

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМИЗАЦИЕЙ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ПЕРВИЧНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЕГО СОСТАВЕ

О.А. Алешков, А.А. Малоземов

Обоснована возможность снижения расхода топлива первичного двигателя в составе многофункционального энерготехнологического комплекса оптимизацией его скоростного режима. Приведены результаты расчетно-теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации, с точки зрения топливной экономичности, скоростного режима двигатель-генератора в составе многофункционального энерготехнологического комплекса (МЭК), с учетом характеристик всережимного генератора, преобразователя частоты и наличия системы утилизации сбросового тепла. Предложена методика оптимизации, основанная на минимизации функциональной зависимости удельного эффективного расхода топлива от нагрузки и частоты вращения с использованием математических методов поиска экстремума, обоснован алгоритм функционирования системы автоматического регулирования частоты МЭК.

Possibility of decrease of primary engine fuel consumption in multipurpose energy complex is proved by optimization of its speed mode. Results theoretical and experimental researches on optimization, from the point of view of fuel economy, a speed mode of the engine-generator in multipurpose energy complex (MEC), taking into account characteristics the multispeed generator, the converter of frequency and presence of system of recycling of waste heat are resulted. The technique of optimization based on minimization of functional dependence of the specific effective fuel consumption from loading and frequency of rotation with use of mathematical methods of an extremum search is offered, the algorithm of functioning of system of automatic control of frequency MEC is proved.

ВВЕДЕНИЕ

Топливная экономичность энергетических установок с приводом от поршневых двигателей внутреннего сгорания является важным показателем их технического уровня и фактором конкурентоспособности. Одним из способов снижения эксплуатационного расхода топлива является работа первичного двигателя с оптимальной, с точки зрения экономичности, частотой вращения при данном режиме нагружения.

Реализация этого технического решения наиболее целесообразна для дизелей, функционирующих в составе многофункциональных энерготехнологических комплексов (МЭК), включающих преобразователь частоты (ПЧ), стабилизирующий частоту тока до требуемых государственными стандартами значений и систему утилизации сбросового тепла двигателя (СУТД). Снижение частоты вращения влечет изменение КПД генератора, инвертора и другого электрооборудования. Кроме того, изменяется энергетический баланс двигателя, что влияет на количество

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1-2 2009

тепла утилизируемого от систем охлаждения, смазки, отвода отработавших газов.

С целью обоснования оптимального скоростного режима двигатель-генератора МЭК, был проведен комплекс расчетно-теоретических и экспериментальных исследований, объектами которого являлись первичные дизели энергоустановок типа Ч13/14 и ЧН13/14 (производства Алтайского и Ярославского моторных заводов) в составе многофункционального энерготехнологического комплекса, включающего: ветроэнергетическую установку, всережимный генератор, преобразователь частоты, систему утилизации сбросового тепла двигателя.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

На основе результатов анализа специализированного программного обеспечения для расчетов поршневых двигателей и их систем, моделирования сложных динамических систем и физико-химических процессов, математических зависимостей и расчетных методик, лежащих в их основе, была предло-

жена и реализована в виде конечного программного продукта в среде Matlab/Simulink комплексная математическая модель энергетической установки с приводным поршневым двигателем, иерархическая структура которой (без указания подробных функциональных связей, которые отличаются высокой сложностью) приведена на рисунке 1.

Основой математической модели является система дифференциальных уравнений массового и энергетического баланса рабочего тела и уравнение состояния:

$$\frac{dT}{d\varphi} = (H_u \delta q_u \frac{dx}{d\varphi} + \frac{dQ_w}{d\varphi} + \frac{dQ_n}{d\varphi} - \frac{dQ_m}{d\varphi} - u \frac{dG'}{d\varphi} - u'' \frac{dG''}{d\varphi} - \frac{dL}{d\varphi}) \frac{1}{C_v (G' + G'')}, \quad (1)$$

$$pV = (G' + G'')RT, \quad (2)$$

$$\frac{dG'}{d\varphi} = \frac{dG'_n}{d\varphi} - \frac{dG'_m}{d\varphi} - G_0 q_u \frac{dx}{d\varphi}, \quad (3)$$

$$\frac{dG''}{d\varphi} = \frac{dG''_n}{d\varphi} - \frac{dG''_m}{d\varphi} + (G_0 + 1)q_u \frac{dx}{d\varphi}. \quad (4)$$

