

УДК 531.8 (075_8)

МОДЕЛЬ РАСХОДА ЭНЕРГИИ СИЛОВОГО АГРЕГАТА С ДВС

И.В. Леонов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация
e-mail: dmit_leonov@gmail.com

Важнейшей характеристикой машинного агрегата является экономичность. Причинами снижения экономичности машин могут быть колебания скорости и нагрузки, отклонения которых от оптимальных по критерию экономичности значений и вызывает рост потерь энергии при эксплуатации. Особую сложность представляет проектирование машин с двигателями внутреннего сгорания, поскольку такой тип двигателя может развивать одинаковую мощность при различных сочетаниях скоростного и нагрузочного режимов. В связи с этим для снижения расхода топлива на переходных режимах в условиях эксплуатации необходимо иметь математическую модель алгоритма управления двигателем по экономической характеристике.

Ключевые слова: машинный агрегат, двигатель внутреннего сгорания, расход топлива, система управления, переходный режим, проектирование, моделирование.

ENERGY CONSUMPTION MODEL FOR POWER PLANT WITH INTERNAL COMBUSTION ENGINE

I.V. Leonov

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation
e-mail: dmit_leonov@gmail.com

Fuel efficiency is the most important characteristic of the vehicle power plant. Both speed and load fluctuations may cause a decrease in vehicle efficiency. Their deviations from the optimal values in terms of the fuel efficiency result in increasing operational energy losses. The design of the vehicles with internal combustion engines is a challenge since such engines can develop an equal power at different combinations of speed rates and loading modes. Therefore, to reduce fuel consumption in the transient operation modes, it is necessary to develop a mathematical model for the algorithm of the fuel efficient engine control.

Keywords: vehicle power plant, internal combustion engine, fuel consumption, control system, transient mode, engineering, modelling.

Экономичность машинного агрегата (МА) является одной из важнейших его характеристик. Основные динамические и экономические свойства МА закладываются в процессе проектирования при выборе таких параметров, как тип и мощность двигателя, а также передаточное отношение передаточного механизма. Последующие расчеты по критериям прочности и долговечности, как правило, не влияют на динамические качества МА и расход энергии при эксплуатации, если при этом не происходит значительного увеличения подвижных масс [1].

Особую сложность представляет проектирование машин с дизельным двигателем, оборудованным системой автоматического регулирования скорости (САРС), так как двигатель этого типа может развивать одинаковую мощность при различных сочетаниях скоростного и нагрузочного режимов. В связи с этим для снижения расхода топлива на переходных режимах в условиях эксплуатации необходимо использовать математическую модель алгоритма управления двигателем внутреннего сгорания (ДВС) по экономической характеристике.

Экономичность расхода энергии машины часто оценивается критерием в удельных единицах

$$g = \frac{G}{\Pi},$$

где Π — производительность машины (выработка продукции в единицу времени); $G = f(\Pi)$ — часовой расход энергии.

При нулевой производительности $\Pi = 0$ удельный расход энергии бесконечно велик у машин любого типа, что делает эту оценку неудобной для инженерных расчетов (рис. 1). Поэтому ее часто заменяют оценкой КПД. Например, для ДВС [1] эффективный КПД можно рассчитать по формуле

$$\eta = \frac{3600}{Q_{н}g_e},$$

где $g_e = \frac{G}{W_e}$ — удельный расход топлива ДВС, который показывает, какое количество топлива расходует ДВС на единицу эффективной мощности W_e в течение часа; $Q_{н}$ — низшая теплота сгорания топлива.

Зависимость удельного расхода энергии $g = f(\Pi)$ получается перестроением зависимости абсолютного расхода $G = f(\Pi)$. Она имеет минимум при оптимальной производительности $\Pi_{\text{опт}}$, которая может быть получена как абсцисса точки касания прямой, проведенной из начала координат, к кривой $G = f(\Pi)$ [2].

