

На правах рукописи

Нгуен Ван Чьен

**ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГРЕБНОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Специальность: 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2011

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), на кафедре систем автоматического управления

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Калявин Владимир Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, Самосейко Вениамин Францевич, Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций, профессор кафедры электропривода и электрооборудования береговых установок

кандидат технических наук, доцент, Шеховцов Олег Иванович, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет.

Защита состоится «21» декабря 2011 г. в 14:00 часов на заседании Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д.212.238.05 при Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «18» ноября 2011 г.

Ученый секретарь

совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций Д.212.238.05
кандидат технических наук

М.П. Белов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Возрастающие требования безопасности, безотказности и долговечности делают весьма важной оценку технического состояния различных устройств судового оборудования, и в частности гребной электрической установки (ГЭУ). Целью технической диагностики является поддержание безотказности и повышение ресурса судового оборудования. Наиболее важным показателем надежности ГЭУ является отсутствие отказов во время его функционирования, так как отказ ГЭУ может привести к тяжелым последствиям. Техническая диагностика, благодаря раннему обнаружению дефектов, позволяет устранить подобные отказы путем технического обслуживания и ремонта, что повышает эффективность эксплуатации ГЭУ. Обеспечить требуемый уровень контролепригодности ГЭУ можно только на этапе проектирования. Это становится возможным, если в процессе проектирования объекта будет разработано диагностическое обеспечение. Разработка диагностического обеспечения обычно начинается на втором этапе проектирования системы диагностирования оборудования. Таким образом, задачи, связанные с повышением контролепригодности, являются актуальными и решаются в данной работе в рамках электроприводов, гребных электрических установок и технической диагностики, получивших в последнее время значительное теоретическое и прикладное развитие в отечественной и зарубежной научно-технической литературе усилиями российских и зарубежных ученых, в числе которых в библиографии к диссертации названы по электроприводу Самосейко В.Ф., Соколовский Г.Г., по гребным электрическим установкам Воскобович В.Ю., Полонский В.И., Рукавишников С.Б., Ясаков Г.С. и по технической диагностике Калявин В.П., Мозгалевский А.В., Е. Моек и Х. Штриккет.

Цель диссертационной работы – Повышение контролепригодности гребной электрической установки при использовании судна по назначению за счет обоснования совокупности диагностических параметров и построения алгоритма поиска дефектов при снижении ее степени работоспособности.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие основные задачи:

- Анализ и обоснование актуальности диагностирования ГЭУ переменного тока;
- Обоснование классов степени работоспособности ГЭУ;
- Разработка и анализ диагностической модели (ДМ) ГЭУ с целью обоснования контрольных точек, наиболее чувствительных к изменению ее степени работоспособности;
- Построение алгоритма поиска причины снижения степени работоспособности ГЭУ;
- Апробация методов путем разработки диагностической модели ГЭУ переменного тока в ORCAD;
- Исследование влияния дефектов компонентов ГЭУ на степень ее работоспособности.

Методы исследования. Основные теоретические и экспериментальные результаты работы получены в рамках применения методов теории графов; теории чувствительности; алгебраических методов теории систем; компьютерных методов исследования на базе стандартных программных продуктов.

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Характеристика ГЭУ переменного тока как объекта диагностирования.
2. Аналитические зависимости и характеристики степени работоспособности ГЭУ.

3. Диагностическая модель ГЭУ переменного тока в виде диаграммы прохождения сигналов и метод ее анализа с использованием теории чувствительности функции передачи.

4. Алгоритм поиска причины снижения степени работоспособности ГЭУ.

5. Диагностические модели дизель-генератора, преобразователя частоты и исполнительного устройства ГЭУ переменного тока в ORCAD.

6. Метод исследования влияния дефектов на работоспособность ГЭУ переменного тока с применением системы ORCAD.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Разработана диагностическая модель ГЭУ переменного тока в виде диаграммы прохождения сигналов (ДПС) на основе ее структурной схемы. Модель позволяет судить о возможности оценки и нахождения причин снижения степени работоспособности ГЭУ.

2. Разработан метод и алгоритм вычисления чувствительности операторов диаграммы прохождения сигналов ГЭУ для определения их степени влияния на работоспособность при наличии возможных дефектов в ГЭУ, позволяющие выбрать контрольные точки для оценивания состояния ГЭУ и составлять алгоритм поиска причины снижения ее степени работоспособности, что является частью при решении задачи разработки диагностического обеспечения.

3. Разработана процедура построения ДМ ГЭУ переменного тока, состоящей из трех основных частей: дизель-генератора; статического преобразователя частоты и исполнительного устройства в системе ORCAD. Диагностическая модель ГЭУ позволяет изменять состояние ее элементов в области работоспособности и также в области неработоспособности путем изменения значений параметров модели ее компонентов.

4. Предложен метод исследования влияния дефектов на работоспособность ГЭУ переменного тока с использованием системы ORCAD, позволяющий исследовать влияние различных дефектов, приводящих к снижению степени работоспособности ГЭУ или ее отказу. При этом глубина поиска дефектов может быть увеличена за счет детализации компонентов модели ГЭУ на этапе проектирования.

5. Разработан и реализован метод имитации дефектов ГЭУ путем моделирования, снятия необходимых характеристик на основе выбранных контрольных точек и их анализа на основе полученных результатов.

Достоверность научных и практических результатов. Достоверность научных положений, результатов и выводов диссертации подтверждается тем, что выдвинутые в работе положения и предложенные метод и модели находятся в ходе современных информационных технологий, многочисленными литературными данными и обуславливается корректным использованием указанных выше методов исследования; применением современных компьютерных средств и программных комплексов.

Практическая ценность состоит в следующем:

- создание полезных в инженерном проектировании алгоритма и программы расчета чувствительности функции передачи (ФП) для анализа объектов, ДМ которых описывается в виде диаграммы прохождения сигналов;

- применение метода имитации и исследования дефектов для ГЭУ компьютерными программами в учебном процессе.

Реализация результатов работы. Теоретические положения, методики расчета и конкретные структуры семейства адаптивных и интеллектуальных систем использованы в:

- рабочем проектировании системы автоматизации электропитания универсального атомного ледокола судов;

- программе вычисления чувствительности функции передачи по критерию частотных характеристик (2011 г.). № гос. регистрации – №2011614870;

- методических указаниях к лабораторным работам по дисциплине “Надежность и техническая диагностика технических систем” с названием “Исследование влияния дефектов на работоспособность ГЭУ”.

Апробация работы. Основные теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на 6 международных и всероссийских научно-технических конференциях: на XXV международной межвузовской школе-семинаре «Методы и средства технической диагностики» (2008 г., г. Йошкар-Ола), XXVI, XXVII международных межвузовских школах-семинарах «Методы и средства диагностики в технике и социуме» (2009, 2011 годы, г. Ивано-Франковск, Украина), VIII всероссийской межвузовской конференции молодых ученых (2011 г., г. Санкт-Петербург), на научно-технических конференциях в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в 2010 и 2011 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, из них – 5 статей (2 статьи включены в перечень изданий, рекомендованных ВАК) и 6 работ в материалах международных и всероссийских научно-технических конференций. Одна статья находится в печати журнала, входящего в перечень, рекомендованный ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы, включающего 80 наименований, и трех приложений. Основная часть работы изложена на 150 страницах машинописного текста. Работа содержит 122 рисунка и 11 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, определена область исследований, сформулированы цель и задачи диссертации, изложены основные результаты, выносимые на защиту, их теоретическая и практическая значимость, отражены сведения о реализации и апробации работы.

В первой главе выполнен анализ гребной электрической установки как объекта диагностирования, осуществлена классификация ГЭУ, на основе которой выбрана ГЭУ переменного тока в качестве объекта исследования. Рассмотрены два основных свойства надежности ГЭУ: безотказность и ремонтпригодность. Проанализированы причины снижения работоспособности ГЭУ и их распределение для ГЭУ. Рассмотрены различные дефекты, приводящие к отказу ГЭУ. Рассмотрены и сформулированы структура и характеристика гребной электрической установки переменного тока, состоящей из основных частей: дизель-генератора, статического преобразователя и исполнительного устройства как объекта диагностирования.

