

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА
СОВРЕМЕННЫХ СУДОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
С ДИНАМИЧЕСКИМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ**

А.Е. Савенко, П.С. Савенко

**Керченский государственный морской технологический университет,
г. Керчь, Республика Крым, Россия
Savenko-70@mail.ru**

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Рассмотреть применение судов специального назначения с системой динамического позиционирования. Провести наблюдения и исследования работы электротехнических комплексов таких судов на предмет существования в них проблем, оказывающих влияние на выполнение технологических операций. Предложить методы и средства, направленные на устранение ситуаций и процессов, отрицательно сказывающихся на работе судовых электротехнических комплексов при прокладке трубопроводов. *МЕТОДЫ.* Для проведения наблюдений и исследований рассмотрен единый электротехнический комплекс с электрическими винторулевыми колонками и системой прокладки подводного трубопровода кабелеукладчика «Seven Vega». Собрана информация о всех основных электротехнических системах судна «Seven Vega». Проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение режимов работы электротехнического комплекса при прокладке трубопроводов. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Получены экспериментальные осциллограммы токов параллельно работающих дизель-генераторных агрегатов в различных режимах. Отмечено существование обменных колебаний мощности при работе единой электроэнергетической системы кабелеукладчика «Seven Vega». Получены данные об отрицательном влиянии колебаний мощности на работу натяжителей при укладке подводных трубопроводов. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Использование морских судов с динамическим позиционированием для прокладки трубопроводов и выполнению работ по добыче нефти и газа требует обеспечения работы их электротехнических комплексов. Для обеспечения качественной работы натяжителей в системах прокладки трубопроводов необходимо обеспечить настройку их регуляторов и исключить возникновение обменных колебаний мощности при параллельной работе генераторных агрегатов.

Ключевые слова: обменные колебания мощности; параллельная работа; судовой электротехнический комплекс; генераторный агрегат; динамическое позиционирование; азимутальная винторулевая колонка.

Для цитирования: Савенко А.Е., Савенко П.С. Обеспечение работы электротехнического комплекса современных судов специального назначения с динамическим позиционированием // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 6. С. 99-108. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-99-108.

**SUPPORTING THE OPERATION OF THE ELECTRICAL POWER SYSTEM OF
MODERN SPECIAL PURPOSE VESSELS WITH DYNAMIC POSITIONING**

AE. Savenko, PS. Savenko

**Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Republic of Crimea, Russia
Savenko-70@mail.ru**

Abstract: *THE PURPOSE.* Consider the use of special purpose vessels with a dynamic positioning system. To conduct observations and research of the operation of electrical power systems of such vessels for the existence of problems in them that affect the performance of technological operations. To propose methods and means aimed at eliminating situations and processes that adversely affect the operation of shipboard electrical power systems when laying

pipelines. METHODS. For observation and research, the unified electrical power systems with electric rudder propellers and a system for laying an underwater pipeline of the "Seven Vega" cable layer was considered. Collected information on all the main electrical systems of the vessel "Seven Vega". Experimental studies were carried out aimed at studying the operating modes of the electrical power system during the laying of pipelines. RESULTS. Experimental oscillograms of currents of parallel operating diesel-generator sets in different modes have been obtained. The existence of power exchange oscillations during the operation of the unified electric power system of the cable-laying ship "Seven Vega" is noted. The data on the negative influence of power oscillations on the operation of tensioners during the laying of underwater pipelines were obtained. CONCLUSION. The use of sea-going vessels with dynamic positioning for laying pipelines and performing oil and gas production operations requires ensuring the operation of their electrical power systems. To ensure the high-quality operation of tensioners in pipeline laying systems, it is necessary to ensure the adjustment of their regulators and to exclude the occurrence of power exchange oscillations during parallel operation of generator sets.

Keywords: power exchange oscillations; parallel operation; ship electric power system; generating set; dynamic positioning; azimuth rudder.

For citation: Savenko AE., Savenko PS. Supporting the operation of the electrical power system of modern special purpose vessels with dynamic positioning. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021; 23(6):99-108. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-6-99-108.

