

форсировочную способность. Степень форсировки возбуждения является функцией максимального приращения тока нагрузки генератора, что обеспечивает высокое быстродействие и точность, исключая возможность перерегулирования. Точность форсировки определяется разрядностью компаратора 23 и количеством резисторов 32.

Список литературы:

- [1] Сугаков В.Г. Основы автоматического регулирования выходных электрических параметров Часть 2. Автоматическое регулирование напряжения автономных источников электрической энергии: учеб. пособие для вузов / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов – Кстово: НВВИКУ (ВУ), 2007, – 150 с.
- [2] Сугаков В.Г. Системы автоматического регулирования параметров электрической энергии судовых электростанций. Часть 2. Автоматическое регулирование напряжения судовых источников электрической энергии: учеб. пособие / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2011, –180 с.
- [3] Пат. 2470454 RU, МПК Н 02 Р 9/14. Система возбуждения синхронного генератора / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов, В.С. Волошко, Ю.С. Малышев. – № 2010149367/07; заявл.02.12.2010; опубл. 20.12.2012, Бюл. №35. – 7 с.
- [4] Пат. 2510698 RU, МПК Н 02 Р9/14. Система возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой / В.Г. Сугаков, О.С. Хватов, Ю.С. Малышев, А.А. Тощев, – № 2012151015/07 ; заявл. 28.11.2012 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. №10. – 7 с.

О.С. Хватов, Е.М. Бурда, Г.И. Коробко
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ГРЕБНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА КОЛЕСНОГО СУДНА

Для повышения эффективности речных судов необходимо приспособить их к естественным условиям: уменьшить осадку, оптимизировать размеры, повысить маневренные качества, при необходимости дать ледовый класс, обеспечить возможность работы без причальных сооружений и при этом снизить удельные показатели мощности энергетической установки [1].

Начиная с 2009 г. в Нижегородской области ведется строительство и ввод в эксплуатацию мелкосидящих пассажирских колесных судов (ПКС 40 «Сура», «Сура 2»). Принципиальная схема предлагаемого движительно-рулевого комплекса включает в себя: пару гребных колёс, имеющих симметричную конструкцию с жёстко установленными плицами, с отдельно управляемым приводом, установленную в оконечности судна. Поскольку гребные колёса являются одновременно движителем и органом управления судном, имеет место новый тип движительно-рулевого устройства, который предлагается назвать «колёсным движительно-рулевым комплексом», сокращённо КДРК.

В режиме маневра, возросшего сопротивления движению (встречный ветер, мелководье) или режиме торможения, колесное судно имеет несомненные преимущества перед винтовым. Конструкция КДРК обеспечивает изменение величины и направления вектора тяги путём изменения соотношения числа оборотов и направления вращения гребных колёс.

Схема управления судном с помощью колесного ДРК при постоянной мощности, подводимой к гребным колесам, показана на рис. 1.

На рис. 1 использованы следующие обозначения:

ДП – диаметральной плоскости;
ЦМ – центр массы судна;

- P – суммарный вектор тяги гребных колес;
 P_l, P_n – вектор тяги левого и правого колеса соответственно;
 P_{ml}, P_{mn} – продольная составляющая вектора тяги левого и правого колеса соответственно;
 P_{pl}, P_{pn} – поперечная составляющая вектора тяги левого и правого колеса соответственно;
 x_c – расстояние от кормового транца до центра массы судна;
 x_k – расстояние от кормового транца до оси гребных колес;
 b – расстояние между центрами плиц, находящихся в нижнем положении.

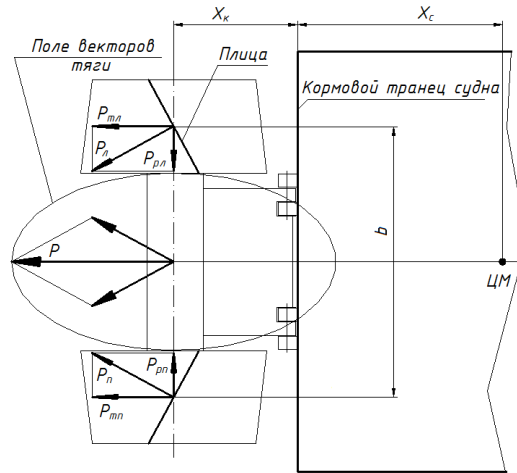


Рис. 1. Схема управляемости судна

Винтовые плицы гребных колес, находящиеся в воде, располагаются под углом к оси гребного колеса. При одинаковой частоте вращения на каждой погруженной в воду плице возникают упоры левого и правого колес P_l и P_n , которые можно представить как векторную сумму сил тяги P_{ml} и P_{mn} и рулевых сил P_{pl} и P_{pn} .

Как видно из рис. 1, при вращении гребных колес с одинаковой угловой скоростью в одном направлении, силы P_{pl} и P_{pn} находятся на одной оси и направлены в разные стороны, т.е. суммарная рулевая сила, поворачивающая судно равна нулю.

Силы P_{ml} и P_{mn} направлены вдоль судна параллельно ДП в одну сторону и создают суммарную силу тяги, равную P :

$$P = P_{ml} + P_{mn},$$

под действием которой судно движется по прямой.