Характер изменения $g = f(\Pi)$ объясняется тем, что увеличение удельного расхода энергии левее минимума $g = f(\Pi)$ происходит за счет непропорционального увеличения удельных потерь энергии на трение, а увеличение удельного расхода энергии правее оптимальной

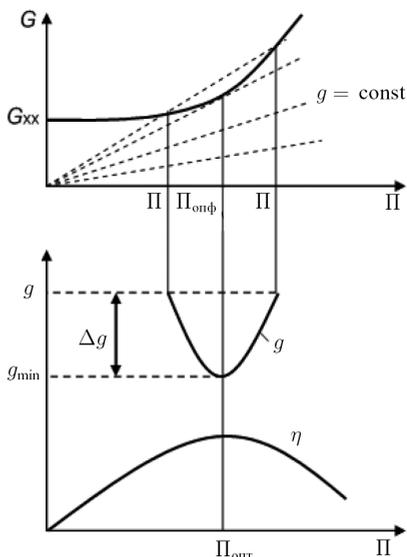


Рис. 1. Зависимости КПД абсолютного часового $G = f(\Pi)$ и удельного $g = f(\Pi)$ расходов энергии от производительности машины

производительности $\Pi_{\text{опт}}$ свидетельствует о снижении качества рабочего процесса машины (ДВС) (см. рис. 1).

Аналитическим способом оптимальный режим $\Pi_{\text{опт}}$ по критерию удельного расхода топлива может быть найден из условия равенства нулю первой производной $g(\Pi) = 0$:

$$\Pi_{\text{опт}} \frac{\partial G}{\partial \Pi}(\Pi_{\text{опт}}) - G(\Pi_{\text{опт}}) = 0 \quad \text{или} \quad \frac{\partial G}{\partial \Pi}(\Pi_{\text{опт}}) = \frac{G}{\Pi_{\text{опт}}} = g_{\min},$$

где g_{\min} — минимальный удельный расход энергии на оптимальном режиме.

Таким образом, на оптимальном по удельному расходу энергии режиме оптимальной производительности $\Pi_{\text{опт}}$ значение производной функции абсолютного расхода энергии равно минимальному удельному расходу энергии $\frac{\partial G(\Pi_{\text{опт}})}{\partial \Pi}$ и минимальному удельному расходу

энергии g_{\min} . Этот факт равенства $\frac{\partial G(\Pi_{\text{опт}})}{\partial \Pi} = g_{\min}$ имеет следующий физический смысл. Производная абсолютного расхода энергии представляет собой касательную к функции абсолютного расхода энергии $G(\Pi)$, проведенную из начала координат. На рис. 1 нанесено семейство расчетных зависимостей $G = f(\Pi, g)$ при постоянном удельном расходе энергии $g = \text{const}$, при котором зависимость абсолютного расхода энергии от производительности является линейной $G = g\Pi$ и представляет собой прямую, проходящую через начало координат с коэффициентом пропорциональности, равным удельному расходу энергии g .

Рассмотрим верхнюю прямую $G = g\Pi$ при более высоком удельном расходе энергии $g = \text{const} > g_{\min}$, которая соответствует возрастанию удельного расхода энергии на $\Delta g = g - g_{\min}$ по отношению к минимальному удельному расходу энергии g_{\min} . Пересечение верхней прямой $G = g\Pi$, $g = \text{const} > g_{\min}$ с реальной характеристикой $G = f(\Pi)$ в двух точках свидетельствует о том, что между ними на экспериментальной кривой $G = f(\Pi)$ должна находиться точка оптимальной производительности $\Pi_{\text{опт}}$ по критерию экономичности расхода энергии с наименьшим удельным расходом энергии g_{\min} .

Потребителя интересует минимизация абсолютного расхода энергии G по сравнению с минимально возможным расходом. Представим такую оценку в виде разности реального абсолютного расхода энергии при реальном удельном расходе $G(\Pi) = g\Pi$ и возможного расхода при минимальном удельном расходе $G = g_{\min}\Pi$. Назовем этот критерий абсолютным перерасходом энергии:

$$\Delta G(\Pi) = G(\Pi) - \Pi g_{\min} = (g - g_{\min})\Pi = \Pi \Delta g(\Pi),$$

где $\Delta g = (g - g_{\min})$ — прирост удельного расхода энергии по сравнению с минимальным значением g_{\min} .