Введение

Система динамического позиционирования (DP) устанавливается на судах, выполняющих технологические операции по разведке и добыче запасов газа и нефти, а также прокладке трубопроводов [1-5]. Функционирование такой системы тесно связано с работой всего электротехнического комплекса судна [6, 7]. С одной стороны это зависимость от наличия вырабатываемой на судне электроэнергии, с другой – необходимость управлять специальными электроприводами, обеспечивающими движение плавучего объекта [8-10]. Необходимо отметить, что на судах с динамическим позиционированием устанавливаются азимутальные электрические винторулевые колонки и подруливающие устройства в составе единой электроэнергетической системы [3].

Так, например, системы *Kongsberg K-Pos* - это компьютеризированные системы для автоматического управления положением и курсом судна. Для управления курсом судна система управления DP использует данные одного или нескольких гирокомпасов, в то время как по крайней мере одна система координатного положения (например, DGPS) или гидроакустика) позволяет системе управления DP позиционировать судно. Заданные значения для курса и положения задаются оператором, а затем обрабатываются системой управления DP для подачи сигналов управления на подруливающее устройство и главные гребные винты судна. Система DP всегда распределяет оптимальную тягу между используемыми силовыми установками. Отклонения от желаемого курса или положения автоматически обнаруживаются и система вносит соответствующие корректировки. Система управления DP также обеспечивает ручное управление с помощью джойстика, которое может использоваться для управления одним джойстиком или для комбинированного ручного / автоматического управления. Система управления DP включает стратегии управления, которые снизят расход топлива и выброс парниковых газов.

На морское судно действуют силы ветра, волнения водной поверхности и течения. В противовес им создаются силы электроэнергетической двигательной установки с пропульсивным комплексом. В результате взаимодействия всех этих сил судно движется по заданному курсу, а его местоположение отслеживается датчиками и гирокомпасом. Скорость и направление ветра измеряются датчиками ветра. Система управления *K-Pos* рассчитывает и распределяет по движителям усилия для движения судна с тремя степенями свободы в горизонтальной плоскости - помпаж, раскачивание и рыскание.

Система *K-Pos* предназначена для удержания судна в заданных пределах положения и курса, а также для минимизации расхода топлива и износа силового оборудования. Упрощенная блок-схема системы *K-Pos* показана на рисунке 1.



Рис.1. Блок-схема системы K-Pos

Fig.1. Block diagram of the K-Pos system

Таким образом, электротехнический комплекс судов специального назначения, осуществляющих добычу подводную добычу углеводородов и прокладку трубопроводов, неразрывно связан с системами управления движением [11]. Большой практический интерес представляет взаимодействие всех генерирующих мощностей и электрических приводов в условиях работы системы динамического позиционирования. Это связано с выполнением повышенных требований к плавучим объектам для исключения повторения экологических катастроф, подобных аварии в Мексиканском заливе в 2010 году на буровой платформе *Deepwater Horizon*.

Материалы и методы

В 2019 году *Subsea 7* и *Royal IHC* успешно спустили на воду полностью интегрированное катушечное судно для прокладки гибкого подводного трубопровода «*Seven Vega*» (рис. 2). Церемония прошла на верфи IHC в Кримпен-ан-ден-Эйссел, Нидерланды, ее провела Моника Бьёркманн, вице-президент *Subsea 7* в Норвегии. Стюарт Фитцджеральд, исполнительный вице-президент по стратегии и коммерческой деятельности *Subsea 7*, сказал: «Судно знаменует собой важную инвестицию в будущее».



Рис.2. Кабелеукладчик «Seven Vega»

Fig.2. Cable laying machine "Seven Vega"

В начале 2020 года судно «*Seven Vega*» стало одним из самых мощных и экономически эффективных катушкодержателей судов на рынке и глобальным инструментом для развития *Subsea 7*. Оно было разработано для предоставления поточных технологий, отвечающих растущей рыночной тенденции к более длительным и сложным разработкам для ответвлений. Современная система укладки трубопроводов на судне ориентирована на безопасность экипажа, эффективность работы и гибкость. Эта система способна устанавливать сложные жесткие выкидные трубопроводы, включая системы «труба в трубе» и выкидные трубопроводы с электрическим обогревом, на глубине до 3000 метров. Дэйв Вандер Хейде, генеральный директор *Royal*