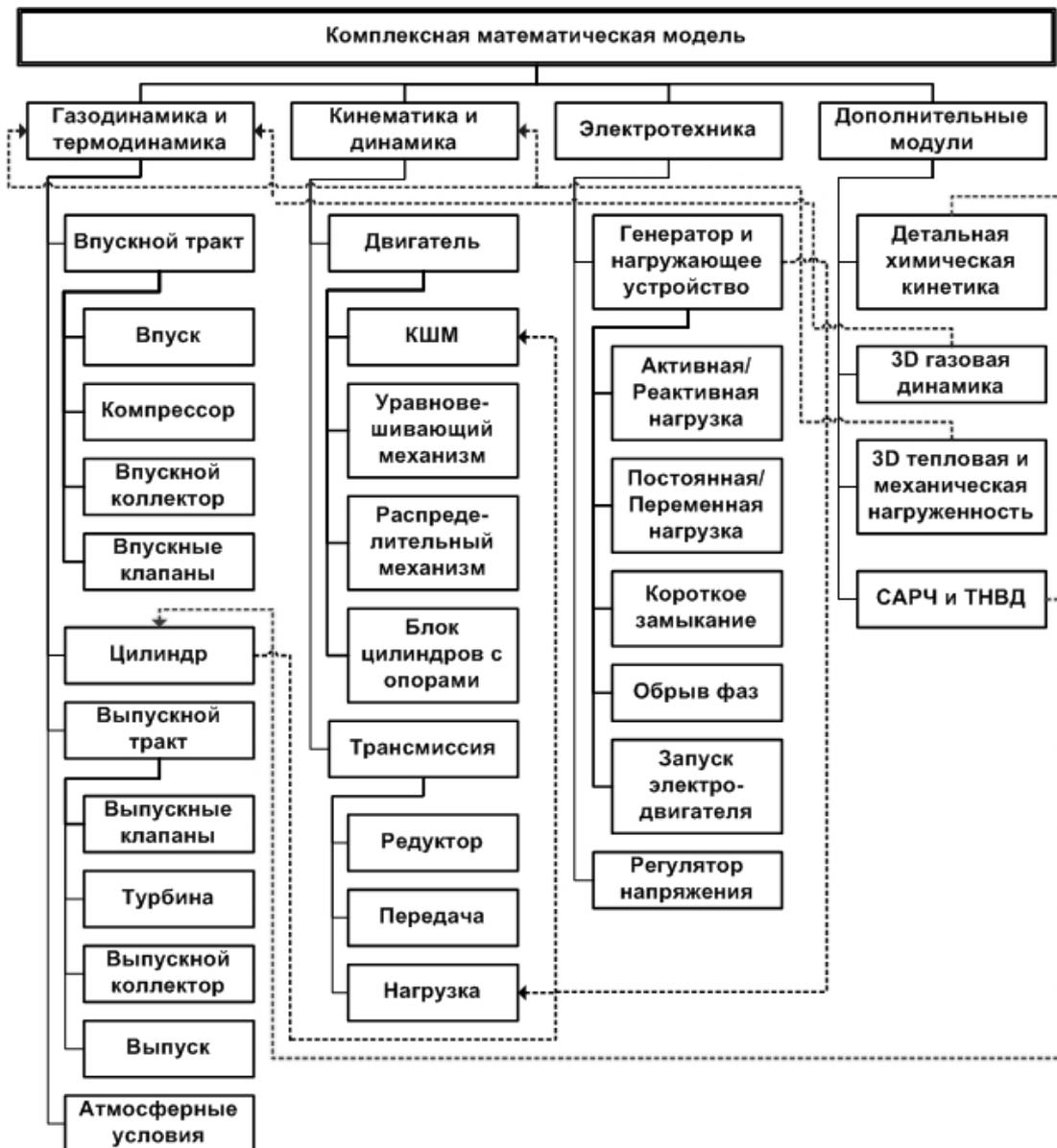


Рисунок 1 – Иерархическая структура математической модели двигатель-генератора МЭК и нагрузочного устройства

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМИЗАЦИЕЙ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ПЕРВИЧНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЕГО СОСТАВЕ

В уравнениях (1)-(4) обозначено; T , p , V , G – текущие температура, давление, объем и масса рабочего тела, соответственно, H_u – низшая теплота сгорания топлива, δ – коэффициент эффективности сгорания, $dx/d\varphi$ – закон выгорания топлива, q_u – цикловая подача топлива, G_o – масса воздуха необходимого для сгорания 1 кг топлива, dQ_w – элементарное количество энергии, подведенное к рабочему телу (или отведенное от него) в процессе теплообмена со стенками цилиндра, dQ_n – элементарное количество энергии, подведенное к рабочему телу (или отведенное от него) в процессе наполнения цилиндра, dQ_m – элементарное количество энергии, подведенное к рабочему телу (или отведенное от него) в процессе очистки цилиндра, dL – элементарная работа цикла, u – удельная внутренняя энергия рабочего тела, dG_n – элементарное количество газа, поступившего в цилиндр через впускной клапан, dG_m – элементарное количество газа, вышедшего из цилиндра через выпускной клапан, C_v – удельная теплоемкость воздуха, dG_p – элементарное уменьшение массы рабочего тела вследствие утечки через зазор между поршнем и цилиндром; dG_s – элементарное увеличение массы рабочего тела вследствие подачи сжатого воздуха, R – универсальная газовая постоянная. Символы «'» и «''» относятся к воздуху и продуктам сгорания, соответственно.