Чем дальше от оптимальной производительности $\Pi_{\text{опт}}$ будет отклоняться режим работы МА, тем больше будут перерасходы энергии (т.е. абсолютные потери энергии ΔG) по сравнению с минимально возможными расходами (т.е. при работе с минимальными удельными расходами энергии g_{min} при оптимальной производительности $\Pi_{\text{опт}}$ [3]):

$$G_{\text{опт}} = g_{\text{min}} \Pi_{\text{опт}}.$$

Аппроксимируем зависимость абсолютного расхода энергии квадратичным сплайном

$$G(\Pi) = C_0 + C_1 \Pi + C_2 \Pi^2.$$

Тогда выражение удельного расхода энергии примет вид

$$g = \frac{C_0}{\Pi} + C_1 + C_2 \Pi,$$

где C_0, C_1, C_2 – коэффициенты степенного ряда, определяемые из характеристики расхода энергии $G(\Pi)$. Например, при $\Pi = 0$ $G = G_{\text{xx}}$ – абсолютному расходу энергии на холостом ходу; при $\Pi = \Pi_{\text{опт}}$ и $g = g_{\text{min}}$ $G_{\text{опт}} = g_{\text{min}} \Pi_{\text{опт}}$. Отсюда получим $C_0 = G_{\text{xx}}$, $C_1 = g_{\text{min}}$, $C_2 = -\frac{G_{\text{xx}}}{\Pi_{\text{опт}}^2}$.

Таким образом, приведенное аппроксимирующее выражение g включает в себя барьерную функцию $\frac{C_0}{\Pi}$ и отвечает начальным условиям при $\Pi = 0$ $g \rightarrow \infty$.

При использовании аппроксимирующих выражений показатели увеличения удельного и абсолютного перерасходов энергии примут вид

$$\Delta g = g - g_{\text{min}} = \frac{G_{\text{xx}}}{\Pi} - \frac{\Pi_{\text{опт}}^2}{\Pi}, \quad \Delta G(\Pi) = \Delta g \Pi = G_{\text{xx}} \left[1 - \left(\frac{\Pi}{\Pi_{\text{опт}}} \right)^2 \right].$$

Последняя зависимость показывает, что функция абсолютного перерасхода энергии $\Delta G(\Pi)$ будет расти при удалении влево (см. рис. 1) от оптимального по экономичности режима.

В качестве примера рассмотрим идеализированную гиперболическую характеристику удельного расхода энергии насоса или компрессора с приводом ДВС при регулировании производительности Π перепуском рабочего тела, у которых затрачиваемая мощность постоянна

$$g = \frac{C}{\Pi} = \frac{g_{\text{min}} \Pi_{\text{опт}}}{\Pi},$$

где $C = G_{\text{опт}} = g_{\text{min}} \Pi_{\text{опт}}$ – параметр экономичности машины, характеризующий абсолютный расход энергии на оптимальном по экономичности режиме работы машины. При такой характеристике $g(\Pi)$

