

ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С УПРАВЛЯЕМЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАБОЧЕГО ЦИКЛА

*Л.А. Самсонов, д.т.н., проф. кафедры ДВС и АСЭУ
Государственная морская академия им. адмирала С.О. Макарова*

Приведена принципиальная схема двигателя, которая позволяет перераспределять время рабочего цикла между его процессами. В этом двигателе при фазах газораспределения как и в традиционном, увеличено время процессов газообмена, смесеобразования и сгорания примерно в полтора раза за счет сокращения времени процессов сжатия и расширения. Показаны широкие возможности перераспределения времени между процессами цикла в желаемом направлении.

Более ста лет применяются двигатели внутреннего сгорания в разных областях деятельности человека. За это время их конструкция была подвергнута глубокой модернизации, которая продолжается и в настоящее время. Основные направления дальнейшего развития двигателей связаны с совершенствованием процессов сгорания, газообмена, повышением удельной мощности, снижением теплонапряженности, вредных выбросов, удельного расхода топлива.

Как показывает практика, совершенствование двигателей требует все больших затрат времени и средств. Таким образом, без появления элементов конструкции, обладающих качественно новыми свойствами, не следует ожидать и значительных результатов в улучшении показателей работы двигателей.

Вместе с тем теоретический анализ рабочего процесса и элементов конструкции показывает, что двигатели внутреннего сгорания обладают значительными резервами улучшения их показателей. С момента создания двигателей остается без изменения принцип распределения времени между процессами рабочего цикла. В соответствии с этим принципом при постоянной частоте вращения время поворота коленчатого вала на один градус для всех процессов рабочего цикла постоянно.

Если рассматривать протекание отдельных процессов рабочего цикла во времени, то можно отметить следующее.

На процессы смесеобразования и сгорания топлива целесообразно отводить как можно больше времени для обеспечения его полного сгорания в период предварительного расширения.



Однако увеличение времени на процесс сгорания может привести к увеличению образования окислов азота. Поэтому управление временем, отводимым на горение топлива, определяется достижением заданных параметров в конкретных условиях эксплуатации двигателя.

Процесс расширения необходимо проводить как можно быстрее, что приведет к уменьшению потерь тепла от рабочего тела в стенки деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ), к уменьшению тепловой напряженности двигателя и, как следствие, к снижению расхода топлива и увеличению надежности деталей ЦПГ.

Совершенство процессов газообмена существенно зависит от времени, отводимого на их протекание, и резко изменяют свои характеристики при изменении их продолжительности. По существу улучшение качества рабочего процесса невозможно без совершенствования процессов газообмена, что определяется также снижением гидравлических потерь в газоздушном тракте, повышением КПД турбокомпрессора, улучшением качества продувки рабочего цилиндра. Однако существенных результатов в этом направлении ожидать не приходится, так как конструкция элементов газоздушных трактов доведена до высокого уровня. Поэтому наибольший потенциал в улучшении процессов газообмена заложен в увеличении времени их протекания. При этом понизится скорость потока, а следовательно, и гидравлические потери, возрастет энергия газов перед турбиной, повысится количество воздуха для сгорания и т. д.

Процесс сжатия, как и процесс расширения, желательно проводить как можно быстрее. Это приведет к улучшению пусковых качеств двигате-

ля (особенно при низких температурах окружающей среды и холодном двигателе) за счет снижения потерь тепла от сжимаемого воздуха в деталях ЦПГ, а также за счет снижения потерь заряда через поршневые кольца рабочего цилиндра.

Необходимо также отметить, что дальнейшая форсировка двигателей по частоте вращения ограничена временем, необходимым для смесеобразования, сгорания топлива и реализации процессов газообмена.

Таким образом, существующее в современных двигателях распределение времени рабочего цикла, при котором поворот коленчатого вала на один градус происходит за одно и то же время во всех процессах, противоречит требованиям обеспечения наилучших условий протекания этих процессов.

В идеальном случае процессы сжатия и расширения должны совершаться мгновенно, а все время цикла должно быть потрачено на процессы смесеобразования, сгорания и газообмена.

