

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-575-585

NETWORK POWER CONTROL OF SCREW-STEERING COLUMN OF ELECTRIC PROPULSION VESSELS

V. I. Brezhnev

Leningrad District Oil Pipeline Administration — The Branch of Transneft Baltic, LLC,
St. Petersburg, Russian Federation

The subject of this work is to study the issue of ensuring regular navigation along the Northern Sea Route, which is much shorter compared to traditional routes passing through the South Seas and the Indian Ocean, as well as the possibility of its transformation into a national transport main waterway of the Russian Federation with a further increase in the economic contribution to the Russian economy of the Arctic zone, which is a strategic territory and it is important for ensuring the implementation of Russian national interests in the Arctic. At the same time, the necessity of using screw-steering columns with electric propulsion, which perform the functions of a steering device mover, for working on ships in harsh climatic conditions, is justified. Their main advantages are noted, namely: high maneuverability with maximum torque and thrust in any direction; reliable design without mechanical restrictions, which can withstand high sharply variable shock loads; high operational characteristics when working in ice and clean water. The problem of step-by-step regulation of power output to a screw-steering column with a main ship power plant, solved using hierarchical routing networks, is considered. It is noted that the size of the route tables supported by the switching equipment increases as a direct dependence of the increase in the size of the network, when the processor time for processing it increases, and the size of the packets exchanged by the communication equipment increases, which increases the load on the network. A general model of the network hierarchy for power monitoring and output, which is based on routers, modules, actuators, interface devices, etc., is proposed. The variants of power output from the main ship's power plant to the screw-steering column are analyzed.

Keywords: power, steering column, diesel, generator, network, regulator, fuel consumption.

For citation:

Brezhnev, Vladislav I. "Network power control of screw-steering column of electric propulsion vessels." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.4 (2021): 575–585. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-575-585.

УДК 621.436.038.6

СЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТНЫМ РЕЖИМОМ ВИНТОРУЛЕВОЙ КОЛОНКОЙ СУДНА С ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЕМ

В. И. Брежнев

ЛРНУ ООО «Транснефть-Балтика», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Предметом исследования настоящей работы является изучение вопроса обеспечения регулярного судоходства по Северному морскому пути, который по сравнению с традиционными маршрутами, проходящими через южные моря и Индийский океан, намного короче, а также возможность его трансформации в национальную транспортную магистраль Российской Федерации с дальнейшим увеличением экономического вклада в российскую экономику Арктической зоны, представляющей собой стратегическую территорию, имеющую важное значение для обеспечения реализации ее национальных интересов в Арктике. При этом обоснована необходимость использования для работы на судах в суровых климатических условиях винторулевых колонок с электродвижением, выполняющих функции движителя рулевого устройства. Отмечаются их основные преимущества, а именно: высокая маневренность с максимальным моментом и тягой в любом направлении; надежная конструкция без механических ограничений, которая выдерживает высокие резко

переменные ударные нагрузки; высокие эксплуатационные характеристики при работе во льдах и чистой воде. Рассмотрена задача ступенчатого регулирования выдачи мощности на винторулевую колонку с главной судовой энергетической установкой, решаемая с использованием сетей иерархической маршрутизации. Отмечается, что величина таблиц маршрутов, поддерживаемых коммутационным оборудованием, увеличивается прямой зависимостью увеличения размеров сети, когда возрастает время процессора для ее обработки, а также увеличивается размер пакетов, которыми обменивается коммуникационное оборудование, что увеличивает нагрузку на сеть. Предлагается общая модель иерархии сети для контроля и выдачи мощности, основу которой составляют маршрутизаторы, модули, исполнительные механизмы, устройства сопряжения и др. Проанализированы варианты выдачи мощности с главной судовой энергетической установки на винторулевую колонку.

Ключевые слова: мощность, винторулевая колонка, дизель, генератор, сеть, регулятор, расход топлива.

Для цитирования:

Брежнев В. И. Сетевое управление мощностным режимом винторулевой колонкой судна с электродвижением / В. И. Брежнев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 575–585. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-575-585.

Введение (Introduction)

Одной из тенденций совершенствования пропульсивного комплекса является применение винторулевых колонок, обеспечивающих повышенную маневренность судов различного назначения. Задача регулирования мощности винторулевой колонки является актуальной, так как использование регулирования выдачи мощности судовой энергетической установки на электродвигатель винторулевой колонки, который расположен в гондоле движительного модуля, приводит в движение винт, позволяет регулировать силу тяги, а также определяет расход топлива. Особенно перспективным является использование такого регулирования мощности на судах двойного действия, работающих как на чистой воде, так и в ледовых условиях. Такое судно при движении в чистой воде потребляет до 8 МВт, а при движении во льдах носом вперед его требуемая мощность возрастает до 16 МВт. В работе предлагаются варианты регулирования мощности главной судовой энергетической установки, отличительной особенностью которых является использование преобразователей частоты. Объект регулирования представляет собой группа дизельных двигателей, работающих на газовом и дизельном топливе совместно с генераторами синхронного типа и комплектным распределительным устройством с элегазовой изоляцией (КРУЭ) [1].