Элементарный расход воздуха через проходные сечения впускных и выпускных клапанов определяется из уравнения, известного для адиабатического истечения,

$$\frac{dG}{d\varphi} = \frac{\mu f}{n} \frac{P_1}{\sqrt{RT_1}} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{p_f}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_f}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (5)$$

где μf – площадь эффективного проходного сечения, P_1 , T_1 – давление и температура газов перед сечением, p_f – условное давление в минимальном сечении, k – показатель адиабаты.

Элементарное количество теплоты, подведенное к рабочему телу (или отведенное от него) в процессе теплообмена со стенками цилиндра, находится из уравнения теплоотдачи с использованием уравнения Ньютона и зависимости Вошни [1]. Закон выгорания топлива определяется по формуле Вибе [2].

Для более детального анализа кинематики и динамики энергоустановки с помощью модуля SimMechanics разработана соответствующая подмодель «кинематическая схема

электроагрегата», включающая подсистему «первичный двигатель». Процессы в трансмиссии энергоустановки моделировались подсистемой созданной с помощью модуля DriveLine.

Электрическая часть МЭК моделировалась с помощью модуля SimPowerSystems. В большинстве современных электроагрегатов диапазона мощностей 10 кВт – 10 МВт используются синхронные неявнополюсные генераторы с короткозамкнутым ротором. Поэтому в математической модели электрической части агрегата использовалась соответствующая подмодель. Однако, возможно использование модели генератора любого типа и любой сложности. При расчетах используется система относительных единиц, как наиболее удобная для исследования переходных процессов в электрических цепях и машинах. В качестве базовых значений для обмотки статора принимаются номинальный фазный ток и номинальное фазное напряжение. Напряжение возбуждения задается либо постоянным (например, 36 В для БГ-100) либо в соответствии со стандартом IEEE. Более подробное описание математической модели приведено в [3, 4].

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Расчет проводился по плану полного факторного эксперимента для одноцилиндровых отсеков 1Ч13/14 и 1 ЧН13/14. Варьируемыми параметрами являлись частота вращения и нагрузка двигателя. Внешние условия соответствовали номинальным по ГОСТ 18509. Величина цикловой подачи подбиралась исходя из условия обеспечения требуемой мощности. Критерием оптимизации являлся параметр удельного эффективного расхода топлива при заданной мощности, параметром оптимизации – частота вращения первичного дизеля. Дополнительно оценивался потенциал утилизации сбросового тепла дизеля (данный параметр не относится к оптимизируемым, так как когенерация не является основной функцией энергоустановки), а также другие характеристики, позволяющие оценить эффективность преобразования и передачи энергии в МЭК. Пример зависимости эффективного удельного расхода топлива дизеля 1ЧН13/14 от частоты вращения приведен на рисунке 2.

Полученные зависимости аппроксимировались квадратичными регрессионными уравнениями, аналогичными приведенным ниже для двигателя 1ЧН13/14.

$$\eta_i = 30,8 - 26,0N'_e + 70,0n' - 7,55N_e'^2 + 39,6N'_en' - 56,8n'^2, \quad (6)$$

где n' , N'_e – относительные (от номинальных) частота вращения и эффективная мощность двигателя.

Анализ результатов расчетно-теоретического исследования показал, что основной «вклад» в повышение топливной экономичности первичного дизеля энергоустановки при снижении частоты вращения

вносит уменьшение механических и насосных потерь. Уменьшение механических и насосных потерь на 2...3,5 кВт/цилиндр и 0,4...0,6 кВт/цилиндр, для 1Ч13/14 и 1ЧН13/14 соответственно, (в диапазоне $n = 1000...1500 \text{ мин}^{-1}$) влечет увеличение эффективного КПД, при этом максимум КПД смещается в сторону более низкой частоты вращения. Соответствующим образом изменяется положение минимума эффективного дельного расхода топлива (рисунок 2).