Возможными путями повышения контролепригодности ГЭУ в настоящее время являются:

- разработка новых схем устройств и элементов ГЭУ,
- создание новых конструкций ГЭУ, исходя из особенностей ее эксплуатации и места на судне,
- правильный выбор режима работы элементов ГЭУ,
- автоматизация изготовления элементов массового использования с целью снижения влияния субъективных факторов в производстве,
- разработка диагностического обеспечения ГЭУ.

Установлено, что перспективным направлением для решения общей задачи исследования работоспособности ГЭУ является сочетание метода теоретического анализа диагностической модели ГЭУ с методом экспериментального исследования

диагностических моделей ГЭУ в системе ORCAD. Общее формирование этой задачи может быть представлено в виде схемы, которая приведена на рис.1.



Рис.1. Решение задачи разработки диагностического обеспечения ГЭУ

Во второй главе обоснована степень работоспособности ГЭУ, разработана диагностическая модель ГЭУ в виде диаграммы прохождения сигналов на основе ее структурной и функциональной схем. Осуществлен анализ ДМ методом чувствительности функции передачи, выбраны контрольные точки (диагностические параметры), разработаны алгоритм и программа вычисления чувствительности ФП по частотным характеристикам, с помощью которых построен алгоритм поиска причины снижения степени работоспособности ГЭУ.

Под степенью работоспособности ГЭУ понимается соотношение между значением совокупности диагностических параметров (ДП) ГЭУ и скорости судна, которая получается от его силы отталкивания.

На рис.2.6а, б, приведены характеристика ГЭУ и график формирования классов степени работоспособности ГЭУ. На рис.2.6а, показана зависимость момента сопротивления судна M_c от частоты вращения $n_{ГВ}$ вала гребного винта (ГВ). На рис.2.6б, представлены соответственно номинальные значения скорости судна $v_{н1}$, $v_{н2}$ при $n_{н1}$,

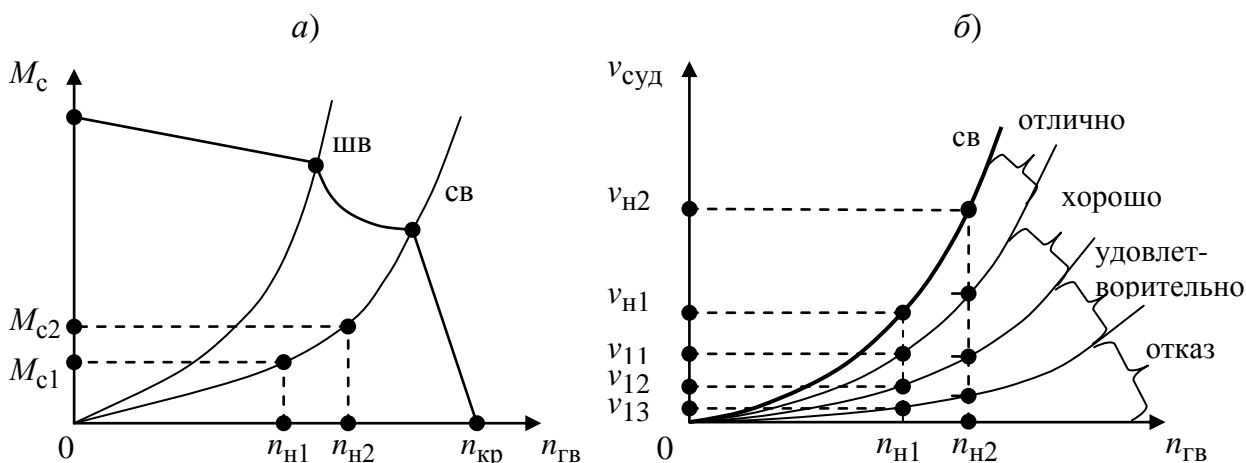


Рис.2. Характеристика ГВ (а) и классы степени работоспособности ГЭУ (б) $n_{н2}$. Если с частотой вращения ГВ $n_{н1}$ скорость судна достигает значений v_{11} , v_{12} , v_{13} , которые меньше $v_{н1}$ и не в допустимых пределах, то можно сказать ГВ не выполняет

свою функцию и система находится в неработоспособном состоянии.

При рассмотрении типов диагностических моделей, которые могут быть использованы для ГЭУ, установлено, что диагностическая модель в виде диаграммы прохождения сигналов по сравнению с другими обладает лучшими достоинствами.

Диаграмма прохождения сигналов представляет собой ориентированный граф – графическое изображение соотношений между несколькими переменными. Для построения диагностической модели ГЭУ в виде ДПС на основе функциональной схемы принято:

- вершины диаграммы соответствуют переменным (параметрам ГЭУ) и обозначаются индексом соответствующего сигнала U_{ij} ;
- ветви имеют операторы (функции передачи), обозначенные соответствующей зависимостью с указанием направления сигнала w_i и a_i .

Диагностическая модель ГЭУ в виде ДПС с учетом изложенного правила выше представлена на рис.3.

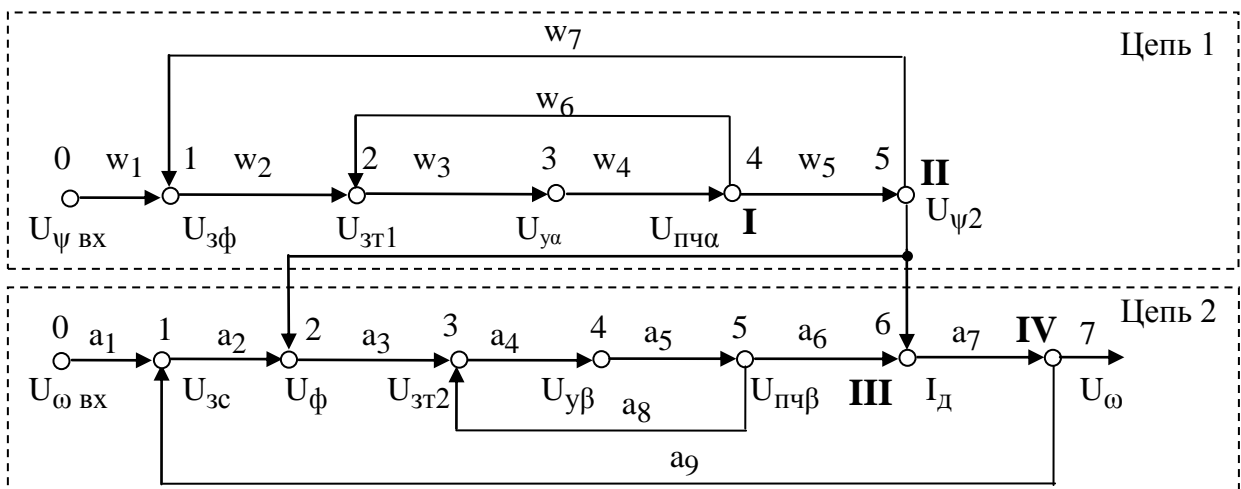


Рис.3. Диагностическая модель ГЭУ в виде ДПС.

Анализ показывает, что операторы в разной степени влияют на работоспособность системы в зависимости от их места расположения в диаграмме. Степень влияния можно оценивать функцией абсолютной и относительной чувствительности передачи ГЭУ к ФП оператора.

Абсолютная чувствительность определяется по формуле:

$$F_{T_{ij}}^{T_{0k}} = \frac{\partial T_{0k}}{\partial T_{ij}} = \frac{\partial}{\partial T_{ij}} \left(P_K \frac{\Delta_k}{\Delta} \right);$$

на практике чаще применяется функции относительной чувствительности:

$$S_{T_{ij}}^{T_{0k}} = \frac{\partial \ln T_{0k}}{\partial \ln T_{ij}} = \frac{\partial T_{0k}}{\partial T_{ij}} \cdot \frac{T_{ij}}{T_{0k}} = \frac{F_{T_{ij}}^{T_{0k}} \cdot T_{ij}}{T_{0k}}.$$

Выбор необходимых контрольных точек осуществляется методом анализа таблиц функции чувствительности вида табл. 1.