Целью настоящего исследования является разработка модели регулирования мощности, подаваемой на винторулевую колонку от главной судовой энергетической установки. Для достижения обозначенной цели необходимо использовать распределенные сети, а затем показать, что использовании в их составе DUAL CAN, DUAL LAN и FIBER OPTIC (сети, которые позволяют соединить между собой коммутационное оборудование) может быть представлено в виде решения задачи с применением этих сетей для регулирования параметров исполнительных механизмов и контроля параметров телеизмерения (позволяет производить удаленные измерения и сбор информации для предоставления оператору, например силы тока, температуры, давления и др.).

Методы и материалы (Methods and Materials)

Предлагаемое решение. Решение поставленной задачи возможно с помощью использования следующих вариантов. Первый вариант предполагает изменение подачи топлива в главный судовому дизелю, так как дизель и генератор находятся на одном валу, зависимость между количеством топлива и вырабатываемой мощностью будет прямо пропорциональной. Вторым вариантом является отключение части цилиндров двигателя с целью уменьшения вырабатываемой мощности. Третьим вариантом является отключение дизель-генераторов судовой энергетической установки при их параллельной работе на винторулевую колонку (рис. 1) с помощью КРУЭ [2]–[4]. Четвертый вариант предполагает использование автоматического регулятора напряжения в генераторах за счет стабилизации выходного напряжения путем увеличения или уменьшения тока в обмотке

возбуждения [5]–[7]. Данные варианты контроля обеспечат ступенчатое изменение мощности и тем самым дадут возможность изменять силу тяги винта.

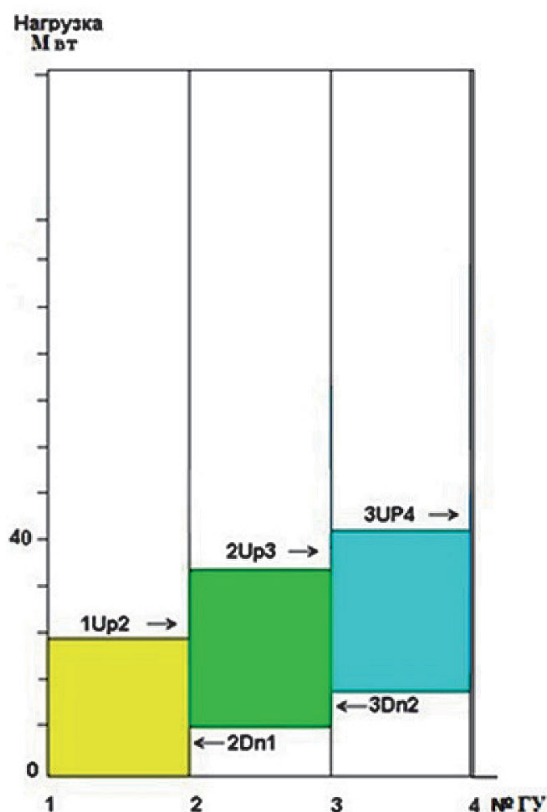


Рис. 1. Параллельная работа дизель-генераторов

Использование сетевых возможностей для ступенчатого изменения мощности, выдаваемой с главной судовой энергетической установки на винторулевую колонку. Для реализации изменения мощности используется SCADA¹, устанавливаемый на серверы и операторские консоли (например, станцию удаленного управления, пульта управления и др.). Сервер сбора и обработки информации в автоматическом режиме непрерывно собирает данные о состоянии работы машин и механизмов. Для повышения надежности системы серверы сбора и обработки информации также резервируются, представляя собой синтез на основе элементов баз знаний и серверно-сетевых технологий алгоритмов и программ распределенного управления рабочими процессами, а также дизель-генераторов для оптимизации работы винторулевой колонки.

Данные, полученные от сервера в виде мнемосхем, трендов, световых табло и текстовых сообщений, поступают на средства отображения информации. В целях дальнейшего изучения внештатных ситуаций часть данных архивируется. Средства нижнего уровня (КИПиА, исполнительные механизмы) обеспечивают сбор данных, формирование и выдачу управляющих команд на устройства, в блоки управления дизель-генераторов и винторулевую колонку.

Управление дизелем базируется на двух электронных модулях управления: главном модуле управления (МСМ — Main Control Module), модуле управления цилиндрами (ССМ — Cylinder control module), которые представляют собой распределенную систему, в которой все электронные модули обмениваются информацией через CAN друг с другом. Система собирает сигналы от различных датчиков, размещенных в разных местах на дизеле, которые подключены к локально установленным модулям. Принимаемые и обрабатываемые сигналы сравниваются с заданными параметрами

¹ SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) — программный пакет, предназначенный для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

управления всех активных процессов дизелей (например, скорости или контроль нагрузки, контроль соотношения воздух / топливо и т. д.).

В состав унифицированной системы управления дизелем (рис. 2) входят: MCM — главный модуль управления; CCM — модуль управления цилиндрами; IOM — модуль входов-выходов; LDU — локальный блок индикации; ESM — модуль обеспечения безопасности двигателя; PDM — модуль распределения мощности. Первый основной модуль управления автоматически регулирует старт и останов дизеля, а также мониторинг безопасности. Если входной сигнал указывает на отклонение от заданного значения, то подается сигнал тревоги. Затем будет дан запрос на уменьшение нагрузки или с ухудшением сигнала производится выключение.

