рабочего процесса ТППД, изменение степени сжатия моделировалось в диапазоне от 6 до 22 с шагом 1. Каждый случай рассматривался в двух вариантах с охлаждением заряда в процессе сжатия и без охлаждения, при этом уточнялись оптимальные углы начала и окончания продувки. В качестве критерия оптимизации использовалась максимальная эффективность рабочего процесса. Для всех рассмотренных случаев размеры топочной камеры и параметры засыпки слоя оставались постоянными.

Варьирование размеров топочной камеры ограничено, с одной стороны, площадью контакта с охлаждаемым корпусом реактора, что приведет к неоправданным тепловым потерям, с другой стороны ограничениями по высоте слоя топлива в реакторе. Последнее ограничение обусловлено формированием по высоте реактора определенных зон, химизм протекания реакций в которых различен. Для наибольшей полноты сгорания твердого топлива необходимо, чтобы в реакторе была сведена к минимуму восстановительная зона, в которой происходят реакции восстановления продуктов полного сгорания, образуемых в окислительной зоне реактора. Таким образом, существует ограничение по высоте слоя топлива, находящегося в реакторе. До получения уточненных сведений об особенностях слоевого сжигания топлив в ТППД следует исходить из рекомендаций, приведенных в литературе [4], ограничивая высоту слоя не более чем 3...5 см. Основные характеристики реактора и засыпки, принятые при моделировании, приведены в таблице 1. Методика расчета параметров засыпки дана в работе [3].

Таблица 1. Основные характеристики реактора и засыпки

Параметр	Знач.
Средний диаметр частиц в верхнем слое d_{1cp} , см	0,512
Зольность топлива, %	15
Диаметр реактора D , см	3,00
Высота реактора L , см	4,00
Плотность твердого топлива	1,35
Диаметр частиц, проходящих через колосниковое полотно d_{ncp} , см	0,272
Коэф. убывания диаметра частиц	0,936
Количество слоев	9,505
Количество частиц в реакторе, шт.	527,1
Объем частиц в реакторе, см ³	16,32
Площадь частиц в реакторе, см ²	221,84
Коэффициент засыпки реактора	0,58
Площадь просвета, см ²	1,52
Коэффициент перекрытия слоев	1,14
Масса топлива в слое, кг	0,022
Кол-во циклов до выгорания засыпки	854,03

Расчетные графические зависимости изменения давления, температуры, скорости и коэффициента тепловыделения в рабочем цилиндре ТППД для степеней сжатия 6, 10, 14, 18, 22 представлены на рис. 1. На рис. 2 показано изменение основных показателей рабочего процесса как функция степени сжатия. На всех рисунках случай с охлаждением заряда показан пунктирной линией.

Как видно из рис. 2, индикаторный КПД цикла (η_i) с увеличением степени сжатия (ϵ) возрастает, а индикаторный расход топлива (g_i) снижается. Данные зависимости не линейны и имеют вид, характерный для других типов поршневых двигателей.

Следует отметить две тенденции:

- увеличение ϵ сначала приводит к интенсивному росту индикаторного КПД, затем этот рост значительно замедляется. Так, для цикла без охлаждения заряда, при увеличении ϵ с 6 до 12, η_i возрос на 29,14%, в то время как при увеличении ϵ с 12 до 18 отмечается возрастание η_i всего на 7,9 %.

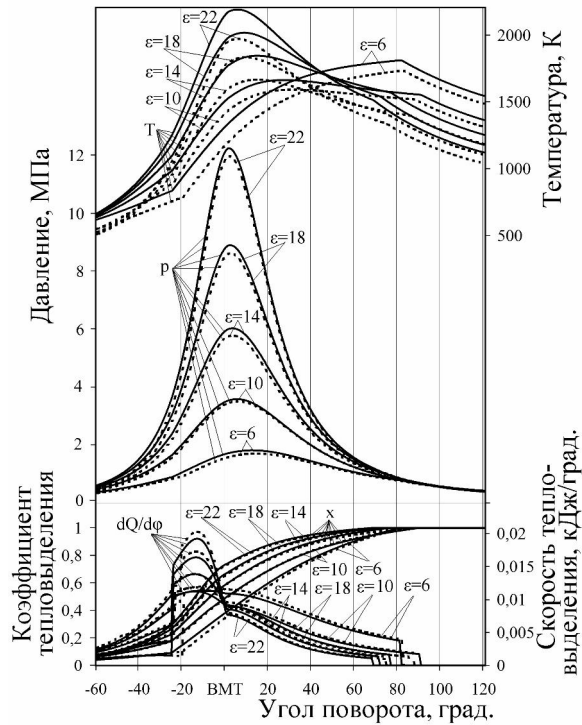


Рис. 1. Расчетные графические зависимости изменения давления, температуры, скорости и коэффициента тепловыделения в рабочем цилиндре ТППД