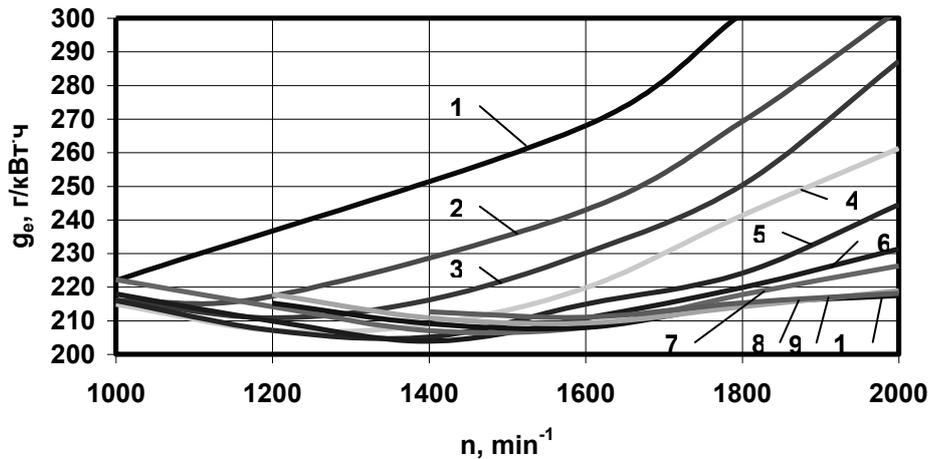


Рисунок 2 – Расчетная зависимость эффективного удельного расхода топлива дизеля 1ЧН13/14 от частоты вращения для N_e , кВт: 1 – 5,5; 2 – 7,3; 3 – 9,2; 4 – 11,0; 5 – 12,8; 6 – 14,7; 7 – 16,5; 8 – 18,3; 9 – 20,2; 10 – 22,0

Расчетная потенциальная экономия топлива при работе первичного двигателя энергоустановки при переменной частоте вращения может достигать 11...15 % при нагрузках менее 25 % от номинальной. Работа первичного дизеля на переменном скоростном режиме эффективна, с точки зрения топливной экономичности, только в диапазоне от нулевой до определенной нагрузки (для безнаддувного дизеля – 12 кВт, для двигателя с наддувом – 14 кВт). Количество потенциально утилизируемого тепла дизеля в составе энергоустановки с переменной частотой вращения в общем случае меньше, чем с постоянной частотой вращения на величину до 10...15 % при нагрузках ниже средней.

Зависимость относительного изменения КПД электрической части МЭК от частоты вращения первичного дизеля приведена на рисунке 3 (исследования особенностей функционирования преобразователя частоты в составе МЭК были проведены Ю.Г. Шакаряном и А.Е. Загорским (ОАО НИИ электроэнергетики)).

При относительной частоте вращения 0,87 р_и механические потери всережимного генератора равны потерям в обычном генераторе. При снижении частоты вращения до 0,67 р_и механические потери снижаются примерно в 3 раза, что компенсирует уменьшение на 0,25...0,40 % электрического КПД. КПД преобразователя частоты в рабочем диапазоне энергоустановки изменяется в пределах от 0,995 (при номинальных нагрузке и частоте вращения) до 0,952 (при коэффициенте нагрузки 0,2 и $w = 0,67 \text{ р}_и$). По отношению к генератору ПЧ представляет собой активную нагрузку, что позволяет дополнительно снизить потери в генераторе на 1...1,5 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальная часть исследования выполнялась в три этапа. На первом этапе были проведены стендовые испытания дизелей 4ЧН13/14 (Д-442) и 6Ч13/14 (А-01) производства ОАО «ПО Алтайский моторный завод». Выбор объектов обусловлен тем, что

**ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМИЗАЦИЕЙ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА
ПЕРВИЧНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЕГО СОСТАВЕ**

дизели этой размерности широко используются для привода ДГУ мощностью 60...100 кВт, результаты исследования могут быть распространены как на дизели с газотурбинным наддувом, так и без него. На втором этапе в условиях стенда была испытана энергоустановка номинальной мощностью 200 кВт на базе дизеля 8ЧН13/14 (ЯМЗ-7514) производства ОАО «Автодизель» укомплектованная всережимным генератором (разработан-

ным и изготовленным ОАО «Баранчинский электромеханический завод» и преобразователем частоты модели «Liebert NXA»). В ходе третьего этапа проведены полевые испытания МЭК с двигатель-генератором на базе дизеля 8ЧН13/14 в составе ВЭС «Заполярная» (г. Воркута). Двигатель-генератор с преобразователем частоты и системой управления был смонтирован на шасси КамАЗ (рисунок 4).