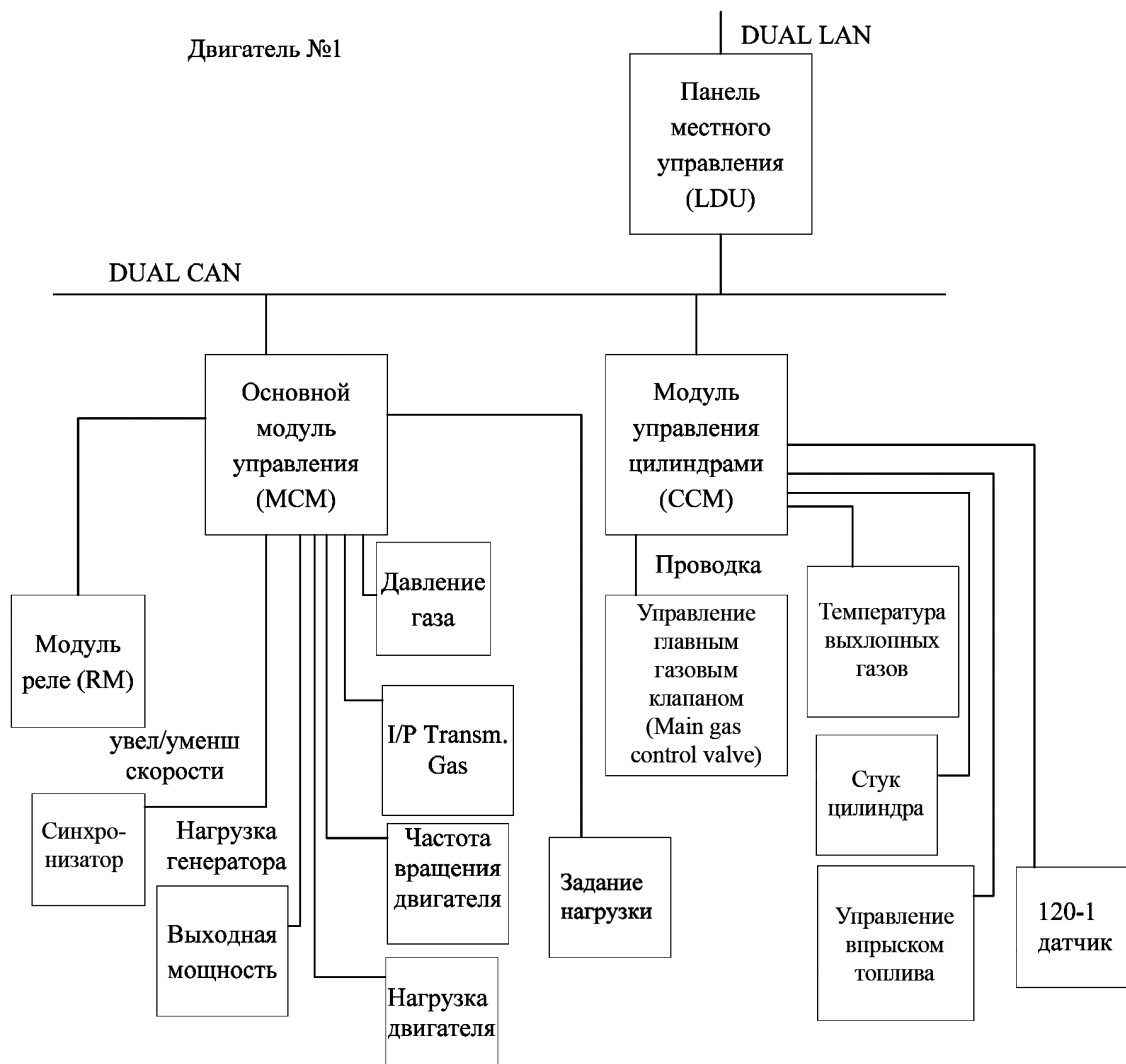


Рис. 2. Унифицированная система управления дизелем

Второй основной модуль управления используется исключительно для сбора сигналов с датчиков и управления перепускным клапаном. Используется несколько модулей управления цилиндрами дизеля, каждый из которых обрабатывает три цилиндра. Все модули монтируются вдоль стороны дизеля рядом с датчиками или блоками управления, которые они считывают и/или контролируют. Кроме того, модули отключают подачу топлива в цилиндры дизеля, рассчитанную на свободный ход судна (без нагрузки) и не тормозят работу других, при этом клапаны газораспределительного механизма в них открыты. При отключении подачи топлива в цилиндры воздух перераспределяется и его отводят и подают в действующие цилиндры. Отключение топливоподачи в цилиндры дизеля осуществляется с помощью электромагнитных клапанов.

Все необходимые процессы основаны на данных, получаемых по DUAL CAN между модулями (рис. 3). Параметры обрабатываются и передаются на внешний интерфейс поста по коммуникационной шине в виде показаний и графиков. Когда дизель запущен и напряжение генератора установлено, генератор может быть соединен с коммутатором. По команде CONNECT от поста будет выполнено активирование синхронизации блока, расположенного в каждой панели генератора. Блок синхронизации будет выполнять регулировку оборотов двигателя и напряжения / частоту / фазу.

