
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.314

А.Б. Дарьенков

ОЦЕНКА РАСХОДА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

Одним из перспективных направлений развития малой энергетики является разработка автономных дизель-генераторных электростанций переменной частоты вращения, которые позволяют снизить удельный расход топлива до 30 % и более. В таких электростанциях частота вращения двигателя внутреннего сгорания регулируется в зависимости от мощности нагрузки и в соответствии с многопараметровой характеристикой. Однако выходное напряжение электрического генератора, приводимого во вращение двигателем внутреннего сгорания переменной частоты вращения, будет характеризоваться также переменной частотой и переменной амплитудой. С целью стабилизации параметров вырабатываемой электроэнергии на выходе электрического генератора устанавливается преобразователь параметров электрической энергии. В статье рассматривается вариант построения дизель-генераторной электростанции на основе матричного преобразователя частоты. Матричный преобразователь частоты обладает рядом преимуществ по сравнению с двухзвенными преобразователями частоты, основные из которых – более высокий коэффициент полезного действия и меньшие массогабаритные показатели. Разработана функциональная схема дизель-генераторной электростанции на основе матричного преобразователя частоты. Представлена методика расчета потребления топлива, с помощью которой получены зависимости удельного расхода топлива, абсолютного расхода топлива дизель-генераторной электростанции на основе матричного преобразователя частоты и дизель-генераторной установки постоянной частоты вращения от мощности нагрузки. Дана оценка экономии топлива электростанции с переменной частотой вращения вала на основе матричного преобразователя частоты.

Ключевые слова: дизель-генератор, матричный преобразователь частоты, синхронный генератор, электростанция.

1. Введение

Развитие электроэнергетики в России в немалой степени осложняется отсутствием централизованного энергоснабжения на 2/3 территории нашей страны. По оценкам специалистов, около 10 млн человек, проживающих на Дальнем Востоке, в северных областях и ряде других территорий Российской Федерации, получают электроэнергию в основном от автономных дизель-генераторных установок (ДГУ) – основных генерирующих устройств децентрализованного электроснабжения. Количество ДГУ в России составляет порядка 50 тыс. единиц с потребным расходом топлива 6 млн тонн в год. Необходимое для выработки электроэнергии топливо при этом завозится из далеко расположенных центров авто-транспортом либо водными путями, а иногда и вертолетами, что существенно сказывается как на его стоимости, так и надежности самих поставок. К сожалению, существующая концепция развития энергетики в нашей стране ориентирована, главным образом, на «большую» энергетику, уделяя очень мало внимания объектам децентрализованного электроснабжения, где основу энергетических мощностей составляют именно дизель-генераторные и газотурбинные установки, а также мини-ТЭЦ, работающие на местном топливе.

Системы ДГУ обычно выполняются по схеме, представленной на рис. 1.

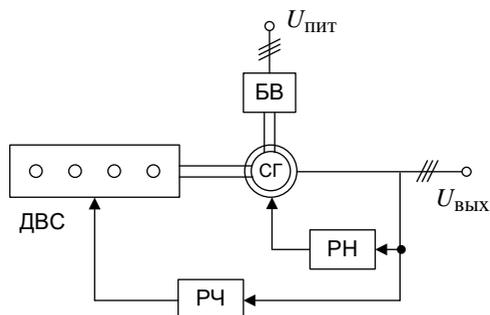


Рис. 1. Функциональная схема ДГУ постоянной частоты вращения:
 ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ – синхронный генератор;
 РН – регулятор напряжения; РЧ – регулятор частоты; БВ – блок возбуждения СГ

ДГУ зарекомендовали себя весьма надежными источниками энергии со следующими техническими преимуществами:

- длительная работа без технического обслуживания;
- автоматизация процесса генерирования электроэнергии;
- относительно высокий коэффициент полезного действия (КПД) $\approx 0,4$;
- компактность и простота обслуживания.

Данные установки подтвердили свою надежность при эксплуатации в составе различных технических объектов. Вместе с тем, необходимо отметить существенный недостаток, присущий таким электростанциям, работающим с неизменной частотой вращения вала двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Он связан с завышенным удельным расходом углеводородного топлива при работе на долевых нагрузочных режимах, т.е. при снижении мощности нагрузки. Устранить отмеченные выше недостатки возможно с помощью ДГУ, которая вырабатывает напряжение стабильной частоты и амплитуды при регулировании частоты вращения вала ДВС в зависимости от мощности нагрузки.