Исходя из вышеприведенного анализа, ставится задача организовать работу двигателя таким образом, чтобы без изменения общего времени рабочего цикла и фаз газораспределения можно было бы изменять в желаемом направлении время протекания отдельных процессов цикла.

Один из возможных вариантов решений поставленной задачи представлено на рис. 1.

В рабочем цилиндре 1 расположен поршень 2, связанный шатуном 3 с коленчатым валом 4. Благодаря цилиндрическим зубчатым колесам 9 и 10, коленчатый вал связан с промежуточным валом 11, который через эллиптические зубчатые колеса 5 и 6 связан с выходным валом 7, на котором установлен маховик 8, что обеспечивает его равномерное вращение при переменной угловой скорости коленчатого вала в течение одного оборота.

Для двухтактного двигателя, чтобы увеличить время процессов смесеобразования, сгорания и газообмена и уменьшить время процессов сжатия и расширения, необходимо установить между коленчатым и промежуточными валами

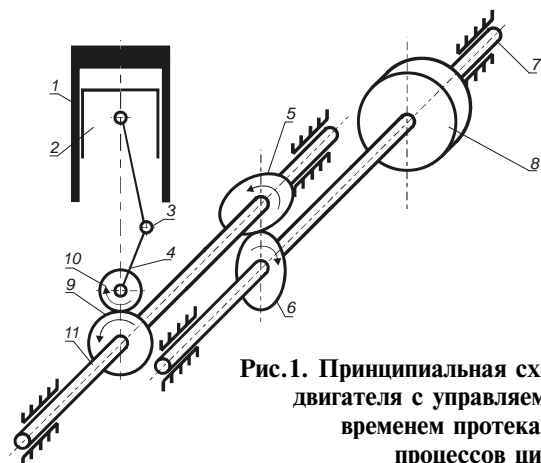


Рис.1. Принципиальная схема двигателя с управляемым временем протекания процессов цикла

цилиндрические шестерни с передаточным отношением 1:1. В этом случае за один оборот коленчатого вала произойдут два колебания его частоты вращения.

На рис. 2 приведены графики, показывающие как изменяется время поворота коленчатого вала на один градус в зависимости от угла поворота для двухтактных двигателей, у которых среднее значение частоты вращения 100 об/мин, углы начала подачи топлива и конца сгорания 345° и 30°, углы начала открытия и момента закрытия выпускных окон 114° и 246°, продувочных — 126° и 234° соответственно.

Для традиционного двигателя время поворота коленчатого вала на один градус в течение всего оборота постоянно и эта зависимость представлена прямой линией 1. Площадь под этой линией выражает время поворота коленчатого вала на один оборот. Вертикальными линиями она разбита на участки, соответствующие времени протекания отдельных процессов. На этом же рисунке для двигателя с управляемым временем протекания процессов цикла эта зависимость представлена линией 2, которая получена при овальных шестернях в виде эллипсов с отношением осей 1:2.

В табл. 1 приведены результаты сопоставления времени протекания процессов цикла этих двигателей в относительной форме. Из них

Таблица 1

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ДВУХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Двигатель	Относительное время протекания процессов				«Время—сечение» открытия окон		
	смесеобразования и сгорания	выпуска	продувки	сжатия и расширения	выпускных	продувочных	
Традиционный	1	1	1	1	1	1	
С управляемым временем процессов цикла	С двумя колебаниями частоты вращения за цикл	1,69	1,20	1,30	0,69	1,4	1,5
	С одним колебанием частоты вращения за цикл	0,50	1,55	1,64	0,79	1,7	1,8

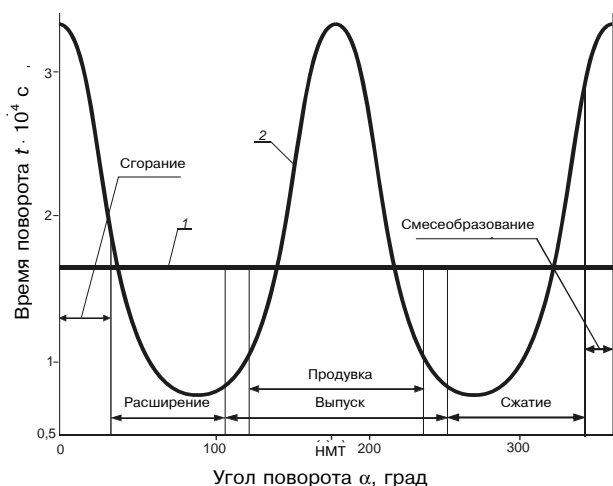


Рис. 2. Зависимость времени поворота (t) от угла поворота коленчатого вала на один градус в двухтактном двигателе:

1 — традиционного исполнения; 2 — с управляемым временем процессов цикла (с двумя колебаниями частоты вращения за цикл)

видно, что в двигателе с двумя колебаниями частоты вращения за цикл значительно возросло время процессов смесеобразования, сгорания и газообмена. «Время—сечение» открытия окон возросло еще в большей степени, так как вблизи нижней мертвой точки (НМТ), когда угловая скорость минимальна, площадь открытия окон максимальна.

Если требуется сократить время процесса сгорания для уменьшения образования окислов азота и сокращения потери тепла в стенки камеры сгорания в этот период, и тем самым уменьшить теплонапряженность деталей ЦПГ, то необходимо частоту вращения шестерни 5 понизить в два раза по отношению к коленчатому валу путем введения между ними пары цилиндрических зубчатых колес с соответствующим передаточным отношением 1:2. В этом случае частота вращения коленчатого вала будет иметь одно колебание за цикл, а время перераспределится между процессами в соответствии с данными табл. 1.

Чтобы сократить время процессов сжатия, сгорания, расширения и увеличить время процессов выпуска и всасывания четырехтактного двигателя, необходимо понизить частоту вращения ведущего колеса 5 (рис. 1) в четыре раза по отношению к частоте вращения коленчатого вала 4 также посредством понижающей зубчатой передачи 1:4.

При указанном на рис. 1 расположении поршня 2 и колес 5 и 6 в рабочем цилиндре 1 начинается процесс расширения при максимальной угловой скорости коленчатого вала 4, которая до прихода поршня в НМТ уменьшается, и будет продолжать уменьшаться в течение всего хода выпуска до минимального значения в верхней мертвой точке (ВМТ). В процессе всасывания угловая скорость вала 4 возрастает и будет продолжать возрастать в течение всего хода сжатия до максимального значения в ВМТ. Таким образом, при нахождении поршня вблизи ВМТ в период перекрытия клапанов увеличивается время продувки рабочего цилиндра, а в период сгорания и начала расширения, наоборот, время протекания этих процессов сокращается, что, несомненно, приведет к существенному снижению тепловой напряженности деталей ЦПГ.

На рис. 3 приведены графики изменения времени поворота коленчатого вала на один градус в зависимости от угла поворота для четырехтактных двигателей, у которых среднее значение частоты вращения 1000 об/мин, углы начала подачи и конца сгорания топлива 703° и 20°, углы начала открытия и момента закрытия выпускных клапанов 130° и 410°, углы начала открытия и момента закрытия всасывающих клапанов 310° и 590° соответственно.

Для традиционного двигателя эта зависимость представлена прямой линией 1. Для двигателя, у которого закон изменения передаточного отношения определен зубчатыми колесами в виде эллипсов с отношением осей 1:2, зависимость представлена кривой 2.

Таблица 2

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ ПРОТЕКАНИЯ ПРОЦЕССОВ В ЧЕТЫРЕХТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Двигатель		Относительное время протекания процессов					время перекрытия фаз клапанов
		смесеобразования и сгорания	расширения	выпуска	всасывания	сжатия	
Традиционный		1	1	1	1	1	1
С управляемым временем процессов цикла	С одним колебанием частоты вращения за цикл	0,45	0,53	1,38	1,38	0,55	1,88
	С двумя колебанием частоты вращения за цикл	1,85	0,91	1,1	1,1	0,93	1,73

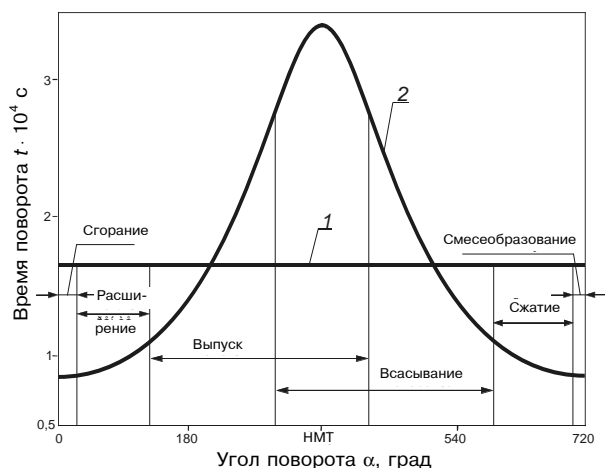


Рис. 3. Зависимость времени поворота (t) от угла поворота коленчатого вала на один градус в четырехтактном двигателе:

1 — традиционного исполнения; 2 — с управляемым временем процессов цикла (с одним колебанием частоты вращения за цикл)

Результаты расчетов, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что в двигателе с одним колебанием частоты вращения за цикл по сравнению с традиционным время процессов сжатия, смесеобразования, сгорания, расширения сократилось примерно в два раза, а время процессов выпуска и всасывания увеличилось в 1,38 раза.

Обращает на себя внимание увеличение времени перекрытия фаз клапанов, которое возросло в 1,88. Это обстоятельство позволяет значительно изменить фазы газораспределения в целях увеличения активного хода поршня в процессе расширения и обеспечения более раннего момента начала сжатия или увеличить расход воздуха в период перекрытия клапанов для охлаждения деталей камеры сгорания.

Если необходимо увеличить время протекания процессов смесеобразования и сгорания по сравнению с традиционным двигателем, то надо изменить передаточное отношение цилиндрических шестерен 9 и 10 (рис. 1) так, чтобы частота вращения ведущего колеса 5 была бы в два раза меньше частоты вращения коленчатого вала 4 (см. табл. 2 и рис. 4).

На рис. 4 показано также перераспределение времени процессов цикла в зависимости от изменения угла зацепления овальных шестеренок. Кривая 3 получена при изменении угла зацепления овальных шестеренок на 40° .

Перераспределение времени цикла в желаемом направлении можно проводить в период эксплуатации двигателя путем изменения относительного расположения шестерен 9 и 10.

В общем случае перераспределение времени между процессами рабочего цикла (при неиз-

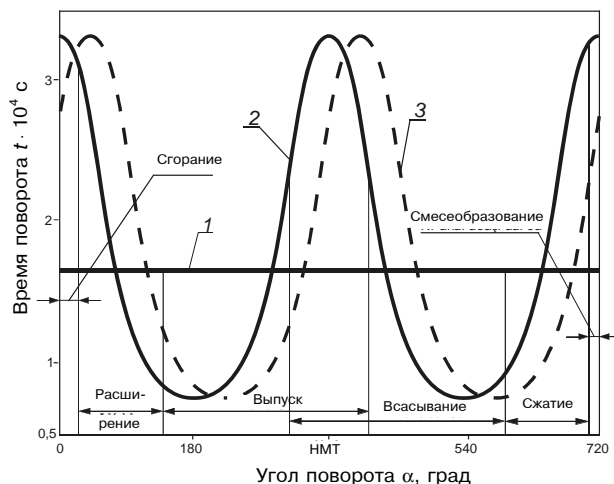


Рис. 4. Зависимость времени поворота (t) от угла поворота коленчатого вала на один градус в четырехтактном двигателе:

1 — традиционного исполнения; 2 — с управляемым временем процессов цикла (с двумя колебаниями частоты вращения за цикл); 3 — при изменении расположения коленчатого вала относительно колес

менных фазах топливоподачи, газораспределения и времени протекания всего цикла) определяется законом изменения передаточного отношения овальных шестерен, т. е. формой овалов, их расположением по отношению к положению коленчатого вала, а также отношением средней частоты вращения овальных шестерен к частоте вращения коленчатого вала.

Эти три фактора позволяют в широких пределах перераспределять время цикла.

Если характер перераспределения времени цикла между процессами задан, то он определяет закон изменения передаточного отношения и, как следствие, форму овалов шестерен зубчатой передачи.

Многоцилиндровый двигатель с управляемым временем протекания процессов цикла может быть реализован путем подключения каждого рабочего цилиндра к выходному валу через свою зубчатую передачу с переменным передаточным отношением, если в период цикла частота вращения коленчатого вала совершает одно колебание. Если частота вращения совершает два колебания, то к выходному валу через одну зубчатую передачу можно подключить несколько рабочих цилиндров, мотыли которых заклинены в случае двухтактного двигателя под углом 180° , а в случае четырехтактного — под углом 360° . В двухтактном двигателе число цилиндров, подключенных через одну зубчатую передачу к выходному валу можно удвоить, если сами цилиндры будут заклинены между собой под углом 180° .

Выводы

В двигателе с управляемым временем протекания процессов цикла реализуется возможность одновременного существенного влияния на протекание процессов сжатия, расширения, газообмена, смесеобразования и сгорания топлива, а также на теплонапряженность деталей цилиндропоршневой группы, пусковые свойства двигателя и диапазон его рабочих режимов.

Создание двигателя с управляемым временем процессов цикла не требует принципиальных изменений в конструкции современных двигателей, разработки и внесения новых узлов. Необходимо изменить место установки маховика, включить в зубчатую передачу овальную пару колес (шестерен с переменным передаточным отношением) и установить несколько зубчатых передач с переменным передаточным

отношением для передачи крутящего момента от каждого или группы цилиндров к валу отбора мощности.

Таким образом, нет серьезных причин, препятствующих созданию двигателя с управляемым временем процессов рабочего цикла. Для получения максимального эффекта от перераспределения времени рабочего цикла между отдельными его процессами необходимо в первую очередь провести исследования влияния этого перераспределения на газообмен, воздухообмен, теплонапряженность, экономичность и определить оптимальный закон изменения передаточного отношения овальной зубчатой передачи для двигателей разного назначения.

На двигатель внутреннего сгорания с управляемым временем процессов цикла получен патент Российской Федерации № 2267017.

ПРИГЛАШЕНИЕ К ДИСКУССИИ

Уважаемые читатели, публикации статьи д.т.н., проф. Самсонова Л.А. предшествовала дискуссия между автором и рецензентами о целесообразности применения конструкции двигателя с механическим способом управления продолжительностью отдельных процессов рабочего цикла, защищенной патентом РФ № 226701. Редакция приглашает специалистов принять участие в дискуссии на страницах журнала.

Позиция автора изложена в опубликованной статье. Основные оппонировавшие положения рецензентов заключаются в следующем.

Термодинамика рабочего процесса. Предлагаемая конструкция позволит приблизить рабочий процесс дизеля к термодинамическому циклу с подводом теплоты при постоянном объеме, в результате чего увеличится степень повышения давления, максимальное давление в цилиндре и продолжительность высокотемпературной стадии сгорания.

Это приведет к росту механической и термической напряженности деталей камеры сгорания, и, что крайне нежелательно, — к увеличению скорости образования и выхода NO_x .

Повышение термического КПД цикла не гарантирует одновременное увеличение эффективного КПД вследствие роста потерь тепла через стенки камеры сгорания за время горения топлива при постоянном объеме.

Кинематика и динамика механизма. Перераспределение продолжительности отдельных

процессов рабочего цикла с помощью предложенной конструкции приведет к заметному снижению механического КПД двигателя вследствие появления промежуточной передачи, ухудшения условий работы подшипников КШМ (рост P_f), поршневых колец (увеличение скорости поршня в тактах сжатия и расширения), увеличения нагрузки на детали КШМ за счет роста инерционных сил, ухудшения условий смазки и потерь на трение во всех элементах механизма. В результате понизятся показатели надежности и ресурса работы предложенного двигателя в сравнении с двигателем традиционной конструкции. Кроме того, повышается вероятность появления резонансных явлений в диапазоне рабочих частот двигателя.

Предложенная конструкция двигателя отличается новизной и представляет познавательный интерес, однако обладает рядом существенных недостатков, что делает спорной целесообразность ее реализации.

Рецензенты