Генератор поддерживает ряд опций распределения нагрузки: симметричная нагрузка, асимметричное распределение нагрузки, постоянная нагрузка, совместная ручная нагрузка, настройка внешней нагрузки. В режиме газового топлива (FG), генераторы, работающие в режиме FG, имеют ограничения на изменения нагрузки. Режим разделения нагрузки может быть выбран индивидуально для каждого генератора. Распределение нагрузки основано на активной мощности (кВт). Для распределения нагрузки и контроля частоты скорость увеличивается / уменьшается, сигналы (импульсы) передаются регулятором скорости. Понижение скорости всегда применяется равным около 4 %. В режиме, симметричном распределению, нагрузки работающих параллельно генераторов будут равны. При асимметричном распределении нагрузки один генератор будет загружен на 80 % (Master), а остальные генераторы (Slaves) поделят оставшуюся нагрузку. Генератор будет выбран в качестве основного в течение четырех часов, прежде чем он автоматически перейдет к следующему генератору. Если оставшаяся нагрузка на ведомый генератор падает ниже 30 %, то нагрузка на задающем генераторе будет снижаться. Если нагрузка на ведомых генераторах превышает 80 %, то она распределится симметрично между всеми генераторами [8]–[10].

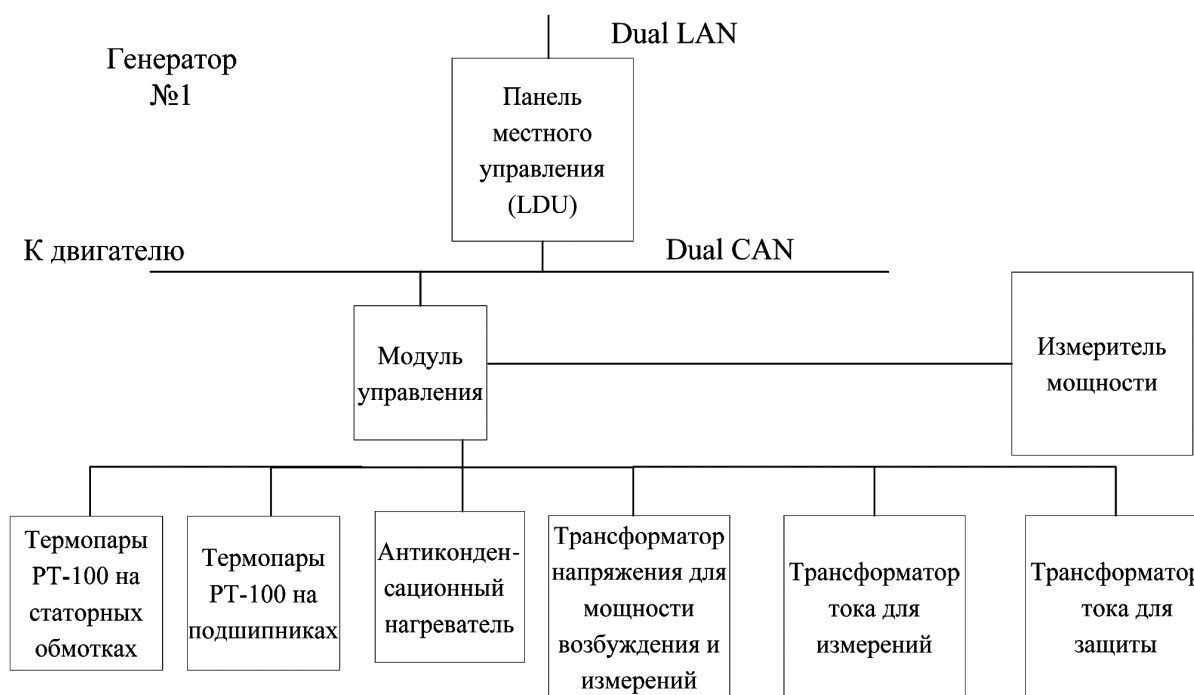


Рис. 3. Элементы для «визуализации» процессов в генераторе

Главная судовая энергетическая установка включает два кормовых подруливающих устройства. Винты подруливающих устройств приводятся в движение электродвигателями переменного тока (АС), которые питаются от преобразователей частоты. Подруливающие устройства имеют четырехлопастные воздушные винты фиксированного шага с воздуховодом. Направленная тяга достигается поворотом подруливающих устройств. Двигатели установлены вертикально внутри корпуса в отсеках силового привода левого и правого борта. Мощность передается от каждого двигателя. Система рулевого управления состоит из подсистемы динамического позиционирования (два

