

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

Г.Д. Матиевский, С.П. Кулманакон

В статье рассматриваются материалы по исследованию работы дизеля на режимах постоянной мощности, основанные на проведении анализа эффективного КПД, которые могут быть применены для отыскания режимов наиболее экономичной работы на частотах, меньших номинальной для заданного уровня постоянной мощности дизеля.

Ключевые слова: дизель, характеристика постоянной мощности.

Двигатель внутреннего сгорания может развивать одинаковое постоянное значение мощности при различном соотношении параметров ее определяющих. Последние вытекают из общего выражения для мощности

$$N_e = a \cdot G_m \cdot \eta_e,$$

где G_m – часовой расход топлива, η_e – эффективный КПД, a – постоянный коэффициент.

Для чего после формального его преобразования и допущения постоянства мощности, выразив расход топлива через частоту вращения коленчатого вала, цикловую подачу топлива q_m , число работающих цилиндров (или двигателей в энергетическом блоке) i , получим

$$N_e = b \cdot \frac{q_m \cdot n \cdot i}{\tau} \cdot \eta_e = const \quad (1)$$

где b и τ – постоянный коэффициент и тактность двигателя.

Как видим из выражения (1) одинаковые (равные) значения мощности можно получить при различном сочетании значений цикловой подачи, частоты вращения, числа цилиндров (или двигателей) и эффективного КПД. Естественно, что предпочтительнее вариант сочетаний частоты n , подачи q_m и числа цилиндров i , при котором эффективный η_e принимает большее значение, что позволит получить заданную мощность при меньшем расходе топлива.

В практике двигателестроения находят использование такие варианты сочетаний изменения параметров в противоположных направлениях: увеличение цикловой подачи q_m и уменьшение частоты n ; уменьшение числа работающих цилиндров (или двигателей) и увеличение цикловой подачи q_m .

Каждый из вариантов сочетаний имеет свою область использования по назначению двигателя, по диапазону мощности в котором целесообразно поддерживать ее постоянной, свою эффективность, свои способы реализации, преимущества и недостатки.

Мотивация всех вариантов одна и та же: повышение топливной экономичности, снижение токсичности, увеличение надежности работы двигателя и его систем.

В материалах данной статьи подробнее рассмотрим вариант, когда постоянство мощности дизеля обеспечивается согласованным изменением цикловой подачи топлива и частоты вращения коленчатого вала, то есть, по сути, реализуется скоростная характеристика постоянной мощности.

Область использования – современные многофункциональные энерготехнологические комплексы в системах автономного энергообеспечения, создаваемые на базе гибридных энергоустановок и объединяющих дизель-генератор с различного рода установками, использующими возобновляемые источники энергии. В таких комплексах, как правило, применяются преобразователи частоты электрического тока, что позволяет осуществлять работу дизель-генератора на частотах, меньших номинальной, с сохранением установленной частоты электрического тока [1].

Основная цель: на стационарных режимах неполной загрузки двигателя достичь снижения эффективного расхода топлива при пониженных частотах n в сравнении с расходом при номинальной частоте и такой же мощности дизеля.

Вторая область реализации характеристики постоянной мощности – в двигателях постоянной мощности (ДПМ) [2]. Применение ДПМ в составе машино-тракторных агрегатов (МТА), работающих в условиях переменной нагрузки, позволяет понизить расход топлива, увеличить эксплуатационную мощность, улучшить тягово-динамические качества и производительность МТА, уменьшить число передач в трансмиссии, облегчить труд оператора. Эти качества достигаются обеспечением в ДПМ высокого коэффициента запаса крутящего момента $K = \geq 1,4$ путем создания

условий сохранения постоянной мощности дизеля при снижении частоты вращения вала и соответствующего увеличения цикловой подачи топлива.

Определение условий получения высоких значений коэффициента запаса крутящего момента; диапазона мощностей, в котором при поддержании $N_e = const$ можно снизить расход топлива; частоты вращения коленчатого вала, при которой для каждого уровня мощности снижение расхода топлива оказывается наибольшим; установление зависимости оптимальной (по максимуму η_e) частоты n от значения мощности N_e осуществляется анализом и синтезом нагрузочных и скоростных характеристик последних, при условии постоянной мощности. Методические подходы к проведению анализа и синтеза характеристик в определенной степени универсальны, а поэтому могут быть использованы как для исследования показателей в составе ДГУ в многофункциональных энергетических комплексах, так и для двигателей постоянной мощности.