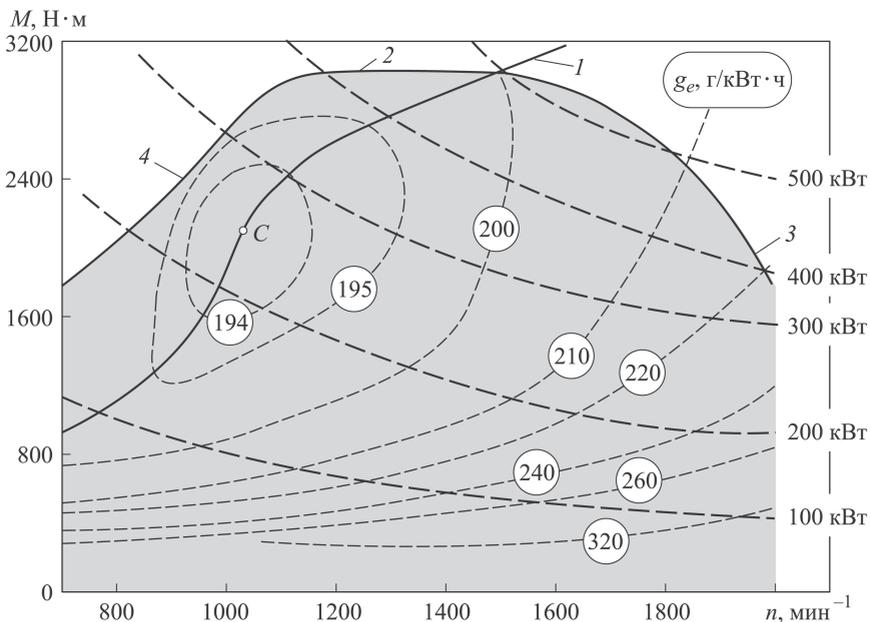


Рис. 2. Экспериментальная параметрическая характеристика — зависимость момента $M(n)$ от частоты вращения вала тепловозного дизеля с турбонаддувом с кривыми постоянной мощности и постоянного удельного расхода топлива:

1 — экономическая характеристика; 2 — внешняя характеристика; 3 — предельная регуляторная характеристика; 4 — корректорная характеристика

увеличение удельного расхода энергии по сравнению с минимальным g_{\min} при отклонении влево от оптимальной производительности $\Pi_{\text{опт}}$ машины будет равно

$$\Delta g = g - g_{\min} = g_{\min} \left[\frac{\Pi_{\text{опт}}}{\Pi} - 1 \right] = g_{\min} \left[\frac{1}{K_{\Pi}} \right],$$

где $K_{\Pi} = \frac{\Pi}{\Pi_{\text{опт}}}$ — коэффициент загрузки машины, равный отношению текущей производительности к ее значению на оптимальном режиме.

Проектирование ДВС проводится таким образом, что режим работы с максимальной мощностью, указываемый точкой как номинальный, не совпадает с наиболее экономичным режимом его в точке C , как показано на рис. 2. Номинальную мощность ДВС, установленного в МА, как правило, выбирают, исходя из необходимости сокращения времени разгона или для кратковременного приема пиковой нагрузки, поэтому она оказывается заведомо большей, чем это необходимо для работы на установившемся режиме работы [3].

Таким образом при выборе номинальной мощности двигателя $W_{\text{ном}}$ конструктор МА закладывает возможность работы ДВС в эксплуатационных условиях с различной экономичностью. При выборе двигателя с номинальной мощностью, намного превышающей потребности

установившегося режима, конструктор улучшает динамические характеристики МА. Момент двигателя при разгоне затрачивается на преодоление сопротивления движению и обеспечение заданного желаемого ускорения ε вала и времени разгона ДВС. Его можно представить в виде суммы момента сопротивления $M_{\text{сопр}}$ на установившемся режиме и динамического момента $M_{\text{дин}}$, вызывающего ускорение вала ДВС [2]

$$M_{\text{дв}} = |M_{\text{сопр}}| + M_{\text{дин}},$$

где $M_{\text{дин}} = \varepsilon J_{\text{пр}} = \left| \frac{\omega_{\text{ном}} J_{\text{пр}}}{\tau_{\text{разг}}} \right|$ — необходимый динамический момент, приведенный к валу ДВС и вызывающий ускорение МА; $J_{\text{пр}}$ — суммарный приведенный момент инерции МА; $\tau_{\text{разг}} = \frac{\omega_{\text{ном}}}{\varepsilon}$ — время разгона в идеализированном цикле МА [2] до номинальной скорости двигателя $\omega_{\text{ном}}$.

Выражая мощность двигателя через крутящий момент и угловую скорость, получаем удобное приближенное выражение для выбора мощности двигателя в идеализированном цикле “разгон–торможение” с заданными динамическими свойствами через $\tau_{\text{разг}}$:

$$W_{\text{дв}} = \left(W_{\text{сопр}} + \frac{T_{\text{max}}}{\tau_{\text{разг}}} \right) \frac{1}{\eta_{\text{мех}}},$$

где $T_{\text{max}} = \frac{J_{\text{пр}} (\omega_{\text{ном}})^2}{2}$ — увеличение кинетической энергии при разгоне; $\eta_{\text{мех}}$ — механический КПД, учитывающий потери на трение; $W_{\text{сопр}}$ — мощность сил сопротивления движению на установившемся режиме.