Исследования, проведенные еще в 1970-е годы под руководством профессора А.В. Орлова, показали, что уменьшение частоты вращения ДВС при снижении мощности нагрузки позволяет на 20-30 % сократить удельный расход топлива. Одновременное изменение оборотов вала и мощности нагрузки также обеспечивает оптимальный тепловой режим работы ДВС и снижение его износа, и, следовательно, повышение моторесурса. Для выбора экономичного режима работы ДВС, работающего при изменяющейся нагрузке, удобно использовать его многопараметровую характеристику [1]. На многопараметровой характеристике, представленной на рис. 2, штрихпунктирной линией показана зависимость эффективного давления p_e и эффективной мощности N_e от частоты вращения вала ДВС при наименьшем удельном расходе топлива g_e .

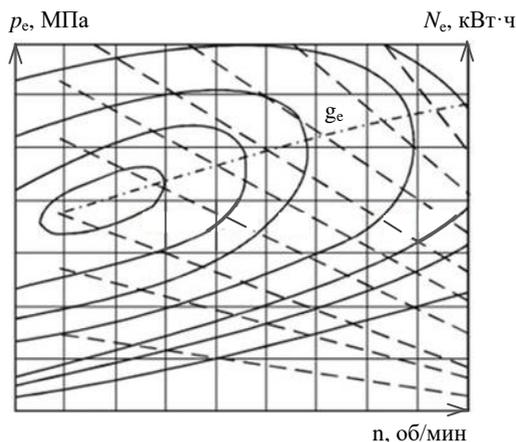


Рис. 2. Многопараметровая характеристика ДВС: N_e – мощность дизеля, n – обороты ДВС, g_e – удельный расход топлива, p_e – среднее эффективное давление на поршень

II. Постановка цели и задач исследования

Известны варианты ДГУ переменной частоты вращения (ДГПЧВ) на основе двухзвенного преобразователя частоты (ДПЧ) [2, 3]. Одним из вариантов автономных электростанций является ДГПЧВ на основе матричного преобразователя частоты (МПЧ).

МПЧ, по сравнению с широко распространенными ДПЧ, обладают рядом преимуществ:

- более высокий КПД, благодаря однократному преобразованию электрической энергии;
- отсутствие в силовой схеме конденсаторов большой емкости, благодаря чему снижаются массогабаритные показатели преобразователя и увеличивается его срок службы.

Замена ДПЧ в ДГПЧВ на МПЧ позволит повысить КПД всей установки в целом и ее надежность, а также снизить массогабаритные показатели установки и ее стоимость [4, 5]. Функциональная схема ДГПЧВ на основе МПЧ приведена на рис. 3. МПЧ преобразует напряжение статора синхронного генератора (СГ) в переменное напряжение, амплитуда которого задается задатчиком напряжения (ЗН), а частота – задатчиком частоты (ЗЧ).

Важным вопросом исследования ДГПЧВ является оценка расхода топлива электростанции.

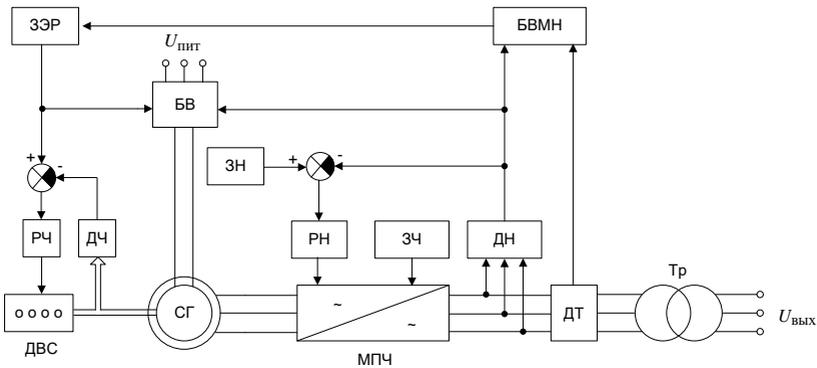


Рис. 3. Функциональная схема ДГПЧВ на основе МПЧ

ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СГ – синхронный генератор; МПЧ – матричный преобразователь частоты; ДТ – датчик тока; Тр – повышающий трансформатор; РЧ – регулятор частоты вращения вала ДВС; ДЧ – датчик частоты вращения вала ДВС; ЗЭР – задатчик экономичного режима ДВС; БВ – блок возбуждения СГ; ДН – датчик напряжения; РН – регулятор напряжения; ЗН – задатчик напряжения; ЗЧ – задатчик частоты; БВМН – блок вычисления мощности нагрузки

III. Расчет расхода топлива электростанций

Для определения относительного и абсолютного показателей расхода топлива ДГПЧВ разработана методика расчета, позволяющая определить показатели потребления топлива ДВС в зависимости от мощности нагрузки [6-10]. Методика основана на расчете энергетических потерь каждого составного компонента силовой структуры ДГУ во всем диапазоне изменения мощности нагрузки.