Анализ таблицы сводится к сравнению чувствительностей $S_{r_\alpha}^{T_{ij}}$ нахождению функции передачи, которая является наилучшей по правилу: функция передачи T_{oi} важнее T_{ij} , если чувствительность $S_{r_\alpha}^{T_{oi}}$ больше $S_{r_\alpha}^{T_{ij}}$ и так

$$T_{oi} \succ \dots \succ T_{ij} \succ \dots \succ T_{nm}, \text{ если } S_{r_\alpha}^{T_{oi}} > \dots > S_{r_\alpha}^{T_{ij}} > \dots > S_{r_\alpha}^{T_{01}}$$

В результате анализа таблиц чувствительности ФП ГЭУ были выбраны 4 контрольной точки как показано на рис.4(точки обозначены I, II, III, IV).

Таблица 1

Функции передачи	Диагностические параметры				
	r_l	...	r_α	...	r_l
T_{0l}	$S_{r_l}^{T_{0l}}$	...	$S_{r_\alpha}^{T_{0l}}$	...	$S_{r_l}^{T_{0l}}$
...
T_{ij}	$S_{r_l}^{T_{ij}}$	...	$S_{r_\alpha}^{T_{ij}}$	...	$S_{r_l}^{T_{ij}}$
...
T_{nm}	$S_{r_l}^{T_{nm}}$	...	$S_{r_\alpha}^{T_{nm}}$	...	$S_{r_l}^{T_{nm}}$

Контрольные точки определяют порядок проверок соответствуют параметрам: напряжению ПЧ $U_{ПЧ}$, потокосцеплению ψ_2 , току статора ГЭД i_d и частоте вращения ГВ $n_{ГВ}$. При этом совокупность диагностических признаков для ГЭУ выглядит следующим образом:

$$\Xi_{ГЭУ} = (U_{ПЧ}, \psi_2, i_d, n_{ГВ}).$$

Для составления алгоритма поиска причины снижения степени работоспособности ГЭУ применяется метод чувствительности ФП к изменениям отдельных операторов в разных контрольных точках по частотным характеристикам.

Заменяя оператор интеграла p в каждой ФП на $j\omega$, можно определить (на фиксированных частотах) логарифмические чувствительности:

$$\frac{\partial \ln A(\omega)}{\partial \ln A_l(\omega)} = \left| \frac{\partial A(\omega)}{\partial A_l(\omega)} \cdot \frac{A_l(\omega)}{A(\omega)} \right|, \quad \frac{\partial \ln \varphi(\omega)}{\partial \ln \varphi_l(\omega)} = \left| \frac{\partial \varphi(\omega)}{\partial \varphi_l(\omega)} \cdot \frac{\varphi_l(\omega)}{\varphi(\omega)} \right|,$$

где $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$, и $A_l(\omega)$, $\varphi_l(\omega)$ – частотные характеристики соответственно ГЭУ и l -го оператора.

В этом случае применяется критерий:

$$u_l = \left| \frac{\partial A(\omega_l)}{\partial A_l(\omega_l)} \cdot \frac{A_l(\omega_l)}{A(\omega_l)} \right| + \left| \frac{\partial \varphi(\omega_l)}{\partial \varphi_l(\omega_l)} \cdot \frac{\varphi_l(\omega_l)}{\varphi(\omega_l)} \right|, \quad (2)$$

где l – номер оператора, для которого вычисляется u_l .

В зависимости от расположения оператора в диаграмме значение u_l будет определяться различными выражениями.

Алгоритм вычислений чувствительности функции передачи ГЭУ по частотным характеристикам

Алгоритм вычислений u_l приведен на рис.4. По данному алгоритму была создана программа вычисления значения чувствительности по критерию (2) на основе программы языка visual C. По результатам, полученным в расчете, были построены таблицы чувствительности ГЭУ по частотным характеристикам и проведен анализ чувствительности ГЭУ к изменению состояния отдельных операторов.

По критерию (2) последовательности проверки операторов в ГЭУ для различных контрольных точек следующие:

+ для контрольной точки I: w_3, w_4, w_1, w_2 .

+ для контрольной точки II: $w_3, w_4, w_6, w_1, w_2, w_5, w_7$.

+ для контрольной точки III: $a_4, w_3, a_5, w_4, w_6, w_1, a_1, a_2, w_2, w_5, a_3, a_6, w_7, a_8$.

+ для контрольной точки IV: $a_4, w_3, a_5, w_4, w_6, w_1, a_1, a_7, a_2, w_2, w_5, a_3, a_6, w_7, a_9,$

a_8 .

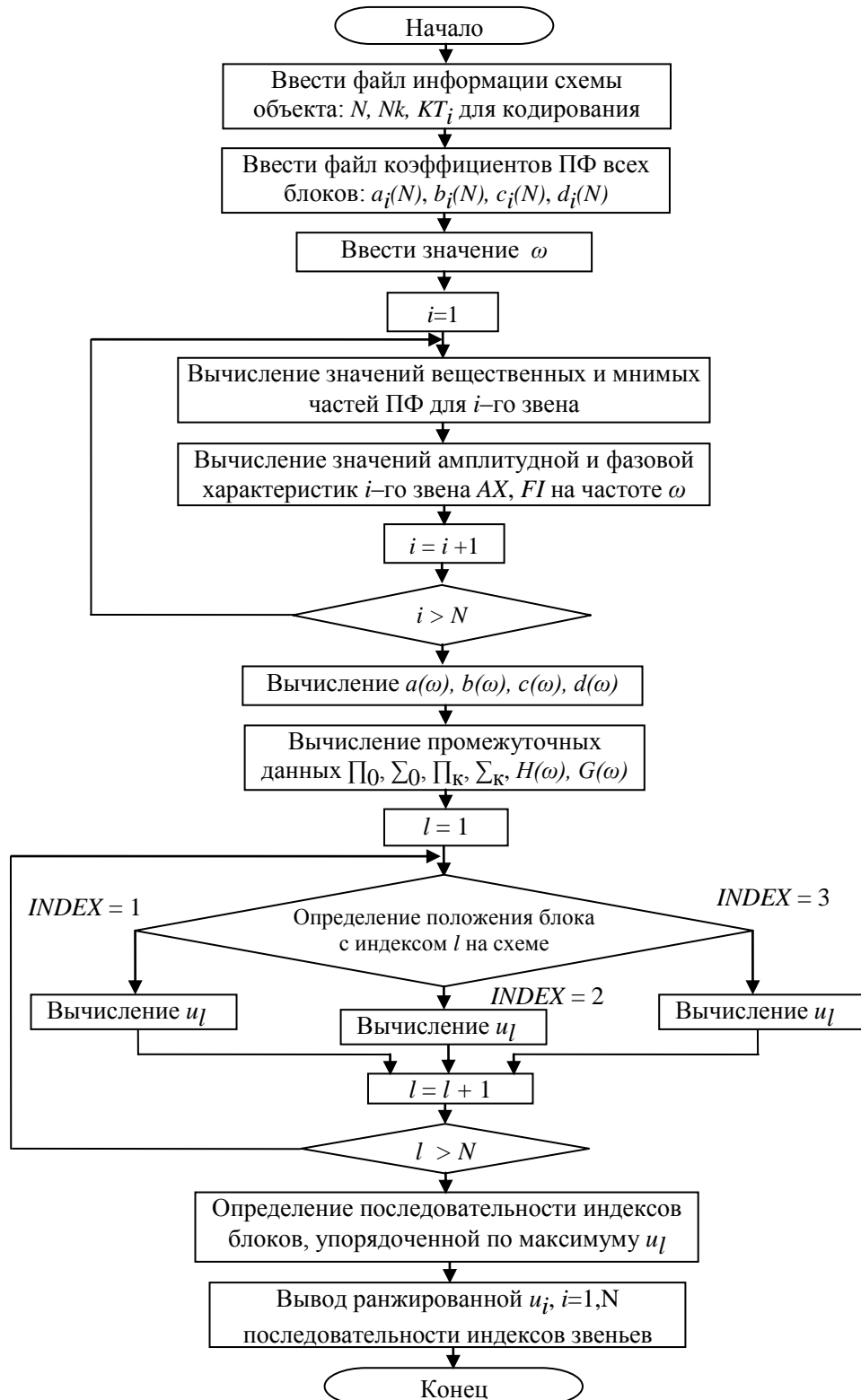


Рис.4. Алгоритм вычисления u_l для нахождения причины снижения степени работоспособности ГЭУ.

