

УДК 621.4

## КАВИТАЦИЯ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЯ

*Н.П. Аюгин, кандидат технических наук, доцент,  
тел. 8 (8422) 55-95-90, nikall85g@yandex.ru,  
Р.Ш. Халимов, кандидат технических наук, доцент,  
тел. 8 (8422) 55-95-90, hrasp29@yandex.ru,  
В.А. Голубев, кандидат технических наук, доцент,  
тел. 8 (8422) 55-95-13  
ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА*

**Ключевые слова:** кавитация, факторы, тепловая напряженность, дизельный двигатель

*Работа посвящена изучению факторов, влияющих на возникновении кавитационных процессов в дизелях и методам снижения негативных последствий кавитации.*

С увеличением мощности дизелей возрастает их тепловая напряженность. Большая тепловая напряженность способствует перегреву дизеля, ухудшению показателей его работы, ускорению износа трибосопряжений двигателя.

Основными показателями оценки работы дизеля, которые не зависят от условий эксплуатации, являются эффективность, экономичность, надежность и долговечность [1]. Данные показатели во многом зависят от способности системы охлаждения обеспечивать оптимальный тепловой режим работы двигателя.

На эффективность работы системы охлаждения дизеля значительное влияние оказывают ее составные части: водяной насос, рубашка охлаждения блока и головки цилиндров, соединительные патрубки. Эффективность работы системы охлаждения во многом зависит от кавитационных процессов, возникающих при системе охлаждения двигателя.

Кавитация приводит к возникновению следующих негативных явлений [2,3]:

- снижение коэффициента полезного действия водяного насоса;
- вызывает непосредственное разрушение поверхностей деталей в зоне ее действия;
- вызывает вибрации.

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости исследования и улучшения эффективности системы охлаждения дизелей.

В исследованиях [3] отмечается, что при кавитации температура жидкости не изменяется, так как к жидкости не подводится тепловая энергия. Вскипание жидкости достигается понижением давления жидкости до давления насыщенных паров. Выделение газов происходит вследствие изменения растворимости газов от давления при постоянной температуре [3].

Исследуя кавитационные явления в центробежных и осевых насосах, авторы отмечают, что образование пузырьков, наполненных паром при кавитации является термодинамическим процессом, определяемым свойствами жидкости: давлением, температурой, скрытой теплотой парообразования и теплоемкостью [4].

Изучению данного процесса были посвящены работы многих ученых. Большинство из них исходило из предположения, что определенное количество пара образуется внутри входной части насоса и что для одной и той же степени развития кавитации отношение объема этого пара к объему смеси жидкость – пар должно быть одинаковым. Кроме того, они допускают, что пар и масса жидкости находятся в термодинамическом равновесии. Испарение жидкости сопровождается уменьшением температуры массы жидкости и соответствующим понижением давления насыщенных паров. Понижение давления насыщенных паров для данного отношения объема пара к объему жидкости будет зависеть от физических свойств перекачиваемой жидкости и ее способности к кавитации.

Несмотря на то, что в ходе рассуждения отдельных авторов имеются некоторые различия, существо анализа одинаково и сводится к следующему.

Понижение местного давления ниже давления насыщенных паров приведет к тому, что температура насыщенных паров, соответствующая уменьшенному давлению в области низкого давления в рабочем колесе, будет ниже первоначальной температуры на  $\Delta T$ , при этом высвободится количество тепла для парообразования, равное произведению  $\Delta T$  на теплоемкость перекачиваемой жидкости. Поскольку теплоемкость жидкости в новых условиях также уменьшится на величину пропорциональную произведению удельного объема жидкости и изменения давления, то действительное количество тепла, имеющегося для парообразования, может быть выражено следующим образом:

$$Xr = c\Delta T - \frac{\Delta p v'}{A}, \quad (1)$$

где:  $X$  - вес пара, образующегося на каждый килограмм перекачиваемой жидкости;  $r$  - скрытая теплота парообразования;  $c$  - теплоемкость

жидкости;  $\Delta p$  - понижение местного давления;  $\Delta T$  - изменение температуры насыщенных паров, соответствующее уменьшению давления на величину  $\Delta p$ ;  $v'$  - удельный объем перекачиваемой жидкости;  $A$  – механический эквивалент теплоты.

Удельный объем смеси жидкости и образовавшегося пара равен:

$$v = v' + x \cdot v'_{fg} \quad (2)$$

где:  $v$  - удельный объем смеси;  $v'_{fg}$  - изменение удельного объема в процессе парообразования.