При выборе двигателя с недостаточной мощностью происходит его перегрузка и снижение моторесурса. В идеализированном цикле разгон–торможение приведенное выражение дает возможность представить коэффициент загрузки двигателя по мощности на установившемся режиме K_w при выборе его мощности в целях обеспечения заданных динамических качеств [3] следующим образом:

$$K_w = \frac{\tau_{\text{разг}} W_{\text{сопр}}}{1 + J_{\text{пр}} \frac{(\omega_{\text{ном}})^2}{2} \left(\frac{1}{\tau_{\text{разг}} W_{\text{сопр}}} \right)}.$$

Как правило, снижение экономичности связано с относительным ростом потерь (тепловых, механических и др.) при уменьшении коэффициента использования номинальной мощности k_w . Поэтому при проектировании накладываются ограничения на его допустимые минимальные значения. Повлиять на значения k_w можно как выбором номинальной мощности двигателя, так и изменением оптимального передаточного отношения. При выборе передаточного отношения МА можно определить и необходимую номинальную мощность двигателя

для работы на установившемся режиме:

$$W_{\text{ном}} = (M_{\text{дв}})_{\text{ном}} (\omega_{\text{дв}})_{\text{ном}}.$$

При изменении нагрузки машины происходит отклонение от выбранного расчетного экономичного режима работы, приводящее, как правило, к увеличению расхода энергии МА. Экономичность снижается меньше, если отклонение от расчетного режима работы происходит по направлению градиента изменения критерия экономичности, определяющего экономическую характеристику МА. Поэтому, оценивая наиболее вероятные режимы работы МА, можно совместить их с областью экономичной работы, например путем изменения передаточного отношения передаточного механизма. Для этой цели в МА применяются автоматические устройства, например объединенный регулятор скорости и нагрузки дизель-электрического агрегата тепловоза и т.п. [4].

Таким образом, повышение экономичности расхода энергии на установившихся режимах возможно за счет выбора оптимальной номинальной установленной мощности ДВС, т.е. за счет приближения установившегося режима работы к режиму минимального удельного расхода энергии (точка C , см. рис. 2) [5].

Параметрическая модель экономичности МА с ДВС (см. рис. 2) представляет собой связь между параметрами режима работы с показателями экономичности расхода энергии, например, зависимости крутящего момента ДВС от скоростного режима $M(\omega)$ при постоянном значении удельного расхода топлива. Построение экономической характеристики ДВС осуществляется в этих координатах по данным экспериментальных исследований (кривая 1, см. рис. 2) [6]. Управление ДВС при эксплуатации по экономической характеристике может служить значительным резервом повышения экономичности машины на переходных режимах, но конструкция и алгоритм действия системы управления ДВС по экономичности до сих пор не разработаны [7].

В качестве математического выражения критерия экономичности машины при разработке алгоритма действия системы управления ДВС может быть принято отклонение параметров переходного режима от точки минимального расхода топлива (точка C , см. рис. 2), которое должно минимизироваться системой управления ДВС. Для вывода алгоритма управления работы ДВС по критерию экономичности расхода энергии может быть использован следующий принцип. В основу его положена минимизация отклонения r_{min} переходного режима от наиболее экономичного режима работы ДВС (см. рис. 2) с координатами точки C ($M_{\text{ЭК}}, \omega_{\text{ЭК}}$), как показано на рис. 3.

Это отклонение может быть представлено переменным радиусом окружности с центром в точке C минимального удельного расхода топлива, проведенной через точку ее пересечения с линией постоянного

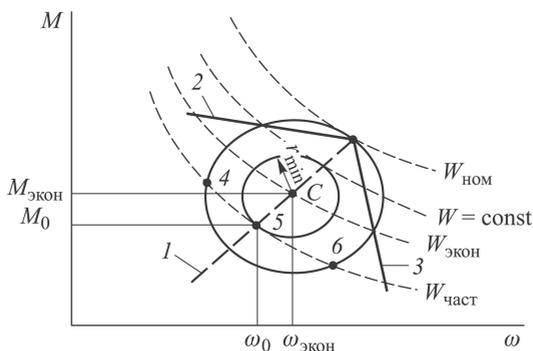


Рис. 3. Схематизированная параметрическая зависимость ДВС (обозначения см. рис. 2)