На рис. 4 приведена энергетическая диаграмма силовой структуры ДГПЧВ на основе МПЧ. При изменении мощности нагрузки ДГПЧВ система управления выбирает оптимальную частоту вращения вала ДВС для обеспечения минимального удельного расхода топлива. По заданию системы управления происходит изменение частоты вращения вала ДВС, момента на его валу, меняется частота вращения ротора генератора, частота и амплитуда генерируемого напряжения.

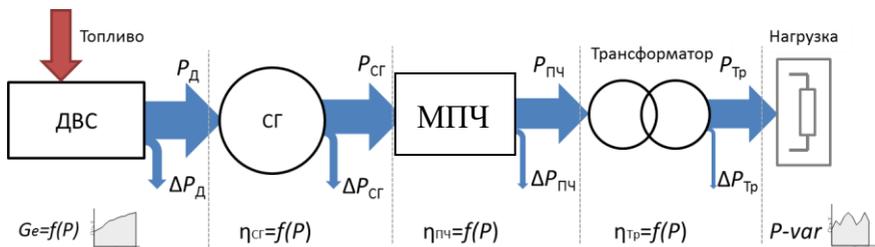


Рис. 4. Энергетическая диаграмма силовой структуры ДГПЧВ на основе МПЧ: G_e – удельный расход топлива; P_D , $P_{СГ}$, $P_{МПЧ}$, $P_{Тр}$ – выходная мощность соответственно ДВС, СГ, МПЧ, Тр; ΔP_D , $\Delta P_{СГ}$, $\Delta P_{МПЧ}$, $\Delta P_{Тр}$, – потери мощности соответственно ДВС, СГ, МПЧ, Тр; $\eta_{СГ}$, $\eta_{МПЧ}$, $\eta_{Тр}$ – коэффициенты полезного действия соответственно СГ, МПЧ, Тр

МПЧ стабилизирует амплитуду и частоту выходного напряжения генератора, питает им трансформатор Тр, повышающий амплитуду напряжения до номинального уровня. Таким образом, методика расчета должна учитывать изменение всех перечисленных параметров.

Трансформатор Тр работает в условиях переменной мощности нагрузки, постоянной частоты и амплитуды выходного напряжения. Он является нагрузкой для МПЧ, который, в свою очередь, выступает нагрузкой для синхронного генератора СГ. Для расчета мощности нагрузки ДВС, рассчитывается общий КПД цепи СГ – МПЧ – Тр.

Алгоритм расчета КПД учитывает [11-15], что элементы электрооборудования, входящие в состав ДГУ работают при переменной мощности (ПЧ, Тр) и переменных мощности, частоте и амплитуде генерируемого напряжения (СГ). Расход топлива ДВС, соответствующий мощности

нагрузки и частоте вращения вала, определяется по многопараметровой характеристике ДВС. Для каждой мощности нагрузки рассчитывается соответствующая зависимость КПД от частоты генерируемого напряжения.

Расчет был произведен для ДГПЧВ на основе МПЧ и ДГУ постоянной частоты вращения номинальной мощностью 160 кВт.

Для СГ типа МСК103-4 ($P_n = 200$ кВт, $n = 1500$ мин⁻¹), входящей в состав ДГПЧВ, в соответствии с разработанной методикой был произведен расчет зависимостей КПД от мощности нагрузки и частоты выходного напряжения (частоты вращения СГ). Они представлены на рис. 5 [13-15]. Как видно из графиков, для мощностей нагрузки меньше номинальной, максимальный КПД смещается в область частот выходного напряжения ниже номинального. Это обеспечивает работу СГ с более высоким КПД при регулировании частоты ДГУ.