Проведем такой анализ применительно к дизелям размерностью 130/140 ОАО «ПО Алтайский моторный завод, на базе которых создаются двигатели постоянной мощности и которые широко используются для привода ДГУ.

Определение диапазона мощностей, в котором целесообразно поддержание постоянного значения мощности дизеля при снижении частоты вращения вала с получением эффекта снижения удельного расхода топлива можно проследить по нагрузочным характеристикам, снятым при различных частотах n . Как видно из графиков нагрузочных характеристик на рисунке 1 такую задачу можно решать во всем диапазоне уменьшения нагрузки (мощности), начиная со значения $N_e = N_n$, так как в нем значения наименьшего расхода, лежащие на огибающей кривой, условно проведенной по минимумам g_e для разных оборотов меньше, чем расход g_e , соответствующий нагрузочным режимам с номинальной частотой $n_n=1700 \text{ мин}^{-1}$. Наиболее ощутимый эффект снижения расхода топлива g_e наблюдается со значения мощности 120 л.с., составляющего 80% от номинального.

Установление диапазона изменения частот вращения ($n_m \div n_n$), в котором можно поддерживать заданное постоянное значение мощности, закономерностей изменения эффективного расхода топлива при этом, условия получения постоянной мощности удобнее рассматривать по скоростным характери-

кам, построенным для различных значений $N_e = const$ по данным нагрузочных характеристик.

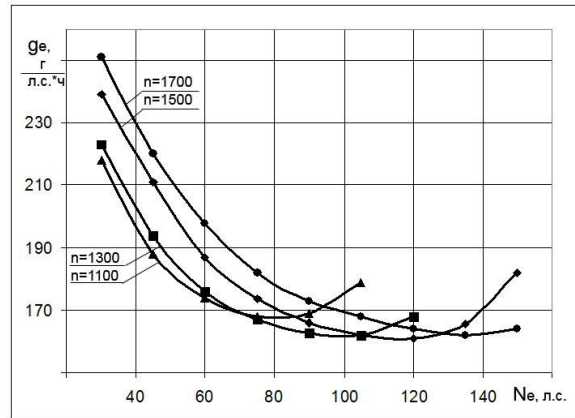


Рисунок 1 - Нагрузочные характеристики дизеля А-01МСИ при различных частотах вращения коленчатого вала

На рисунке 2 представлена корректорная (перегрузочная) ветвь внешней скоростной характеристики, ограниченная по частоте вращения слева – минимально устойчивой частотой под нагрузкой, справа – номинальной частотой. Площадь под корректорной ветвью представляет поле возможных режимов работы. Каждый из этих режимов обеспечен расходом топлива и расходом воздуха. Поэтому принципиально нет ограничений в создании скоростных характеристик с заданным значением постоянной мощности. Они на рисунке 2 представлены горизонтальными линиями. Каждая из характеристик $N_e = const$ имеет свой диапазон изменения по частоте n , ограничиваемый точками, лежащими на корректорной ветви n_m и на номинальной частоте n_n .

Диапазон частот n_m-n_n с увеличением значения постоянной мощности сокращается и при $N_e = N_{en}$, когда $n_m = n_n$, вырождается в нуль, соответственно отношение $n_m/n_n=1$.

Для каждой характеристики $N_e = const$ увеличение крутящего момента (или среднего эффективного давления P_e) с уменьшением частоты n описывает выражение

$$P_e = P_{eH} \cdot \frac{n_H}{n},$$

то есть растет обратно пропорционально снижению частоты n . Наибольшее значение $P_e = P_{eM}$, а, следовательно, и отношения P_e/P_{eH} соответствует режимам корректорной ветви, для которых

$$P_e/P_{eH} = P_{eM}/P_{eH} = n_m/n_n = K, \quad (2)$$

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

Здесь K - коэффициент приспособляемости, имеющий одно и тоже значение как по моменту, так и по скорости.

На рисунке 2 представлен единый для всей совокупности характеристик постоянной мощности график изменения коэффициента приспособляемости от частоты n , так как его величина зависит только от отношения частот (2). Достигаемая величина коэффициента K зависит от уровня мощности через значение частоты n_m в диапазоне изменения $n_m \dots n_H$.

