

УДК 662.75

## О МЕХАНИЗМЕ ДЕЙСТВИЯ ОКСИДА ПРОПИЛЕНА В КАЧЕСТВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПРИСАДКИ В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ

Цыганков Д.В., к.х.н., доцент кафедры эксплуатации автомобилей  
Суханов А.А., Аренгольд Е.А.,  
студенты гр. АТс-231, III курс  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

### Аннотация:

В работе рассмотрен механизм действия оксида пропилена (ОП) при сгорании топлива в цилиндре дизеля. Поскольку ОП способствует отгонке топлива, то есть ускоряет его испарение, то в цилиндре дизеля его роль заключается в быстром уменьшении размеров и массы впрыснутых капель топлива. Чем меньше размер и масса капель топлива, тем меньше образуется заслон для поступления воздуха к горячей капле из продуктов ее сгорания. Для крупных капель в процессе их горения образуется очень плотный заслон из выделившихся продуктов сгорания, который отсекает поступление воздуха в зону горения, в результате чего горение заканчивается преждевременно, когда еще остается жидкое топливо, из которого и образуется сажа на такте выпуска. ОП выступает как химический дробитель капель топлива, он обеспечивает более длительное горение, что приводит к увеличению работы, уменьшению дымности и снижению жесткости работы дизеля.

**Ключевые слова:** оксид пропилена, дизельное топливо, испаряемость, капли топлива, продукты горения, сажа.

Авторами было установлено, что оксид пропилена (ОП), вводимый в дизельное топливо в количестве 0,1% обеспечивает снижение расхода топлива до 10% и дымности на 30% и более [1]. При объяснении механизма этого, было установлено, что ОП способствует отгонке концевых фракций дизельного топлива, а это возможно только в том случае, если ОП частично или полностью перейдет в процессе испарения в пропиленгликоль (ПГ). Поэтому в дальнейших исследованиях рассматривались не только ОП, но и ПГ, и их смеси. Метод термогравиметрии показал, что в присутствие ОП происходит снижение энергии испарения на 9%, а в присутствие ПГ на 16% [2]. В условиях реального дизеля такое положение приведет к тому, что впрыснутые форсункой капли дизельного топлива под воздействием ОП будут быстрее испаряться и терять свою массу и размеры.

Для дизелей особенно характерна неоднородность смеси. Так коэффициент избытка воздуха составляет 1,2 – 1,6 для максимальной мощности и 6 – 7 для холостого хода, однако это средние значения. На самом деле, в центре струй подаваемого форсункой топлива смесь очень богатая, а по краям камеры сгорания она бедная. Такое положение приводит к неполноте сгорания смеси и как следствие к дымному выхлопу. Так образуется сажа или, по-другому, углерод. При этом основная причина этого недостаточное время горения. Процесс горения рассматривается нами с позиции механизма реакции окисления-восстановления, принятого в органической химии [3, 4]. Окисление определяют как реакцию введения в молекулу атома кислорода и (или) потере атома водорода. Восстановление является обратным процессом. Окисление органических соединений оценивается как переход функциональных групп по категориям окисления в соответствие со степенью окисления атома углерода. В таблице 1 дана интерпретация для метана в соответствии с категорией окисления-восстановления.

Таблица 1

| Категории окисления-восстановления |                                |                                                                                                                                  |                                                                                                                                                 |                                                                      |
|------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| - 4                                | - 2                            | 0                                                                                                                                | + 2                                                                                                                                             | + 4                                                                  |
| CH <sub>4</sub><br>метан           | CH <sub>3</sub> -OH<br>метанол | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$ альдегид<br><br>C<br>углерод | CO<br>окись углерода<br>$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$ карбоновая кислота | CO <sub>2</sub><br>двуокись углерода<br><br>H <sub>2</sub> O<br>вода |

Если время на горение достаточно, то происходит полное сгорание, в результате которого образуется CO<sub>2</sub> и вода, соответствующие категории окисления +4. Если время затрачивается меньше, то частично образуется CO, а если еще меньше – то углерод, соответствующий категории окисления 0. Конечно, время сгорания никто специально не ограничивает в двигателях, однако сгорание прекращается само из-за недостатка кислорода в зоне горения.

Самая неоднородная смесь образуется в дизеле с неразделенной камерой сгорания и объемным смесеобразованием (см. рисунок 1 а).