- с увеличением степени сжатия охлаждение заряда приводит к более значительному росту η_i . Если при $\epsilon = 6$ охлаждение заряда ведет к возрастанию η_i всего на 0,65 %, то при $\epsilon = 22$ η_i повышается на 4,6 %. При этом практически линейно возрастает угол окончания испарения ($\phi_{исн.}$) [2] и объем воды, необходимой на охлаждение заряда ($V_{вод.}$).

Несколько не традиционный для классических ДВС вид имеет график изменения максимальной температуры цикла (T_z). Максимальная температура с увеличением ϵ сначала снижается (для рассматриваемого случая до $\epsilon = 9$), а затем снова начинает возрастать. Данное явление объясняется тем, что в ТППД с увеличением ϵ значительно изменяются условия подвода теплоты при продувке слоя. При небольших значениях ϵ плотность заряда, поступающего в слой в течение продувки, изменяется очень незначительно, поэтому выделение теплоты и рост температуры практически пропорционален перемещению вытеснителя. Это хорошо видно из графиков

тепловыделения на рис. 1. Коэффициент тепловыделения (x) возрастает, практически линейно повторяя закон перемещения вытеснителя. При этом максимум температуры совпадает с углом конца продувки слоя ($\varphi_{к\ прод.}$) (см. рис. 1). Таким образом, углы достижения максимального значения температуры и давления (соответственно $\varphi_{T_{max}}$ и $\varphi_{p_{max}}$), сдвигаются на линию расширения, что снижает эффективность рабочего процесса и повышает теплонапряженность деталей двигателя.

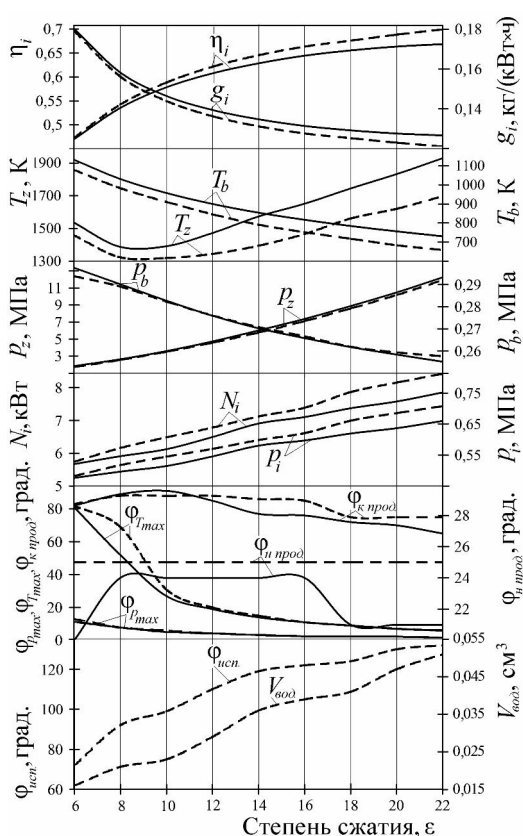


Рис. 2. Изменение основных показателей рабочего процесса ТППД, как функция степени сжатия

С увеличением ϵ более 9, значительное приращение объема рабочего пространства приводит к быстрому снижению плотности заряда, поступающего в слой на линии продувки, большая часть которой совпадает с линией расширения. В результате этого интенсивность подвода теплоты после ВМТ значительно падает, и как результат максимум температу-

ры уже не совпадает с углом окончания продувки, а лежит на перегибе графика в непосредственной близости от ВМТ. Максимальное давление цикла (p_z) практически линейно возрастает с увеличением ϵ и при $\epsilon > 12$ практически совпадает с ВМТ. Таким образом, существует оптимальная степень сжатия, для которой при заданных условиях может быть достигнута минимальная температура цикла при достаточно высокой эффективности рабочего процесса. Для рассматриваемых условий, минимум температуры достигается в интервале значений степени сжатия 8...10, оптимальная эффективность при приемлемой максимальной температуре 12...14.