При этом видно, что операторы в разной степени влияют на работу системы в зависимости от их места расположения в диаграмме и от места контрольных точек, в котором выполняется контроль работоспособности. Результат показал, что блоки, входящие в прямой путь в большей степени влияют, чем операторы обратной связи. Поэтому для системы данного типа при контроле работоспособности сначала выполняется проверка операторов в прямом пути, потом в обратной связи.

В результате можно сформировать алгоритм поиска причины снижения степени работоспособности ГЭУ (в зависимости от контрольной точки). Для этой системы

проверка выполняется по правилу от конца к началу (для операторов последовательного соединения). Алгоритм приведен на рис.5.

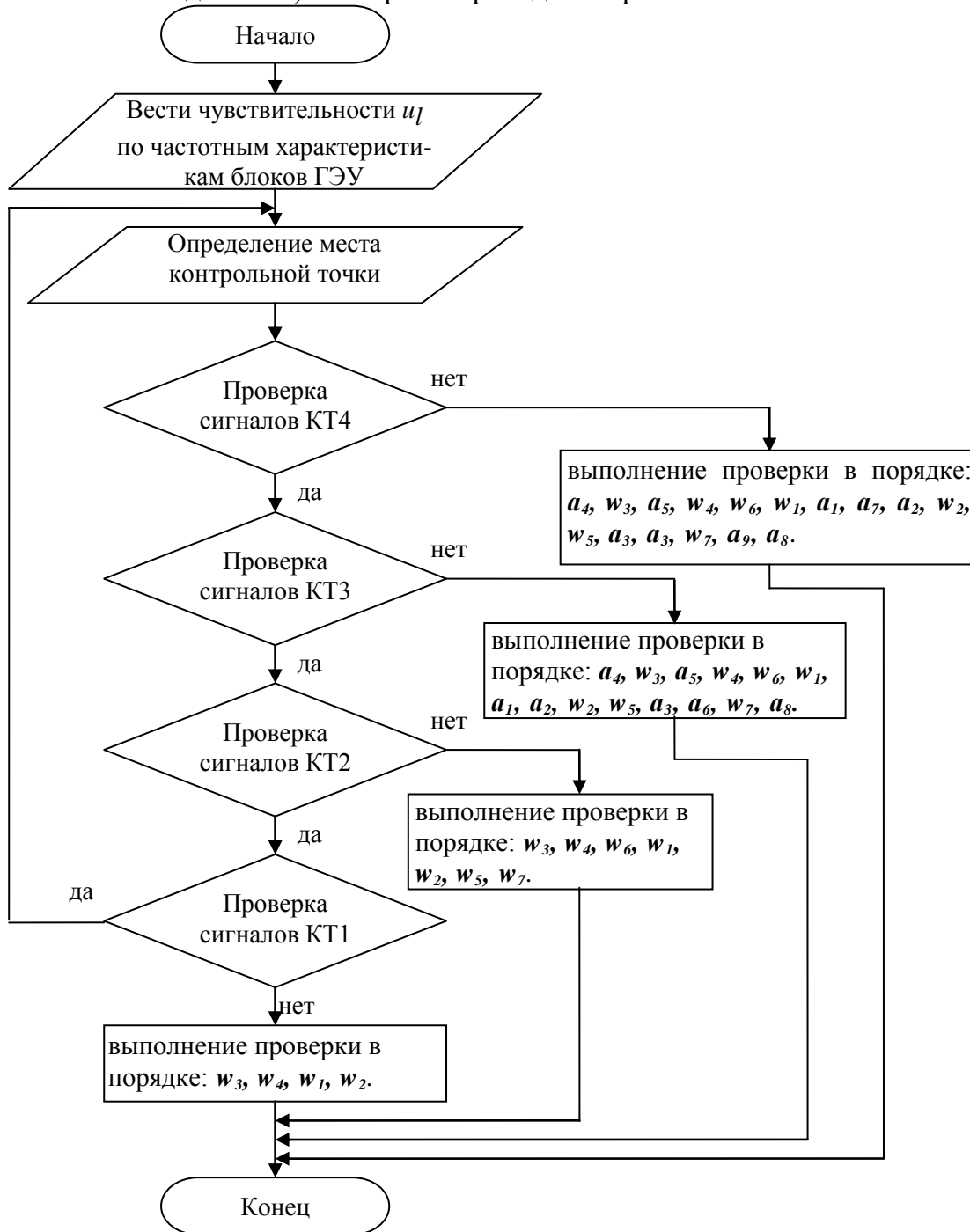


Рис.5. Алгоритм поиска причины снижения степени работоспособности ГЭУ

В соответствии с предлагаемым алгоритмом и с учетом результата при анализе чувствительностей ФП ГЭУ, можно установить порядок проверки операторов ГЭУ.

В третьей главе излагается метод построения ДМ ГЭУ переменного тока и осуществлено ее моделирование на ЭВМ с использованием системы ORCAD.

Процесс построения и моделирования ДМ ГЭУ согласно предлагаемому методу разделяется на несколько этапов. На первом этапе схема ГЭУ переменного тока разбивается на компоненты. На втором этапе разрабатываются диагностические модели (иерархические символы) этих компонентов на основе либо математических моделей, либо принципиальных схем. На конечном этапе, на базе разработанных диагностических иерархических символов компонентов осуществляется моделирование ГЭУ.

ГЭУ переменного тока (рис.6) включает три основные части: дизель-генератор, преобразователь частоты, исполнительное устройство.

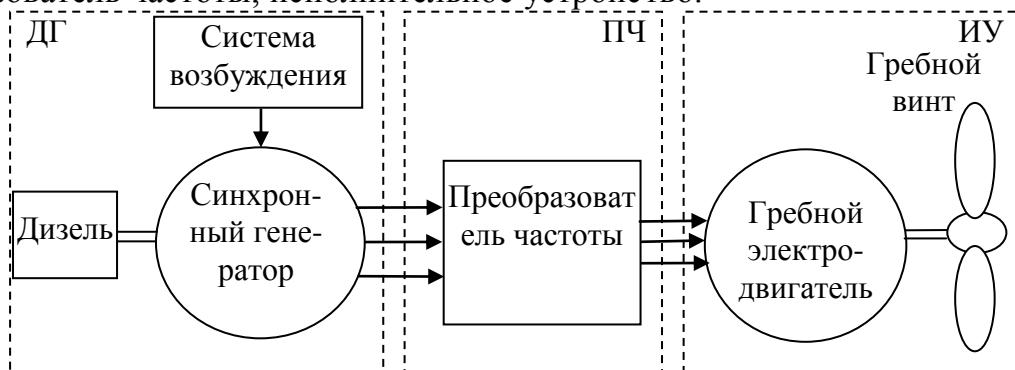


Рис.6. Структурная схема ГЭУ переменного тока

В соответствии со схемой, приведенной на рис.7, ГЭУ может быть разбита на следующие компоненты: дизель, синхронный генератор в фазных координатах и система возбуждения для СГ, а ПЧ состоит из трехфазного неуправляемого выпрямителя, фильтра постоянного тока и автономного инвертора напряжения. В ИУ присутствуют гребной асинхронный электродвигатель (ГЭД) и гребной винт.

Диагностическая модель дизеля. При построении ДМ рассмотрим дизель как объект, частота вращения для которого может находиться в допустимых пределах, т.е. при изменении количества топлива в насосе дизеля частота вращения на валу не превышает 3% от номинального значения $\omega_d = 314$ рад/с.

Уравнение дизеля имеет следующий вид:

$$\omega(p) = \frac{\omega_p}{Tp + 1},$$

где ω – частота вращения вала дизеля; ω_p – регулируемая частота вращения дизеля; T – постоянная времени дизеля; p – оператор интегрирования.

Принципиальную схему дизеля можно представить в виде, представленном на рис.7, а его модель показана на рис.8.