рабочих места в кормовой консоли рубки и переносная панель джойстика DP в рубке); независимой подсистемы джойстиков на консоли FWD Pilothouse; МТС (ручное управление подруливающим устройством) органов управления носовым и кормовым подруливающими устройствами на передней и кормовой консолях рулевой рубки; автопилота, расположенного на консоли FWD Pilothouse; управления кормовым подруливающим устройством МТС в обоих помещениях распределительного щита; регуляторов уровня тяги на панелях преобразователя кормового подруливающего устройства; управления кормовым приводом на местных пультах в отсеках маршевого привода; органов управления на панелях преобразователя носового подруливающего устройства скоростью и направлением носового подруливающего устройства, доступного с ЦПМ DP, Pilothouse на передних, кормовых и мостовых станциях крыла. Управление передается из одного места в другое с помощью логики «предложение и принятие». Оператор инициирует предложение от контролируемой станции, а другая станция может затем нажать кнопку, чтобы принять управление. Органы управления кормовыми и носовыми подруливающими устройствами могут быть сгруппированы или разгруппированы на панелях управления МТС, показанных на местном рулевом управлении кормовыми подруливающими устройствами, которое может осуществляться в каждом отсеке силового привода. Местное управление тягой кормовых подруливающих устройств может осуществляться на местном посту. Скорость и направление носовых подруливающих устройств можно регулировать также на местном посту.

Два преобразователя кормовых подруливающих устройств нереверсивны. Реверс тяги достигается поворотом подруливающего устройства на 180°. При запуске оператором подруливающего устройства в положении, противоположном движению судна, возможно, винт будет вращаться в направлении ветра, противоположном направлению движения. Если это произойдет, то на панели аварийной сигнализации привода и в системе автоматизации появится сигнал об обратном вращении, чтобы предупредить оператора о необходимости повернуть подруливающее устройство для достижения нулевого или прямого вращения перед подачей питания.

Кормовые подруливающие устройства оснащены механизмом блокировки вала для технического обслуживания. Преобразователи мощности кормового подруливающего устройства способны ограничивать крутящий момент гребного двигателя, когда подруливающие устройства работают на высоких скоростях и при экстремальных углах поворота (более 35° по левому или по правому борту). Это ограничение используется в качестве меры предосторожности для предотвращения перегрузки двигателя. Крутящий момент двигателя может быть ограничен до 50 % максимального крутящего момента на высоких скоростях и углах поворота более 40° от средней линии. Если двигательная установка постоянно находится в переднем или заднем положении, крутящий момент гребного двигателя может быть увеличен до 100 %.

Преобразователи носового подруливающего устройства являются реверсивными для обеспечения тяги в любом направлении. Носовые подруливающие устройства установлены внутри туннелей, идущих от левого к правому борту в носовой части корабля. Все рулевое управление сосредоточено в каждой полевой станции VCS подруливающего устройства. Полевые станции подруливающих устройств передают сигналы управления системой к подруливающим устройствам посредством DUAL CAN полевой станции. Для того, чтобы управлять подруливающими устройствами дистанционно, шкафы местного управления в отсеках силового привода и в помещении носового подруливающего устройства должны быть установлены на дистанционное управление. Контроллер полевой станции подруливающего устройства считывает логику. Этот ввод дает возможность удаленным станциям взять на себя управление [11], [12].

Каждый контроллер отвечает за выбор устройства рулевого управления, контролирующего работу двигателей. Когда устройство управления запрашивает управление, микроконтроллер будет ждать пока текущая управляющая станция не откажется от управления. Обычно управление передается на текущей контролируемой станции и принимается на следующей станции. Контроллер переключит опорные команды двигателя на новую станцию. Оператор должен установить приближающуюся станцию управления подруливающим устройством (направление и скорость) в теку-

щее требуемое положение, прежде чем принимать управление, предотвращающее несоответствие управления. После того как станция приняла управление, все двигатели будут следовать командам до текущего заданного положения управляющих головок (скорость и направление) в управлении. Если контролируемая станция потеряна, контроллер позволит другой станции взять на себя управление с помощью логики принятия. Все органы управления имеют одинаковую иерархию, за исключением локальных панелей управления отсеков силовых установок левого и правого борта и автопилота передней консоли рулевой рубки.

Винторулевая колонка может поворачиваться на 360° с полным контролем (система рулевого управления или автопилот) или без контроля (местный шкаф) с помощью трех электрических двигателей рулевого управления и двух преобразователей частоты. Электронный блок управления обрабатывает сигналы, поступающие либо от системы рулевого управления, либо от местных систем, не отслеживающих кнопок, а также индикацию направления тяги, журнал доплеровской скорости и индикацию уровня тяги и передает отфильтрованные сигналы на три двигателя рулевого управления. Электродвигатели рулевого управления будут приводиться в действие электронным блоком управления через один из двух частотно-регулируемых приводов до тех пор, пока не будет достигнуто выбранное направление тяги. Кнопки сброса преобразователя частоты расположены на главном шкафу. Для изменения направления тяги на 180° требуется примерно 14 с в зависимости от скорости корпуса. Крутящий момент гребного двигателя снижается на высоких скоростях (более 8 уз) и при экстремальных углах поворота ($> 35^\circ$), чтобы предотвратить перегрузку гребного двигателя. Ограничение крутящего момента гребного двигателя не сигнализируется судовой системой мониторинга аварийной сигнализации или пультом управления. Если двигательная установка постоянно находится в положении «Вперед» или «Назад», крутящий момент гребного двигателя может быть увеличен до максимального значения (100 %).