значения мощности $W = M_{\text{дв}}\omega_{\text{дв}}$ в точках 4 и 5 (см. рис. 3),

$$\left(\frac{W}{\omega_{\text{дв}}} - M_{\text{ЭК}}\right)^2 + (\omega_{\text{дв}} - \omega_{\text{ЭК}})^2 = r^2.$$

Радиус этой окружности r прямо пропорционален приросту удельного расхода топлива с коэффициентом пропорциональности

$$k_g = \frac{(M_{\text{НОМ}} - M_{\text{ЭК}})^2 + (\omega_{\text{НОМ}} - \omega_{\text{ЭК}})^2}{g_{\text{НОМ}} - g_{\text{МИН}}}.$$

Таким образом, минимизация расхода топлива ДВС на переходном режиме возможна за счет воздействия подачи топлива на момент ДВС $M_{\text{дв}}$ в соответствии со скоростью вала $\omega_{\text{ЭК}}$ по экономической характеристике

$$\Delta g = \left[\frac{(g_{\text{НОМ}} - g_{\text{МИН}})[(M_{\text{дв}} - M_{\text{ЭК}})^2 + (\omega_{\text{дв}} - \omega_{\text{ЭК}})^2]}{(M_{\text{НОМ}} - M_{\text{ЭК}})^2 + (\omega_{\text{НОМ}} - \omega_{\text{ЭК}})^2} \right].$$

Применяемая на дизелях САРС в существующем виде не способна выполнять эти функции управления экономичностью расхода топлива [5], так как при перемещении рычага управления рейка топливного насоса выходит на упор, обеспечивая работу по внешней характеристике.

На рис. 4 представлена экспериментальная параметрическая зависимость момента от частоты вращения вала $M(n)$ транспортного дизеля с турбонаддувом ДбН [8], анализ которой показывает, что кривые постоянного давления надувочного воздуха P_v в значительной области параметрической характеристики эквидистантны кривым постоянной мощности на рис. 2. Одинаковый характер этих зависимостей на характеристиках дизелей (см. рис. 2 и 4) дает возможность для введения в существующую САРС корректирующего импульса по давлению наддува в целях обеспечения работы на переходных режимах разгона по экономической характеристике дизеля. Проведенные ранее в МГТУ

