

УДК 621.43: 62-66: 62-62

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАЧАЛА ПОДЪЕМА
ВЫТЕСНИТЕЛЯ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ***Белюсов Е.В., к.т.н., доц.**Херсонский факультет Харьковского национального автомобильно-дорожного университета**73028, м. Херсон, вул. І.Кулика, 130**E-mail: ewbelousov@yandex.ru*

Розглянуті питання вдосконалення робочого процесу твердопаливного поршневого двигуна з шаровим спалюванням палива шляхом оптимізації початку продувки шару. Показано, що існує як мінімум два критерії оптимізації - за максимальною потужністю або за максимальною ефективністю.

Ключевые слова: твердопаливний поршневий двигун, шарове спалювання, витискач.

The article is devoted to the questions of improvement of working process with incineration of fuel in a stratum by optimization of the beginning of blowdown. It is shown, that there exists as a minimum two criteria of optimization: on a maximum power or on peak efficiency.

Key words: solid-fuel reciprocating engines, incineration in a layer, displace.

Актуальность проблемы. Постоянный рост цен на нефть и прогнозы относительно исчерпания ее ресурсов в недалеком будущем делают актуальной проблемой современности расширение топливной базы поршневых двигателей за счет использования возобновляемых и невозобновляемых ресурсов. К наиболее перспективным невозобновляемым ресурсам следует отнести угли различных сортов, которые в тепловом эквиваленте составляют более 88% энергетических запасов планеты [1]. В этой связи разработка новых методов прямого сжигания твердых топлив в ДВС и исследование влияния различных факторов на их эффективность также приобретают особую актуальность.

Анализ литературных источников. Проблема использования угольного топлива в поршневых двигателях не нова. Однако попытки ее решения путем простого конвертирования существующих дизельных двигателей для работы на угольных суспензиях с дизельным топливом (ДТ) или водой показали, что при таком подходе возникает ряд трудностей, преодоление которых связано с большими, порой неоправданными, материальными затратами [2-4]. Очевидно, что наряду с традиционными, проблема требует принципиально новых подходов к своему решению. Одним из возможных вариантов является разработка принципиально новых методов получения рабочего тела, в частности, путем принудительной продувки предварительно сжатого в рабочем цилиндре заряда через слой разогретого твердого топлива [4]. Особенности конструкции и рабочего процесса твердопаливного поршневого двигателя (ТПД) позволяют эффективно воздействовать на процесс путем управления продувкой слоя твердого топлива. Учитывая ограниченность информации о данном методе, далее кратко будет изложена его суть.

Основной конструкционной особенностью ТПД является то, что топливо сжигается не в рабочем цилиндре, а в специальном выносном устройстве – реакторе. В свою очередь, реактор состоит из топочной 1 и вытеснительной 2 камер, которые разделены вытеснительным поршнем 3, выполняющим одновременно функции золотникового распределителя (рис. 1). Топочная и вытеснительная камеры соединяются между собой каналом 4, а с рабочим цилиндром - каналами 5 и 6, которые попеременно перекрываются вытеснителем. Твердое топливо, заполняющее топочную камеру, все время находится в активированном состоянии, т.е. имеет температуру, достаточную для протекания окислительных реакций с кислородом воздуха. При сжатии воздушный заряд поступает по каналу 6 в вытеснительную камеру 2. При приближении поршня к верхней мертвой точке (ВМТ) вытеснитель начинает подниматься, перекрывая канал 6 и открывая канал 5. Воздух из вытеснительной камеры по каналу 4 поступает под слой топлива. Проходя через слой, кислород вступает в реакции с образованием горячих продуктов сгорания, которые по каналу 5 попадают в рабочий цилиндр и совершают работу расширения. Процессы газообмена в ТПД аналогичны процессам в классических ДВС.

Для анализа особенностей протекания термодинамического цикла ТПД была разработана математическая модель, основанная на определении энергетического баланса в цилиндре двигателя, исходя из положений первого закона термодинамики. Модель была дополнена подмоделями формирования слоя в реакторе и сгорания твердого топлива при принудительной продувке. Подмодель реактора определяет порядок залегания частиц топлива в слое и характеристики принудительной продувки. Подмодель сгорания позволяет определить количество

теплоты, подведенной к рабочему телу в ходе продувки, изменение состава газовой смеси при выгорании топлива, изменение газовой постоянной и теплоемкости смеси.