Винтовые плицы на каждом колесе располагаются так, чтобы при прямолинейном движении вперед отбрасываемый плицами поток был направлен в корму и к диаметральной плоскости. Такое расположение плиц за счет подгребания воды с бортов и обжатия струи способствует повышению пропульсивного КПД комплекса корпус-двигатель.

При изменении соотношения числа оборотов гребных колес будет меняться величина векторов тяги правого и левого колеса. Вектор суммарной тяги P будет изменять как величину, так и направление. При работе колес «враздрай» (вращение в разные стороны) составляющие упора P_{mn} и P_{ml} создадут момент, разворачивающий судно

$$M_1 = (P_{mn} + P_{ml}) \cdot b,$$

а составляющие P_{pn} и P_{pl} момент того же направления

$$M_2 = (P_{рл} + P_{рп}) \cdot x_c.$$

Из схемы видно, что величина поперечной составляющей тяги зависит лишь от соотношения числа оборотов гребных колес и не зависит от направления движения судна. Это означает, что управляемость на переднем и заднем ходу будет идентична. На практике управляемость на заднем ходу будет несколько хуже, чем на переднем из-за снижения пропульсивного КПД колес при работе в тянущем режиме.

При перераспределении мощности, подводимой к гребным электромоторам, снижается число оборотов одного (например правого) гребного колеса и повышается число оборотов другого (левого) гребного колеса. При этом снижается упор P_n , рулевая сила $P_{рп}$ и сила $P_{мп}$ и возрастают P_l , $P_{мл}$, $P_{рл}$. Возникает момент сил относительно центра тяжести судна равный:

$$M_p = (P_{рл} - P_{рп}) \cdot L / 2 + (P_{мл} - P_{мп}) \cdot B / 3,$$

где L – длина судна, B – ширина судна.

Под действием этого рулевого момента кормовая оконечность будет смещаться влево, а все судно поворачиваться направо.

В качестве гребных электродвигателей выбраны специальные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, предназначенные для частотно-регулируемого электропривода, марки АДЧР250М6-0001, мощностью 75кВт, номинальное число оборотов в минуту – 985 об/мин. Двигатель имеет усиленную изоляцию обмоток.

Питание каждого двигателя производится от преобразователя частоты типа ATV71 [2]. Преобразователь рассчитан на управление двигателями мощностью до 75кВт с номинальным напряжением 380В и обеспечивает диапазон регулирования частоты от 0 до 50Гц. Отклонение скорости не превышает $\pm 10\%$ от номинального скольжения двигателя. Структурная схема судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) судна показана на рис. 2. Электростанция судна содержит два дизель-генератора ДГ1 и ДГ2 мощностью по 100кВт. Для улучшения динамических характеристик привода колес (М1,К1 и М2,К2) питание каждого из преобразователей ПЧ1 и ПЧ2 производится от отдельных генераторов. В аварийном режиме возможно питание обоих двигателей от одной генераторной секции, но при этом ограничивается скорость вращения колес на уровне 0,7 от номинальной и снижается темп разгона.

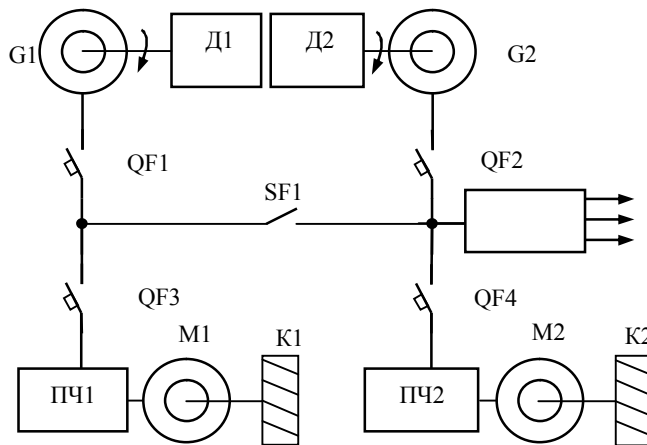


Рис. 2. Структурная схема СЭЭС судна

Ходовые испытания судна «Сура-2» показали, что фактически потребляемая ГЭУ мощность составляет:

- при скорости 14 км/час – 140 кВт;
- при скорости 11 км/час – 81 кВт;
- при скорости 8 км/час – 59 кВт.

С учетом стояночных режимов с пассажирами и без можно составить таблицу нагрузок, из которой следует, что общая потребляемая мощность будет изменяться от 200 (в динамических режимах) до 59 кВт. Поскольку параллельная работа генераторных агрегатов не предусмотрена, то их нагрузка будет различной и может изменяться для каждого из них от 100 до 30 кВт.

Как показано в [3], при уменьшении активной мощности нагрузки генератора для сокращения удельного расхода топлива необходимо уменьшать частоту вращения дизеля. Исследованиями доказано, что удельный расход топлива в этом случае можно сократить на 5–10%. С этой целью в состав системы управления дизелями необходимо ввести каналы регулирования их частоты вращения. Функциональная схема системы дизель-генератора изменяемой частоты вращения показана на рисунке 3а.