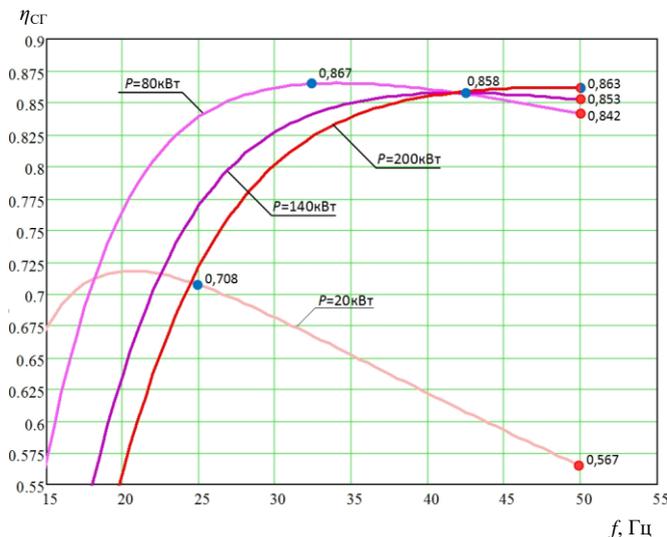


Рис. 5. Зависимости КПД СГ типа МСК103-4 от частоты выходного напряжения для мощностей нагрузки 20, 80, 140, 200 кВт

На рис. 6 представлена рассчитанная зависимость КПД от мощности нагрузки для трансформатора ТСЗМ 250-75.ОМ5 (номинальная мощность – 250 кВА), входящего в состав ДГПЧВ. На рис. 7 представлена рассчитанная зависимость КПД от мощности нагрузки для МПЧ номинальной мощностью 160 кВт, входящего в состав ДГПЧВ. Для определения нагрузки ДВС рассчитывается общий КПД цепи СГ – ПЧ – Тр:

$$\eta = \eta_{сг} + \eta_{пч} + \eta_{тр}.$$

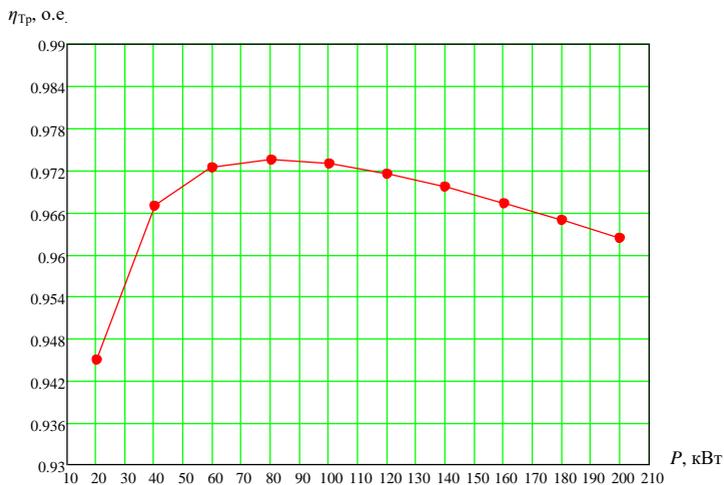


Рис. 6. Зависимости КПД трансформатора типа ТСЗМ 250-75.ОМ5 от мощности нагрузки

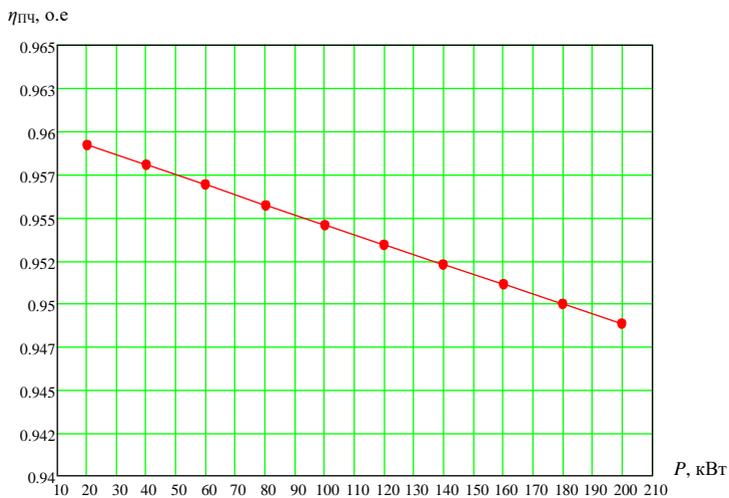


Рис. 7. Зависимости КПД МПЧ номинальной мощностью 160 кВт от мощности нагрузки

Так как в схеме ДГУ при постоянной, т.е. не зависящей от мощности нагрузки, частоте вращения, нет необходимости в использовании ПЧ и Тр для преобразования и стабилизации напряжения, питающего нагрузку, то при расчете суммарного КПД установки ПЧ и Тр не учитывался.

На основе рассчитанных суммарных КПД ДГУ переменной и постоянной частот вращения для различных мощностей нагрузки определены значения удельного и абсолютного расходов топлива по многопараметровой характеристике ДВС (рис. 8).