ИНС сказал «Мы очень гордимся достижением этой вехи в этом впечатляющем проекте. Наше партнерство с *Subsea 7* снова оказалось успешным, и мы рады повысить ценность их передового флота. Интегрированный подход ИНС к проектированию судов сделал *Subsea 7* ведущим в отрасли активом, который устанавливает новый стандарт прокладки трубопроводов на море». Компания ИНС разработала «*Seven Vega*» в тесном сотрудничестве с *Subsea 7*. Несколько инновационных функций делают «*Seven Vega*» самым технологичным судном на сегодняшний день. Его компактные размеры являются результатом творческого размещения трех машинных отделений и главного барабана, эффективного использования надстройки и башни-трубоукладчика с низкой тягой. Благодаря разумному использованию пространства открывается большая кормовая рабочая палуба, а оптимизированное распределение массы сводит к минимуму потребность в балластной воде. При разработке системы укладки барабана основное внимание уделялось безопасности экипажа, эффективности работы и гибкости. Пандус укладки трубопровода с двойным натяжителем наклоняется, что позволяет прокладывать трубопровод с мелководья на глубину до 3000 м. Большая многоуровневая рабочая станция оптимизирует эффективность операций на огневом рубеже и вокруг него, а креативное расположение основного и вспомогательного барабанов, утопленных в основную палубу, обеспечивает гибкость полезной нагрузки. Кроме того, полностью электрический главный кран *Huisman* позволяет быстро регулировать параметры подъема без необходимости вручную настраивать активную систему подъема. Благодаря меньшему количеству компонентов также сокращается техническое обслуживание и потребление энергии. «*Seven Vega*» имеет общую длину 149 м, ширину 33 м и систему динамического позиционирования класса 3. Его система укладки барабана имеет максимальное натяжение 600 т, состоящее из 32-метровой основной катушки и 17-метровой вспомогательной катушки с максимальной емкостью хранения 5600 и 1600 тонн соответственно. «*Seven Vega*» оснащена кранами грузоподъемностью 250 и 50 тонн, а также несколькими небольшими кранами, а также двумя рабочими системами ROV с боковым спуском. Это судно-трубоукладчик является девятым судном, которое ИНС построило для *Subsea 7*.

«*Seven Vega*» – это суперсовременное трубоукладочное судно с высокими техническими характеристиками и технологиями (табл. 1), которое ориентированно на безопасность экипажа, эффективность работы и гибкость.

Таблица 1

Информация о судне кабелеукладчике «*Seven Vega*»

Флаг государства приписки	Остров Ман
Основные размеры	
Общая длина	149,2 м
Ширина	33м
Глубина до главной палубы	13 м
Эскизный проект	8,3м
Дедвейт	10800 т
Валовая вместимость	21,334 т
Чистая вместимость	6400 т
Главная палуба	
Площадь палубы (главная палуба)	800 м ² (приблизительно)
Прочность настила	10 т / м ²
Вместимость резервуаров (100%)	
Морской газойль	2 900 м ³
Питьевая вода	725 м ³
Балластная вода	3900 м ³
Техническая вода (в баке ВБ)	1,680 м ³
Резервуары крена / стабилизатора	1,200 м ³
Мощность и тяга	
Главные двигатели / генераторы	3х 3500 кВт 3х 4000 кВт
Силовая установка 3 кормовых азимутальных подруливающих устройства	мощностью 3200 кВт
2 выдвижных носовых азимутальных подруливающих устройства	мощностью 2400 кВт
2 носовых туннельных подруливающих устройства	мощностью 2200 кВт

