

В.И. Самулев, В.В. Александров, С.К. Иванов, Т.Н. Гусакова
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИНТОРЕГУЛИРУЕМОГО КОМПЛЕКСА С РАЗЛИЧНЫМИ СХЕМАМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Azipod представляет собой уникальный электрический винторулевой комплекс, обеспечивающий привод движения и рулевое управление в едином блоке. За счет встроенного высокоэффективного электродвигателя переменного тока, приводящего в действие гребной винт фиксированного шага, установленный прямо на валу двигателя. Устройство способно вращаться на 360°, что улучшает управляемость судов.

В 1990 году компания АВВ (Финляндия) выпустила пропульсивный комплекс «AZIPOD» – электрическую установку, устанавливаемую вне корпуса судна, в гондоле, разработанной специально для ледокольных судов. «AZIPOD» быстро стал самым предпочтительным движителем для судов ледового плавания.

Azipod – это лидер систем электродвижения для ледокольных судов, которые доказали свою надежность и ледовую проходимость. Система Azipod расширила классические представления о ледоколах и соответствует новому поколению коммерческих судов, которые могут осуществлять операции в ледовых условиях независимо, без помощи ледоколов.

Электрический движитель и сопряженный частотный преобразователь составляют важную часть концепции Azipod. Для судов эксплуатируемых во льдах, требуется более высокий крутящий момент вала гребного винта, в особенности, когда винт окружен льдом. В отличие от дизельных двигателей электродвигатели могут быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить максимальный крутящий момент при низких значениях частоты вращения гребного винта и даже при его остановке (рис. 1).

Кроме того, электрическая движительная система допускает перегрузку по крутящему моменту и, в сочетании с прочностными характеристиками Azipod, эти возможности могут использоваться для сохранения вращения гребного винта в тяжелых ледовых условиях.

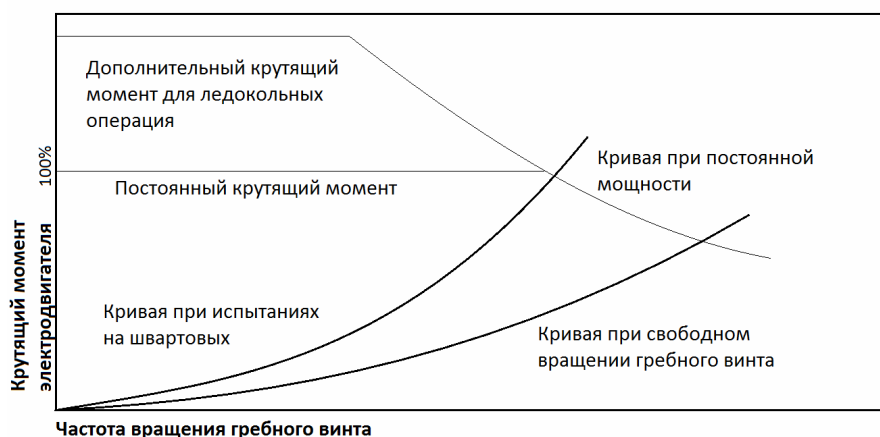


Рис. 1. Типичная характеристика крутящего момента/частоты вращения системы Azipod

Движительная установка Azipod была разработана в ответ на специальные требования к мощности и маневренности, необходимые для эффективной эксплуатации судов во льдах.

Основные преимущества движителя Azipod:

– Повышенная маневренность в тяжелых ледовых условиях. Возможность поворота на 360° обеспечивает полный крутящий момент и тягу в любом направлении, полный крутящий момент доступен даже при остановке гребного винта и при реверсировании.

– Прочная механическая конструкция. Один короткий вал и отсутствие конических зубчатых передач означает, что максимальный крутящий момент электрического двигателя может быть полностью использован без механических ограничений.

– Прочность и жесткость. Корпус Azipod с рамной конструкцией и короткий жесткий валопровод выдерживают резкие изменения тяги и высокие ударные нагрузки во время дробления льда.

– Свобода при проектировании судов. Azipod обеспечивает высокую проектную гибкость и возможность разработки судов с отличными эксплуатационными характеристиками как для операции во льдах так и на открытой воде.

Общеизвестно, что движение судна кормой вперед во льдах позволяет улучшить способность к плаванию во льдах. Это происходит вследствие эффекта обмывания кормы судна кильватерной струей от гребного винта, что снижает трение. Также известно, что рули можно повредить, а рулевое управление может быть затруднено при движении кормой вперед в ледовых условиях.

Основное преимущество при движении судна кормой вперед заключается в существенном снижении требуемой мощности. Обычно танкер, требующий мощность 10 МВт при движении в открытой воде будет требовать установленной мощности в 20 МВт для движения во льдах носом вперед. Если же его конструкция будет предусматривать движение во льдах кормой вперед, требуемая мощность будет снижена до 12 МВт.

