



УДК 621.313.333

Е.М. Бурда, к.т.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
О.С. Хватов, д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
Н.И. Кшталтный, аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова 5

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ГЭУ) КОЛЕСНОГО СУДНА «ДОБРОХОДЬ»

Ключевые слова: гребная электрическая установка (ГЭУ), преобразователь частоты, пассажирское колесное судно.

В статье приведены краткие результаты исследования работы частотно-регулируемого электропривода ГЭУ на прогулочных колесных судах малой осадки. Показано, что ГЭУ с частотно-регулируемым приводом обеспечивает судну отличные разгонные и тормозные характеристики, хорошую маневренность.

ВГУВТ принял активное участие в разработке ГЭУ для серии пассажирских колесных судов с малой осадкой. На данный момент построены и эксплуатируются 3 судна данной серии - «Сура» (р. Волга и р. Ока в районе г. Нижнего Новгорода), «Колесовъ» (р. Москва, г. Москва) и «Доброходь» (Севастопольская бухта, г. Севастополь) [1,4].

Основу ГЭУ составляет электропривод по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Предложенный метод частотного управления электроприводом ГЭУ позволил существенно упростить механическую часть, регулировать угловую скорость двигателя в широких пределах, что очень важно при швартовных операциях или в аварийных режимах (стоянка под током). Кроме того плавный пуск и останов двигателя исключают вредное воздействие переходных процессов на механическую часть, а уменьшение пусковых токов до уровня номинального повышает долговечность двигателя, снижает требования к мощности питающей сети и мощности коммутирующей аппаратуры. Кроме того при снижении частоты вращения колеса резко падает потребляемая электродвигателем ГЭУ мощность. При снижении частоты вращения на 20% потребляемая мощность падает почти в 2 раза, что позволяет при работе на среднем ходу получить существенную экономию топлива.[2]

ГЭУ на всех судах питается от единой судовой электростанции, состоящей из двух дизель-генераторов мощностью по 100кВт. Параллельная работа генераторов не предусмотрена ввиду недостаточной надежности синхронизации из-за наличия высших гармоник в судовой сети.[3]

При выходе из строя или плановом отключении одного из дизель-генераторов автоматически включается межсекционный контактор и оба ПЧ и остальные потребители получают питание от одного дизель-генератора. В этом режиме максимальная скорость судна и допустимая частота вращения колес снижаются примерно на 20 %. Время переключения составляет менее 1с. Учитывая инерционность привода гребных колес, это практически не сказывается на управляемости судна. Подхват скорости вращения колеса

«на ходу» происходит автоматически после восстановления питания. При этом сохранена функция «нулевой защиты».

Управление ГЭУ осуществляется из рубки с помощью двух джойстиков. На дизель-электроходе «Доброходь» в ходовом режиме левый джойстик, отклоняемый вперед-назад, задает частоту вращения колес, а правый джойстик, отклоняемый вправо-влево, устанавливает заданный вектор тяги. Если в ходовом режиме команды подаются на ПЧ через компьютер, то в аварийном - управление передается с джойстиков напрямую на управляющие входы ПЧ по отдельному кабелю.

«Доброходь» имеет гребные двигатели мощностью по 75кВт. В качестве преобразователей частоты выбраны преобразователи Altivar 71. Преобразователь выдерживает падение напряжения питания до 50% и может работать без снижения мощности при температуре до 50°C. Altivar 71 обеспечивает полную безопасность ГЭУ, поскольку одновременно может защищать сам преобразователь частоты, двигатель (электронное реле и РТС-датчики) и механизм. Защитная функция блокировки преобразователя «Power Removal» реализована с помощью установленного на пульте «ключа-марки», что запрещает несанкционированный пуск двигателей ГЭУ, обеспечивая безопасность персонала. При непредвиденных перегрузках ПЧ автоматически ограничивает частоту вращения колес (вплоть до остановки) и момент на валу гребного электродвигателя до такого уровня, чтобы эти перегрузки не привели к механическим поломкам или перегрузке дизель-генератора. После устранения перегрузки гребной двигатель автоматически выходит на частоту вращения, заданную с ходового пульта.

Рассмотрим результаты ходовых испытаний.

Максимальное значение скорости вращения гребного колеса — 17,7 об/мин. Темп набора максимальной скорости программируется в преобразователе частоты и ограничивается, чтобы уменьшить нагрузку на дизель-генератор. Разгон осуществляется в два темпа — до 12об/мин за 4с, а с12 до 17,7 об/мин. за 11с. Общее время выхода на максимальные обороты составляет 15с. При разгоне отсутствуют броски тока, негативно влияющие на дизель-генератор. Ток двигателя плавно нарастает фактически от тока холостого хода $I_{xx}=40A$ до номинального $I_n=132A$. Характеристика разгона S-образная, что позволяет плавно без ударов выбрать зазоры в механической передаче. Максимальная скорость судна составила 16км/час в спокойной воде.