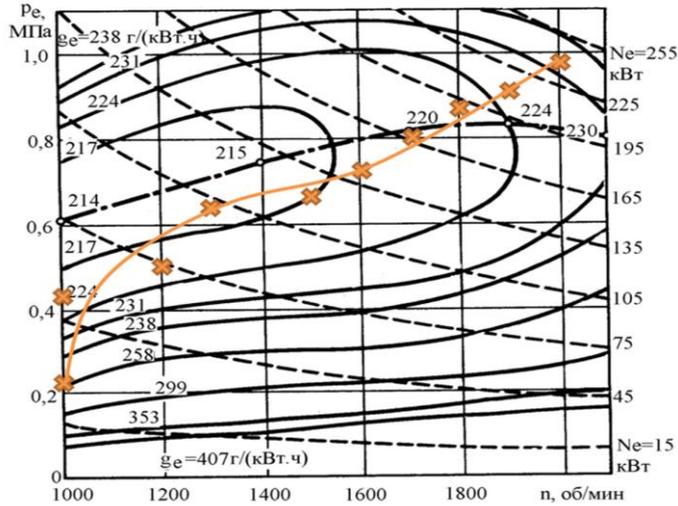


Рис. 8. Многопараметровая (универсальная) характеристика ДВС ЯМЗ-238Н: N_e – мощность дизеля, n – обороты ДВС, g_e – удельный расход топлива, p_e – среднее эффективное давление на поршень

На рис. 9 для ДГПЧВ на основе МПЧ и ДГУ постоянной частоты вращения мощностью 160 кВт представлены соответственно расчетные зависимости суммарного КПД силовой электротехнической части (от СГ до выходных клемм электростанции). Как видно из рис. 6, во всем диапазоне мощностей наибольшим КПД обладает ДГУ постоянной частоты вращения.

На рис. 10-12 для ДГПЧВ на основе МПЧ и ДГУ постоянной частоты вращения представлены рассчитанные на основе зависимостей КПД (рис. 9) и многопараметровой характеристики ДВС (рис. 8) соответственно зависимости удельного расхода топлива g_e , зависимости абсолютного расхода топлива g , зависимости экономии топлива по абсолютному расходу Δg .

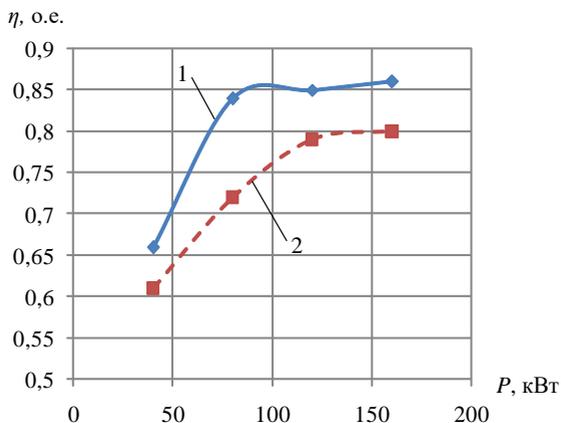


Рис. 9. Зависимости суммарного КПД для ДГПЧВ на основе МПЧ и ДГУ постоянной частоты вращения мощностью 160 кВт:

1 – ДГУ постоянной частоты вращения; 2 – ДГПЧВ на основе МПЧ

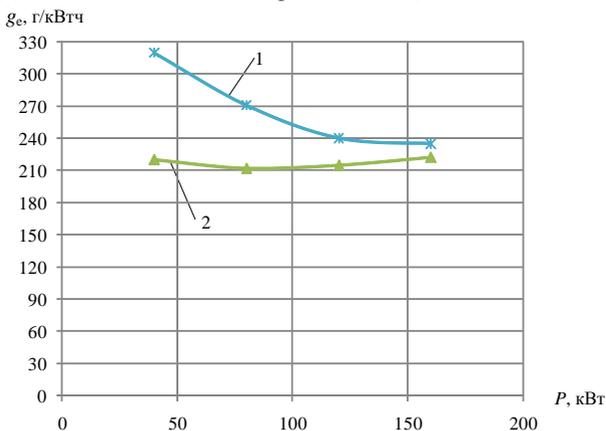


Рис. 10. Зависимости удельного расхода топлива для ДГУ постоянной частоты вращения (1) и ДГПЧВ на МПЧ (2) мощностью 160 кВт

На рис. 10 представлены зависимости удельного расхода топлива g_e для ДГУ постоянной частоты вращения (кривая 1) и ДГПЧВ на основе МПЧ (кривая 2) мощностью 160 кВт. При этом наибольшая разница в удельном расходе топлива g_e наблюдается в области малых нагрузок. Так, при мощности нагрузки $P = 40$ кВт удельный расход топлива g_e ДГУ постоянной частоты вращения больше, чем у ДГПЧВ на основе многообмоточного СТ, на 110 г/кВт·ч. С увеличением мощности нагрузки P

разница в удельном расходе топлива снижается: при $P = 80$ кВт – 60 г/кВт·ч, при $P = 160$ кВт – 15 г/кВт·ч.