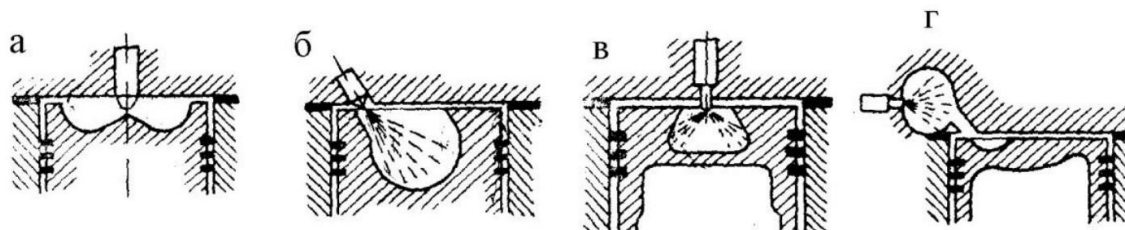


Рисунок 1. – Принципиальные схемы камер сгорания дизелей:

- а – неразделенная камера сгорания с объемным смесеобразованием;
- б, в – неразделенные камеры сгорания с пленочным смесеобразованием;
- г – разделенная камера сгорания с вихревым смесеобразованием

Для компенсации неоднородности смеси стремятся увеличить количество сопловых отверстий форсунки и тонкость распыла. Однако все равно дымность дизеля с такой камерой сгорания самая высокая при этом еще очень высокая жесткость работы, которая обуславливается скоростью нарастания давления ( $dP/d\phi$ ). Это связано с тем, что основная часть дизельного топлива впрыскивается в горящую среду и очень быстро загорается.

Чтобы исправить эти недостатки используют камеры сгорания с пленочным смесеобразованием (см. рисунок 1 б, в). В них основная порция топлива 95% поступает в углубление поршня в виде пленки и 5% в качестве запальной дозы на поршневую кромку. Пленка долго испаряется и горит, в результате чего скорость нарастания давления ( $dP/d\phi$ ) уменьшается и жесткость работы снижается.

Еще один вариант снижения жесткости и дымности – это использование разделенных камер сгорания с вихрекамерным смесеобразованием (см. рисунок 1 г). В таких камерах перемешивание топлива осуществляется по спирали вихревой камеры, отсюда лучше качество смесеобразования и меньше неоднородности смеси. Такая смесь дольше горит и в результате ниже жесткость работы и дымность отработавших газов [5].

В случае использования ОП происходит ускорение испарения топлива, в результате чего смесь получается более однородной как в бензиновом двигателе. Условно все капли топлива, впрыскиваемого форсункой, можно разделить на три группы: мелкие – они испаряются еще до воспламенения топлива в цилиндре, средние – они успевают практически полностью испариться и сгореть до конца процесса сгорания в цилиндре и крупные – они не успевают до конца испариться и сгореть. Основная проблема здесь не в том, что для испарения крупной капли не хватает времени, а в том, что гореть может только испарившееся топливо. В процессе горения в цилиндре идет интенсивный нагрев, с поверхности капли испаряются частицы топлива и перемешиваясь с воздухом активно сгорают. При этом на внешней границе капли образуются продукты сгорания в виде  $CO_2$ ,  $CO$  и  $N_2$  и других соединений. Они создают заслон между испарившимся топливом и кислородом воздуха в цилиндре. Если капля имеет средние размеры, то заслон будет не очень плотным и будет оставаться возможность поступления воздуха в зону горения. Чем крупнее капля, тем плотнее будет заслон и труднее поступление чистого воздуха. В результате горение прекращается раньше времени и остается жидкая фаза, которая на такте выпуска и приводит к образованию сажи. Надо заметить, что сажа в тепловых двигателях всегда образуется, если в процессе горения присутствует жидкое топливо или масло.

ОП способствует тому, что попавшие в цилиндр капли топлива быстро потеряли свою массу и размеры. При этом увеличивается количество мелких и средних капель за счет эффективного испарения крупных. Таким образом, ОП обеспечивает химическое дробление капель топлива внутри цилиндра [6].

Современная система впрыска топлива Common rail обеспечивает тоже самое, но только за счет высокого давления впрыска.

В результате действия ОП сгорание протекает дольше, энергии образуется больше, что способствует увеличению мощности и снижению расхода топлива, при этом образуется меньше сажи и дымность снижается. За счет увеличения продолжительности сгорания снижается жесткость работы двигателя ( $dP/d\phi$ ).

