

В настоящее время наблюдается тенденция перехода от классической механической установки к электропередаче, где гребной винт или другой движитель приводится во вращение электрическим двигателем той или иной конструкции. Гребные электрические установки (ГЭУ) давно нашли широкое применение на ледоколах, буровых платформах, плавбазах, плавкранах, круизных судах и т. п. Опыт эксплуатации судов-электроходов доказал их достоинства, а электротехническая революция последних лет позволила во многом нивелировать их недостатки.

Достижения техники полупроводников позволили создать гребные электрические установки переменного тока, не уступающие по своим характеристикам установкам постоянного тока, а по многим показателям и превосходящие их. До настоящего времени ГЭУ на боевых кораблях, за редким исключением, практически не применялись. В связи с появлением на кораблях мощных потребителей, используемых эпизодически, проявилась необходимость существенного повышения установленной мощности источников электроэнергии, что дает дополнительные аргументы в пользу применения ГЭУ.

На больших скоростях хода мощность источников энергии полностью отдается гребным электродвигателям и вспомогательным механизмам, на сниженных скоростях избыток мощности может передаваться мощным импульсным потребителям. Рациональный выбор количества и мощности источников энергии позволяет обеспечить их номинальную загрузку и работу с максимальным коэффициентом полезного действия. В данной статье рассмотрена возможность использования электрической гребной установки на кораблях разных классов с энергоустановками различной мощности. Проведены сравнительные оценки масс источников электроэнергии (без первичных двигателей), гребных электродвигателей, элементов первичной силовой сети, вспомогательных механизмов единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС) кораблей различных классов. В первой части работы оценивались массы основного электрооборудования (без учета фидеров распределительной сети) при исполнении ЕЭЭС с номинальными напряжениями 400 В и 10 500 В. Несмотря на то, что в настоящее время в ГЭУ более широко используется напряжение 6,3 кВ, расчетное напряжение 10,5 кВ мы приняли, исходя из следующих соображений:

- опасность поражения электрическим током человека при напряжении 6,3 и 10,5 кВ практически одинакова – допустимое расстояние от открытых токоведущих шин до человека или ограждения составляет 0,6 м;
- требования к квалификации обслуживающего персонала одинаковы – допуск к работам в сетях под напряжением больше 1000 В [1];
- электрические машины, трансформаторы, кабели, коммутационно-защитная аппаратура, выполненные на эти напряжения, при одинаковых мощностях имеют практически равные массогабаритные показатели;
- при равных мощностях распределительные щиты на 10 кВ будут иметь меньшую массу (за счет снижения массы шин), но несколько большие габариты (за счет больших минимально допустимых монтажных расстояний между голыми шинами – 90 мм при 6 кВ и 130 мм при 10 кВ) [2];
- применение более высокого напряжения в ЕЭЭС корабля позволяет создавать агрегаты большей единичной мощности, что повышает возможность более широкой унификации энергетических установок.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КОРАБЛЕЙ

Э. Р. Крохмаль, ст. науч. сотрудник,

Э. Ф. Асмаковский, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ЦНИИ ПРФ ВМФ,

Г. С. Ясаков, д-р техн. наук, проф. ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н.Г. Кузнецова»,
контакт. тел. (812) 431 94 35, 8 965 00 61 331

Для сравнительной оценки возможности использования в ЕЭЭС установках низкого и высокого напряжения предложены две идеологически близкие принципиальные схемы первичных силовых сетей: на напряжение 400 В (ГЭУ НН) и на напряжение 10 кВ (ГЭУ ВН) (рис 1,2).