Azipod отличается от других конструкций движителей. Основное различие заключается в силовой передаче. В то время как механические движители имеют сложную трансмиссию с зубчатыми колесами и валами, Azipod имеет только электрические кабели между источником электрического питания и электродвигателем. Это позволяет построить крайне прочное гребное устройство, объединяющее в себе простоту, прочность и надежность для наиболее сложных ледовых условий и судов любого ледового класса. В таблице 1 даны сравнительные характеристики движительной установки Azipod и установки с механическими движителями типа Z.

Таблица 1

Сравнение движительной установки Azipod с механическими движителями типа Z

	Параметры	Azipod	Механическая винто-рулевая колонка типа Z
Общие высоты	Конструкция	Изначально разработан для работы на ледоколе. Механически простая конструкция.	Требования ледового класса выполняются за счет размеров зубчатых колес, выбранных с запасом. Сложная и уязвимая механическая конструкция.
	Ссылки на суда ледового плавания	Обширные, включая несколько судов двойного действия	Ограниченные, на судах двойного действия не устанавливаются
	Диапазон мощностей – использование на ледоколах	1,5–17 МВт для класса арктических льдов. Механические ограничения отсутствуют.	Максимальная мощность около 8,4 МВт. Ограничение мощности в связи с механическими ограничениями
	Механические потери	0,5%	Обычно 7–9%
	Вибрация и шумы	Низкая вибрации и шум даже при высокой скорости	Высокая вибрация и шум

	Параметры	Azipod	Механическая винто-рулевая колонка типа Z
Ледопроходимость	Способность выдерживать перегрузку по крутящему моменту	Неограниченная, в соответствии с техническими требованиями заказчика	На 30-50% превышающие тяговое усилие на гак. Ограничена коническими зубчатыми колесами
	Обратный крутящий момент, об/мин	Неограниченный, прочная и простая конструкция валопровода – отсутствие зубчатых колес	Ограничение по крутящему моменту 50%, ограничение по частоте вращения 50 %. Ограничение по мощности 25% вследствие защиты зубчатых колес
	Снижение частоты вращения и остановка гребного винта	Высокая выдерживаемая перегрузка по крутящему моменту более высокая устойчивость частоты вращения, меньшая вероятность остановки гребного винта	Низкая выдерживаемая перегрузка по крутящему моменту, частота вращения легко падает. Остановка гребного винта происходит легче.
	Ледопроходимость при движении кормой вперед	Отличная Преимущество гребного винта тянущего типа	Ограниченная ледопроходимость Отсутствие документированного опыта использования с двойным действием во льдах
Надежность	Общая надежность	Высокая надежность, несложная конструкция	Сложная и более уязвимая конструкция
	Уплотнения	Минимальные проблемы с уплотнением	Большие проблемы с уплотнением
	Подшипники	Только 2 подшипника в валопроводе. Очень хорошие отзывы	Как минимум 9 подшипников в валопроводе. Более высокий риск поломки
	Конические зубчатые колеса	Конические зубчатые колеса отсутствуют	Конические зубчатые колеса – размеры со значительным завышением. Подвержены повреждениям
Конструкция машинного оборудования	Машинное отделение	Требуется меньшее пространство	Требуется большее пространство – валопроводы, электродвигатель и т.д.
	Зазор между кромкой лопасти	Пример: Для установки мощностью 8 МВт – обычно 1,25–1,35 м	Пример: Для установки мощностью 8 МВт – обычно 0,8–0,95 м
	Смазочные масла	Сотни литров	Тысячи литров

В настоящее время система Azipod является по-настоящему положительно зарекомендовавшей себя конструкцией движителя для использования на ледокольных судах. Компания АВВ поставляла одинарные и двойные конструкции Azipod для широкого диапазона типов судов, и реализовала множество проектов со всеми важнейшими классификационными обществами мира и для судов различных ледовых классов.

Рассмотрим для анализа три принципиальных однолинейных схем судовых электрических станций, в составе которых имеются Azipod в качестве потребителей.

При этом Azipod следует относить к особо ответственным потребителям, перерыв в питании которых может быть связан с опасностью для жизни людей, с возможной крупной аварией судна.

Для анализа указанных схем был произведен расчет надежности. Расчет проводился методом минимальных сечений.

Коэффициент готовности K_T – это комплексный показатель надежности, характеризующий вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в любой момент времени, кроме ТО и ремонта [1]

$$K_r = \frac{\int_0^{\infty} R(t)dt}{\int_0^{\infty} R(t)dt + \int_0^{\infty} G(t)dt} \quad [1]$$

где $R(t)$ – вероятность безотказной работы в интервал времени $(0, t)$
 $G(t)$ – вероятность не восстановления изделия за время $(0, t)$.