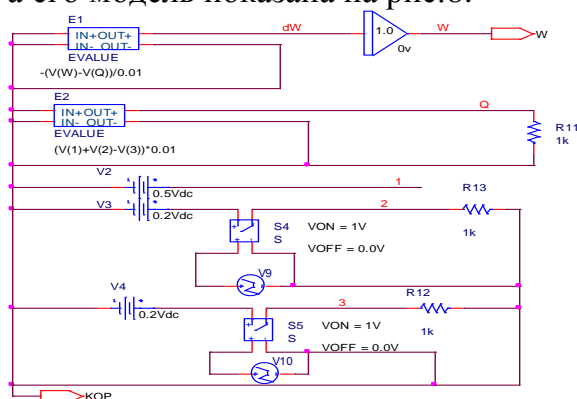


Рис.7. Схема исследования дизеля

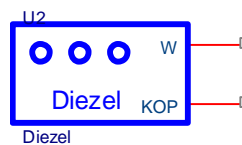


Рис.8. Диагностическая модель дизеля

Диагностическая модель синхронного генератора. Схема замещения синхронного генератора, реализуемая в фазных координатах, приведена на рис.9, а его ДМ приведена на рис.10.

На зависимых источниках управляемых напряжений E1, E2 и E3, решаются алгебраические уравнения относительно напряжений на выходе U_a, U_b, U_c .

На рис.10 введены обозначения: U_f - вход, на который подается напряжение возбуждения СГ от автоматического регулятора напряжения; W - вход, на который подается частота вращения дизеля; 21a, 22с, 23b - напряжения, трехфазное переменное

напряжение СГ соответственно; КОР - нейтральное соединение.

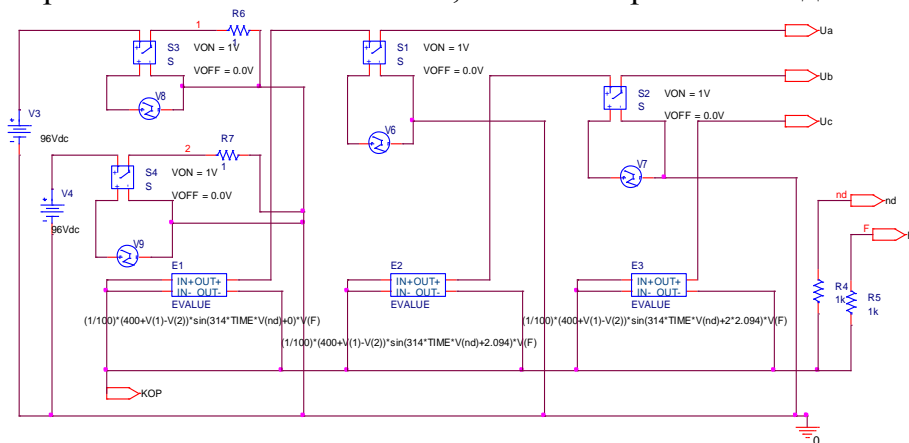


Рис.9. Схема СГ в фазных координатах

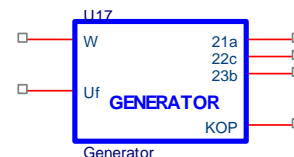


Рис.10. Диагностическая модель СГ

Диагностическая модель системы возбуждения СГ. При построении ДМ системы возбуждения СГ принято допущение о том, напряжении может изменяться в пределах [720;880] В. Номинальное напряжение возбуждения при номинальной мощности СГ составляет $U_f=800V$.

Уравнение для системы возбуждения СГ:

$$U_f(p) = \frac{U_p}{Tp + 1},$$

где $U_f(p)$ – напряжение обмотки возбуждения СГ; U_p – регулируемое напряжение обмотки возбуждения; T – постоянная времени возбуждения СГ.

Диагностическая модель системы возбуждения СГ представлена на рис.11.

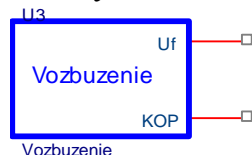


Рис.11. Диагностическая модель системы возбуждения СГ

Диагностическая модель преобразователя частоты. Принципиальная схема ПЧ со звеном постоянного тока представлена на рис.12, схема включает в себя неуправляемый выпрямитель (НУВ), фильтр (Ф) и автономный инвертор напряжения (АИН) с системой управления инвертора (СУИ).

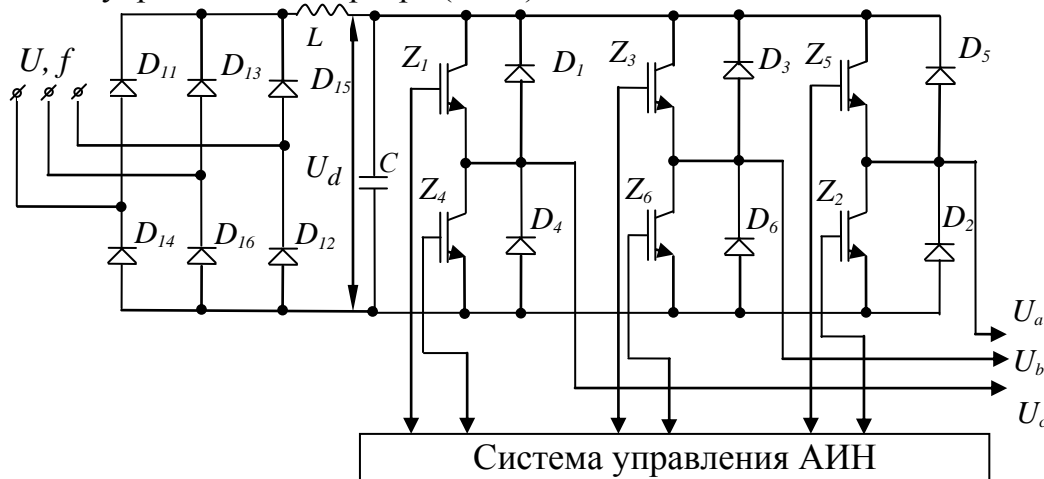


Рис.12. Принципиальная схема ПЧ со звеном постоянного тока

После разработки ДМ НУВ и АИН можно построить схему ПЧ, которая представлена на рис.13, а его диагностическая модель показана на рис.14.

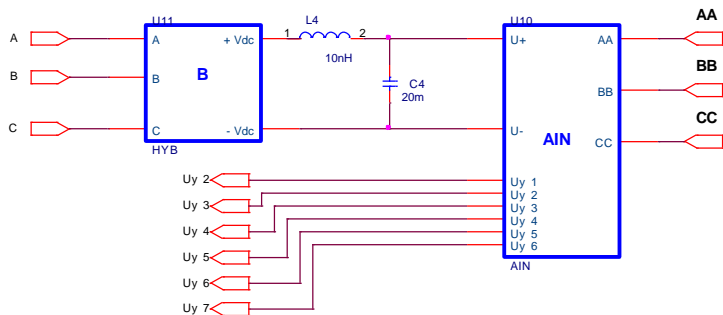


Рис.13. Схема исследования ПЧ

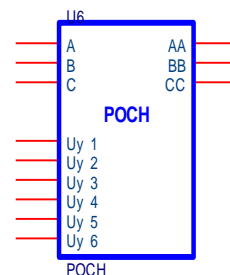


Рис.14. Диагностическая модель ПЧ

На рис.14 введены обозначения: РОСН – название ПЧ; В – ДМ неуправляемого выпрямителя, АИН – ДМ автономного инвертора напряжения, А, В, С – трехфазные напряжения СГ; $U_{y1}, U_{y2}, \dots, U_{y6}$ – управляющие сигналы транзисторов АИН; АА, ВВ, СС – трехфазное напряжение с регулируемой частотой $f_{\text{ВЫХ}}$, подаваемое на ГЭД.

Диагностическая модель гребного асинхронного двигателя. В связи с высоким уровнем высших гармоник в выходном напряжении трехфазного автономного инвертора, питающего ГЭД, а также с необходимостью исследования его дефектов (фазное короткое замыкание, обрыв фазы), его математическую модель необходимо записывать в фазных координатах.