Следует отметить, что для всех рассмотренных случаев оптимальный угол начала продувки ($\varphi_{и\ прод.}$) составлял 21...25° до ВМТ.

На повышение эффективности рабочего процесса с увеличением ϵ указывает и монотонное снижение температуры (T_b) и давления (p_b) отработавших газов, а также практически линейное возрастание индикаторной мощности (N_i) и среднего индикаторного давления (p_i) цикла.

Выводы

Исходя из результатов исследования можно сделать следующие выводы:

- с увеличением степени сжатия охлаждение заряда приводит к более значительному росту η_i . Если при $\epsilon = 6$ охлаждение заряда приводит к возрастанию η_i всего на 0,65 %, то при $\epsilon = 22$ увеличение составляет 4,6 %;

- существует оптимальная степень сжатия, для которой при заданных условиях может быть достигнута минимальная температура цикла при достаточно высокой эффективности рабочего процесса. Для рассматриваемых условий, минимум температуры достигается в интервале значений степени сжатия 8...10, оптимальная эффективность при приемлемой максимальной температуре 12...14.

Список литературы:

1. Двигатели внутреннего сгорания. Описательный курс / Алексеев В.П., Костыгов Н.И., Круглов М.Г. и др., под ред. проф. Орлина А.С. // М.: Гос. научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960. – С. 331-335. 2. Белоусов Е.В. Создание и совершенствование твердотопливных поршневых двигателей внутреннего сгорания. – Хер-

сон: ОАО ХГТ, 2006.– 451с. 3. Белоусов Е.В., Белоусова Т.П. Моделирование процесса формирования слоя твердого топлива в реакторе твердотопливного поршневого двигателя со слоевым сжиганием // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: изд. НТУ«ХПИ» – 2006. – № 2. – С. 126-130. 4. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.

УДК 621.56

**А.И. Крайнюк, д-р техн. наук, М.А. Брянцев, инж.,
А.А. Крайнюк, канд. техн. наук, В.И. Кашиба**

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГАЗОВОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ С
КАСКАДНЫМ ОБМЕННИКОМ ДАВЛЕНИЯ**

Введение

Использование принципов каскадного обмена давлением для организации рабочего процесса газовых (воздушных) холодильных машин раскрывает перспективу значительного повышения энергетической эффективности производства глубокого холода в установках, не содержащих озоноразрушающих хладагентов.

Каскадные обменники давления (КОД) представляющие собой новую разновидность устройств, характеризуются высокой эффективностью обменных процессов (в испытанных образцах – до 82%), наряду с простотой и высокой надежностью конструкции. Частота вращения ротора КОД (2000...2800 мин⁻¹) значительно ниже турбо и волновых агрегатов. К несомненным достоинствам КОД относится также невысокая чувствительность к неполноте вытеснения из ячеек ротора сжимаемой среды. Устройство и принцип действия КОД изложены в работах [1, 2, 3].

Отмеченные свойства КОД позволяют создать бескомпрессорную воздушную холодильную установку (ВХУ) на базе двух агрегатов КОД, один из которых работает в режиме детандера-компрессора, другой – умножителя расхода, сжатого в первом агрегате воздуха. Принцип действия такого устройства

бескомпрессорного ВХУ КОД (см. рис. 1) раскрыт в работе [4].

Постановка задачи

Целью настоящей статьи является изложение основных положений математической модели поиска режимов совместной работы составных агрегатов ВХУ КОД.

В качестве исходных данных расчета задаются температура среды после источника подвода теплоты T_5 , конструктивные параметры и частота вращения КОД, характеристики теплообменников.

Подлежат определению хладопроизводительность и затраты тепловой и механической энергии на осуществление рабочего цикла ВХУ КОД.

Решение

Основными допущениями расчета являются: одномерность течения рабочих сред в проточных элементах системы, отсутствие тепловых и механических потерь в соединительных магистралях, утечек в подвижных сопряжениях ротора КОД. Дополнительно полагается неизменной напорность $\Delta P_{ЦВ}$ циркуляционного вентилятора ЦВ в предполагаемом диапазоне поиска расчетных значений расходов сред в напорных линиях ВХУ КОД.