Зависимость скорости судна, потребляемой мощности и расхода топлива от частоты вращения колес представлены в таблице.

Таблица

РежРежимы ГД	Обороты колес, об/мин	Скорость судна, км/час	Потребляемая мощность, кВт	Расход топлива кг/час
Малый ход	7,8	9,2	25	5,13
Средний ход	13,3	12,5	74	15,2
Полный ход	17,7	16	140	28,7

Увеличенный диаметр колес по сравнению с головным судном потребовал подключения к ПЧ тормозных сопротивлений для обеспечения эффективного замедления колеса. Для торможения двигателя 75кВт с максимальной частоты вращения до полной остановки достаточно сопротивления с установленной мощностью 1кВт. Время торможения при этом составляет 2-3с. В конце торможения на 0,5с включается режим динамического торможения двигателя. Однако сразу реверсировать колесо после его полной остановки невозможно, так как судно продолжает двигаться по инерции и момент необходимый для реверса в 2- 2,5 раза превышает момент, который может развить двигатель при питании от ПЧ и электростанции ограниченной мощности. Преобразователь ограничит заданный момент и задание на частоту вращения до тех пор,

пока судно не замедлится до такой скорости, когда реверс будет возможен. При торможении со скорости менее 10 км/час джойстик можно сразу переводить из положения «полный вперед» в положение «полный назад».

Время до полной остановки судна в режиме аварийного торможения, когда джойстик из положения «полный вперед» при максимальной скорости судна 16 км/час. переводится в положение «полный назад», составляет 40 с., а пройденный путь 98 м., т.е. 3,14 длины судна, при критерии Российского Речного Регистра (РРР) в 7,2 длины судна. При таком же торможении со скорости 9,3 км/час время до полной остановки судна составляет 18 с., а пройденный путь 34 м.

ГЭУ на судне «Доброход» является не только движительным, но и рулевым комплексом. Поэтому интересно рассмотреть маневренные характеристики судна.

Для проверки управляемости выполнялись маневры «зигзаг» при условной перекладке на 10, 20, 30, 40 и 50 градусов. Время циркуляции на 360° менялось от 309 с до 86 с, а средний диаметр циркуляции от 322 м до 31 м. По результатам испытаний определено, что при выполнении маневра «враздрай» из состояния покоя (обороты колес 15,8 / -15,8) судно разворачивается на месте, время разворота на 360° - 110 с. Во всех маневрах максимальный крен судна не превышал $2,5^{\circ}$. В режиме циркуляции судна, когда одно колесо сохраняет 17,7 об/мин., а другое колесо устанавливается в 0 об/мин. (условная перекладка 50%), время полной циркуляции составляет 1 мин. 26 с., а диаметр циркуляции 0,7 длины судна, что в 3 раза меньше критерия РРР. Устойчивость судна на прямом курсе подтверждается испытаниями. Корректировка скорости вращения колес для удержания судна на курсе требуется 1 раз в 30-40 с.

К недостаткам следует отнести, что при движении задним ходом судно с трудом удерживается на прямом курсе. При скорости более 3,5 км/час удержать судно на прямом курсе не удастся. Циркуляцию задним ходом судно выполняет успешно.

Испытания судна показали, что ГЭУ с частотно-регулируемым приводом обеспечивает судну отличные разгонные и тормозные характеристики, хорошую маневренность. Следует отметить топливную экономичность судна. Судно тратит в среднем 120 - 135 кг топлива на 100 км пути.

Список литературы:

1. Бурда Е.М. Система электродвижения пассажирского судна «Сура-2» / Труды 15-го международного промышленного форума «Великие реки-2013», том 2 – Н. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ» 2013, с386-388.
2. Хватов О.С., Бурда Е.М., Коробко Г.И., Коробко И.Г. Электропривод гребной электрической установки колесного судна. Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу - АЭП-2014, том 2 – Саранск, Изд-во Мордовского университета 2014, с.226 – 230
3. Хватов О.С., Бурда Е.М., Тарпанов И.А. Единая электростанция колесного судна с электродвижением типа «Сура» / Вестник ВГАВТ. Выпуск 44. Н. Новгород, 2015. С 349 - 353
4. Галкин Д.Н., Корнев А.Б., Бурда Е.М. Инновационная гребная электрическая установка пассажирского колесного судна. Речной транспорт (XXI век) №1 2016, Москва, с24-26.

RESEARCH OF OPERATING MODES ELECTRIC PROPULSION PADDLEBOAT "DOBROHOD"

The article presents the results of the research electric paddle wheels with frequency regulation for pleasure boats with shallow draft. The research shown, that variable frequency drive provides ship excellent acceleration and braking characteristics, good maneuverability.