Продолжение таблицы 1

Скорость / тяга	
Скорость обслуживания	около 13 узлов.
Максимальное тяговое усилие	100 т (в режиме отказа DP3)
Системы DP	
Классификация DP	DP (AAA) класса III
Система DP	Kongsberg
Эталонные системы	3x DGPS 2x HiPAP Интерфейс HPR, Radius Spot Track
Краны	
Главный кран с компенсацией вертикальной качки	250т, 3000м, АНС
Вспомогательный палубный кран	1 по 50т, 3000м, АНС
Вспомогательный палубный кран	2 по 20т
Кран верхний рамный	20т
Вспомогательные краны сертифицированы для работы с людьми, как и основной крановый подъемник.	
Размещение	
120 человек	
Люксы	4
Одноместные каюты	42
Двухместные каюты	37
Система укладки труб	
Судно оснащено двумя барабанами. Максимальная вместимость основного барабана составляет 5600 т, и он может хранить продукты диаметром от 4 до 20 дюймов. Вторичная катушка - 1600 т. Максимальная комбинированная грузоподъемность - 5600 тонн. Максимальное динамическое верхнее натяжение 600т. Это от верхнего натяжителя 162т, нижнего натяжителя 318т и от заднего натяжения 120т. Система может использовать PLET размером 5 x 5 x 10 м. Система оснащена двумя лебедками для утилизации и восстановления грузоподъемностью 325 т. Их можно использовать в комбинированном режиме для восстановления веса контактной сети в 600 тонн.	
Прочие параметры;	
Угол рампы	45 °-95 °
Контейнерный привод	DEH и жесткий
Максимальное натяжение гибкой трубы	210т
Диаметр выравнивателя	21м.
Натяжитель с намоткой	На 75 тонн
Двухуровневая рабочая станция и передвижная платформа	
Выпрямитель для труб 14 x 18 дюймов "труба в трубе"	
Системы ROV	Судно оснащено двумя стационарно установленными бортовыми системами подводного плавания XLX-EVO ROV рабочего класса, рассчитанными на дальность до 3000 м.
Вертолетная площадка	Вертолетная площадка одобрена для использования с Super Puma, S61N, S76 и S92. Kongsberg HMS 100 установлен.
Системы связи	Судно оснащено широкополосным доступом в Интернет.

Результаты

На судне «Seven Vega» при работе главного крана *Huisman* в режиме компенсации качки и спуска груза рекуперируется в сеть значительная мощность. Для предотвращения перехода дизель-генераторных агрегатов в режим обратной мощности удалось решить проблему все-таки резисторами суммарной мощностью в 5000 кВт, которые называются *base load resistors*. В отличие от судна «*Pionering Spirit*» с краном *Huisman* на 5000 тонн, где аналогичная проблема не решается с помощью резисторов [12], на «*Seven Vega*» установлен кран на 250 тонн, и соответственно выделяемые в сеть мощности разные на порядок.

Реализация работы главного крана на судне «*Seven Vega*» с технической стороны очень удачная, но не экономичная. Отдельные частотные преобразователи установлены

на резисторы с общей DC шины. При включении крана, частотный преобразователь очень плавно поднимает нагрузку на резисторы до 3600 кВт, а за это время, если необходимо, запускается дополнительный дизель-генератор. Далее, если начинается подъем на полной скорости, то электромоторы нагружаются, а с резисторов нагрузка убираться так, что на ГРЩ не происходит изменения нагрузки, ведь дизель-генератор не может мгновенно выдать на 4000 кВт больше.

В случае уменьшения скорости подъема, электродвигатели начинают потреблять меньше и частотные преобразователи увеличивают мощность, подаваемую на резисторы. При начале опускания груза задействуется ещё секция резисторов на 2000 кВт, ее может не хватить и все равно появляется обратная мощность, но всего в пределах 1000 кВт, а потребление судна даже при стоянке в порту составляет более 1000 кВт. В итоге дизель-генераторные агрегаты никогда не переходят в режим обратной мощности, а при опускании нагрузка на дизель-генераторы уменьшается с 1500 кВт до 500 кВт.

На судне повсеместно используется электрический привод, даже грузовые лебедки грузоподъемностью по 300 тонн имеют полный электропривод. На каждой такой лебедке установлены по 8 электродвигателей мощностью по 300 кВт.



Рис.3. Натяжитель (тензионер) до аварии

Fig.3. Tensioner (tensioner) before the accident

Серьезная проблема, возникшая с натяжителем трубы (рис. 3), привела к многодневному простоя судна. Простой одного дня судна обходится в 180 тыс. долларов. На натяжителе для намотки трубы на барабан, или как его называют – тензионере, не работала должным образом одна из четырех гусениц, которая обжимает трубу и тянет. Частотный преобразователь, подающий питание на тянущий электродвигатель, остановил гусеницу по ошибке энкодера обратной связи (не плавное изменение положения ротора электромотора). Причём остановка по этой ошибке произошла за 1 секунду, включив подачу DC на электродвигатель и затем активировав механические тормоза, а в это время барабан продолжал наматывать трубу. Барабан также пошёл на «стоп», но чтобы остановить с полной скорости барабан весом в 5600 тонн, нужно не менее 7 секунд. В результате труба вырвала этот натяжитель с рамы (рис. 4).