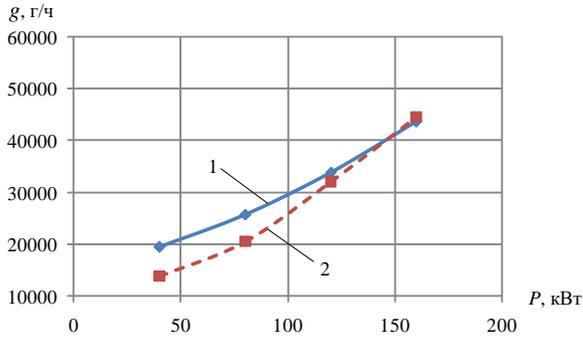


Рис. 11. Зависимости абсолютного расхода топлива для ДГПЧВ на основе МПЧ и ДГУ постоянной частоты вращения мощностью 160 кВт:
1 – ДГУ постоянной частоты вращения; 2 – ДГПЧВ на основе МПЧ

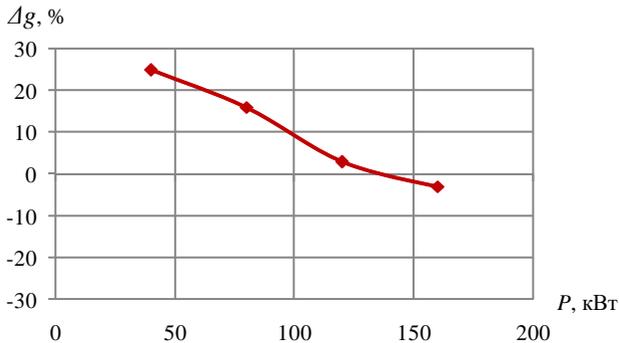


Рис. 12. Зависимости экономии топлива по абсолютному расходу для ДГПЧВ на основе МПЧ

Абсолютный расход топлива ДГПЧВ на основе МПЧ ниже, чем у ДГУ постоянной частоты вращения при мощности нагрузки от 0 до 145 кВт (90% номинальной мощности ДГПЧВ) (рис. 11). При этом во всем диапазоне нагрузок удельный расход топлива у всех ДГПЧВ меньше, чем у ДГУ постоянной частоты вращения (рис. 10). Это объясняется тем, что при одинаковой мощности нагрузки электростанции мощность на валу СГ, приводимого во вращение ДВС, в ДГПЧВ всегда больше, чем у ДГУ постоянной частоты вращения за счет потерь энергии в дополнительных элементах силовой схемы электростанции, таких как преобразователи

частоты и трансформаторы. Так, при мощности нагрузки электростанции 160 кВт, мощность на валу СГ в ДГПЧВ на основе МПЧ – 175 кВт.

Экономия топлива (рис. 12), достигаемая за счет регулирования частоты вращения ДВС в зависимости от мощности нагрузки, у ДГПЧВ на основе МПЧ наибольшая в области малых нагрузок и достигает 25 % при $P = 40$ кВт.

IV. Заключение

Разработана методика расчета КПД и расхода топлива ДГУ переменной и постоянной частот вращения, основанная на учете КПД элементов силовой части электростанций (СГ, преобразователей параметров электрической энергии и трансформаторов) при различных частотах вращения ДГУ, а также с использованием многопараметровых характеристик ДВС. Расчетные значения абсолютного расхода топлива ДГПЧВ на основе МПЧ меньше, чем у ДГУ постоянной частоты вращения в диапазоне мощностей нагрузки от 0 до 90 % номинальной мощности нагрузки. Следовательно, целесообразно включать в состав ДГПЧВ на основе МПЧ контактор, шунтирующий дополнительные силовые элементы при нагрузке свыше 90 % номинального значения. При этом ДГПЧВ должна переводиться в режим ДГУ постоянной частоты вращения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 13.2078.2017/4.6).