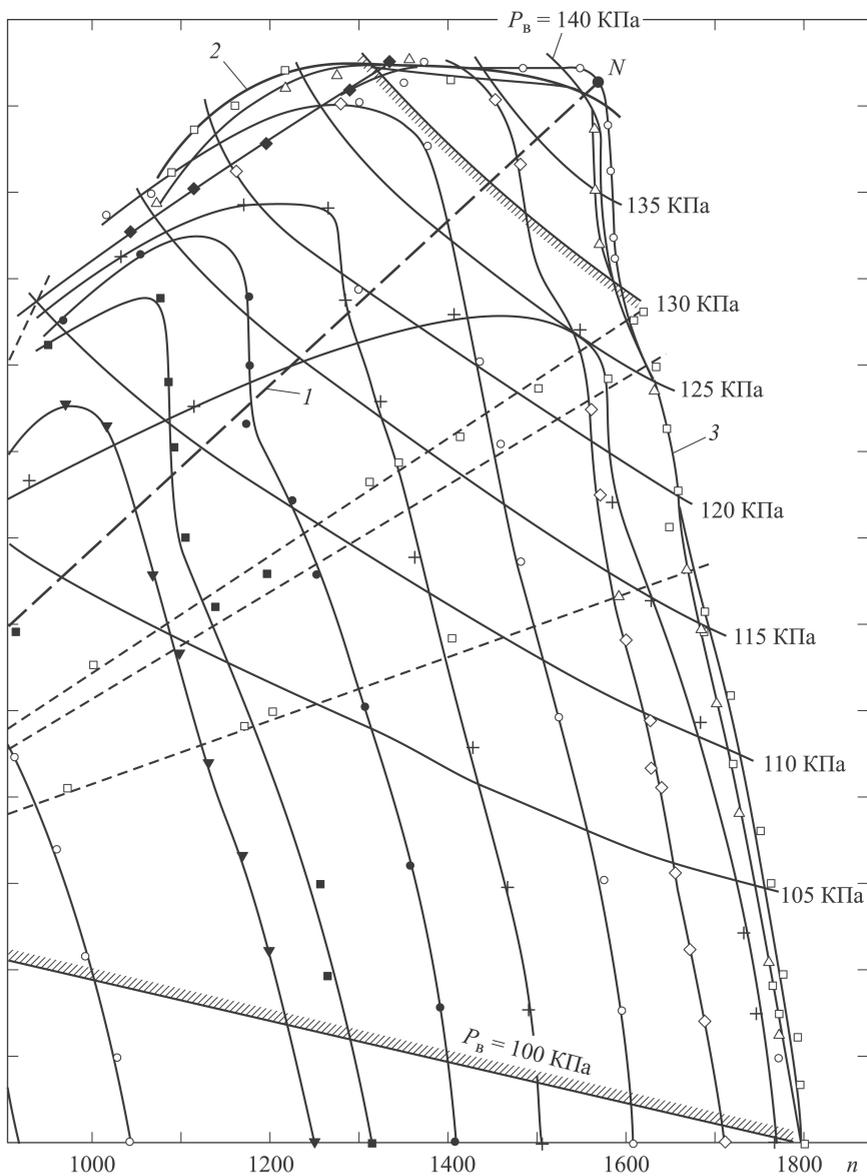


Рис. 4. Экспериментальная параметрическая зависимость крутящего момента от частоты вращения вала $M(n)$ дизеля с турбонаддувом Д6Н с кривыми постоянного давления надвучного воздуха (обозначения см. рис. 2)

им. Н.Э. Баумана исследования подтверждают такую возможность путем введения в САРС положительной обратной связи по давлению надвучного воздуха [8]. Поскольку в дизелях с турбонаддувом давление надвучного воздуха определяется параметрами как скоростного, так и нагрузочного режимов работы, то в качестве системы управления экономичности может быть использована САРС с введением корректирующего импульса по давлению наддува с положительной обратной связью.

Выводы. 1. Основными факторами, вызывающими снижение экономичности МА с ДВС в эксплуатационных условиях, являются неоптимальный выбор номинальной мощности и использование САРС, не предназначенной для управления ДВС по экономической характеристике.

2. Управление ДВС на переходных режимах по экономической характеристике приводит к снижению расхода топлива и, возможно, расход топлива снижается при настройке системы управления на минимизацию удаленности текущего переходного режима работы от точки минимального удельного расхода топлива.

3. В дизелях с турбонаддувом система управления по минимизации удаленности текущего режима работы от точки минимального удельного расхода топлива может быть построена на базе САРС с введением корректирующего импульса по давлению наддува взамен использования импульса по нагрузке.

4. В дизель-генераторах и тепловозных дизелях в качестве импульса САУ по нагрузке целесообразно использовать электрический сигнал тока электрогенератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Машиностроение*. Энциклопедия. Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. Т. IV–14. Двигатели внутреннего сгорания / под общ. ред. А.А. Александрова и Н.А. Иващенко. М.: Машиностроение, 2013. 784 с.
2. *Леонов И.В.* Теория механизмов и машин. М.: Высшее образование, 2009. 239 с.
3. *Епишин А.Ю.* К вопросу экономичности автономного подвижного состава путем совершенствования управления силовыми установками // *Естественные и технические науки*. 2012. № 6. С. 285–288.
4. *Чеботарев М.А.* Математическое моделирование работы дизель-генератора тепловоза в переходных режимах // Труды 9-й Науч.-практич. конф. “Безопасность движения поездов”, Москва, 2008. М.: МИИТ. 2008, С. V/6-V/7.
5. *Cerri T., Onorati A., Mattarelli E.* (University of Modena and Reggio Emilia, Italy) Анализ работы высокооборотного дизеля на основе разработанной математической модели сгорания. 1D engine simulation of a small HSDI diesel engine applying a predictive combustion model – Trans // ASME. J. Eng. Gas Turbines and Power. 2008. 130. No. 1. С. 012802/1-012802/10.
6. *Vermonet Claire, Souchon Vincent, Metssonier Guillaume* (Cabinet Grynwald) Дизель с устройством регулирования расхода впрыскиваемого топлива. Moteur Diesel muni d’un dispositif de controle du debit d’injection de carburant. Заявка 2846373 Франция, МПК {7} F 02 D 41/38, F 02 D 41/40. Peugeot citroen automobiles SA Delphi technologies. N 0213502; Заявл. 29.10.2002; Опубл. 30.04.2004. Фр. FR.
7. *Улучшение эксплуатационных показателей ДВС: Материалы 4-й Междунар. науч.-практич. конф. “Наука–технология–энергосбережение”* // Сборник научных трудов. Киров: Вятская ГСХ, 2011. 210 с.
8. *Крутов В.И., Леонов И.В., Шатров В.И.* Формирование равновесной характеристики двухимпульсного регулятора по скорости и давлению надувочного воздуха комбинированного ДВС // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 1987. № 7. С. 81–85.

