

ние оптимальной величины добавки, лежащей в диапазоне значений $m_{H_2} = 1,5 \dots 2,0$ % и обеспечивающей максимальное относительное сокращение удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что водородные добавки являются весьма эффективным способом повышения экономических и энергетических показателей судовых высокооборотных ДВС при высоких температурах окружающего воздуха, а их малая величина (1...2 %) не создает особых проблем, связанных с производством и хранением водорода на борту судна.

Выводы

1. Применение небольших (1...2 %) добавок водорода к топливу компенсирует отрицательное влияние повышения температуры воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя, на его экономические и энергетические показатели, обеспечивая сокращение

относительного (отнесенного к удельному расходу водорода) удельного эффективного расхода дизельного топлива на 2...6 % и увеличение относительного приращения КПД двигателя на 1...5 %.

2. С повышением температуры воздуха, подаваемого в цилиндры, и уменьшением нагрузки на двигатель эффект от использования водородных добавок возрастает.

Список литературы:

1. Гладков О.А., Лерман Е.Ю. Создание малотоксичных дизелей речных судов. Л.: Судостроение, 1990.
2. Мельник Г.В. Водород – энергоноситель XXI века // Двигателестроение. – № 3 (221). – 2005. – С. 48–49.
3. Сирота А.А., Чураков А.И. Испытания судового высокооборотного ДВС с добавками водорода // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. – № 2. – С. 81–84.

УДК 426.43.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В РЕАКТОРЕ ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ СО СЛОЕВЫМ СЖИГАНИЕМ

Введение

Важным аспектом научно-технического прогресса, на данном этапе и в ближайшей перспективе, является поиск альтернативных топлив для поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Это объясняется, с одной стороны, постоянным ростом цен на нефть, продукты переработки которой традиционно используются в качестве топлив для ДВС, а с другой стороны, чрезвычайно высокой распространенностью данного типа двигателей во всех сферах хозяйственной деятельности человека. Одним из

перспективных направлений в расширении топливной базы поршневых ДВС является исследование возможности использования для них в качестве моторного твердых топлив и суспензий на их основе. В последние десятилетия достигнут заметный прогресс в данном направлении, однако многие вопросы остаются неисследованными.

1. Анализ литературных источников

Наряду с объемными методами сжигания твердых топлив в составе различного рода суспензий [1], перспективным направлением в области их исполь-

зования в ДВС является слоевое сжигание крупных частиц топлива в специальном выносном реакторе, имеющем с рабочим цилиндром общий тепло- и массообмен [2]. Второе направление является наименее изученным. В частности, неисследованным является вопрос формирования структуры слоя твердого топлива с узким гранулометрическим составом в ограниченном пространстве реактора двигателя.

Все известные работы по слоевому сжиганию были выполнены для слоя с широким гранулометрическим составом и неограниченного в пространстве [3]. В то же время такие параметры слоя, как изменение размеров части по высоте, коэффициент заполнения объема реактора, суммарная площадь частиц топлива в отдельных зонах слоя и в реакторе в целом, аэродинамическое сопротивление засыпки и др., могут оказывать существенное влияние на рабочий процесс двигателя.

2. Цель работы

В данной работе предпринята попытка смоделировать процесс формирования и динамику изменения параметров слоя в ходе выгорания частиц твердого топлива в реакторе двигателя и с помощью модели исследовать характеристики слоя и влияние отдельных факторов на них.

3. Решение проблемы

Особенностью формирования слоя при слоевом сжигании в реакторе твердотопливного поршневого двигателя (ТТПД) является то, что слой ограничен стенками реактора сравнительно небольших размеров (размер реактора и размер поступающих в него частиц имеют или один порядок, или отличаются не более, чем на порядок), что оказывает влияние на характер залегания частиц в слое. Для предотвращения выноса частиц из зоны горения в рабочий цилиндр поступающее в реактор топливо не должно содержать мелких частиц. Кроме того, слой топлива должен обладать сравнительно небольшим аэродинамическим сопротивлением, чтобы обеспечить его

эффективную продувку. В этой связи частицы подаваемого топлива должны отличаться друг от друга по размерам не более, чем на порядок. Такие требования значительно отличают условия формирования структуры слоя твердого топлива в реакторе ТТПД от процесса формирования слоя на колосниковом полотне в других топочных устройствах.

Для моделирования параметров слоя примем ряд допущений:

– предположим, что все частицы имеют сферическую форму и бимодальное распределение по размерам как внутри отдельных слоев, так и по всей высоте слоя. При этом в пределах слоя их размеры изменяются от d_1 до d_2 , где d_1 – диаметр самых крупных частиц, поступающих в топочную камеру, d_2 – диаметр самых мелких частиц;

– размер d_1 больше, чем d_2 не более, чем на порядок;

– в процессе выгорания частицы своей формы не меняют, а только пропорционально уменьшаются в диаметре.

Чтобы упростить задачу, будем считать, что в реактор поступают частицы одного, усредненного, размера, для нахождения которого могут быть использованы известные методики. При исследовании средний по слою диаметр частиц определялся как среднеарифметическое, среднеобъемное, среднеповерхностное значение обмерянных частиц [4]; однако в исследованном диапазоне размеров наиболее точное соответствие экспериментальным данным давала методика, предложенная Заутером (d_{32}). Далее в расчетах использовалась именно эта методика.