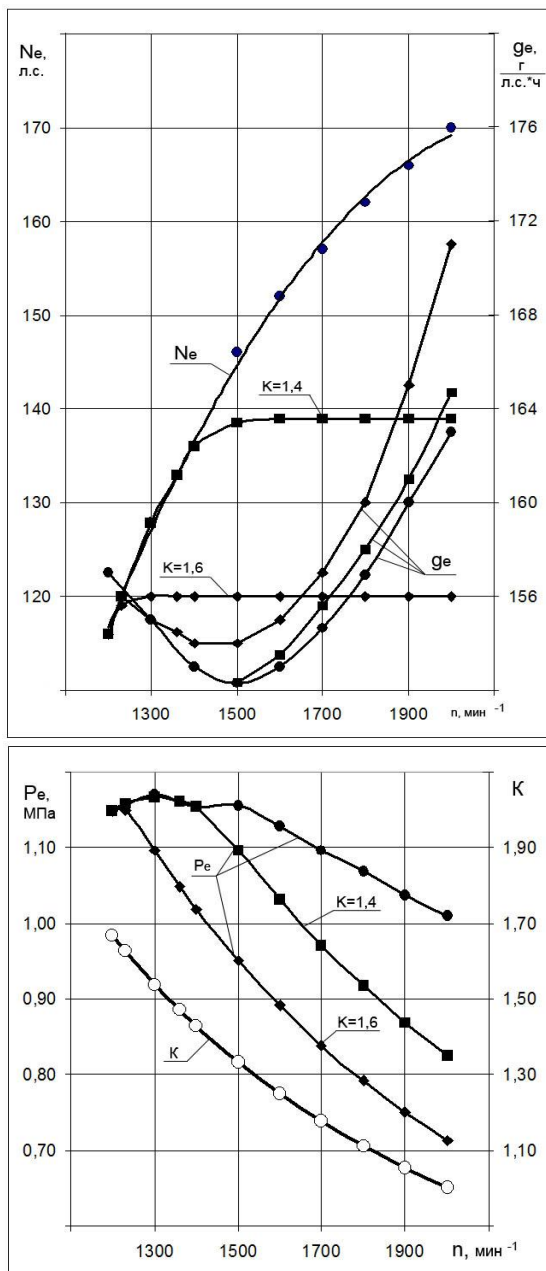


Рисунок 2 - Скоростные характеристики дизеля Д-442-57/59И:
 --●-- - внешняя; --■-- , --◆-- постоянной мощности (с коэффициентом приспособляемости 1,4 и 1,6)

С увеличением значения мощности коэффициент K снижается (при $N_{eM} = N_{eH}$, $K = 1$), с уменьшением – возрастает. В последнем случае рост коэффициента K связан не с увеличением давления P_{eM} перегрузочной ветви, а с существенным уменьшением давления P_{eH} на номинальной частоте (рисунок 2).

Двигатель постоянной мощности характеризуется коэффициентом приспособляемости $K \geq 1,4$. Это требование применительно к рассматриваемому дизелю в соответствии с графиком $K = f(n)$ на рисунке 2 выполняется для значений мощностей, равных или меньших $N_e = 136$ л.с., что составляет 80% от номинальной мощности.

В более общем виде задача о снижении мощности двигателя по отношению к номинальной, при условии обеспечения коэффициента приспособляемости $k \geq 1,4$, решается при использовании эмпирических выражений, описывающих изменения мощности двигателя по корректорной ветви внешней скоростной характеристики. Эти выражения обычно имеют следующий вид:

$$N_e = N_{eH} \left[\beta \left(\frac{n}{n_H} \right) + \delta \left(\frac{n}{n_H} \right)^2 - \left(\frac{n}{n_H} \right)^3 \right],$$

где β и δ – эмпирические коэффициенты, выбираются в зависимости от особенностей дизеля, например, смесеобразования [5].

Заменим в выражении отношение текущей частоты n к номинальной n_H , которая при условии $N_e = \text{const}$ представляет текущий коэффициент приспособляемости K (рисунок 2). Получим выражение, связывающее изменение относительной мощности N_e/N_{eH} по внешней скоростной характеристике с коэффициентом приспособляемости K :

$$\frac{N_e}{N_{eH}} = \left[\beta \frac{1}{K} + \delta \left(\frac{1}{K} \right)^2 - \left(\frac{1}{K} \right)^3 \right].$$

Примем значение $K = 1,4$, тогда

$$\frac{N_{e1,4}}{N_{eH}} = 0,714 \cdot \beta + 0,510 \cdot \delta - 0,364.$$

Здесь $N_{e1,4}$ – есть постоянное значение мощности двигателя в диапазоне частот $n_H \dots n_m$ при которой обеспечивается коэффициент приспособляемости равный 1,4, а дробь $N_{e1,4}/N_{eH}$ – снижение мощности по отношению к номинальной.