© Дарьенков А.Б., 2019

Библиографический список

- [1] Байков Б.П. Дизели. Л.: Машиностроение, 1964. – 600 с.
- [2] Загорский А.Е., Шакарян Ю.Г. Автономный источник электропитания стабильной частоты (варианты), Пат. 34817 РФ, заявл. 19.08.2003; опубл. 10.12.2003. – Бюл. № 34.
- [3] Дарьенков А.Б., Хватов О.С. Автономная электростанция переменного тока, Пат. 2412513 РФ, заявл. 15.01.2010; опубл. 20.02.2011. – Бюл. №5.
- [4] Дарьенков А.Б. Автономная электростанция переменного тока, Пат. 2666903 РФ, заявл. 05.10.2017; опубл. 13.09.2018. – Бюл. № 26.
- [5] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Тарасов И.М. Дизель-генераторная электростанция с переменной частотой вращения вала // Вестник ИГЭУ. 2010. № 2. С. 53-57.
- [6] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Методика оценки экономии топлива в единых электростанциях автономных объектов на базе двигателей внутреннего сгорания переменной скорости вращения // Актуальные проблемы электроэнергетики. Сборник статей XXXI рег. науч.-техн. конф. Н. Новгород, 2012. С. 84-90.

- [7] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Расчет расхода топлива единой электростанции судна на базе двигателя внутреннего сгорания переменной частоты вращения // Актуальные проблемы электроэнергетики. Сборник статей XXXII рег. науч.-техн. конф. Н. Новгород, 2013. С. 108-113.
- [8] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Высокоэффективная система электродвижения автономного объекта // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2014). Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 396-400.
- [9] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Электростанции автономных объектов на базе дизель-генераторных установок переменной частоты вращения // Актуальные проблемы электроэнергетики. Сборник статей I Всероссийской научно-технической конференции. Н. Новгород, 2015. С. 62-68.
- [10] Dar'enkov A., Samoyavchev I., Khvatov O., Sugakov V., Improving energy performance power station of ship with integrated electric propulsion // International Conference on Mechanical, Aeronautical and Automotive Engineering. 2017. № 108.
- [11] Дарьенков А.Б., Серебряков А.В., Хватов О.С., Васенин А.Б. Оценка коэффициента полезного действия асинхронного двигателя при переменной частоте питающего напряжения и переменной мощности нагрузки // Будущее технической науки: сборник материалов X межд. мол. науч.-техн. конф. Н. Новгород, 2011. С. 73-74.
- [12] Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С., Хватов О.С. Топливная экономичность единой электростанции автономного объекта на базе двигателя внутреннего сгорания переменной скорости вращения // Будущее технической науки: сборник материалов X межд. мол. науч.-техн. конф. Н. Новгород, Россия. 2011. С. 61-62.
- [13] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Оценка топливной экономичности в единых электростанциях автономных объектов на базе двигателей внутреннего сгорания переменной скорости вращения // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1870> (дата обращения 15.03.2019).
- [14] Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С., Хватов О.С. Повышение энергетических показателей электростанций судов с электродвижением // Труды IX Международной (XX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2016). Пермь, 2016. С. 409-413.
- [15] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Топливная экономичность единой электростанции автономного объекта на базе двигателя внутреннего сгорания переменной скорости вращения // Эксплуатация морского транспорта. 2013. № 1 (71). С. 47-49.

A.B. Dar'enkov

EVALUATION OF FUEL CONSUMPTION OF DIESEL GENERATOR POWER PLANT VARIABLE SPEED BASED ON MATRIX CONVERTER

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. One of the promising directions of development of small power is the development of autonomous diesel-generator power plants of variable speed, which can reduce the specific fuel consumption up to 30 % or more. In such power plants, the speed of the internal combustion engine is regulated depending on the load power and in accordance with the multi-parameter characteristic. However, the output voltage of an electric generator driven by an internal combustion engine of variable speed will also be characterized by variable frequency and variable amplitude. In order to stabilize the parameters of the generated electricity at the output of the electric generator, a converter of the parameters of electric energy is installed. The article considers the option of building a diesel generator power plant based on a matrix frequency converter. Matrix frequency converter has a number of advantages in comparison with two-link frequency converters, the main of which are higher efficiency and lower weight and size indicators. The functional scheme of the diesel-generator power plant based on the matrix frequency converter is developed. Also the method of calculation of fuel consumption is developed, with the help of which dependences of specific fuel consumption, absolute fuel consumption of diesel-generator power plant on the basis of matrix frequency converter and diesel-generator set of constant speed on load power are obtained. The estimation of fuel economy of the power plant of variable speed on the basis of the matrix frequency converter.

Keywords: diesel generator, matrix frequency converter, power plant, synchronous generator.