Для определения количества частиц, которое может одновременно находиться в элементарном i -том слое внутри цилиндрического реактора, использовалось следующее выражение:

$$n_{\text{час.}i} = \frac{D^2 \pi}{4d_{32i}^2},$$

где D – диаметр реактора.

Данное выражение позволяет определить количество частиц в слое для широкого диапазона изменения их размеров при хорошем соответствии экспериментальным данным, что видно из рис. 1.

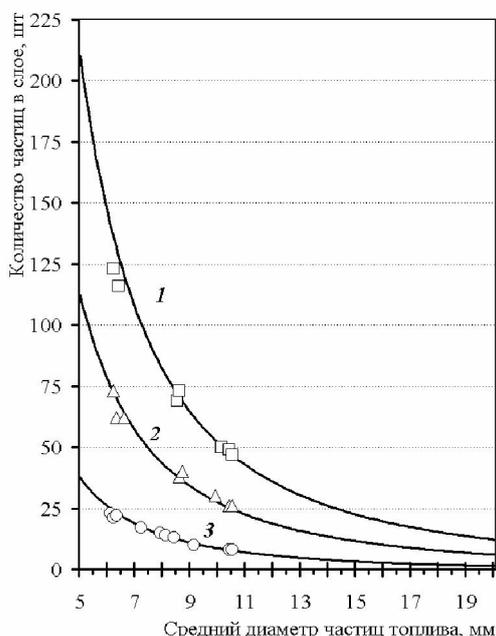


Рис. 1. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных; 1, 2, 3 – количество частиц в слое для реактора диаметром 82, 60 и 35 мм, соответственно.

Вся засыпка реактора состоит из нескольких элементарных слоев, верхний из которых формируется из частиц, имеющих усредненный диаметр для частиц, поступающих в реактор ($d_{1cp} = d_{32}$). Размер частиц нижнего слоя определяется размером щелей в колосниковом полотне топочной камеры. По мере выгорания частицы опускаются на более низкий уровень, пропорционально уменьшаясь в диаметре. Таким образом, под элементарным слоем следует понимать элемент слоя, состоящего из одного ряда частиц одного осредненного диаметра. Высота элементарного слоя определяется средним диаметром частиц. Схематически процесс изменения размеров частиц показан на рис. 2.

Каждый последующий слой частиц имеет диаметр меньший, чем диаметр частиц предыдущего

слоя на величину коэффициента уменьшения, который находится из условий, показанных на рис. 2, и может быть определен из выражения:

$$k = \frac{d_{2cp}}{d_{1cp}} = \frac{1 - tg\alpha}{1 + tg\alpha},$$

где $tg\alpha$ находим из выражения:

$$tg\alpha = \frac{(d_{1cp} - d_{ncp})}{2 \times l} = \frac{(d_{1cp} - d_{ncp})}{(2L - d_{1cp} - d_{ncp})}$$

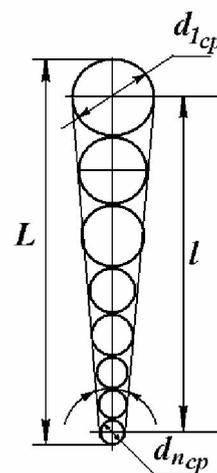


Рис. 2. Изменение размеров частиц по высоте реактора

Количество элементарных слоев в реакторе может быть определено из выражения:

$$n_{сл.} = \frac{(\ln d_{ncp}) / d_{1cp}}{\ln k} \times b,$$

где b – коэффициент, учитывающий взаимное проникновение частиц одного слоя в нижележащий слой. Для сферических частиц он может быть найден из выражения:

$$b = \frac{1 + k}{\sqrt{1 + 2k}}.$$

Для частиц другой формы этот коэффициент может быть определен экспериментально.

Диаметр d_{ncp} выбирается из условия максимального выгорания органической массы топлива. К моменту достижения частицей диаметра, при котором она может пройти через колосниковое полотно

реактора, в ней должна остаться только зольная составляющая. Исходя из этого условия, зная зольность используемого топлива (A (%)), можно найти наименьший диаметр частиц на выходе из слоя, используя выражение:

$$d_{n_{cp}} = d_{1_{cp}} \sqrt[3]{A/100}.$$

Применение топлива с меньшей зольностью, чем расчетная, приведет к увеличенным потерям горючей массы с золой. На рис. 3 показаны расчетные зависимости между начальным и конечным диаметром частиц топлива в зависимости от его зольности.

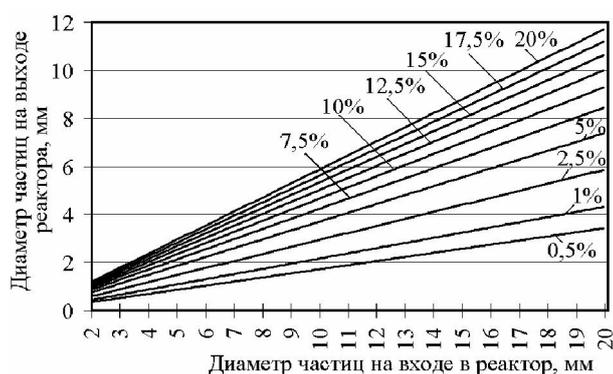


Рис. 3. Расчетные зависимости между начальным и конечным диаметром частиц топлива в зависимости от его зольности.