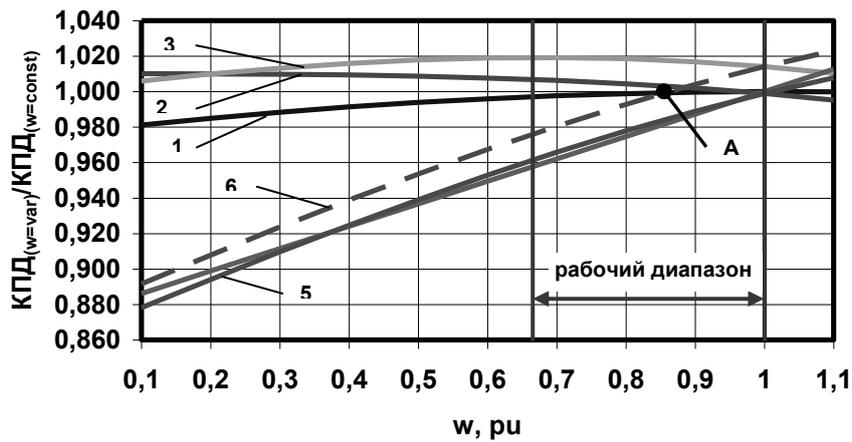


Рисунок 3 – Зависимость относительного изменения КПД электрической части МЭК от частоты вращения первичного дизеля: 1– электрический КПД генератора; 2 – механический КПД генератора; 3 – суммарный КПД генератора (с учетом повышения $\cos \varphi$ с 0,8 до 1,0); 4 – КПД преобразователя частоты; 5 – суммарный КПД электрической части МЭК ($\cos \varphi=0,8$); 6 – суммарный КПД электрической части МЭК (с учетом повышения $\cos \varphi$ с 0,8 до 1,0)



Рисунок 4 – Полевые испытания многофункционального энерготехнологического комплекса на базе ветроэлектростанции «Заполярная» (г. Воркута) и всережимного двигатель-генератора

Обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирические зависимости удельного эффективного расхода топлива от нагрузки и частоты вращения. Для дизеля 6Ч13/14 уравнение имеет вид:

$$g_e = 347,2 - 1,356N_e - 0,0822n + 0,0308N_e^2 - 0,0024N_e n + 8,768 \cdot 10^{-5} n^2, \quad (7)$$

для 4ЧН13/14:

$$g_e = 293,2 - 0,487N_e - 0,0973n + 0,0138N_e^2 - 0,0015N_e n + 8,258 \cdot 10^{-5} n^2. \quad (8)$$

Найдем минимум функции (7), приравняв производную по частоте вращения к нулю и решив полученное выражение по n , для дизеля 6Ч13/14:

$$\frac{dg_e}{dn} = -0,0822 - 0,0024N_e + 2 \cdot 8,768 \cdot 10^{-5} n = 0$$

$$n = 13,7 \cdot N_e + 469, \quad (9)$$

для дизеля 4ЧН13/14:

$$\frac{dg_e}{dn} = -0,0973 - 0,0015N_e + 2 \cdot 8,258 \cdot 10^{-5} n = 0$$

$$n = 9,10 \cdot N_e + 589. \quad (10)$$

Полученные выражения $n = f(N_e)$ определяют оптимальную, с точки зрения топливной экономичности, зависимость частоты вращения первичного дизеля от нагрузки. Экономия топлива при работе отдельно взятого двигателя по оптимальной характеристике может достигать 12...19 % при нагрузке менее 25 % от номинальной (рисунок 5).

Сравнение результатов расчетно-теоретического и экспериментального исследования показало, что для дизеля 6Ч13/14

величина среднего квадратичного отклонения расчетных и эмпирических значений удельного эффективного расхода топлива при работе по нагрузочной характеристике) – 0,9936, для 4ЧН13/14 – 0,9774. Величина среднего квадратичного отклонения расчетных и эмпирических значений потерь тепла с ОГ дизеля 6Ч13/14 – 0,9936, для 4ЧН13/14 – 0,9774.

На рисунке 6 показана многопараметрическая характеристика двигатель-генератора на базе дизеля 8ЧН13/14.

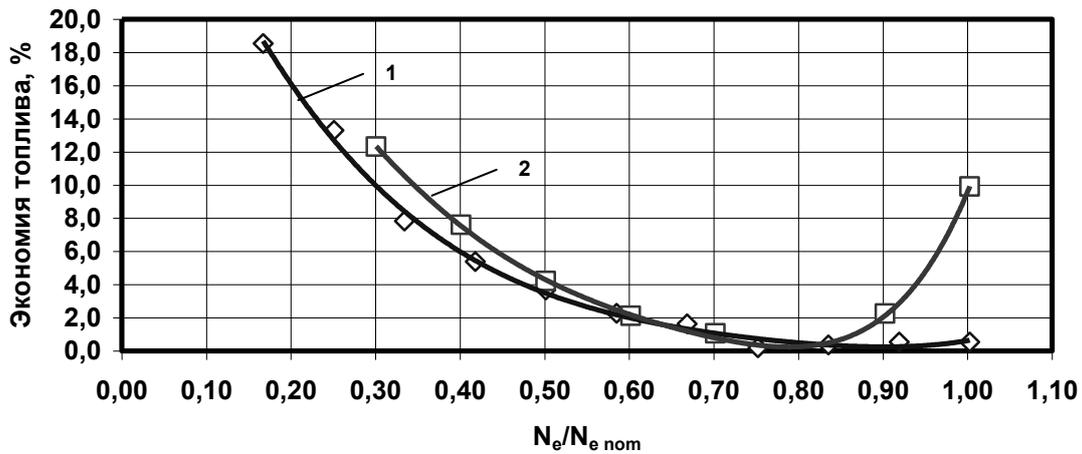


Рисунок 5 – Потенциальная экономия топлива при работе двигателей 4ЧН13/14 и 6Ч13/14 по оптимальной, с точки зрения минимизации удельного эффективного расхода топлива, нагрузочной характеристике: 1– 4ЧН13/14; 2– 6Ч13/14