На рисунке 4 видно, как гусеницы, обжимающие трубу, остановились и вырвали сам теншенер с рамы, когда усилие выросло выше 170 тонн на трубе от барабана.



Рис.4. Натяжитель (тензионер) после аварии

Fig.4. Tensioner (pensioner) after the accident

Это не единственная проблема с натяжителями. Большие сложности вызывает настройка управления натяжителем (теншенером). Смысл настройки состоит в том, что труба под своим весом опускается, и между барабаном с намотанной трубой и выходом

из судна стоит теншенер, который пытается держать постоянное усилие между собой и барабаном, ориентировочно 80 тонн. А за бортом вес трубы составляет примерно 300 тонн. В результате электродвигатели натяжителя работают в режиме генерации мощности (он же тормозит груз) и не получается настроить частотные преобразователи на корректную работу. Если частотный преобразователь «видит», что момент у электродвигателя снижается, он снижает скорость вращения поля и скольжение двигателя должно увеличиться, а также должен увеличиться тормозной момент. Но, все элементы нелинейные и добиться стабильной совместной работы восьми синхронизированных электродвигателей с индивидуальными частотными преобразователями не получается. Установка, конечно, работает, но диапазон изменения усилия составляет от 650 до 800 кН. Это очень много, так как допустимый разброс должен составлять максимум 20 кН.

Натяжители для разматывания трубы с барабана в 5 раз мощнее и больше, чем натяжители для наматывания на него. Это четыре гусеничных трака, которые обжимают трубу с четырех сторон и с началом вращения гусеницы тянут трубу (примерная аналогия с гусеницей военного танка). В режиме «тянуть» все отлично работает, а в режиме генерации мощности, когда вес трубы за бортом больше, чем усилие между теншенером и барабаном, существуют серьезные проблемы в настройке при использовании тяжелой трубы с весом в 640 кг на метр. Стандартный ПИД регулятор частотного преобразователя не получилось корректно настроить в таком режиме генерации мощности. Электромеханики судна программированием регулятора для нелинейной характеристики добились лишь некоторого улучшения. Зависимость скольжения электромотора от момента теоретически должна носить примерно линейный характер, однако на практике персонал судна столкнулся с кривой, которая похожа на перевёрнутую параболу. Все это происходит в режиме укладки трубы, когда при достижении глубины в 400 метров начинаются забросы и труба извивается, как змея, между барабаном и рампой. Положительный эффект дала попытка применения адаптивного регулятора с добавлением в блок коррекции П- и И- частей в зависимости от момента (тока) электродвигателя из тех соображений, что чем сильнее натянута труба между рампой и барабаном, тем выше частота ее собственных колебаний. Такое некоторое улучшение дало возможность продолжить укладку трубы. Дальнейшие попытки нормализовать процесс укладки трубы связаны с добавлением ещё блока коррекции для нелинейности скольжения от тока. Контроль процесса ведется по частоте вращения вала по энкодеру. Данные о частоте поля и токе, полученные с частотного преобразователя дают полностью нелинейную характеристику. Электромеханики, в качестве эксперимента, написали блок программы для регулятора, сделав ступенчатую коррекцию по трём уровням и ведут подготовку к испытаниям.

Все это происходит в режиме плановой прокладки трубопровода, который происходит под надзором заказчика и специалистов, проводящих расчеты. С их стороны присутствует жесткое требование продолжать работу по прокладке трубы но так, чтобы натяжение у неё изменялось не более, чем на 5% от уставки, так как в противном случае система неправильно поровняет ее при размотке.