Объединяя уравнения (1) и (2), после некоторых упрощений получаем:

$$\frac{v - v'}{v'} = \left( c\Delta T - \frac{\Delta p v'}{A} \right) \cdot \frac{v'_{fg}}{v'_r} = B. \quad (3)$$

Параметр  $B$  получил название «термодинамический критерий кавитации».

После ряда преобразований и упрощений получим следующее уравнение для определения термодинамического критерия кавитации:

$$\frac{v - v'}{v'} = \frac{cT\Delta H_{sv}}{A} \cdot \left( \frac{v'_{fg}}{v'_r} \right)^2 = B, \quad (4)$$

где:  $\Delta H_{sv}$  - величина избыточного давления на входе в насос.

Поскольку критерий  $B$  по определению представляет собой отношение объема пара к объему жидкости, образующегося на каждый килограмм жидкости, протекающей через область кавитации, то для одного и того же значения  $\Delta H_{sv}$  меньше величины  $B$  означают меньшую степень развития кавитации, а следовательно, и меньшее ухудшение характеристик насоса.

Анализ причин улучшения кавитационных характеристик центробежных насосов при увеличении температуры перекачиваемой жидкости приводит к рассмотрению изменения физических свойств жидкости с температурой.

Степень воздействия кавитации на поток жидкости зависит прежде всего от относительного объема паровой фазы и от изменения скорости и характера течения из-за образования кавитационных полостей, наполненных паром. В связи с этим одним из важнейших параметров характеризующих изменение потока при кавитации, является отношение удельного объема пара к удельному объему жидкости. Изменение этого отношения с температурой для воды представлено в работе А. И. Степанова. Он ука-

зывает, что местное уменьшение давления при кавитации происходит в результате одной из следующих причин динамического характера:

- в результате отрыва или сжатия потока;
- отклонения линий потока от их нормальных траекторий, что имеет место на повороте или при обтекании каких-либо посторонних тел.

О появлении кавитации свидетельствуют шум и вибрация в системе охлаждения. Шум и вибрация происходят из-за внезапного разрушения пузырьков пара, когда эти пузырьки достигают зон высокого давления внутри насоса.

При нормальных режимах работы насоса эти признаки кавитации могут проявляться только в случае, если давления на входе недостаточно для того, чтобы подавить кавитацию. Увеличение диаметра и укорочение подводящей трубы, устранение поворотов, обеспечение обтекаемости входного патрубка, т.е. уменьшение потерь в подводящей линии, улучшают условия входа в насос и уменьшают опасность появления кавитации.

Рост быстроходности и среднего эффективного давления, стремление к уменьшению веса и габаритов приводят к появлению кавитационных разрушений на деталях дизеля. Кавитационные разрушения встречаются не только на деталях водяных насосов, но и на омываемых охлаждающей жидкостью поверхностях гильз цилиндров и блока, на деталях топливоподающей системы [2, 3, 4].

Известны теории, по которым развитию повреждений способствует возникновение высоких температур в последних стадиях сжатия кавитационных пузырьков.

В настоящее время уже достоверно установлено, что разрушения стенок гильз цилиндров и блоков цилиндров вызываются кавитационными процессами, возникающими в системе охлаждения двигателя под воздействием высокочастотных вибраций гильз цилиндров, возмущаемых ударами поршня в результате перекладки от одной стенки цилиндра к другой при проходе через верхнюю мертвую точку [5,6].

Наличие теплового зазора между поршнем и цилиндром приводит к тому, что при перекладке (изменение направления действия силы бокового давления поршня на стенку цилиндра) поршень ударяет по стенке гильзы и вызывает ее высокочастотные колебания. При колебаниях стенки гильзы цилиндра в водяной полости происходят попеременные растяжения и сжатия, приводящие к образованию и захлопыванию кавитационных пузырей, что и вызывает кавитационную эрозию.

Киносъёмка показала, что кавитационный пузырек может вырасти за 0,002 с до 6 мм в диаметре и полностью разрушиться за 0,001 с.

По данным В.Я. Карелина, при определенных этапах кавитации на площади в  $1 \text{ см}^2$  в течение 1 с могут образоваться и разрушиться более 30 млн. кавитационных пузырьков [2].

Наблюдение за развитием видимых пузырьков в период пуска и прогрева дизеля показывает, что с прогревом дизеля число пузырьков уменьшается. Однако образующиеся на этих режимах пузырьки имеют большие размеры и практически все всплывают и уносятся потоком воды, не уничтожаясь в местах возникновения.