Анализируя представленную диаграмму, можно сделать важный практический вывод: для обеспечения надежной работы колосникового полотна и для гарантированного удаления частиц золы из зоны горения при выборе топлива ориентироваться необходимо на топлива со сравнительно высокой зольностью. Это позволит поддерживать достаточную величину зазора между колосниками, чтобы частицы золы удалялись из реактора под собственным весом. Использование таких топлив значительно удешевит их предварительную подготовку к использованию в ТТВД.

Из рис. 4 видно, что суммарный объем частиц в реакторе и как следствие, плотность засыпки (соотношение объемов частиц и реактора), при уменьше-

нии среднего размера подаваемых в реактор частиц, до некоторого значения имеют максимумы, носящие периодический характер. При неоптимальном диаметре входящих частиц, в реакторе остается свободное пространство, которое не может быть заполнено, так как высота этого пространства меньше размера входящих частиц. При дальнейшем уменьшении размеров периодические колебания плотности засыпки прекращаются, а влияние размеров частиц на плотность ослабевает. Можно предположить, что оптимальными для данного реактора размерами подаваемых частиц являются величины, лежащие в интервале между границей периодических колебаний плотности и участком, на котором резко снижается влияние размеров частиц на плотность засыпки. Для рассматриваемого случая это интервал 0,4...0,6 см.

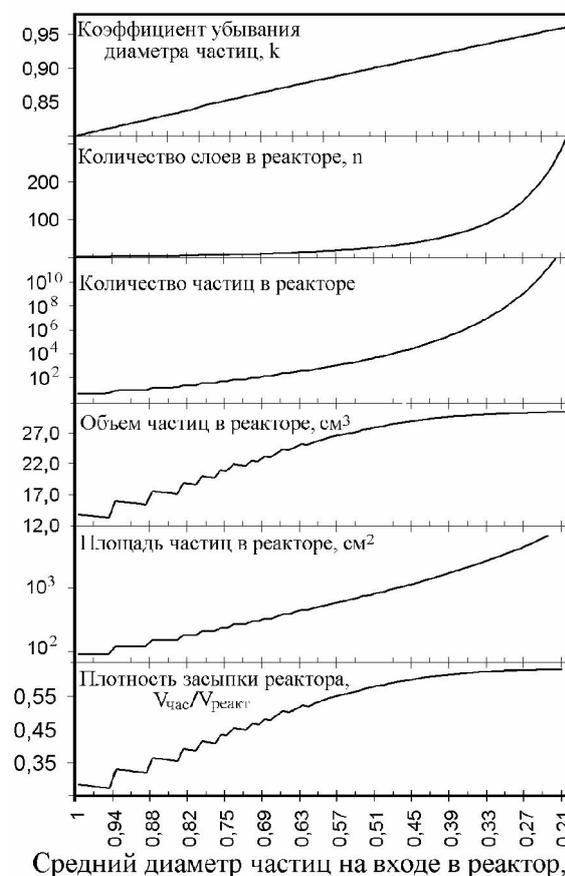


Рис. 4. Изменение основных характеристик слоя как функция размера частиц, поступающих в реактор диаметром 35 мм и высотой 50 мм.

Снижение размеров частиц ниже этих значений не дает никаких преимуществ, а только ведет к увеличению аэродинамического сопротивления слоя.

Выводы

1. Расчеты показали, что засыпка реактора, состоящая из частиц с узким гранулометрическим составом, может иметь сравнительно высокую плотность, что сокращает непродуктивное выгорание топлива в процессе сжатия воздушного заряда [5].

2. При выборе топлива для сжигания слоевым методом в ТПД, рациональней ориентироваться на топлива с достаточно высокой зольностью (10...20%).

3. Для каждого реактора существует оптимальный диапазон размеров частиц, который позволяет наиболее полно использовать топочное пространство и снизить влияние сопротивления слоя на рабочий процесс ТПД.

Список литературы:

1. *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.*
2. *Белоусов Е.В. Создание и совершенствование твердотопливных поршневых двигателей внутреннего сгорания. – Херсон: ОАО ХГТ, 2006. – 451 с.*
3. *Основы практической теории горения / Померанцев В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. и др. – Л.: Энергия, 1973. – 263 с.*
4. *Двигатели внутреннего сгорания / Орлин А.С., Вырубов Д.Н., Калиш Г.Г. и др. – М.: МАШГИЗ, 1957. – С. 336-337.*
5. *Белоусов Е.В., Белоусова Т.П. Особенности протекания политропного процесса сжатия в твердотопливных поршневых двигателях со слоевым сжиганием топлива. // Сб. науч. работ УГМТУ. – Николаев: УГМТУ, 2001.– № 3 (375).– С. 84-89.*