Сигнал активной мощности нагрузки генератора вычисляется блоком вычисления БВ с использованием сигналов датчиков тока ДТ и напряжения ДН, и поступает на вход задатчика экономичного режима ЗЭР. Задатчик формирует значение оптимальной частоты вращения $\omega_{\text{опт}}$, которая поступает на вход регулятора частоты вращения РЧВ дизеля. Последний поддерживает заданное значение частоты вращения, обеспечивая оптимальный расход топлива. Очевидно, что снижение частоты вращения дизеля приведет к уменьшению выходной частоты и напряжения генератора. Этот факт хорошо согласуется с работой гребных электродвигателей, для которых снижение потребляемой мощности при уменьшении их частоты вращения осуществляется уменьшением частоты и амплитуды напряжения на статоре, что обеспечивается преобразователями частоты.

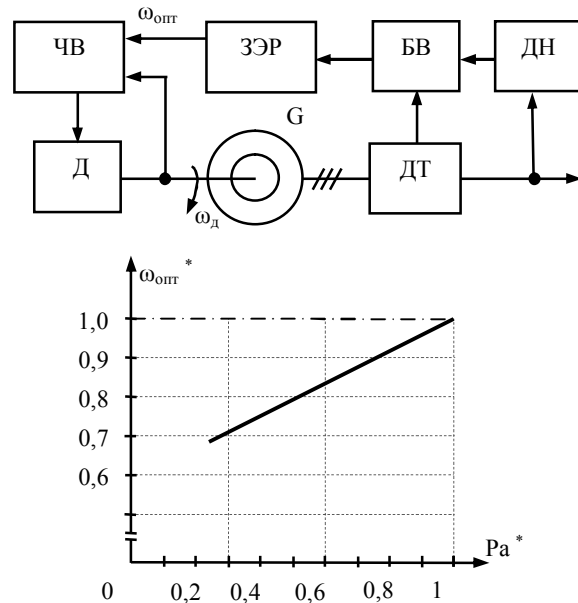


Рис. 3. Функциональная схема дизель генератора изменяемой частоты вращения и характеристика задатчика экономичного режима

Использованные в ГЭУ преобразователи ATV71 могут работать при значитель-

ном изменении параметров входного напряжения как по частоте, так и по амплитуде [4]. Для этого необходимо подать в систему управления преобразователем напряжение 24В постоянного тока от независимого источника и заблокировать все неисправности, связанные с параметрами питающего напряжения. Проведенные исследования показали, что преобразователь частоты при работе в режиме векторного управления обеспечивает заданные характеристики привода при снижении напряжения и частоты на 25–30% от номинальных значений, если не требуется полная выходная мощность электродвигателя, т.е. двигатель работает с пониженной частотой вращения и моментом.

Выводы:

1. Колесный движительно-рулевой комплекс с частотно-регулируемым приводом позволяет отказаться от применения классических рулей и обеспечивает высокую степень управляемости судна, что особенно актуально для мелководья.

2. Использование векторного управления в ПЧ позволило обеспечить режим стоянки под током для создания значительных перегрузочных моментов при самостоятельном снятии с мелей, выполнении швартовных операций в необорудованных для этих целей местах.

3. Применение в ЕЭС дизель-генераторов с изменяемой частотой вращения обеспечивает снижение удельного расхода топлива на 5–10%, что повысит экономические показатели эксплуатации судна.

Список литературы:

- [1] Бурда Е.М. Частотно-регулируемый электропривод гребной установки пассажирского судна «Сура»: Труды 14-го международного промышленного форума «Великие реки-2012», том 2. – Н.Новгород: Изд-во ВГАВТ. 2012, с. 268.
- [2] Преобразователи частоты «Altivar 71», Schneider Electric, Telemecanique, каталог 09, 2009г.
- [3] Хватов О.С., Дарьенков А.Б., Самоявчев И.С. Нейросетевой алгоритм системы управления топливоподачей дизель-генератора переменной скорости вращения. Вестник ИГЭУ. Вып. 3, 2013. Иваново, с. 50–53.
- [4] Преобразователи частоты «Altivar 71», Schneider Electric, Telemecanique, краткое руководство пользователя, 04, 2012 г.

О.С. Хватов, И.А. Тарпанов
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

РАСЧЁТ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Расчет топливной экономичности электростанции переменной частоты вращения на базе двигателя внутреннего сгорания (ДВС) предполагает определение коэффициента полезного действия канала передачи мощности «ДВС-генератор – преобразователь частоты». Алгоритм расчета указанного коэффициента полезного действия учитывает, что элементы электрооборудования, входящие в состав электростанции, работают при переменной частоте и амплитуде напряжения. Результатом расчета являются интегральные зависимости коэффициента полезного действия всех электротехнических элементов установки в определенном диапазоне мощностей нагрузки. По известной мощности на выходе электростанции определяется момент сопротивления на валу ДВС. По многопараметровой характеристике ДВС для конкретных значений мощности нагрузки и соответствующих им значений оптимальной частоты вращения вала ДВС определяется расход топлива.