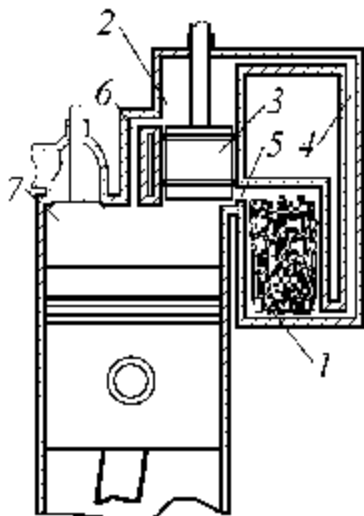


Рисунок 1 – Схема ТТПД

Цель работы. Исследование влияния начала продувки, которое совпадает с началом подъема вытеснителя, на характер протекания термодинамического цикла.

Материал и результаты исследования. В качестве объекта моделирования был принят ТТПД на базе дизеля Д-144. Все расчеты выполнялись для одного цилиндра. Основные геометрические характеристики двигателя, принятые в расчете, приведены в табл. 1, параметры рабочего тела на входе в двигатель – в табл. 2. Расчетные характеристики залегания частиц топлива в выносном реакторе, выполнены по методике, приведенной в работе [5], и представлены в таблице 3.

Под коэффициентом заполнения реактора понимается отношение объема засыпанного топлива к полному объему реактора, а под площадью частиц в слое - площадь проекции частиц топлива на основание цилиндрического реактора. Разность между площадью основания реактора и площадью частиц определяет величину просвета, через который осуществляется продувка.

Модель реактора учитывает изменение геометрических параметров слоя по высоте, которые меняются в процессе выгорания частиц топлива.

Таблица 1 – Геометрические характеристики ТТПД

Диаметр цилиндра, м	0,105
Ход поршня, м	0,11
Длина шатуна, м	0,4
Степень сжатия геометрическая	20
Тактность двигателя	4
Частота вращения, мин ⁻¹	1500
Рабочий объем, дм ³	0,952
Полный объем, дм ³	1,009
Объем камеры сгорания, дм ³	0,056
Действительная степень сжатия	17,22
Доля потеряннного хода на газообмен	0,045

Таблица 2 – Параметры воздушного заряда на входе в двигатель

Температура остаточных газов, К	850
Давление остаточных газов, МПа	0,12
Коэффициент остаточных газов	0,03
Давление на входе, МПа	0,103
Температура на входе, К	293
Степень подогрева заряда, К	40,0
Потери давления на впуске, МПа	0,019
Давление в конце впуска, МПа	0,085
Плотность воздуха на входе, кг/м ³	0,850
Коэффициент наполнения	0,720
Температура в конце газообмена, К	349,7

Таблица 3 – Распределение частиц в элементарных слоях по высоте реактора, основные характеристики засыпки

Слой №	Средний диаметр частиц в слое, см	Количество частиц в слое, шт.	Объем частиц в слое, см ³
1	0,512	26,951	2,162
2	0,479	30,787	2,023
3	0,448	35,168	1,893
4	0,419	40,174	1,771
5	0,392	45,891	1,657
6	0,367	52,423	1,551
7	0,343	59,884	1,451
8	0,321	68,407	1,357
9	0,301	78,143	1,270
10	0,281	89,264	1,188

Коэффициент заполнения реактора – 0,683

Площадь частиц в слое, – 22,184 см²

Площадь просвета, – 1,519 см²

В качестве топлива принимался кусковой антрацит, основные характеристики которого приведены в табл. 4. Учитывая то, что выгорание топлива происходит не в рабочем цилиндре, а в отдельном реакторе, вынос зольных частиц из которого может быть значительно снижен, зольность топлива была принята достаточно высокой. Это позволяет значительно снизить затраты на топливо, используемое в ТТПД.

Таблица 4 – Основные характеристики твердого топлива

Низшая теплота сгорания МДж/кг	34,9	Элементарный состав:	
Средний диаметр частиц на входе в реактор, см	0,512	углерод	0,95
Средний диаметр частиц на выходе из реактора, см	0,272	водород	0,03
Зольность топлива, %	15	кислород	0,02

Результаты моделирования изменения температуры и давления в ходе цикла для различных сценариев принудительной продувки слоя представлены