У некоторых легких мощных дизелей производительность водяного насоса может оказаться столь большой, что в местах подвода воды в блок перепады давлений в водяной системе достигнут уровня необходимого для развития кавитационных процессов [4].

Интенсивность кавитационного изнашивания зависит от температуры, свойств жидкости и материала деталей. Влияние вязкости незначительное. С увеличением поверхностного натяжения изнашивание происходит более интенсивно. Введение в воду веществ, образующих и способствующих образованию эмульсий (масла и эмульгаторы), понижает поверхностное натяжение жидкости и снижает кавитационное изнашивание.

Ранее отмечалось об отрицательном действии кавитации на работу водяного насоса. Кавитация уменьшает коэффициент полезного действия, напор и производительность водяного насоса системы охлаждения дизелей [2]. При сильном развитии кавитации насос полностью прекращает работу (срывает). Длительная работа насоса при наличии даже незначительных явлений кавитации совершенно недопустима.

Подводя итог вышесказанному можно сделать вывод, что кавитация возникает при условии, когда абсолютное давление на входе в насос равно или меньше давления насыщенных паров, взятых при температуре, равной температуре охлаждающей жидкости на входе в насос. Снижение явления кавитации возможно при увеличении давления в системе охлаждения двигателя на входе в водяной насос, это можно осуществить за счет:

- создание повышенного давления в системе охлаждения дизеля;
- применения «системы подпитки», представляющей собой дополнительный насос или дополнительного компенсационного контура, включающего в себя собой резервуар с охлаждающей жидкостью в котором расположены пароотделительные клапаны;
- введения в охлаждающую жидкость эмульгаторов.

Для снижения последствий процесса кавитации целесообразно применять технологические методы повышения износостойкости деталей.

Повышение содержания углерода в углеродистой стали, увеличивает ее стойкость. Однако при содержании углерода 0,8 % и более она начинает падать. Введение никеля и хрома в сталь повышает ее стойкость за счет снижения количества феррита, увеличения степени дисперсности и др. Шаровидная форма графита благоприятна. Наиболее стойким является низколегированный чугун (1 % Ni, 0,3 % Mo) с шаровидным графитом.

Закалка с нагревом ТВЧ, цементация, поверхностное упрочнение, в том числе твердые наплавки, сообщают, стали значительную кавитационную стойкость. То же относится к хромовому покрытию при достаточной его толщине (около 40 мкм) При малой толщине (менее 20 мкм) разрушение происходит под слоем хрома.

#### *Библиографический список*

1. Уханов А.П. Автомобильные двигатели и автомобили. Курсовое и дипломное проектирование 2-е издание, переработанное/ А.П. Уханов, Д.А. Уханов, П.Н. Аюгин, Д.Е. Молочников, Р.К. Сафаров, Н.П. Аюгин - Ульяновск.: ГСХА, 2012. – 351 с.
2. Аюгин Н.П. Триботехника. Курс лекций // Н.П. Аюгин, Р.Ш. Халимов, Г.Г. Миннибаев. –Ульяновск: Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина, 2014. – 122 с.
3. Аюгин П.Н. Кавитация и ее влияние на эффективность работы системы охлаждения/Аюгин П.Н., Аюгин Н.П.//Материалы Международной научно-практической конференции. Актуальные проблемы инженерно-технического обеспечения АПК. - Курск: ГСХА, -2013. -С. 77-82
4. Аюгин, П.Н. Модернизация системы охлаждения тракторного двигателя / П.Н. Аюгин, Н.П. Аюгин., Р.Ш. Халимов // Техника и оборудование для села. -2015. - № 4. - С. 17-20.
5. Аюгин П.Н. Улучшение эксплуатационных характеристик дизеля / П.Н. Аюгин, Н.П. Аюгин, Д.Е. Молочников, Р.К. Сафаров // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» - Ульяновск: Ульяновская ГСХА им П.А. Столыпина. - 2015. - С. 157-159.
6. Аюгин П.Н. Способ интенсификации работы карбюраторных двигателей/ П.Н. Аюгин, Н.П. Аюгин, Р.К. Сафаров // Материалы Всероссийской научно-практической конференции:»Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации,перспективы.» - Пенза. -2013. -С.22-25.

## **CAVITATION AS A FACTOR REDUCING THE EFFICIENCY OF THE COOLING SYSTEM OF A DIESEL ENGINE**

*Ayugin N.P., Khalimov R.Sh., Golubev V.A.*

**Key words:** *cavitation, factors, thermal tensions, diesel engine*

*This study focuses on factors influencing the occurrence of cavitation processes in diesel engines and methods of reducing the negative effects of cavitation.*