Подсчёт отношения мощностей $N_{e1,4}/N_{eH}$ выполнен по численным значениям коэффициентов β и δ , заимствованным из работы [5], а также по материалам статистической обра-

ботки данных изменения мощности дизелей по внешней скоростной характеристике с коэффициентом, приведённым в [6].

Расчёты показали, что перевод дизеля с непосредственным впрыском топлива, вихрекамерным или предкамерным смесеобразованием в режим постоянной мощности с обеспечением коэффициента приспособляемости 1,4 возможен при условии постоянной мощности (75–80)% от номинальной.

Для получения более высоких значений постоянной мощности, вплоть до номинальной, существующий дизель необходимо модернизировать. Так обычно и поступают, а не создают новое производство ДПМ.

Модернизация должна обеспечить расширение поля возможных режимов работы путем «сдвига» перегрузочной ветви в область пониженных оборотов мероприятиями, обеспечивающими увеличение расхода воздуха на этих частотах., что позволит ввести характеристику более высокой постоянной мощности в поле возможных режимов работы дизеля. Кардинально решение такой задачи осуществляется применением наддува для дизелей без наддува или более высокого наддува для существующего дизеля с наддувом, с соответствующей его (наддува) настройкой в сочетании с рядом других мероприятий: оптимизация угла опережения и давления впрыска топлива, фаз газораспределения, динамического наддува и пр. То есть, по сути, на базе серийного дизеля создается модернизированный, с более высокой номинальной мощностью, работающий в режиме ДПМ на номинальной частоте n_n с недогрузкой по номинальной мощности, но обеспечивающий поддержание постоянного заданного уровня мощности с уменьшением частоты n и высокое значение коэффициента приспособляемости.

Уменьшение значения номинальной мощности в режиме ДПМ, по отношению к которой подсчитываются удельные показатели качества двигателя, ухудшает технические характеристики ДПМ и снижает его конкурентоспособность. Этого можно избежать двухпозиционным управлением подачей топлива. В одной позиции двигатель работает как ДПМ по характеристике постоянной мощности, в другой – как традиционный дизель – по внешней скоростной характеристике (рисунок 2).

В принципе, возможно и другое решение в создании ДПМ, позволяющее иметь значение постоянной мощности, равное номинальной мощности существующего двигателя.

Для этого необходимо осуществить регулируемый наддув, обеспечивающий примерное сохранение часового расхода воздуха с понижением частоты вращения вала управлением давления наддува. Однако, известные устройства управления давлением наддува достаточно сложны и в практике отечественного двигателестроения используется редко.

Управляющим параметром получения постоянной мощности в диапазоне частот $n_m \div n_n$ является расход топлива, часовой или цикловой. Необходимое изменение часового расхода топлива вытекает из выражений

$$N_e = G_m / g_e = const, \quad G_m = G_{mn} \cdot g_e / g_{en}$$

из которых следует, что для получения постоянной мощности часовой расход топлива должен изменяться пропорционально изменению удельного эффективного расхода g_e . То есть графики $g_e = f(n)$ на рисунке (2) по сути и отражают необходимое изменение расхода топлива G_m .

Изменение цикловой подачи топлива получим из уравнения, в котором вместо расхода g_e введена обратная ему величина эффективного КПД η_e

$$q_{mn} \cdot n_n \cdot \eta_{en} = q_m \cdot n \cdot \eta_e$$

$$q_m = q_{mn} \frac{n_n}{n} \cdot \frac{\eta_{en}}{\eta_e} \quad (3)$$

То есть цикловой расход топлива должен быть обратно пропорциональным изменению произведения $\eta_e \cdot n$.

В случае малого изменения КПД η_e (или расхода g_e) и допущении его постоянства в диапазоне частот $n_m \div n_n$ условием получения постоянной мощности будет изменение цикловой подачи топлива, обратное изменению частоты вращения или постоянство часового расхода топлива

$$q_m = q_{mn} \frac{n_n}{n}; \quad G_{mn} = G_m = const$$

Таким образом, приходим к необходимости анализа эффективного КПД по характеристике постоянной мощности.