Дальнейшие наблюдения за работой электротехнического комплекса при параллельной работе дизель-генераторных агрегатов зафиксировали обменные колебания мощности (рис. 5). Такие колебания крайне негативно влияют на работу

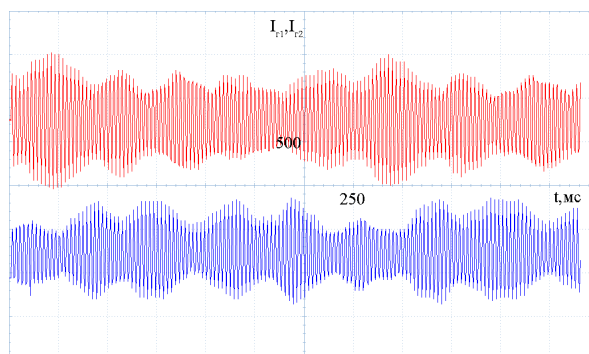


Рис.5. Обменные колебания мощности при параллельной работе генераторных агрегатов

Fig.5. Exchange power oscillations during parallel operation of generating sets

электрического оборудования и систем автоматики, в том числе задействованных в

прокладке гибкого трубопровода для кабеля, осуществляемом судном «*Seven Vega*». Для обеспечения корректной работы натяжителей с выполнением всех требований по укладке трубопровода необходимо исключить наличие обменных колебаний мощности, либо уменьшить их амплитуду до минимальных значений, которые не оказывают влияние на работу электротехнического комплекса судна [13-15].

Обсуждение

В постоянно меняющемся политическом и экономическом ландшафте *Royal IHC* позволяет своим клиентам выполнять сложные проекты от уровня моря до дна океана в самых сложных морских условиях, являемся надежным поставщиком инновационного и эффективного оборудования, судов и услуг для рынков шельфовых, дноуглубительных и влажных горных работ. Имея богатую историю голландского судостроения с середины 17 века, компания обладает глубокими знаниями и опытом в области инженерии и производстве высокопроизводительных интегрированных судов и оборудования, а также предоставление устойчивых услуг. Из головного офиса в Нидерландах с 3000 сотрудников, работающих на площадках и в офисах по всему миру, компания может обеспечить локальное присутствие и поддержку на всех континентах. Операторы дноуглубительных работ, нефтегазовые корпорации, офшорные подрядчики, горнодобывающие компании и государственные органы во всем мире получают выгоду от высококачественных решений и услуг *IHC*. С приверженностью технологическим инновациям, в которых устойчивость и безопасность являются ключевыми, компания стремимся постоянно удовлетворять конкретные потребности каждого клиента в быстро меняющемся мире.

Subsea 7 - мировой лидер в области реализации морских проектов и услуг для развивающейся энергетической отрасли. Компания создает устойчивую ценность, являясь отраслевым партнером и предпочтительным работодателем в предоставлении эффективных офшорных решений, в которых нуждается мир. В *Subsea 7* работает более 11000 сотрудников из 80 разных национальностей, флот из более 30 судов и активное присутствие в 33 странах. У компании большой послужной список безопасной и надежной реализации проектов, а офшорные операции охватывают более пяти десятилетий и более 1000 проектов. Фил Саймонс, исполнительный вице-президент по проектам и операциям *Subsea 7*, сказал: «Мы рады добавить в наш флот «*Seven Vega*», одно из самых мощных и экономичных судов на рынке. Судно является важной долгосрочной инвестицией и устанавливает новый стандарт прокладки трубопроводов на море».

Сложность обеспечения работы таких судов, как кабелеукладчик «*Seven Vega*» состоит в уникальности его электротехнического комплекса. Отсутствие опыта в автономной эксплуатации судов с таким электрооборудованием требует постоянного принятия решений по обеспечению работы кабелеукладчика, а значит и нахождения на его борту высококвалифицированного персонала.

Сейчас обсуждается решение об установке на судне «*Seven Vega*» аккумуляторных батарей для покрытия пиковых нагрузок электротехнического комплекса. Дизель генераторы работают в параллель в некоторых режимах с нагрузкой в 20-25% для резерва, а после установки аккумуляторных батарей станет возможным работа одного дизель-генератора и батареи с инвертором в резерве. При таком режиме работы обменных колебаний мощности возникать не будет. Кроме того, можно будет заходить в Норвежские порты на аккумуляторных батареях. Ведь Норвегия постепенно запрещает заход на двигателях, если порт находится в городе. Иногда, даже если разрешен заход в порт на двигателях, для возможности стоянки необходимо только быстрое подключение берегового питания. В скором времени планируется запрет захода в порт с использованием дизельных двигателей.