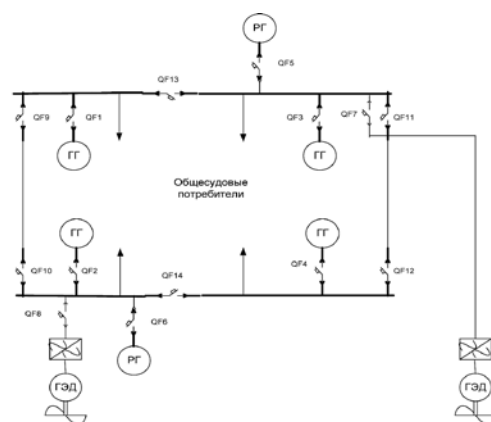


Рис. 1. Принципиальная расчетная схема ЕЭЭС на напряжение $U = 400$ В

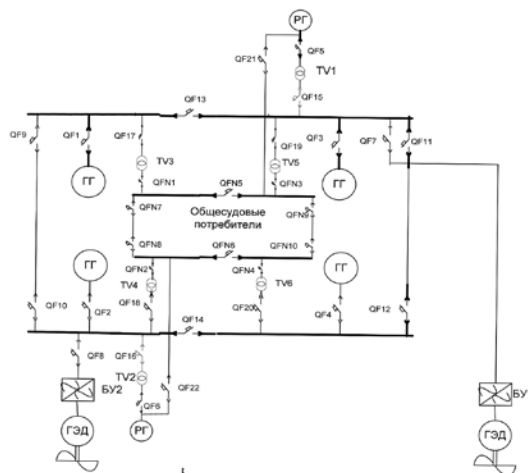


Рис. 2. Принципиальная расчетная схема ЕЭЭС на высоком напряжении

В целях упрощения расчетов и возможности сравнения результатов с учетом принятых допущений (например, невозможность определения массы аппаратуры и кабеля распределительной сети, сетей контроля и управления) для всех вариантов кораблей принята единая структура ЕЭЭС: четыре главных генератора (ГТ), два резервных (РГ), по две перемычки между бортами).

Допущения:

1. Энергия на все вспомогательные механизмы составляет 0,1 РГЭУ.

2. Резерв мощности на вспомогательные механизмы – 0,1 РГЭУ.

3. $P_{ггэд} = 0,8 \text{ РГЭУ}$.

4. Шины в ГРЩ неизменного сечения.

5. Все автоматические выключатели первичной силовой сети втычного исполнения. Высоковольтные выключатели «Протон» вакуумные, низковольтные. В расчетах при номинальных токах в низковольтном фидере больше номинального тока автомата допускалось параллельное включение аппаратов.

6. При расчете масс гребных электродвигателей приняты удельные характеристики реально изготовленного и проверенного в эксплуатации вентильного индукторного двигателя (как одного из перспективных двигателей для ГЭУ), имеющего следующие технические данные:

$P_{ном.} = 2 \text{ МВт}$, $n_{ном.} = 200 \text{ об/мин}$, $m_{уд.} = 15 \text{ кг/кВт}$. [3].

7. Номинальный ток рассчитывался по формуле

$$I_{лн} = \frac{P}{\sqrt{3}U \cos \varphi}, \quad U -$$

где U – линейное напряжение

8. Во всех случаях $\cos \varphi = 0,8$, суммарный ток, потребляемый гребным электродвигателем от сети, трехфазный.

9. Мощность вспомогательных механизмов, которые могут быть выполнены на высокое напряжение, принята равной 0,25 РВМ.

10. Мощность одной бортовой переключки между электростанциями равна 50% мощности электростанции. Применены по две переключки между высоковольтными и низковольтными секциями.

11. Анализ удельных показателей современных преобразователей частоты показывает, что их удельная масса может находиться в пределах 1,5...0,8 кг/кВт и имеет тенденцию к снижению с увеличением мощности и совершенствованием элементной базы.

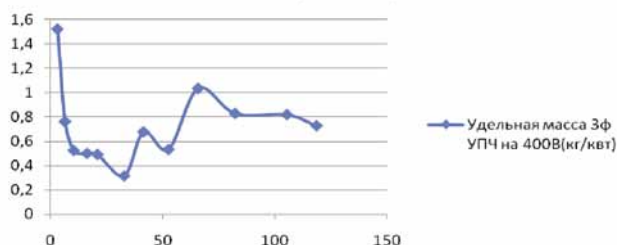


Рис. 3. Удельная масса трехфазных преобразователей частоты на 400 В (кг/кВт)

Несмотря на то, что известные отечественные преобразователи для управления мощными вентильными двигателями имеют удельную массу порядка 10 кг/кВт, а импортные преобразователи – 1...1,5 кг/кВт, примем в расчетах $M_{уд.пч} \approx 1,5 \text{ кг/кВт}$.

В ходе проведенных расчетов при принятых допущениях установлено следующее:

1. При мощностях ГЭУ до 14–15 МВт ЕЭЭС на низком напряжении по массогабаритным показателям превосходит ЕЭЭС высокого напряжения (за счет отсутствия трансформаторов, имеющих невысокие массогабаритные показатели в рассматриваемом диапазоне мощностей).