Эффективный КПД η_e , как известно, представляет произведение индикаторного η_i на механический η_m

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$$

При работе дизеля по характеристикам постоянной мощности изменение η_e происходит в диапазоне частот $n_n \div n_m$. На режимах с $n = n_n$ изменение η_e для разных значений N_e осуществляется по нагрузочной характеристике: в области малых нагрузок с увеличением N_e КПД η_e существенно возрастает, в области средних и близких к номинальной увеличению η_e ослабевает, достигает макси-

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

мума и на номинальной (максимальной) мощности несколько снижается. Подобный характер изменения η_e в значительном диапазоне роста нагрузок (N_e) устанавливается противоположным направлением изменения КПД η_i и η_m . с различной степенью интенсивности. При малых мощностях – существенным ростом КПД η_m при слабом изменении η_i , в области высоких нагрузок – интенсивным падением η_i при невысокой скорости увеличения η_m . для средних и близких к номинальной нагрузок (в области достижения $\eta_{e\max}$) – противоположным по влиянию на η_e взаиморавновешивающим изменениям η_i и η_m .

Для режимов на корректорной ветви, где $n = n_m$ изменение η_e происходит по внешней скоростной характеристике при максимальной загрузке двигателя на каждой частоте n . Уменьшение частоты от n_n до n_m сопровождается постоянным увеличением механического КПД, в основном по причине снижения механических потерь. Изменение η_i носит более сложный характер с наличием максимума в диапазоне $n_n - n_m$. Но диапазон изменения КПД η_i и η_m существенно меньше, нежели по нагрузке при $n = n_n$. В результате кривая $\eta_e = f(n)$ по корректорной ветви более пологая с максимумом в области средних частот.

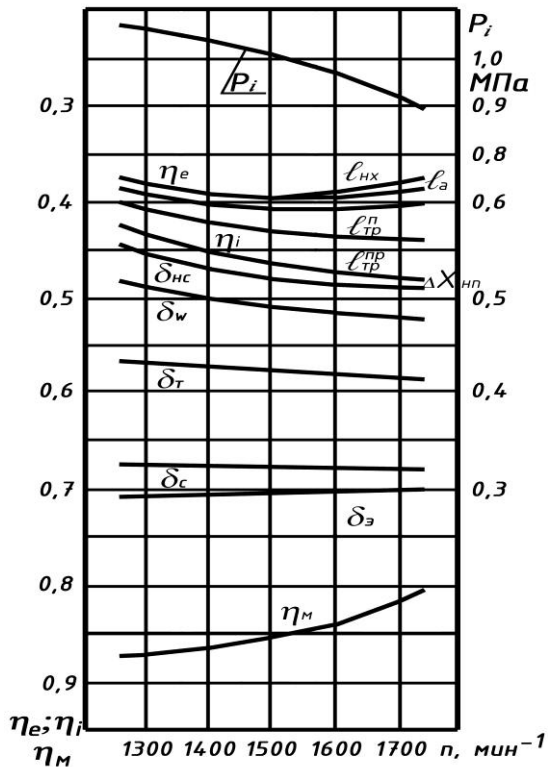


Рисунок 3 - К анализу изменений эффективного КПД дизеля А-01 в режиме ДПМ

Зависимость $\eta_e = f(n)$ по характеристике постоянной мощности в интервале $n_n \div n_m$ - симбиоз влияния одновременного уменьшения частоты и роста эффективного давления P_e . Последнего – за счет увеличения среднего индикаторного давления P_i и снижения механических потерь, как суммы отдельных коэффициентов механических потерь l (рисунок 3). При этом КПД η_m и η_i в диапазоне уменьшения частоты n от n_n до n_m имеют противоположную направленность изменения: КПД η_m увеличивается, причем более интенсивно в области высоких n , (т.е. n_n), индикаторный η_i уменьшается, причем более интенсивно в области малых n (т.е. n_m). В итоге для всех уровней $N_e = const$ зависимость $\eta_e = f(n)$ имеет максимум при некоторой оптимальной частоте n_{opt} .

Вид зависимости $\eta_e = f(n)$ и положение максимума $\eta_{e\max}$ по частоте n устанавливается значением заданной постоянной мощности. Чем ниже мощность $N_e = const$, тем больше различия в значениях η_e (или расходах топлива g_e на рисунке 1) при n_n и n_m , тем ближе n_{opt} к частоте и тем существеннее влияние отношения η_{en}/η_e на изменение цикловой подачи в выражении (3).

Последнее иллюстрируется графиком изменения частоты n_{opt} и соответствующего ей минимального расхода топлива $g_{e\min}$ в зависимости от величины заданной постоянной мощности на рисунке 4.