Заключение

Суда специального назначения, выполняющие работы по прокладке трубопроводов и добыче нефти и газа, требуют установки на них оборудования для динамического позиционирования. В состав электротехнических комплексов таких судов непременно входят азимутальные винторулевые колонки на основе электрических двигателей и специальное оборудование для выполнения технологических операций по прокладке трубопроводов и бурения. Наблюдения и исследования, проведенные на кабелеукладчике «*Seven Vega*», обнаружили ряд проблем в работе судового электротехнического комплекса. Для их решения необходимо устранение обменных колебаний мощности при параллельной работе генераторных агрегатов. Поэтому, необходимо установить блок, воздействующий на настройки регуляторов частоты вращения дизель-генераторов во время их параллельной работы. Также необходимо оснащение судна аккумуляторными батареями для исключения параллельной работы генераторов в ряде режимов, а также для выполнения экологических требований при заходах и нахождении в европейских портах.

Особого внимания требуют системы управления натяжителями трубопроводов. Целесообразно обобщить накопленный опыт по настройке регуляторов, внести коррективы в программы их работы, расширить функциональные возможности. Это даст возможность электромеханическому персоналу оперативно реагировать на возникающие сложности и неисправности и обеспечить работу электротехнического комплекса судна.

Литература

1. Хватов О.С., Тарпанов И.А., Кузнецов П.В. Судовая электроэнергетическая система с обратимой валогенераторной установкой по схеме машины двойного питания и дизель-генератором переменной частоты вращения. Вестник Астраханского государственного технического университета. 2021. № 3. С. 93–100.
2. Dar'Enkov A.B., Samoyavchev I., Khvatov O.S., Sugakov V. Improving energy performance power station of ship with integrated electric propulsion. MATEC Web of Conferences, 2017. V.108. 14002.
3. Sen'kov A.P., Dmitriev B.F., Kalmykov A.N., Tokarev L.N. Ship unified electric-power systems. Russian Electrical Engineering, 2017. 88(5). С. 253–258.
4. Губанов Ю.А., Калинин И. М., Корнев А.С., Кузнецов В. И., Сеньков А.П. Направления совершенствования судовых единых электроэнергетических систем. Морские интеллектуальные технологии, 2019. №1-1(43). С.103–109.
5. Zhu, Sipeng., Ma, Zetai., Zhang, Ku., Deng, Kangyao. Energy and exergy analysis of the combined cycle power plant recovering waste heat from the marine two-stroke engine under design and off-design conditions. Energy. 2020. Т. 210.
6. Грачева Е.И., Ильясов И.И., Алимова А.Н. Сравнительный анализ и исследование методов расчета потерь электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20 № 3-4. С. 62–71.
7. Ившин И.В., Низамиев М.Ф., Владимиров О.В., Ваньков Ю.В. Измерительно-диагностический комплекс для диагностики энергетических установок. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 3-4. С. 109-114.
8. Zhu, Sipeng; Zhang, Kun; Deng, Kangyao. A review of waste heat recovery from the marine engine with highly efficient bottoming power cycles. Renewable & sustainable energy reviews. 2020. Т. 120.
9. Geertsma, R. D.; Visser, K.; Negenborn, R. R. Adaptive pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion. Applied energy. 2018 Т. 228.
10. Mondejar M.E., Andreasen J.G., Pierobon L., et al. A review of the use of organic Rankine cycle power systems for maritime applications. Renewable & sustainable energy reviews. 2018. Т. 91.
11. Батрак Д.В., Калинин И.М., Кузнецов В.И., Сеньков А.П. Оценка качества напряжения питания в судовой электроэнергетической системе методом компьютерного моделирования // Электротехника. 2017. № 12. С. 18-23.
12. Савенко А.Е., Савенко П.С. Колебания мощности в единых судовых электроэнергетических системах с гребными электрическими установками. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23 № 5. С. .
13. Савенко А.Е., Голубев А.Н. Обменные колебания мощности в судовых электротехнических комплексах. Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. Иваново. 2016. 172 с.
14. Savenko A.E., Savenko P.S. Analysis of Power Oscillations Parameters in Autonomous Electrical Complexes Using the Method of Customization Charts Designing. Proceedings – 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering, UralCon 2020, Proc. 2020 Int. Ural Conf. on Electrical Power Engineering. С. 400–405.
15. Савенко А. Е., Савенко П.С. Влияние постоянных времени регуляторов частоты на амплитуду обменных колебаний мощности в автономных дизельных электростанциях. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. Казань, 2020. № 1. С. 136–144.