REFERENCES

- [1] Aleksandrov A.A., Ivashchenko N.A., eds. Mashinostroenie. Entsiklopediya. T. IV–14. Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Mechanical Engineering. Encyclopaedia. Vol. IV–14. Internal Combustion Engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2013. 784 p.
- [2] Leonov I.V. Teoriya mekhanizmov i mashin [Theory of Mechanisms and Machines]. Moscow, Vyssh. obrazovanie Publ., 2009. 239 p.
- [3] Epishin A.Yu. The question of economical operation of self-powered rolling stock by developing the power equipment control. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [J. of Natural and Technical Sciences], 2012, no. 6, pp. 285–288 (in Russ.).
- [4] Chebotarev M.A. Simulation analysis of diesel electrical generating unit operation of the diesel-powered locomotive in transient modes. *Tr. 9 Nauch.-praktich. Konf. "Bezopasnost' dvizheniya poezdov"* [Proc. of the 9th Research and Practice Conf. "Rail Traffic Safety"]. Moscow, 2008. MIIT Publ., pp. V/6–V/7 (in Russ.).
- [5] Cerri T., Onorati A., Mattarelli E. (University of Modena and Reggio Emilia, Italy). Operational analysis of a high-speed diesel on the basis of the developed combustion mathematical model. 1D engine simulation of a small HSDI diesel engine applying a predictive combustion model – *Trans. ASME. J. Eng. Gas Turbines and Power*, 2008, vol. 130, no. 1, pp. 012802/1–012802/10.
- [6] Vermonet Claire, Souchon Vincent, Metssonier Guillaume (Cabinet Grynwald) Moteur Diesel muni d'un dispositif de controle du debit d'injection de carburant. Application request 2846373 France, MPK {7} F 02 D 41/38, F 02 D 41/40. Peugeot citroen automobiles SA Delphi technologies. N 0213502; Notification 29.10.2002; Published 30.04.2004. FR.
- [7] Advancing operational characteristics of the internal combustion engine: Proc. of the 4th Research and Practice Conf. "Science- technology-energy-saving". *Sb. Nauch. Tr. Kirov, Vyatskaya GSKh Publ.*, 2011. 210 p.
- [8] Krutov V.I., Leonov I.V., Shatrov V.I. Forming an equilibrium specification of the double-pulse adapter according to speed and pressure of supercharging air of the compound internal combustion engine. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Mashinostr.* [Proc. Univ., Mech. Eng.], 1987, no. 7, pp. 81–85 (in Russ.).

Статья поступила в редакцию 03.10.2014

Леонов Игорь Владимирович — д-р техн. наук, профессор кафедры “Механизмов и машин” МГТУ им. Н.Э. Баумана.
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Leonov I.V. — D.Sc. (Eng.), Professor, Department of Theory of Mechanisms and Machines, Bauman Moscow State Technical University. Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Леонов И.В. Модель расхода энергии силового агрегата с ДВС // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2015. № 5. С. 106–116.

Please cite this article in English as:

Leonov I.V. Energy consumption model for power plant with internal combustion engine. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2015, no. 5, pp. 106–116.