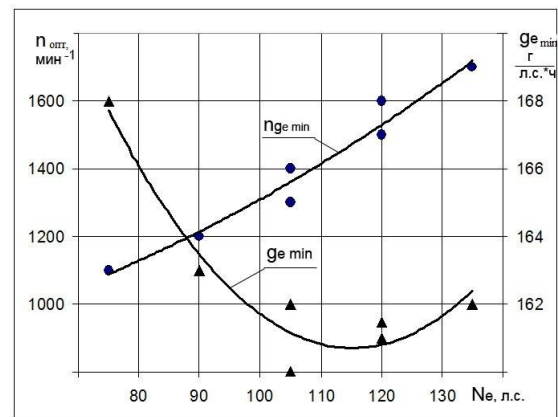


Рисунок 4 - К оптимизации частоты вращения n из условия получения минимального расхода топлива для заданного уровня постоянной мощности дизеля А-01МСИ в режиме ДПМ

Эффект влияния оптимизации частоты n на расход топлива g_e можно оценить сравнением графиков расхода $g_{e\min}$ на рисунке 4 и расхода g_e по нагрузочной характеристике при $n_n=1700 \text{ мин}^{-1}$ на рисунке 1. Сравнение

показывает, что в диапазоне мощностей 140 ÷ 70 л.с. расход $g_{e\ min}$ для двигателя ДПМ расход топлива изменяется в диапазоне 162 ÷ 168 г/л.с.·ч., а для стандартного двигателя – 162 ÷ 190 г/л.с.·ч. График на рисунке 4 может найти использование для разработки алгоритма управления автономных гибридных энергоустановок с переменной частотой вращения в составе с дизель-электрическим агрегатом с целью обеспечения наиболее экономичной работы на режимах мощности, меньше номинальной.

При высоких значениях постоянной мощности, что характерно для ДПМ, значение КПД η_e при частотах n_n и n_m сближаются (рисунок 3). Зависимость $\eta_e = f(n)$ становится более пологой, отклонение отношения КПД $\frac{\eta_{en}}{\eta_e}$ не превосходит 6 % во всем диапазоне изменения частоты $n_n \div n_m$. В этом случае при установлении закономерностей управления цикловой подачей топлива можно допустить в первом приближении отношение $\frac{\eta_{en}}{\eta_e} = 1$ и осуществлять изменение цикловой подачи обратно пропорционально изменению частоты n .

Более глубокий и детальный анализ причин, оказывающих влияние на изменение КПД η_e по характеристике постоянной мощности, а соответственно и большую конкретизацию мероприятий по ее улучшению можно провести с помощью методики [1]. Она позволяет выделить и дать численную оценку влияния на η_i неполноты выделения Δx_{np} , неиспользования δ_i теплоты в рабочем цикле ее преобразования в механическую (индикаторную) работу и затрат работы на механические потери / различного рода в двигателе.

Подобная информация при работе ДПМ по корректорной ветви представлена графиками на рисунке 3. Здесь приводятся коэффициенты неполноты выделения Δx_{np} и неиспользования теплоты δ_i в цикле соответственно: δ_s – в эталонном цикле, $\delta_{нс}$ – от несвоевременности сгорания; δ_c и δ_t – от уменьшения показателя адиабаты по причинам изменения состава рабочего тела и его температуры; δ_w – вследствие теплообмена, а также коэффициенты механических потерь / соответственно: $I_{тр}^{пг}$ – трения в поршневой группе, $I_{тр}^{п}$ – трения в подшипниках коленчатого вала; $I_{нх}$ – насосных потерь на осуществление процессов впуска и выпуска; I_a – на привод агрегатов. Все коэффициенты под-

считаны по отношению к теплоте, введенной в цилиндр с топливом.

Анализ графиков на рисунке 3 позволяет дифференцировать влияние отдельных коэффициентов или групп коэффициентов на изменение η_e . Так, при низких частотах n уменьшение η_e определяется ростом суммы коэффициентов неполноты и неиспользования теплоты в цикле $\Delta x_{np} + \sum \delta_i$, а при высоких частотах – ростом суммы коэффициентов механических потерь $\sum I$. Поэтому для увеличения η_e в области низких n необходимы мероприятия, обеспечивающие улучшение качества рабочего процесса в части снижения теплообмена (коэффициента δ_w), температуры рабочего тела (δ_t), увеличения скорости сгорания ($\delta_{нс}$); в области высоких n – по снижению механических потерь трения и насосных потерь.