Авторы публикации

Савенко Александр Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры Электрооборудования судов и автоматизации производства, Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь. Email:Savenko-70@mail.ru.

Савенко Павел Станиславович – курсант морского факультета, Керченский государственный морской технологический университет.

References

1. Khvatov OS, Tarpanov IA, Kuznecov PV. Ship power plant with reversible shaft generator unit operating by dual-power machine scheme and variable speed diesel generator. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021;3:93–100.
2. Dar'Enkov AB, Samoyavchev I, Khvatov OS, et al. *Improving energy performance power station of ship with integrated electric propulsion*. MATEC Web of Conferences. 2017; 108:14002.
3. Sen'kov AP, Dmitriev BF, Kalmykov AN, et al. *Ship unified electric-power systems*. *Russian Electrical Engineering*. 2017;88(5):253–258.
4. Gubanov YA, Kalinin IM, Kornev AS, et al. Directions of improvement for ship unified power systems. *Marine Intelligent Technology*. 2019;1-1(43):103–109.
5. Zhu Sipeng, Ma Zetai, Zhang Kun, et al. Energy and exergy analysis of the combined cycle power plant recovering waste heat from the marine two-stroke engine under design and off-design conditions. *Energy*. 2020, Book: 210, 118558, doi: 10.1016/j.energy.2020.118558.
6. Gracheva EI, Il'jasov I, Alimova AN. The comparative analysis and research of methods of calculation of losses of the electric power in the systems of electrical power supply of the industrial enterprises. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2018;20(3-4):62-71.
7. Ivshin IV, Nizamiev MF, Vladimirov OV. Measuring-diagnostic complex for the diagnosis of power plants. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2014;3-4:109-114. 3
8. Zhu Sipeng, Zhang Kun, Deng Kangyao. *A review of waste heat recovery from the marine engine with highly efficient bottoming power cycles*. Renewable & sustainable energy reviews, 2020, Book: 120, 109611. doi: 10.1016/j.rser.2019.109611.
9. Geertsma RD, Visser K, Negenborn RR. Adaptive pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion. *Applied energy*. 2018. Book:228. pp. 2490-2509, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.07.080.
10. Mondejar ME, Andreasen JG, Pierobon L, et al. *A review of the use of organic Rankine cycle power systems for maritime applications*. Renewable & sustainable energy reviews, 2018, Book: 91, pp:126-151. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.074.
11. Batrak DV, Kalinin IM, Kuznetsov VI, et al. Assessment of supply-voltage quality in a ship's electric-power system by means of computer simulation. *Russian Electrical Engineering*. 2017;88(12):788-794.
12. Savenko AE, Savenko PS. Power oscillations in unified shipboard electrical power systems with electrical propulsion systems. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2021;23(5).
13. Savenko AE, Golubev A.N. Exchange power fluctuations in ship electrotechnical complexes. *Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet imeni V.I. Lenina*. Ivanovo, 2016. 172 p.
14. Savenko AE, Savenko PS. *Analysis of Power Oscillations Parameters in Autonomous Electrical Complexes Using the Method of Customization Charts Designing*. *Proceedings – 2020 International Ural Conference on Electrical Power Engineering*, UralCon 2020, Proc. 2020 Int. Ural Conf. on Electrical Power Engineering, pp. 400–405.
15. Savenko AE, Savenko PS. Influence of time constants of frequency regulators on the amplitude of power exchange fluctuations in autonomous diesel power plants. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2020;22(1):136-144.

Authors of the publication

Alexandr E. Savenko – Kerch State Maritime Technological University. E-mail:Savenko-70@mail.ru.

Pavel S. Savenko – Kerch State Maritime Technological University.

Получено

08.12.2021 г.

Отредактировано

13.12.2021 г.

Принято

14.12.2021 г.