References

- [1] B.P. Baikov, *Dizeli*. St. Petersburg: Mechanical Engineering, 1964 (in Russian).
- [2] A.E. Zagorsky and Yu.G. Shakaryan, «*Avtonomnyy istochnik elektropitaniya stabil'noy chastoty (varianty)*», R.F. Patent 34817, Dec. 10, 2003.
- [3] A.B. Dar'enkov and O.S. Khvatov, «*Avtonomnaya elektrostantsiya peremennogo toka*», R.F. Patent 2412513, Feb. 20, 2011.
- [4] A.B. Dar'enkov, «*Avtonomnaya elektrostantsiya peremennogo toka*», R.F. Patent 2666903, Sept. 13, 2018.
- [5] O.S. Khvatov, A.B. Dar'enkov and I.M. Tarasov, «Diesel-generator power plant with shaft frequency rotation», *Vestnik IGEU*, vol. 2, pp. 53-57, 2010.
- [6] O.S. Khvatov, A.B. Dar'enkov and I.S. Samoyavchev, «*Metodika ocenki ehkonomii topliva v edinyh ehlektrostantsiyah avtonomnykh ob'ektov na baze dvigatelej vnutrennego sgoraniya peremennoj skorosti vrashcheniya*», in proc. XXXI All-Russian

- Conf. Aktual'nie problem energetiki*, Dec. 22, 2012, N. Novgorod, Russia, pp. 84-90 (in Russian).
- [7] O.S. Khvatov, A.B. Dar'enkov and I.S. Samoyavchev, «Raschet raskhoda topliva yedinoj elektrostantsii sudna na baze dvigatelya vnutrennego sgoraniya peremennoy cha – stoty vrashcheniya», in proc. *XXXII All-Russian Conf. Aktual'nie problem energetiki*, Dec. 21, 2013, N. Novgorod, Russia, pp. 108-113 (in Russian).
- [8] O.S. Khvatov, A.B. Dar'enkov and I.S. Samoyavchev, «Vysokoeffektivnaya sistema elektrodvizheniya avtonomnogo ob'yekta», in proc. *VIII Conf. po avtomatiziro – vannomu elektroprivodu*, Oct. 12-15, 2014, Saransk, Russia, pp. 396-400 (in Russian).
- [9] O.S. Khvatov, A.B. Dar'enkov and I.S. Samoyavchev, «Elektrostantsii avtonomnykh ob'yektov na baze dizel'-generatornykh ustanovok peremennoy chastoty vrashcheniya», in proc. *I All-Russian Conf. Aktual'nie problem energetiki*, Dec. 21, 2015, N. Novgorod, Russia, pp. 62-68 (in Russian).
- [10] A.B. Dar'enkov, I.S. Samoyavchev, O.S. Khvatov and V. Sugakov, «Improving energy performance power station of ship with integrated electric propulsion» // in proc. *International Conference on Mechanical, Aeronautical and Automotive Engineering*, vol. 108, 2017 (in Russian).
- [11] A.B. Dar'enkov, A.V. Serebryakov, O.S. Khvatov and A.B. Vasenin, «Evaluation of the efficiency of an asynchronous motor at a variable frequency of the supply voltage and a variable load power» // in proc. *X Int. young sci.-tech. conf. Budushcheye tekhnicheskoy nauki*, May 20, 2011, N. Novgorod, Russia. P. 73-74 (in Russian).
- [12] A.B. Dar'enkov, I.S. Samoyavchev and O.S. Khvatov, «Otsenka koeffitsiyenta poleznogo deystviya asinkhronnogo dvigatelya pri peremennoy chastote pitayushchego napryazheniya i peremennoy moshchnosti nagruzki», in proc. *X Int. young sci.-tech. conf. Budushcheye tekhnicheskoy nauki*, May 21, 2012, N. Novgorod, Russia, pp. 61-62 (in Russian).
- [13] O.S. Khvatov, A.B. Daryenkov and I.S. Samoyavchev, «Evaluating of fuel efficiency in the unified electric power station based on a combustion engine with alternating frequency rotation of shaft», *Engineering Journal of Don*, vol. 3, 2013 [Online]. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1870>.
- [14] A.B. Dar'enkov, I.S. Samoyavchev and O.S. Khvatov, «Increasing energy indicators of power plants ships with rowing electrical installation», *IX Conf. po avtomatizirovannomu elektroprivodu*, Oct. 15-19, 2016, Perm, Russia, pp. 409-413 (in Russian).
- [15] O.S. Khvatov, A.B. Darienkov and I.S. Samoiavchev, «The fuel profitability of unified electric power station of ship based on a explosion engine by alternating frequency rotation of shaft», *Jekspluatacija morskogo transporta*, vol. 1, no. 71, pp. 47-49, 2013.