В работе была построена полная структурная схема ГЭД в фазных координатах, а его ДМ представлена на рис.15.

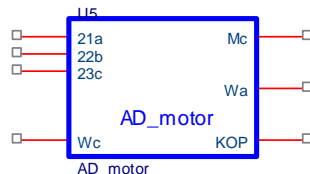


Рис.15. Диагностическая модель ГЭД в иерархической форме

На рис.23 введены обозначения: 21a, 22b, 23c – трехфазное переменное напряжение ГЭД; KOP – нейтральное соединение; M_c – момент сопротивления; W_c – частота напряжения питания ГЭД; W_a – частота вращения вала ГЭД;

Диагностическая модель гребного винта. Для удобства набора модели в ORCAD уравнение моментов гребного винта представлены в виде

$$M_c = M_{cH} + 1,7 \cdot w_a^2.$$

Схема решения этих уравнений приведена на рис.16, а его ДМ представлена на рис.17

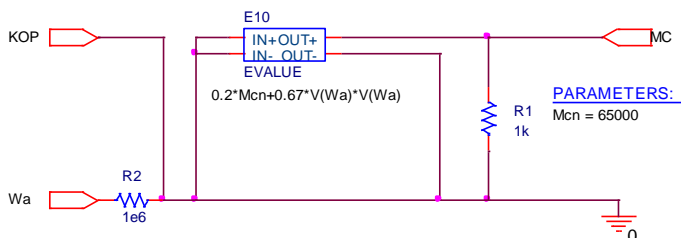


Рис.16. Схема построения ДМ гребного винта

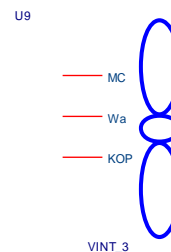


Рис.17. – Диагностическая модель гребного винта

На рис.17 введены обозначения: M_c – момент сопротивления; W_a – частота вращения ГВ; KOP – нейтральное соединение.

Диагностическая модель ГЭУ на основе ORCAD

После разработки всех компонентов ГЭУ можно построить полную схему, которая приведена на рис. 18.

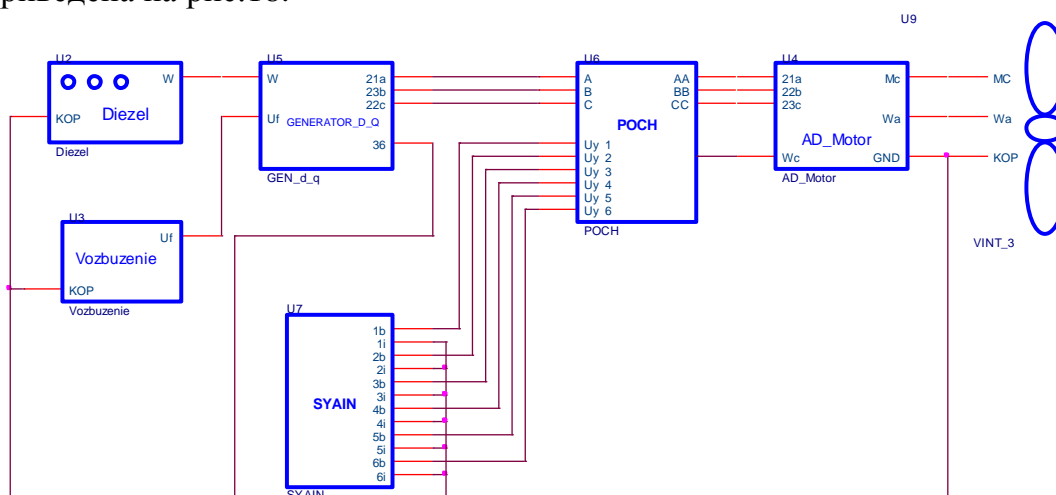


Рис.18. Диагностическая модель ГЭУ переменного тока.

На рис.18, SYAIN – система управления АИН, в работе считается, что она находится в работоспособном состоянии.

В третьей главе построена ДМ ГЭУ переменного тока (рис.18), которая реализует структурную схему ГЭУ (рис.6). Такая ДМ отличается от других моделей и дает возможность имитировать различные виды дефектов, приводящих к отказу ГЭУ, например уменьшение или увеличение напряжения возбуждения СГ, КЗ или обрыв фазы СГ, КЗ или обрыв одного диода ПЧ в одном или в разных каналах, обрыв или КЗ фазы ГЭД и т. п.

В четвертой главе предложен метод исследования работоспособности ГЭУ переменного тока с использованием системы ORCAD, позволяющий имитировать дефекты ГЭУ при снижении ее степени работоспособности путем снятия и анализа необходимых характеристик. Рассмотрено влияние на работоспособность ГЭУ изменения напряжения дизель-генератора, напряжения преобразователя частоты, токов и электромагнитного момента ГЭД, момента сопротивления и частоты вращения ГВ.

1. Формирование характеристик ГЭУ в предельном состоянии

Характер и диапазон возможного изменения частоты вращения гребного вала зависят от режима работы судна. Здесь можно выделить два режима:

+ относительно медленное её изменение при движении судна в свободной воде вследствие перехода от одной скорости движения к другой, например, при переходе от режима экономического хода к полному;

+ резкое и внезапное изменение частоты вращения гребного вала в результате изменений внешних условий (оголение лопастей гребного винта в штормовых условиях, заклинивание гребного винта в ледовых условиях и др.).

В работе рассматривается первый режим работы ГЭУ.

Система возбуждения СГ обеспечивает напряжение возбуждения в диапазоне $\pm 10\%$ от номинального значения 800В и область изменения напряжения возбуждения составляет 800 ± 80 В. Область работоспособности СГ составляет около 10% от номинального напряжения $U_{cr} = 400$ В, т.е. область работоспособности СГ составляет [360;440]В. Параметры преобразователя частоты составляют: напряжение 380 - 500В; выходная частота 0,5 - 200Гц; мощность до 500 кВт. Для ГЭД приняты следующие номинальные значения параметров: ток ГЭД $I_d = 400$ А; частота вращения ГВ $n_{ГВ} = 290$ об./мин.

Изменение напряжения возбуждения до границы области работоспособности [720;880]В (соответственно в 10% от номинального значения $U_f = 800\text{В}$) представлено на рис.19 и 20.

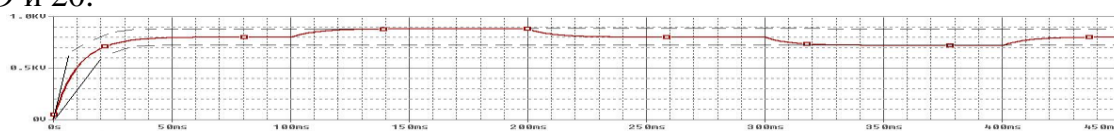


Рис.19. Напряжение возбуждения увеличивается (10% от номинального) с 0.1с – 0.2с и уменьшается (10% от номинального) с 0.3 – 0.4с

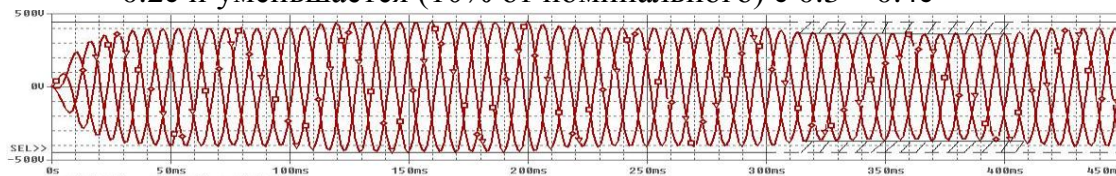


Рис.20. Изменение напряжения СГ в предельном состоянии
При этом параметры, характеризующие ГЭУ, представлены на рис.21.