Чтобы убедиться в правильности сделанных выводов, мы провели стендовые испытания на токсические показатели автотракторного дизеля Д-37М. При испытаниях сравнивали показатели токсичности дизеля на обычном дизельном топливе и дизельном топливе с присадкой оксида пропилена в количестве 0,1%. Измерения проводились под нагрузкой при крайнем положении рейки ТНВД. Проверялось содержание таких компонентов, как углеводородные радикалы (СН), угарный газ (СО), углекислый газ (СО<sub>2</sub>), свободный кислород (О<sub>2</sub>), окислы азота (NO<sub>x</sub>). Для измерения использовался газоанализатор ГИАМ-29М-4. С итогом испытаний можно ознакомиться в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний

| компоненты      | Содержание, %                  |                               |                                |                               |                                |                               |
|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                 | При 1000 об/мин                |                               | При 1200 об/мин                |                               | При 1400 об/мин                |                               |
|                 | Дизельное топливо без присадки | Дизельное топливо с присадкой | Дизельное топливо без присадки | Дизельное топливо с присадкой | Дизельное топливо без присадки | Дизельное топливо с присадкой |
| СН              | 0,004                          | 0,004                         | 0,004                          | 0,003                         | 0,004                          | 0,004                         |
| СО              | 0,069                          | 0,090                         | 0,055                          | 0,067                         | 0,067                          | 0,107                         |
| СО <sub>2</sub> | 6,57                           | 6,87                          | 6,38                           | 6,56                          | 6,39                           | 6,87                          |
| О <sub>2</sub>  | 9,03                           | 8,48                          | 9,56                           | 9,13                          | 11,74                          | 8,52                          |
| NO <sub>x</sub> | 0,184                          | 0,189                         | 0,180                          | 0,177                         | 0,129                          | 0,166                         |

В ходе стендовых испытаний выявлено увеличение содержания углекислого газа СО<sub>2</sub>, а также СО и уменьшение содержания кислорода при применении оксида пропилена, что свидетельствует об увеличении времени сгорания и как следствие его полноты.

### Заключение

ОП и ПГ улучшают свойства дизельного топлива — снижают детонацию и токсичность выхлопа, увеличивают мощность и крутящий момент двигателя за счет увеличения полноты сгорания топливовоздушной смеси, очищают топливную систему (работает как ПАВ), а также замедляют образование кислот и смолистых отложений.

С точки зрения системного подхода, все действующие факторы актуальной среды, такие как государство, региональная власть, производители и потребители, могут иметь свою заинтересованность в крупномасштабном производстве и потреблении присадок и добавок на основе оксида пропилена,

поэтому не должно возникнуть существенных противоречий в продвижении данного продукта на рынок [7].

### Список литературы:

1. Многофункциональная присадка к дизельному топливу, патент РФ №2461605 МПК C10L1/18/ А. М. Мирошников, Д. В. Цыганков, И. Б. Текутьев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кузбасский 276 государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева». – 2011114173/04; заявл. 11.04.2011; опубл.20.09.2012, бюлл. №26.
2. Мирошников А. М. Испарение дизельного топлива в присутствии оксида пропилена и пропиленгликоля/ А. М. Мирошников, Д. В. Цыганков, А. В. Полозова// Нефтепереработка и нефтехимия. – 2023. – №6. – с. 3-7.
3. Марч Дж. Органическая химия. Реакция, механизмы и структура. Углубленный курс для университетов и химических вузов: В 4-х т. Т. 4. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 468 с., ил.
4. Мирошников А. М. О механизме действия оксигенатов / А. М. Мирошников, Д. В. Цыганков // Химия и технология топлив и масел. – 2009. - №3, С.28-31.
5. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д. Н. Вырубов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин и др.; Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с., ил.
6. Образование аэрозолей дизельного топлива в присутствии оксида пропилена и его производных. / Д. В. Цыганков, А.М. Мирошников, А.В. Полозова // Научно-исследовательский журнал «Chemical Bulletin» 2025, Том 8, № 4
7. Повышение экологической безопасности автомобильного транспорта за счет использования оксида пропилена в качестве многофункциональной присадки к жидкому моторному топливу / Д. В. Цыганков // Монография, Кемерово, КузГТУ. - 2024