2. Вследствие сложности обеспечения электрической защиты при номинальных токах более 6 кА, необходимо переходить на высокое напряжение уже при мощности одного ГЭД порядка 3 МВт.

3. Предпочтительность высокого напряжения при мощностях ЕЭЭС более 15 МВт подтверждается и их преимуществом по массогабаритным показателям.

При исследовании возможности размещения гребных электродвигателей в кормовом отсеке корабля, т. е. в условиях, позволяющих наиболее полно реализовать преимущества электропередачи, принималось ограничение на предельно допустимую весовую нагрузку концевой отсека, составляющую при традиционной архитектуре корабля 5% от его стандартного водоизмещения. Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 4, 5). На графиках приведены:

- допустимая нагрузка для корабля данного водоизмещения (горизонтальные линии – синяя и голубая);
- фактические нагрузки в случае размещения тихоходного двигателя (200 об/мин), быстроходного двигателя (500 об/мин) с планетарным редуктором в отсеке корабля и тихоходного двигательного комплекса типа «Азипод».

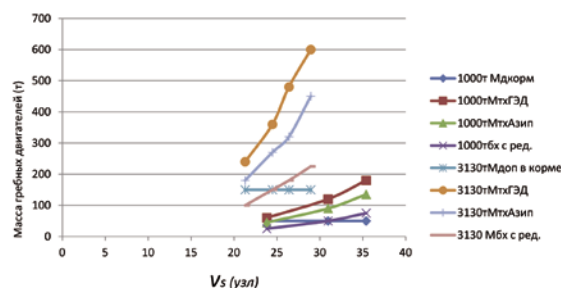


Рис. 4. Графики зависимости допустимой массы в корме и фактической весовой нагрузки в зависимости от скорости хода корабля и массы гребного электродвигателя

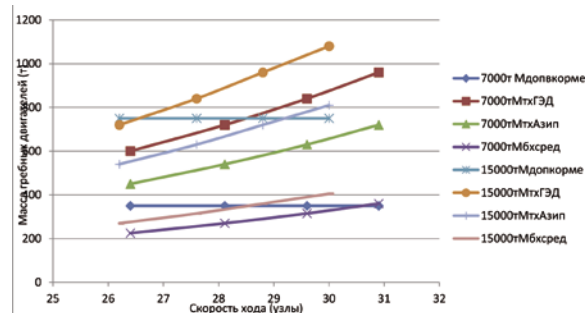


Рис. 5. Графики зависимости допустимой массы в корме и фактической весовой нагрузки в зависимости от скорости хода корабля и массы гребного электродвигателя

Анализ результатов расчетов показывает:

– при традиционной архитектуре корабля, рассмотренной удельной массе гребного двигателя и требуемой скорости хода порядка 30 уз установка низкооборотных двигателей в корме кораблей водоизмещением до 15 000 т труднореализуема;

– на кораблях водоизмещением до 1000 т возможна установка низкооборотных ГЭД в концевом отсеке при мощности ГЭУ, соответствующей скорости хода около 23 уз;

– исполнение ГЭД в варианте «Азипод», даже без учета изменений условий охлаждения, позволяет повысить установленную мощность ГЭД и существенно (примерно на 10%) увеличить скорость хода корабля;

– применение в ГЭУ редуктора и повышение частоты вращения гребного двигателя до 500 об/мин обеспечивает возможность установки двигателей в кормовом отсеке корабля с обеспечением скорости хода до 30 уз.

Очевидно, создание ЕЭЭС с низкооборотными гребными двигателями, расположенными в кормовой оконечности корабля, требует принятия нестандартных решений, а именно:

– применения новых типов двигателей с существенно улучшенными удельными массогабаритными показателями.

ми (машины со сверхпроводниковыми обмотками с постоянными магнитами, открытого исполнения, работающими в морской воде, движительных комплексов, вынесенных за корпус корабля и т. д.);

– использования соосных движителей противоположного вращения;

– применения тянущих гребных винтов;

– пересмотра традиционных подходов к архитектуре корабля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТР – РМ – 016–2001). – СПб., 2002, 205 с.
2. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) Изд. 7. – СПб., 2002.
3. *Тимирев А. П.* Математическое моделирование, проектирование и экспериментальное определение параметров вентильно – индукторных электроприводов. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2011. – 793 с. ■