Были произведены расчеты при отказах элементов: генераторов G1, G2, G3, секционных автоматов (выключателей) Q1, Q2, Q4, Q5, Q6, секций ГЭРЩ1, ГЭРЩ2, ГЭРЩ3; согласно расчетам коэффициент готовности K_r превышает 0,95 и колеблется от 0,9675 до 0,98927. Анализ же схем электростанций показал: схема рис.3 наиболее гибкая т.к. Q1 и Q2 облегчают ремонт генераторных автоматов, но схемам (рис. 2 и рис. 3) присущи и недостатки: так во время ремонта и осмотра одной из секций ГЭРЩ потребители, не имеющие резерва по сети остаются без питания, ответственные потребители не имеют второго источника, возможная мощность электростанции уменьшается на величину мощности источников, присоединенных к ремонтируемой секции шин.

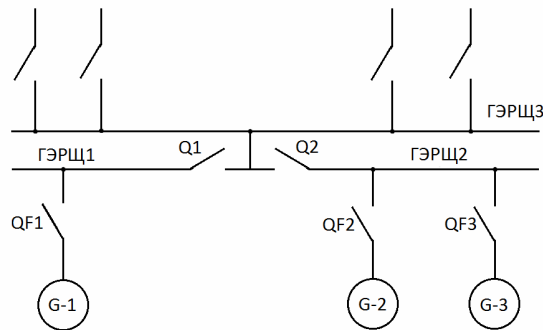


Рис. 2.

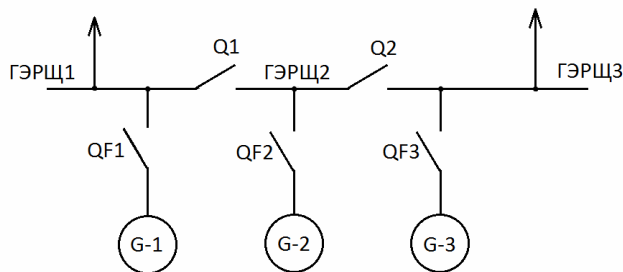


Рис. 3.

Схема электростанции (рис. 4) особенна тем, что имеется секционирование первой системы сборных шин (Q6) и связь со второй системой сборных шин (Q4 и Q5), что позволяет избавиться от перечисленных выше недостатков. Но схема (рис. 4) сложнее и естественно дороже.

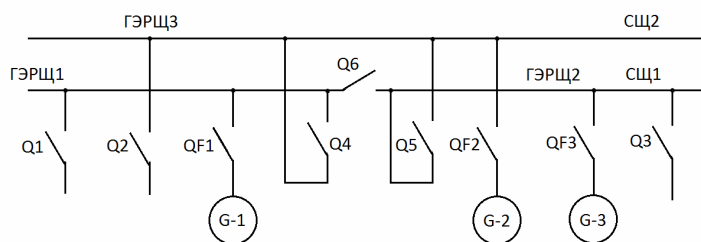


Рис. 4.

Учитывая выше изложенное (расчет коэффициента готовности K_T и анализ приведенных схем), а также, что потребители Aziprod являются особо ответственными можно рекомендовать к применению схему электростанции с двумя сборными шинами.

Список литературы:

- [1] Рябинин И.А., Киреев Ю.Н. «Надежность судовых электроэнергетических систем и судового электрооборудования». Изд. «Судостроение» Ленинград, 1974 г.
- [2] Труды конгресса «Великие реки» 2012 г., том 2.

В.Г. Сугаков, Ю.С. Малышев, А.А. Тоцев
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ЦИФРОВОЙ РЕГУЛЯТОР НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время на судовых электрических станциях отечественного и зарубежного производства устанавливаются средства автоматического регулирования напряжения, конструкция и схемные решения которых весьма разнообразны. В схемах регулирования напряжения подавляющего большинства электроагрегатов используются электромагнитные и полупроводниковые дискретные элементы. Однако существующие требования к качеству электроэнергии по отдельным показателям не соответствуют запросам потребителей. Например, норма качества электрической энергии потребителей по длительности переходного процесса восстановления напряжения, составляющая 0,1 с не обеспечивается ни одной из подобных систем. Кроме того, возможности существующих систем, соответствуя требованиям потребителей, далеки от лучших мировых образцов. Поэтому указанное соответствие обеспечивается не столько качеством регулирования напряжения, сколько заниженными требованиями потребителей, которые вынуждены компенсировать несовершенство систем автоматического регулирования напряжения (САРН) источников индивидуальными стабилизаторами, удорожающими электроснабжение потребителя.

Существующие регуляторы напряжения имеют ряд недостатков. Так, например, импульсные регуляторы напряжения имеют невысокую температурную стойкость из-за использования полупроводниковых транзисторов и сложность подрегулировки, для чего требуется подпайка дополнительных резисторов.

Существуют системы регулирования напряжения синхронных генераторов, содержащие элементы компаундирования (резисторы, автотрансформаторы, суммирующие трансформаторы) [1]. Недостатком этих систем является невысокая точность, так как они производят регулирование по главному возмущающему фактору, не учитывая остальные возмущения. Известны комбинированные системы регулирования напряжения синхронного генератора, содержащие суммирующий трансформатор,