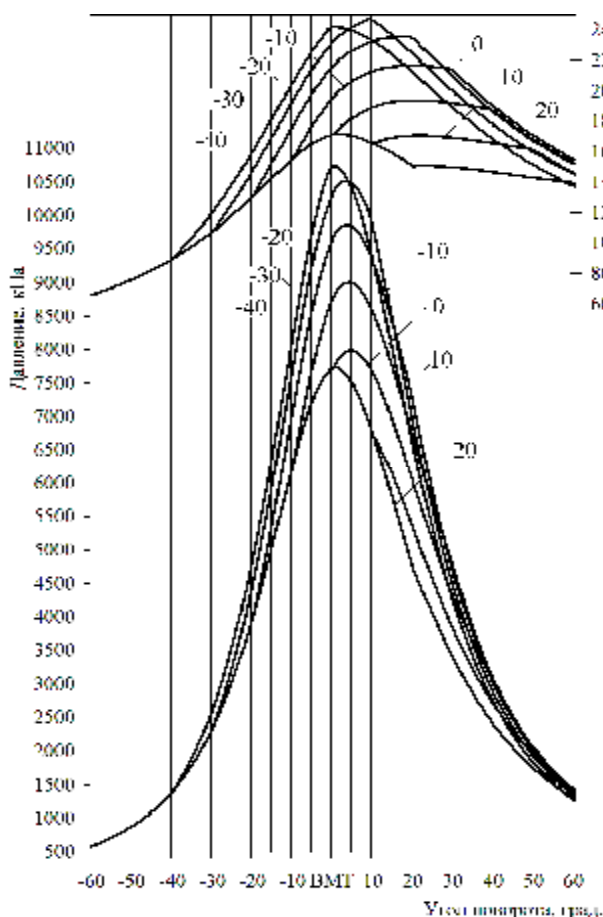


Рисунок 2 – Изменение температуры и давления в зависимости от угла начала подъема вытеснителя

Из представленных данных видно, что момент начала подъема вытеснителя оказывает существенное влияние на рабочий процесс ТТПД. По аналогии с углом начала впрыска топлива в дизелях обозначим этот угол как $\varphi_{\text{прод}}$. Более раннее начало продувки ($\varphi_{\text{прод}} = 20...40^\circ$ до ВМТ) приводит к значи-

Для данного исследования закон перемещения вытеснителя был принят линейным. Продолжительность подъема принималась равной 40° п.к.в. Было смоделировано семь случаев для начала подъема вытеснителя за $40, 30, 20, 10^\circ$ до ВМТ, в ВМТ, а также $10, 20^\circ$ после ВМТ. При окончательном выводе данных расход угольного топлива пересчитывался на условное топливо с теплотой сгорания $42,7$ МДж/кг.

на рис. 2. На рис. 3 показано влияние изменения угла начала подъема вытеснителя на основные характеристики ТТПД.

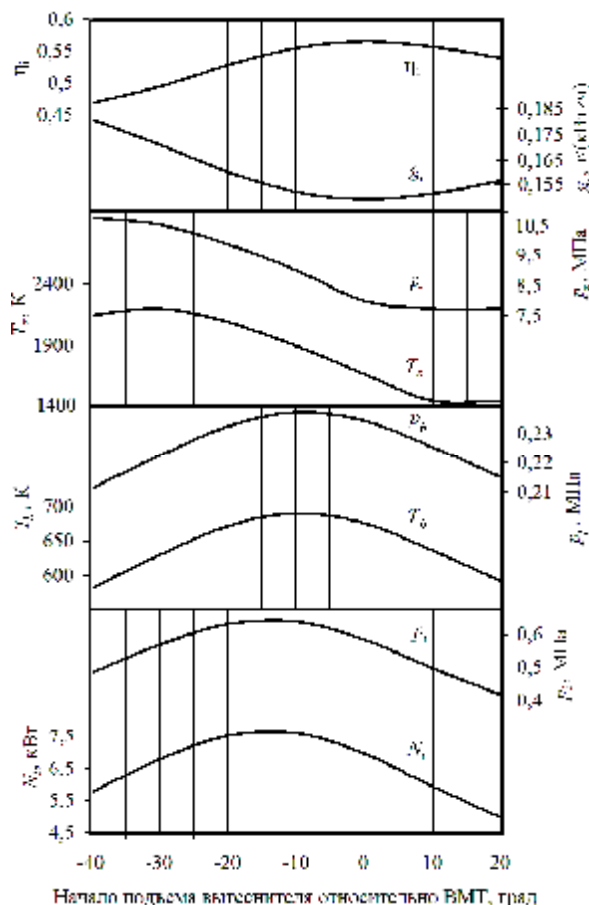


Рисунок 3 – Влияние угла начала подъема вытеснителя на основные характеристики ТТПД

тельному повышению максимальных давления (p_2) и температуры (T_2) цикла. При этом совершается большая отрицательная работа на линии сжатия, что приводит к ухудшению индикаторных показателей рабочего процесса, уменьшению мощности (N_i) и увеличению расхода условного топлива (g_i). Высо-

кие давления приведут к увеличению механических потерь в двигателе, а высокие температуры повысят теплонапряженность деталей ЦПГ. В этой связи следует ожидать значительного снижения эффективных показателей двигателя.