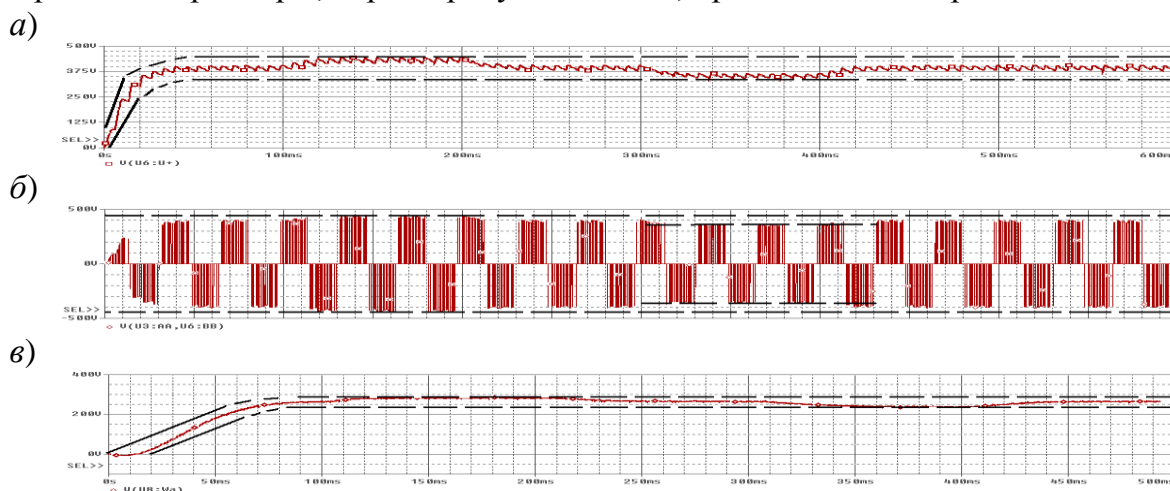


Рис.21. Характеристики ГЭУ в предельном состоянии, *а* - напряжение НУВ, *б* - напряжение ПЧ, *в* - частота вращения ГВ

На рис.21 показано изменение параметров ГЭУ во время уменьшения (0.1с – 0.2с) и увеличения (0.3с – 0.4с) напряжения СГ на 10% от номинального значения.

2. Исследование изменения состояния ГЭУ при наличии отказа ее элементов

Характеристики ГЭУ при обрыве одной, двух и трех фаз СГ представлены на рис.22.

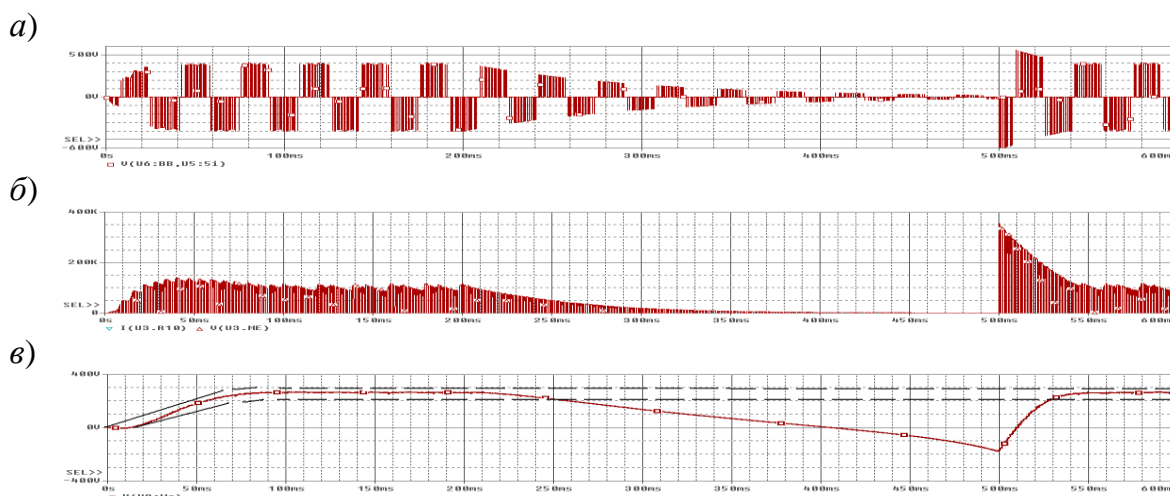


Рис.22. Характеристики ГЭУ при обрыве фаз СГ, *а* - напряжение выпрямителя, *б* - ток ГЭД, *в* - частота вращения ГВ

Результаты моделирования показывают, что на работоспособность ГЭУ наибольшее влияние оказывает дефект типа обрыв фаз СГ. При обрыве фаз напряжение СГ падает до нуля и приводит к отказу ГЭУ в целом. При уменьшении тока, момента ГЭД и частоты вращения ГВ до нуля, судно не поддерживает свою заданную скорость, теряет ход в свободной воде, а ГЭУ отказывает и не удовлетворяет условию работоспособности (отказ).

Характеристики ГЭУ при КЗ двух диодов в первом канале (D1, D3) представлены на рис.23.

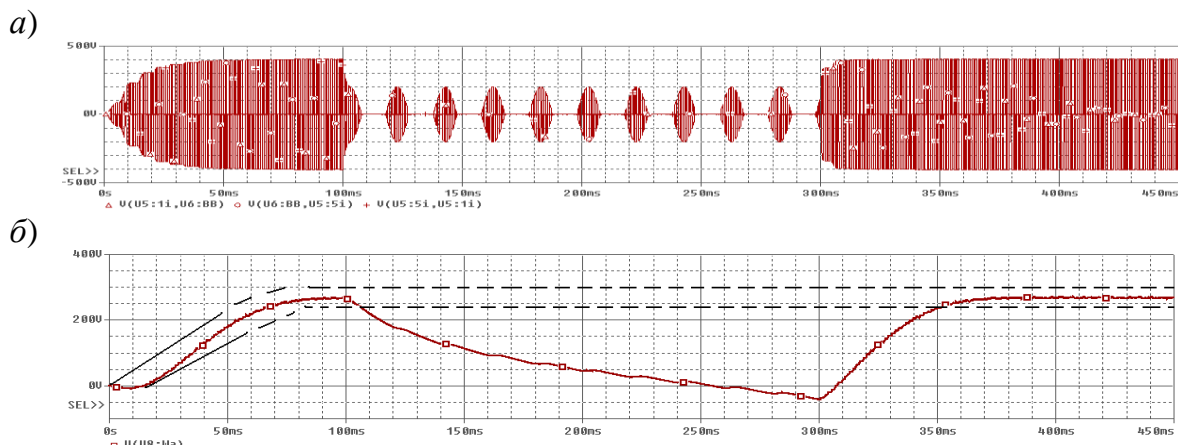


Рис.23. Характеристики ГЭУ при КЗ двух диодов в первом канале (0.1с – 0.3с), а - напряжение ПЧ, б - частота вращения ГВ

На рис.23б показано, что значение частоты вращения ГВ n_{GV} уменьшается до нуля, а ее характеристика находится в области неработоспособности ГВ (отказ).

Из результатов, полученных в процессе исследования различных дефектов ПЧ, показано, что КЗ или обрыв одного диода влияют на работоспособность ГЭУ и приводят к ее отказу, а КЗ или обрыв цепи двух диодов приводят к полному отказу ГЭУ, частота ГВ падает до нуля и судно теряет ход (отказ).

Характеристики ГЭУ при КЗ двух фаз ГЭД представлены на рис.24.