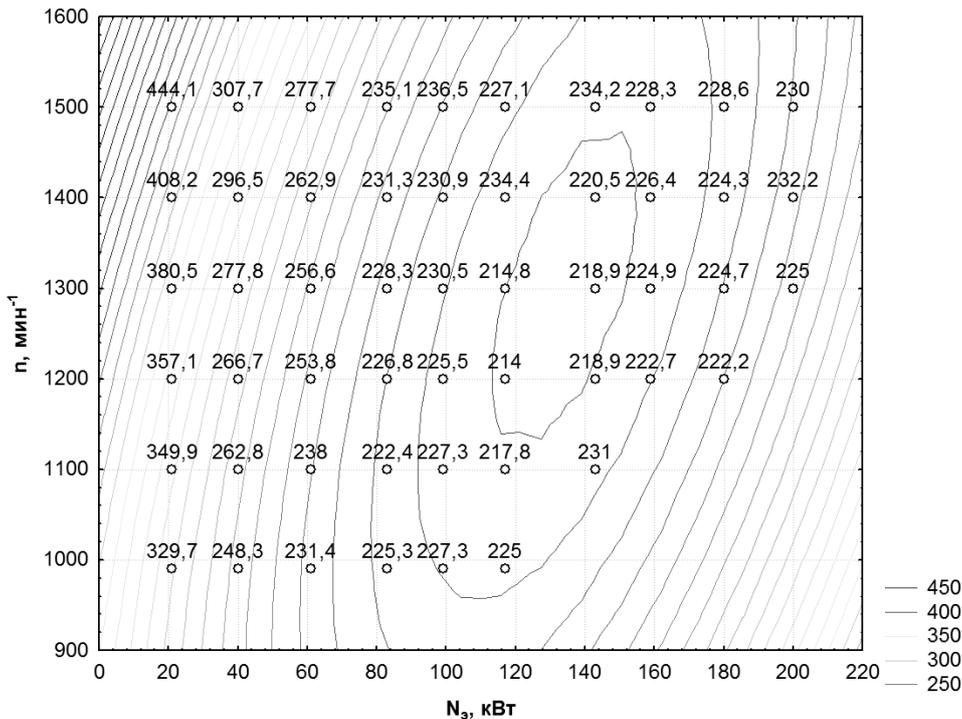


Рисунок 6 – Удельный эффективный расход топлива энергоустановкой с всережимным генератором и ПЧ на базе дизеля 8ЧН13/14

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМИЗАЦИЕЙ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ПЕРВИЧНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЕГО СОСТАВЕ

Статистическая обработка данных показывает, что удельный расход топлива энергоустановкой на базе дизеля 8ЧН13/14 может быть выражен следующей квадратичной регрессионной зависимостью

$$g_s = 414,4 - 0,9078N_g - 0,2259n + 0,01140N_g^2 + 0,001653N_g n + 0,0001721n^2. \quad (11)$$

Аналогично формулам, полученным для первичных дизелей, имеем

$$\frac{dg_s}{dn} = -0,2259 + 0,001653N_g + 2 \cdot 0,0001721n = 0$$

$$n = 4,802 \cdot N_g + 656,3. \quad (12)$$

Оптимальные характеристики САРЧ двигатель-генератора и отдельных двигателей приведены на рисунке 7. Для удобства сравнения на рисунке показана характеристика двигатель-генератора на базе дизеля 4ЧН13/14, полученная уменьшением в 2 раза мощности ДГ на базе дизеля 8ЧН13/14.