Электродвигатель винторулевой колонки защищен от тепловой перегрузки датчиками температуры Pt-100, устанавливаемыми на каждую фазу статора, причем их температура должна контролироваться. Статор пропульсивного двигателя винторулевой колонки оборудован двумя датчиками воздушного зазора для контроля воздушного зазора. Датчики воздушного зазора наклеиваются на поверхность сердечника статора. Детектор воздушного зазора предназначен для подачи сигнала тревоги оператору при наличии в воздушном зазоре посторонних предметов. Потеря одного извещателя вызывает тревогу, потеря двух — отключение. Выпрямительные диоды защищены от перенапряжений RC-блоком. Общая структура контроля параметров в винторулевой колонке показана на рис. 4. В случае полного отказа сети с двойным резервированием VCS, VCS и управление DP будут потеряны. В этой ситуации вспомогательное оборудование можно запускать и останавливать с помощью местного управления. При этом управление движителем и подруливающим устройством от MTC и IJS все еще возможно.

Полевые станции подруливающих устройств передают сигналы управления системой к подруливающим устройствам посредством локальных шин ввода / вывода (I / O) внутри полевой станции. Чтобы управлять подруливающими устройствами дистанционно, шкафы местного управления в отсеках силового привода и в помещении носового подруливающего устройства должны быть установлены на дистанционное управление. Микроконтроллер полевой станции подруливающего устройства считывает этот ввод и дает возможность удаленным станциям взять на себя управление. Каждый микроконтроллер отвечает за выбор того, какое рулевое устройство управляет подруливающими. Когда устройство запрашивает управление, микроконтроллер будет ждать, пока текущая управляющая станция не откажется от управления. Обычно управление предлагается на текущей контролируемой станции и принимается на следующей станции. Микроконтроллер переключит опорные команды двигателя на новую станцию. Оператор должен установить приближающуюся станцию управления подруливающим устройством (направление и скорость) в текущее требуемое положение, и прежде чем принимать управление, убедиться в том, что нет другой логики, предотвращающей несоответствие управления. После того как станция приняла управление, все

двигатели будут следовать командам до текущего заданного положения управляющих головок (скорость и направление). Если контролируемая станция потеряна, микроконтроллер позволит другой станции взять на себя управление через логику принятия. Все органы управления имеют одинаковую иерархию, за исключением панелей местного управления отсеков силовых установок левого и правого борта и автопилота на передней консоли рулевой рубки [13], [14].

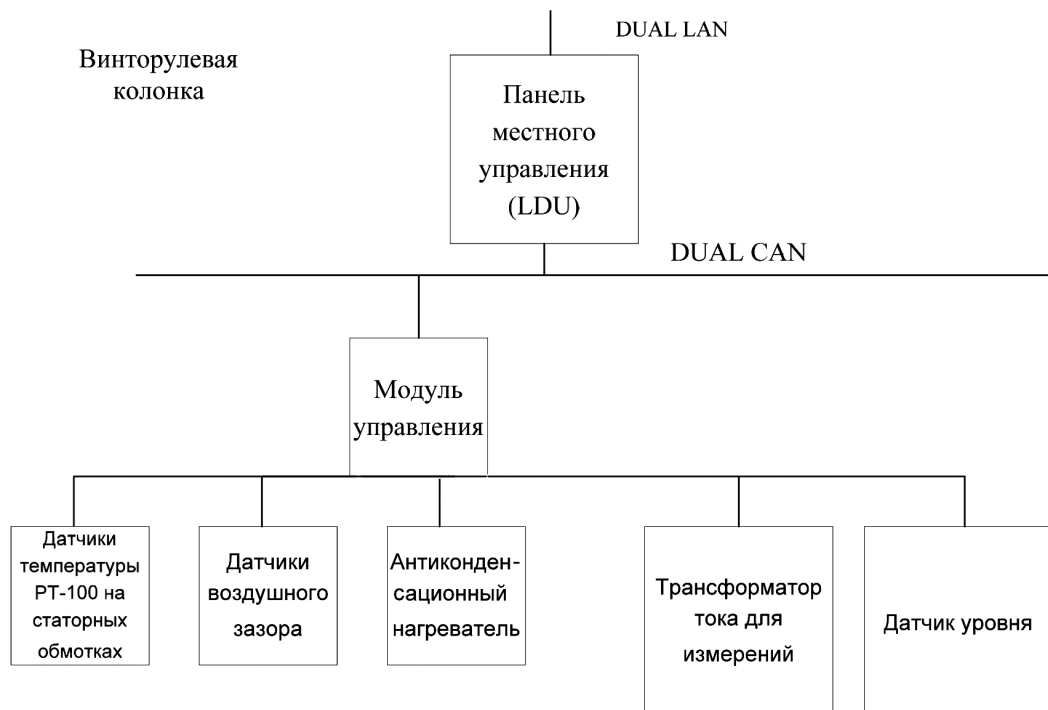


Рис. 4. Общая структура контроля параметров в винторулевой колонке

Шкафы преобразователя носового подруливающего устройства позволяют локально управлять скоростью носового подруливающего устройства, запускать или останавливать преобразователь, а также отображать аварийные сигналы и состояние привода. Каждое из кормовых подруливающих устройств имеет шкаф местного управления кормовым подруливающим устройством на распределительной коробке в соответствующем отсеке силового привода, из которого можно локально управлять рулевым управлением подруливающего устройства. Панель жидкокристаллического дисплея также установлена на шкафу для отображения направления тяги и скорости двигателя. Уровень тяги нельзя контролировать из шкафа местного управления кормовым подруливающим устройством. Регулировка тяги доступна в шкафах преобразователя кормового подруливающего устройства или на более высоком уровне управления. На шкафах преобразователя кормового подруливающего устройства рулевое управление отсутствует. Заметка *Кнопки DRIVE CONTROL* на шкафу местного управления кормовым подруливающим устройством не подключена. Управление локальным приводом из шкафа местного управления кормовым подруливающим устройством невозможно. Все рулевое управление кормовыми подруливающими устройствами централизовано через шкаф местного управления кормовыми подруливающими устройствами. В дистанционном режиме микроконтроллеры системы рулевого управления, расположенные на полевых станциях, полностью контролируют рулевое управление системы. Все шкафы местного управления могут забрать управление с микроконтроллеров, выбрав локальное управление.

Результаты (Results)

На основе результатов проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована необходимость совершенствования систем регулирования мощности, передаваемой на винторулевую колонку.

2. Разработана структура системы контроля и управления параметрами передачи мощности от главных судовых двигателей винторулевой колонке.
3. Обеспечена возможность сохранения работоспособности судна в случае полного отказа сети с двойным резервированием.
4. Раскрыты новые возможности управления дизелем, генератором и винторулевой колонкой через сети.
5. Раскрыта логика перехода управления с одного поста на другой.

Обсуждение (Discussion)

Проведенные исследования предполагается использовать для ступенчатого изменения выдачи мощности на винторулевую колонку. Сетевые возможности раскрывают большие возможности для изменения мощности — сеть содержит иерархию уровней, где каждый последующий уровень передает данные и управление предыдущему (более низкому) уровню до тех пор, пока данные не опустятся на самый нижний уровень. Под нижним уровнем находится физическая обстановка, через которую происходит обмен данными.

Заключение (Conclusion)

В результате данного исследования разработана модель сетевого взаимодействия при ступенчатой выдаче мощности с главной судовой энергетической установки на винторулевую колонку, позволяющей обеспечивать необходимое количество мощности для ее потребления. Разработанная модель имеет сложную структуру, которая включает большое количество измерительных и исполнительных составляющих. При этом следует отметить, что выбор оптимального режима выдачи мощности — непростая задача, требующая исследования. Выдача мощности, позволяет сделать вывод о том, что ее значения также зависят от условий эксплуатации судна и его характеристик. Кроме того, при поломке сетевого управления в части регулирования мощности путем отключения цилиндров может оказаться в нерабочем состоянии половина дизеля. В случае идеального применения модели сетевого взаимодействия для дизелей, состоящих из восьми и более цилиндров, экономия топлива может составить до 30 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Титов И. Л.* Использование эргономических систем в газовых и двухтопливных двигателях для распределения нагрузки / И. Л. Титов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 5 (39). — С. 196–205. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-196-205.
2. *Нырков А. П.* Модели мониторинга и управления процессами стабилизации обменных колебаний мощности в автономных электроэнергетических системах / А. П. Нырков, А. А. Жиленков, С. Г. Черный // Проблемы управления. — 2016. — № 4. — С. 22–28.
3. *Железняк А. А.* Идентификация процесса управления регулятора оборотов генератора двигателя судна / А. А. Железняк, В. А. Доровской, Л. Н. Безменникова // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. — 2015. — № 2 (6). — С. 67–71.
4. *Жиленков А. А.* Уточненная математическая модель газодизеля для исследования многогенераторных систем / А. А. Жиленков [и др.] // Датчики и системы. — 2016. — № 8–9 (206). — С. 33–41.
5. *Железняк А. А.* Совершенствование методов и средств управления судовой электроэнергетической установкой рыбопромыслового судна: моногр. / А. А. Железняк. — Ульяновск: Зебра, 2019. — 126 с.
6. *Железняк А. А.* Мониторинг данных микропроцессорных сетей управления судовыми электроэнергетическими системами / А. А. Железняк, В. А. Доровской // Системы управления и информационные технологии. — 2015. — № 4 (62). — С. 89–94.
7. *Черный С. Г.* Интеллектуальная поддержка принятия решений при оптимальном управлении для судовых электроэнергетических систем / С. Г. Черный, А. А. Жиленков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 3 (25). — С. 68–75.

8. Черный С. Г. Повышение производительности микропроцессорной сети управления на платформе ethernet для системы буровых комплексов / С. Г. Черный // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2016. — № 1. — С. 2–10.

9. Жиленков А. А. Исследование автоколебательных процессов в комбинированных автономных электроэнергетических системах / А. А. Жиленков, С. Г. Черный // Контроль. Диагностика. — 2016. — № 5. — С. 61–67. DOI: 10.14489/td.2016.05.pp.061–067.

10. Ныркoв А. П. Программно-аппаратная реализация системы предупреждения аварийной ситуации для объектов морского транспорта / А. П. Ныркoв [и др.] // Автоматизация в промышленности. — 2016. — № 2. — С. 56–60.

11. Nyrkov A. P. Hard- and software implementation of emergency prevention system for maritime transport / A. P. Nyrkov, A. A. Zhilenkov, S. S. Sokolov, S. G. Chernyi // Automation and Remote Control. — 2018. — Vol. 79. — Is. 1. — Pp. 195–202. DOI: 10.1134/S0005117918010174.

12. Zhilenkov A. A. Analytical methods of destabilizing factors of improving the technical systems efficiency / A. A. Zhilenkov [et al.] // International Journal of Energy. — 2017. — Vol. 11. — Pp. 46–49.

13. Nyrkov A. P. Development of underwater robotics / A. P. Nyrkov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2017. — Vol. 803. — Is. 1. — Pp. 012108. DOI: 10.1088/1742–6596/803/1/012108.

14. Nyrkov A. Mathematical models for solving problems of reliability maritime system / A. Nyrkov, [et al.] // Lecture Notes in Electrical Engineering. — Springer, Singapore, 2018. — Pp. 387–394.

REFERENCES

1. Titov, Ivan Leonidovich. “Ergonomic use systems in gas and dual fuel engines for load balancing.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(39) (2016): 196–205. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-196-205

2. Nyrkov, A. P., A. A. Zhilenkov, and S. G. Chernyi. “Modeli monitoringa i upravleniya protsessami stabilizatsii obmennyykh kolebaniy moshchnosti v avtonomnykh elektroenergeticheskikh sistemakh.” *Problemy upravleniya* 4 (2016): 22–28.

3. Zheleznyak, A. A., V. A. Dorovskoy, and L. N. Bezmennikova. “Identification of the process control for speed control of engine generator vessel.” *Nauchnyi vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii v stroitel'nykh, sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh* 2(6) (2015): 67–71.

4. Zhilenkov, Anton A., Sergei G. Chernyi, Ivan L. Titov, and Aleksandr S. Bordug. “Developing the specified mathematical model of combined engine for the study of process.” *Sensors & Systems* 8–9 (206) (2016): 33–41.

5. Zheleznyak, A. A. *Sovershenstvovanie metodov i sredstv upravleniya sudovoi elektroenergeticheskoi ustanovkoi rybopromyslovogo sudna: monografiya*. Ul'yanovsk: Zebra, 2019.

6. Zheleznyak, A. A., and V. A. Dorovskoi. “Monitoring dannykh mikroprotsessornykh setei upravleniya sudovymi elektroenergeticheskimi sistemami.” *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* 4(62) (2015): 89–94.

7. Chernyi, S. G., and A. A. Zhilenkov. “Intellectual decision support at the optimum system for ships electrical power systems.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 3(25) (2014): 68–75.

8. Chernyi, S. G. “Improving performance of microprocessor network management platform for ethernet systems drilling rigs.” *Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics* 1 (2016): 2–10.

9. Zhilenkov, A. A., and S. G. Chernyi. “The investigation of the self-sustained oscillations in a combined autonomous electric energy systems.” *Testing. Diagnostics* 5 (2016): 61–67. DOI: 10.14489/td.2016.05.pp.061–067

10. Nyrkov, A. P., S. S. Sokolov, A. A. Zhilenkov, and S. G. Chernyi. “Programmno-apparatnaya realizatsiya sistemy preduprezhdeniya avariinoy situatsii dlya ob'ektov morskogo transporta.” *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* 2 (2016): 56–60.

11. Nyrkov, A. P., A. A. Zhilenkov, S. S. Sokolov, and S. G. Chernyi. “Hard- and software implementation of emergency prevention system for maritime transport.” *Automation and Remote Control* 79.1 (2018): 195–202. DOI: 10.1134/S0005117918010174.

12. Zhilenkov, A. A., S. S. Sokolov, A. P. Nyrkov, and S. G. Chernyi. “Analytical methods of destabilizing factors of improving the technical systems efficiency.” *International Journal of Energy* 11 (2017): 46–49.

13. Nyrkov, A. P., A. A. Zhilenkov, V. V. Korotkov, S. S. Sokolov, and S. G. Chernyi. "Development of underwater robotics." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 803. No. 1. IOP Publishing, 2017. 012108. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012108.

14. Nyrkov, A., K. Goloskokov, E. Koroleva, S. Sokolov, A. Zhilenkov, and S. Chernyi. "Mathematical models for solving problems of reliability maritime system." *Advances in Systems, Control and Automation*. Springer, Singapore, 2018. 387-394.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Брежнев Владислав Игоревич —
инженер-электроник
ЛРНУ ООО «Транснефть-Балтика»
195009, Российская Федерация,
Санкт-Петербург,
Арсенальная набережная, 11, литер А
e-mail: vladislav_br@list.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Brezhnev, Vladislav I. —
Electronic engineer
Leningrad District Oil Pipeline Administration —
The Branch of Transneft Baltic, LLC
11/A Arsenalnaya embankment, St. Petersburg, 195009,
Russian Federation
e-mail: vladislav_br@list.ru

*Статья поступила в редакцию 12 мая 2021 г.
Received: May 12, 2021.*