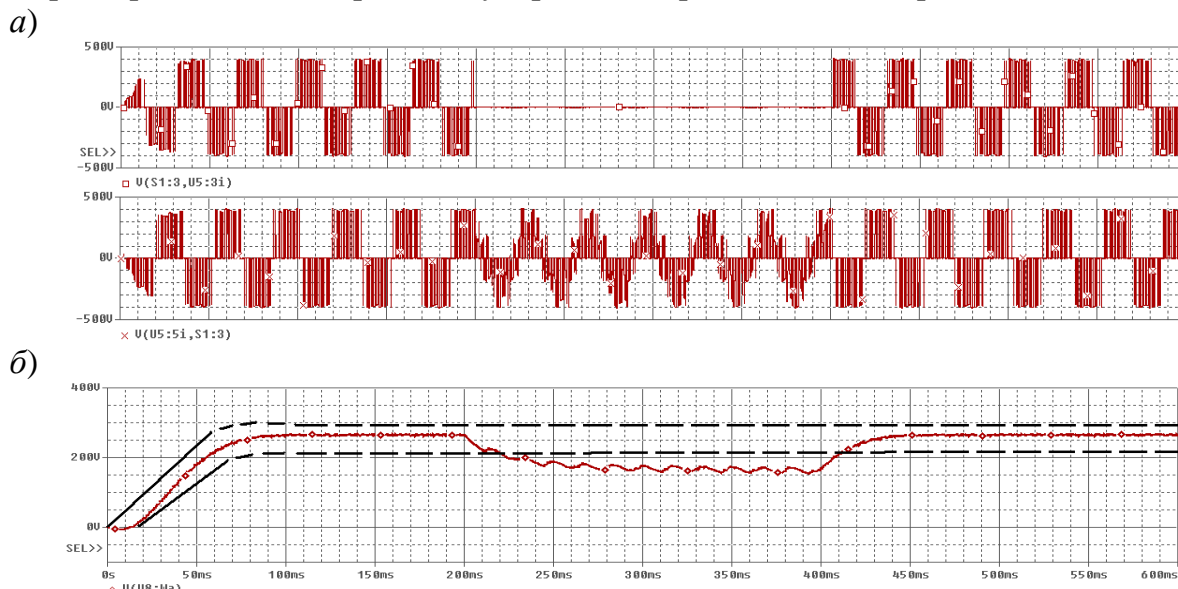


Рис.24. Характеристики ГЭУ при КЗ двух фаз (фазы А и В)
а - напряжение ПЧ, б - частота вращения Г

Как видно из рис.24б частота вращения ГВ n_{GV} уменьшается почти в два раза и находится вне области работоспособности (отказ).

На основе результатов моделирования дефектов ДГ, ПЧ и ИУ показано, что дефекты типы КЗ и обрыва наиболее сильно влияют на работоспособность ГЭУ. КЗ

или обрыв фаз СГ, КЗ или обрыв диодов, транзисторов ПЧ, КЗ или обрыв фаз ГЭД приводят к отказу ГЭУ, вызывают срабатывание защиты, в результате чего судно теряет скорость хода.

С учетом достоинства системы ORCAD при разработке диагностического обеспечения и при исследовании работоспособности ГЭУ переменного тока, в работе доказано, что предложенная диагностическая модель позволяет исследовать влияние различных дефектов, приводящих к отказу ГЭУ или снижению ее степени работоспособности. При этом глубина поиска дефектов может быть увеличена за счет детализации структуры ГЭУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании исследования структуры ГЭУ, условий эксплуатации и особенностей ГЭУ как объекта диагностирования установлено, что наименее надежными при использовании судна по назначению являются ГЭУ, отказ которых приносит наибольший ущерб среди объектов судового электрооборудования.

2. Оценка фактического состояния ГЭУ возможна при помощи предложенного метода, последовательно решающего задачи контроля работоспособности и поиска дефектов, обладающего достаточной точностью и достоверностью выявления дефектов на ранней стадии их развития.

3. Теоретические и экспериментальные исследования позволили создать диагностическое обеспечение ГЭУ, включающее в себя диагностическую модель, перечень наиболее информативных диагностических признаков, условия работоспособности (область и степень работоспособности) и признаки снижения степени работоспособности в ГЭУ.

4. Построена диагностическая модель ГЭУ в виде диаграммы прохождения сигналов, позволяющей судить о состоянии ГЭУ при снижении ее степени работоспособности и оценить степень влияния отказа различных элементов на работоспособность ГЭУ.

5. Предложены метод анализа ДМ ГЭУ в виде ДПС с применением теории чувствительности функции передачи, который позволяет определить необходимые ДП для проверки работоспособности ГЭУ, алгоритм и программа расчета чувствительности ФП по частотным характеристикам, с помощью которых возможно определить степень влияния отдельных элементов на работоспособность ГЭУ. Разработан алгоритм поиска причины снижения степени работоспособности ГЭУ.

6. Построена зависимость скорости судна от частоты вращения гребного винта для оценки степени работоспособности ГЭУ, введены различные уровни изменения состояние ГЭУ.

7. Разработаны диагностические модели элементов и ГЭУ в системе САПР ORCAD, позволяющие имитировать отказы элементов ГЭУ, и дают возможность исследовать изменение диагностических параметров ГЭУ при этом.

8. Предложен метод исследования работоспособности ГЭУ с использованием системы ORCAD, разработан и реализован метод имитации дефектов ГЭУ при снижении ее степени работоспособности методом моделирования, позволяющие подтвердить правильность решения поставленной задачи.

9. Все решенные вопросы направлены на практическое приложение полученных в диссертации результатов к разработке нового перспективного направления при решении задачи технического диагностирования судового электрооборудования в целом и гребной электрической установки в частности.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, включенных в перечень ВАК:

1. Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель дизель-генератора гребной электрической установки переменного тока [Текст] / Нгуен Ван Чьен, Нгуен Тиен Тханг // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2010. – Вып.5. – С.85-92.

2. Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель исполнительного устройства гребной электрической установки постоянного тока [Текст] / В.П. Калявин, Нгуен Ван Чьен, и др. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2011. – Вып.6. – С.56-61.

Другие публикации:

3. Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель дизель-генератора гребной электрической установки [Текст] / Воскобович В.Ю., Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен. // Материалы XXV международ. межвуз. школы-семинара. «Методы и средства технической диагностики», 27 июня – 4 июля 2008 г. – Йошкар-Ола., 2008 г. Сб. научн. статей. Вып. XXV. С. 11-21.

4. Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель управляемого выпрямителя гребной электрической установки [Текст] / Воскобович В.Ю., Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен. // Материалы XXV международ. межвуз. школы-семинара. «Методы и средства технической диагностики», 27 июня – 4 июля 2008 г. – Йошкар-Ола., 2008 г. Сб. научн. статей. Вып. XXV. С. 22-29.

5. Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель исполнительного устройства гребной электрической установки [Текст] / Воскобович В.Ю., Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен. // Материалы XXV международ. межвуз. школы-семинара. «Методы и средства технической диагностики», 27 июня – 4 июля 2008 г. – Йошкар-Ола., 2008 г. Сб. научн. статей. Вып. XXV. С. 29-34.

6. Нгуен Ван Чьен. Влияние дефектов на работоспособность гребной электрической установки (ГЭУ). [Текст] / Воскобович В.Ю., Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен // Сб. научн. статей. Вып. 1(15) / Галиц. Акад. – Ивано-франковск, 2008. С. 94-102.

7. Нгуен Ван Чьен. Влияние дефектов на работоспособность гребной электрической установки (ГЭУ) [Текст] / Воскобович В.Ю., Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия государственного электротехнического университета), Сер. Автоматизация и управление. – СПб., 2008. – Вып.10. С. 33-38.

8. Нгуен Ван Чьен. Диагностическая модель преобразователя частоты со звеном постоянного тока для управления гребным асинхронным двигателем. [Текст] / Воскобович В.Ю., Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен // Сб. научн. статей. Вып. 1(15) / Галиц. Акад. – Ивано-франковск, 2009. С. 79-84.

9. Нгуен Ван Чьен. Анализ диагностической модели гребной электрической установки методом чувствительности функции передачи [Текст] / Нгуен Ван Чьен // Материалы VIII всерос. межвуз. кон. мол. учен. «ИТМО», Сек. Электротехнические системы и средства управления ими. – СПб., 2011. – Вып.2. – С.245-246.

10. Нгуен Ван Чьен. Исследование влияния дефектов преобразователя частоты на работоспособность гребной электрической установки переменного тока [Текст] / Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен, Нгуен Тиен Тханг. // Материалы XXVIII международ. межвуз. школы-семинара. «Методы и средства диагностики в технике и социуме», 3 – 8 октября. Ивано-франковск, 2011.

11. Нгуен Ван Чьен. Анализ гребной электрической установки как объекта диагностирования [Текст] / Нгуен Ван Чьен. // Материалы XXVIII международ. межвуз. школы-семинара. «Методы и средства диагностики в технике и социуме», 3 – 8 октября. Ивано-франковск, 2011.