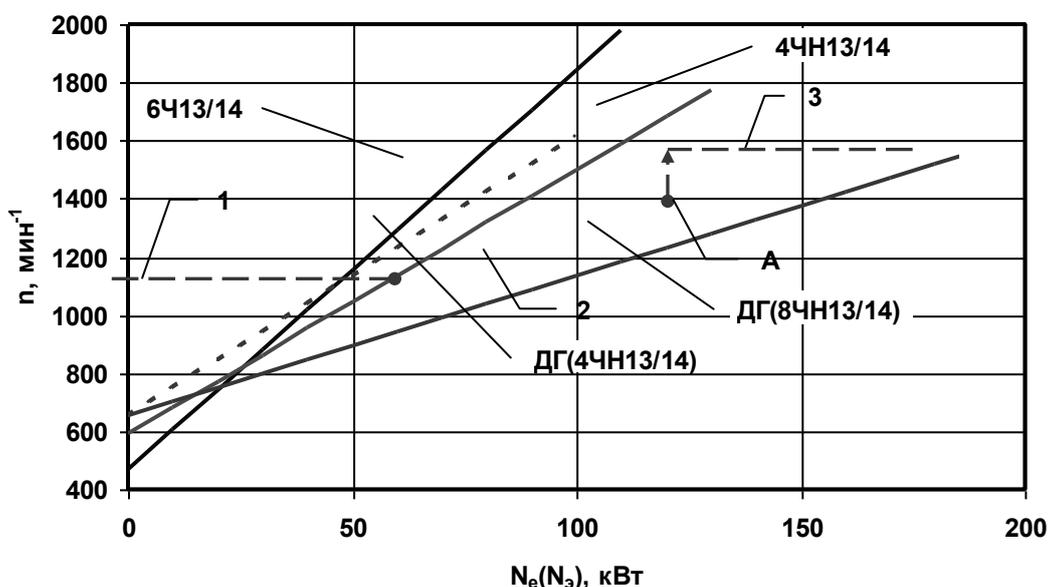


Рисунок 7 – Оптимальная, с точки зрения минимизации удельного эффективного расхода топлива, характеристика САРЧ двигателей 4ЧН13/14 и 6Ч13/14 и двигатель-генераторов на базе 8ЧН13/14 и 4ЧН13/14

Как видно из рисунка, линия, соответствующая оптимальной характеристике САРЧ отдельно взятого первичного дизеля, ниже, чем линия, соответствующая оптимальной характеристике САРЧ энергоустановки. Приравняв уравнения (10) и (12), с учетом удвоения величины N_g , и отбросив величины малого порядка, получим значение относительного смещения характеристик, которое равно КПД электротехнической части энергоустановки (всерезимного генератора и преобразователя частоты), а именно

$$\frac{N_g}{N_e} = \eta_{\text{эмк}}(n=\text{var}) \cong 0,948. \quad (13)$$

С точки зрения обеспечения работоспособности двигателя и всережимного генератора минимальная частота вращения должна быть ограничена величиной 1000 мин^{-1} (для

других моделей двигателей и генераторов возможны иные значения) – участок 1 на рисунке 7. Максимальную частоту вращения целесообразно ограничить величиной 1300 мин^{-1} (точка А на рисунке 7) так как при большей частоте увеличивается удельный расход топлива. Положение точки А определяется потерями в электрооборудовании энергоустановки, если они превышают экономию топлива, полученную в результате снижения частоты вращения первичного дизеля, двигатель должен быть переведен на номинальную частоту вращения, а преобразователь отключен. Это решение также способствует повышению ресурса ПЧ. В итоге, алгоритм САРЧ должен соответствовать ломаной линии 1-2-3 рисунка 7.

Потенциальная экономия топлива при работе энергоустановки с всережимным ге-

нератором и ПЧ на базе дизеля 8ЧН13/14 по оптимальной, с точки зрения минимизации удельного эффективного расхода топлива, нагрузочной характеристике показана на рисунке 8.

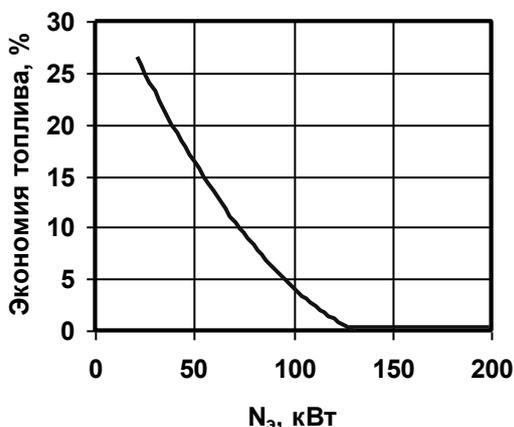


Рисунок 8 – Потенциальная экономия топлива при работе энергоустановки с всережимным генератором и ПЧ на базе дизеля 8ЧН13/14 по оптимальной, с точки зрения минимизации удельного эффективного расхода топлива, нагрузочной характеристике

Полевые испытания энергоустановки, в составе ВЭС «Заполярная», показали:

- работа системы автоматического регулирования частоты вращения, обеспечивающей алгоритм скоростного режима, обоснованный в результате настоящего исследования, устойчива во всём диапазоне изменения нагрузки, алгоритм САРЧ полностью реализуется;
- показатели качества электроэнергии на нагрузке (выход источника бесперебойного питания) без отклонений от требований НТД во всех режимах, включая аварийное отключение двигатель-генератора;
- функционирование МЭК при работе с ВЭУ и ДГ устойчивое, деление нагрузок при максимальном использовании мощности ВЭУ автоматическое, показатели качества электроэнергии без отклонений на нагрузках в диапазоне от 0 до 150 кВт. Подтверждена правильность технических решений и адаптивность МЭК при оптимизации энергопотребления от ВЭУ и двигатель-генератора.

Для оценки экономической эффективности предлагаемых технических решений была предложена методика, основанная на режимах нагружения имеющих место в реальных условиях эксплуатации. Расчет для МЭК на базе дизеля 8ЧН13/14 показал, что при стои-

мости дизельного топлива – 27,4 руб./кг, годовые затраты на его приобретение могут быть снижены на 374 тыс. рублей. При стоимости преобразователя частоты мощностью 200 кВт – 1430 тыс. руб. он окупится за 3,8 лет, что ниже нормативного срока окупаемости капиталовложений – 7 лет и нормативного срока эксплуатации ПЧ – 10 лет. Можно ожидать, что действительный ресурс ПЧ составит не менее 30 лет, так как он будет задействован только 7 часов в сутки. Годовой недоотпуск тепла составит 26 МВт, что в денежном выражении эквивалентно 8104 руб. или 2,2 % от экономии топлива за счет перевода энергоустановки на режим работы с переменной частотой вращения. Столь малым значением можно пренебречь, особенно с учетом того, что выработка тепла для энергоустановки не является основной функцией.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ

В результате исследования установлено, что повышение топливной экономичности многофункционального энерготехнологического комплекса может быть достигнуто оптимизацией скоростного режима первичного дизельного двигателя в его составе. Снижение частоты вращения первичного дизеля при малых нагрузках (0,1 pu) может дать экономию топлива до 27 %, что подтверждено результатами испытаний энергоустановки на базе первичного дизеля 8ЧН13/14. В реальных условиях эксплуатации экономия будет ниже и для многофункциональных энерготехнологических комплексов на базе дизелей типа Ч13/14 и ЧН13/14 составит около 4,6 %.

Оптимальный, с точки зрения топливной экономичности, алгоритм изменения частоты вращения может быть получен минимизацией функциональной зависимости удельного эффективного расхода топлива от нагрузки и частоты вращения с использованием математических методов поиска экстремума. В качестве исходных данных используются многопараметровые характеристики двигатель-генератора, полученные экспериментальным или расчетным путем. При оптимизации должны учитываться характеристики электрооборудования, так как оптимальные алгоритмы для первичного двигателя и электроагрегата на его базе не совпадают.

Минимальная частота вращения первичного дизеля должна быть ограничена наибольшим из значений, определяемых технической характеристикой двигателя и генератора. Максимально допустимая частота вра-

ПОВЫШЕНИЕ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОПТИМИЗАЦИЕЙ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ПЕРВИЧНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЕГО СОСТАВЕ

щения первичного дизеля определяется следующим условием: удельный расход топлива рассчитываемой энергоустановкой не должен превышать расход базовой установки с постоянной частотой вращения. Для дизелей типа Ч13/14 и ЧН13/14 диапазон варьирования частот вращений составляет 0,67...0,87 р/с.

Результаты исследования были внедрены на предприятиях:

- ОАО РАО «ЕЭС России» и, входивших, в его состав ОАО «НИИ энергетических систем» и НПЦ «Малой энергетики» (г. Москва) – при разработке и проведении полевых испытаний многофункционального энерготехнологического комплекса на базе ветроэлектростанции «Заполярная» (г. Воркута);
- ОАО «ПО Алтайский моторный завод» (г. Барнаул) – при разработке модификаций дизелей для энергоустановок;
- НП «Сертификационный центр автотракторной техники» (г. Челябинск) – при

проведении испытаний дизельных двигателей и энергоустановок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенблит, Г. Б. Теплопередача в дизелях / Г.Б. Розенблит. – М.: Машиностроение, 1977. – 216 с.
2. Вибе, И. И. Новое о рабочем цикле двигателя / И.И. Вибе.– М.: Машгиз, 1962. – 272 с.
3. Малозёмов, А. А. Математическая модель двигателя на основе системы дифференциальных уравнений энергетического и массового балансов / А.А. Малозёмов // Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин. Вып. 18. – Челябинск: ЧВВАКИУ, 2006. – С. 10-16.
4. Малозёмов, А. А. Математическая модель и программа для расчета основных параметров электроагрегата с приводом от поршневого двигателя внутреннего сгорания / А.А. Малозёмов // Оптимизация режимов работы электротехнических систем: Межвузовский сборник науч. тр. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – С. 45-52.