Несомненно, предпочтительными являются мероприятия, позволяющие оптимизировать условия получения более высоких значений КПД η_e во всем диапазоне изменения частоты n . Именно оптимизацией подобного рода в современном двигателестроении достигнуты высокие эксплуатационные показатели по расходу топлива и снижению вредности отработавших газов.

К таким мероприятиям можно отнести настроенный волновой наддув, обеспечивающий увеличение расхода воздуха на низких частотах n (увеличение КПД η_i) и снижение механических насосных потерь на высоких частотах n [4]. К ним можно отнести и оптимизацию параметров топливopодачи, в частности, по углу опережения и давлению впрыска. Эффект такой оптимизации по углу явно следует из графиков на рисунке 5, из которых видно значительное снижение максимальных давления P_{max} и температуры

T_{max} , жесткости $(\frac{dP}{d\varphi})_{max}$, заметное увеличение

индикаторных давления P_i и КПД η_i (соответственно и эффективных P_e и η_e). Кроме того, оптимизация угла может рассматриваться и как средство подавления выхода окислов азота с отработавшими газами.

Отечественные дизели иногда оборудуются устройствами автоматического управления углом опережения впрыска топлива. В таком случае в создаваемых на их базе ДПМ предпочтительнее осуществлять настройку оптимального угла на режим пониженной частоты n_m , как наиболее нагруженный по тепловой и механической напряженности и по выходу окислов азота. Неоптимальность угла θ на номинальной частоте в определенной

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ

степени компенсируется недогруженностью двигателя по P_e и высоким коэффициентом избытка воздуха.

Оптимизация топливоподачи по углу θ , давлению и характеру впрыскивания топлива наиболее успешно решается в аккумуляторных системах топливоподачи. Установление эффективности использования таких систем для ДПМ предусматривается программой дальнейших наших исследований.

При построении характеристик постоянной мощности можно использовать достаточно хорошо апробированные методики моделирования рабочего цикла, проводя расчеты для каждого режима работы двигателя. Более быстро и с не меньшей точностью построение характеристик осуществляется с использованием функциональных зависимостей индикаторного КПД и среднего давления механических потерь от главных параметров их определяющих. Применительно к КПД η_i таким параметром является коэффициент избытка воздуха α и частота вращения n , а к давлению P_m – частота вращения n и среднее эффективное давление P_e .

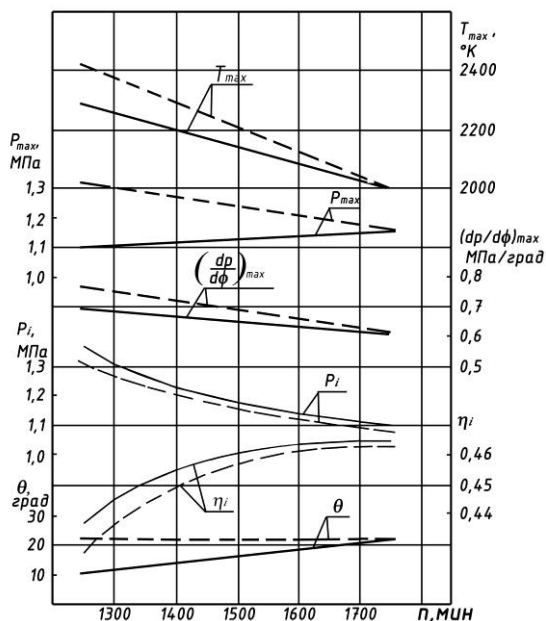


Рисунок 5 - Влияние настройки угла опережения впрыска топлива на показатели рабочего процесса дизеля:
 - - - $\theta = (-22)$ град; - · - · $\theta = \theta_{opt}$

Допуская линейную зависимость отношения η_i/α от коэффициента α для различных частот n можно для ДПМ прийти к выражению

$$\eta_i = \alpha \cdot \left[\frac{\eta_{iM}}{\alpha_M} - (\xi - \alpha_M) \xi + \beta \cdot (n - 1) \frac{\alpha}{\alpha_M} \right]. \quad (4)$$

Здесь ξ и β – опытные коэффициенты; индексы “M” относятся к режимам максимального крутящего момента.

Положительный опыт использования функциональных зависимостей имеется как в методиках приведения показателей работы дизеля к нормальным атмосферным условиям, так и при составлении математических динамических моделей для полунатурного моделирования неустановившихся режимов работы дизеля.