При изменении момента начала продувки от -20° до 0° наблюдается значительное снижение p_z и T_z . Оптимизируется выделение теплоты относительно ВМТ, в результате чего мощность и среднее индикаторное давление (p_i) достигают своего максимума ($\varphi_{\text{прод}} \approx -14^\circ$). В этом же диапазоне максимума достигают температура (T_b) и давление (p_b) отработавших газов ($\varphi_{\text{прод}} \approx -8^\circ$). Таким образом, можно считать, что эти параметры как более доступные для контроля могут использоваться для оценки эффективности рабочего процесса ТППД. Максимальная эффективность и минимальный расход топлива достигаются при $\varphi_{\text{прод}} \approx 0^\circ$, однако этот режим продувки приводит к снижению мощности. Следовательно, для ТППД, как и для большинства других поршневых двигателей, не существует единого критерия оптимизации. В зависимости от конкретных условий, изменением начала продувки рабочий процесс может быть оптимизирован или по максимальной мощности, или по максимальной эффективности.

При увеличении угла начала продувки от 0° до 20° подвод теплоты происходит на линии расширения, в результате чего параметры рабочего процесса снова ухудшаются. Максимальные значения p_z и T_z на рассматриваемом участке снижаются до значений, соответствующих концу сжатия p_c и T_c . Таким образом, для рассматриваемого случая оптимальный угол начала продувки лежит в диапазоне от -14° до ВМТ.

Следует отметить, что влияние момента начала продувки на рабочий процесс ТППД в значительной мере сходно с влиянием начала подачи топлива форсункой в дизелях или момента подачи искры в бензиновых двигателях. Общие закономерности указывают на то, что опыт, накопленный при проектировании поршневых двигателей, может быть в определенной степени полезен и при проектировании двигателей на твердом топливе.

Выводы. Проведенные численные исследования влияния начала продувки на рабочий процесс ТППД позволяют сделать следующие выводы:

– изменение момента начала продувки слоя топлива способно значительно воздействовать на характер протекания термодинамического цикла дви-

гателя. В рассматриваемом диапазоне регулирования изменения индикаторной мощности составили 15,7%, максимального индикаторного давления и температуры цикла 38,8 и 48,4% соответственно, индикаторных КПД и удельного расхода топлива 13,2 и 15,2% соответственно;

– для рассмотренного случая оптимальное значение угла начала продувки лежит в диапазоне от -14° до ВМТ, при этом первое значение диапазона соответствует максимальной мощности, а последнее – максимальной эффективности двигателя;

– влияние момента начала продувки на рабочий процесс ТППД в значительной мере сходно с влиянием начала подачи топлива форсункой в дизелях или момента подачи искры в бензиновых двигателях. Это позволяет считать, что опыт проектирования этих двигателей может быть полезен при разработке ТППД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канило П.М., Бей И.С., Ровенский А.И. Автомобиль и окружающая среда. Харьков: Прапор, 2000. – 304 с.
2. Cooper-Bessemer coal-fueled engine system-progress report / Rao A.K., Wilson R.P., Balles E.N., Mayville R.A., McMillian M.H., Kimberley J.A. // «ASME Transactions – Journal of Engineering for Gas Turbines and Power», Vol. 110, № 3. – 1988. – P. 498-506.
3. Caton J.A., Rosegay K.H. A Review and Comparison of Reciprocating Engine Operation Using Solid Fuels // «Transactions of the Society of Automotive Engineers», Vol. 82, №831362. – 1984. – P. 1108-1124.
4. Белоусов Е.В. Создание и совершенствование твердотопливных поршневых двигателей внутреннего сгорания. – Херсон: ОАО ХГТ, 2006. – 451 с.
5. Белоусов Е.В., Белоусова Т.П. Моделирование процесса формирования слоя твердого топлива в реакторе твердотопливного поршневого двигателя со слоевым сжиганием // Двигатели внутреннего сгорания. Всеукраинский научно-технический журнал. – Харьков: изд. НТУ(ХПИ) – 2006. – № 2. – С. 126-130.

Статья поступила 6.11.2007.

Рекомендовано к печати д.т.н., проф.
Солтусом А.П.