Наиболее правомерно использование линеаризованной зависимости $\eta_i/\alpha = f(\alpha)$ для ДПМ, где изменение коэффициента α лежит в относительно узком диапазоне значений. Так для ДПМ 4ЧН 13/14 этот показатель составляет 1,6...2,1.

Изменение среднего давления механических потерь аппроксимируется выражением

$$P_M = a + b \cdot C_m + d \cdot C_m^2 + h \cdot \frac{K - K_n}{K_n} \quad (5)$$

Здесь первые три члена отражают влияние на P_m средней скорости поршня C_m , а четвертый – нагрузки; a, b, d, h – опытные коэффициенты.

Используя (5), можно получить для ДПМ выражение механического КПД в виде

$$\eta_M = \left[1 + K_n \cdot \left(a + b \cdot C_m + d \cdot C_m^2 + h \cdot \frac{K - K_n}{K_n} \right) \cdot \frac{1}{P_{eM}} \right]^{-1}. \quad (6)$$

Эмпирические выражения (4) и (6) положены в основу методики расчета характеристики постоянной мощности. Для дизелей семейства ПО АМЗ на основании обработки экспериментальных данных можно принять $\xi = 0,122$; $\beta = 0,026$; $a = 0,286$; $b = (-0,066)$; $d = 0,0069$ в выражениях (4) и (5) для η_i и P_m .

В заключение отметим, что в результате выполненных исследований предложены общие методические подходы к исследованию работы дизеля на режимах постоянной мощности, основанные на проведении анализа эффективного КПД, которые могут быть применены как для отыскания режимов наиболее экономичной работы на частотах, меньших номинальной для заданного уровня постоянной мощности дизеля в составе гибридной энергоустановки, так и для отыскания закономерностей изменения цикловой подачи топлива при создании ДПМ.

Выполнен анализ изменения показателей рабочего процесса дизелей производства

ОАО «ПО Алтайский моторный завод» с использованием методики, позволяющей дифференцировать влияние на эффективный КПД статей неиспользования теплоты в рабочем цикле и затрат индикаторной работы на преодоление различного рода механических потерь в двигателе.

Установлена роль и значимость каждой из статей неиспользования теплоты в цикле и затрат работы в двигателе при формировании характеристики постоянной мощности.

Предложены конкретные мероприятия по повышению показателей работы дизеля по характеристике $N_e = const$ и даны рекомендации по оптимизации скоростных режимов, угла опережения впрыска и цикловой подачи топлива для использования при разработке алгоритмов управления гибридной энергетической установкой и двигателем постоянной мощности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алешков О.А. Повышение топливной экономичности многофункционального энерготехнологического комплекса оптимизацией скоростного режима первичного дизельного двигателя в его составе / О.А. Алешков, А.А. Малоземов // Ползуновский вестник.-2009.- № 1-2.- С.199-209.

2. Кригер В.Л. Разработка общих принципов создания двигателей постоянной мощности и реализация их для дизелей типа ЧН 13/14: Автореф. дис. ... канд.техн.наук.- Барнаул,1990.-21 с.

3. Ефремов И.Ф. Метод анализа топливной экономичности поршневых ДВС / И.Ф.Ефремов, Д.Д.Матиевский // Двигателестроение. 1986.- № 7.- С. 3-6.

4. Брякотин М.Э. Применение волнового наддува на двигателе постоянной мощности с турбонаддувом. Исследование и совершенствование быстроходных двигателей: Межвуз.Сб./ Под ред. Л.В. Нечаева Л.В./ АлтГТУ им.И.И.Ползунова.- Барнаул: Б.и., 1997.- С.56-60.

5. Дьяченко Н.Х. Быстроходные поршневые двигатели внутреннего сгорания. Н.Х.Дьяченко, С.Н.Райков, В.С.Мусатов, П.М.Белов, Ю.И.Будыко / Под ред. д.т.н., проф.Н.Х.Дьяченко, М.,-Л. 1962.- 359 с.

6. Шароглазов Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов / Б.А. Шароглазов, В.В. Клементьев. - Учебник под ред. Б.А. Шароглазова.- Челябинск.- Изд-во ЮУрГУ, 2006.- 382 с.

Матиевский Г.Д.,
Кулманакоев С.П., к.т.н., доц.,
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Барнаул,
тел. (8385)260516, e-mail: spk_ice@mail.ru

*Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы (ФЦП)
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы*