

На правах рукописи

Та Тхань Хай

**ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО
УСТРОЙСТВА ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Специальность 05.09.03 – «электротехнические комплексы и системы»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Бруслиновский Борис Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, Дмитриев Борис Федорович, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, профессор кафедры электротехники и электрооборудования судов
кандидат технических наук, доцент, Амбросовский Виктор Михайлович, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, доцент кафедры корабельных систем управления.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения.

Защита состоится « 27 » марта 2013 года в 14:00 на заседании диссертационного совета Д212.238.05 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина).

Автореферат разослан « 26 » февраля 2013 года.

Ученый секретарь

Совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций Д 212.238.05
кандидат технических наук

М.П. Белов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современных морских судах установлены многочисленные и разнообразные механизмы и системы, обеспечивающие работу энергетической установки и судовых устройств, в том числе и гребной электрической установки (ГЭУ). В основном механизмы приводятся в действие с помощью электроприводов, а в ГЭУ – исполнительного устройства (ИУ). С ростом мощности установленных на судах исполнительных устройств возрастают и требования безопасности, безотказности и долговечности к эксплуатации. Такие требования могут быть обеспечены путем установления устройств защиты, однако такой подход усложняет схему, что и снижает надежность ИУ ГЭУ. Техническая диагностика, благодаря теории, методам и средствам диагностирования, позволяет определить техническое состояние (запас работоспособности) ИУ ГЭУ, обнаруживать дефекты и устранить подобные отказы путем технического обслуживания и ремонта.

Высокой эффективности эксплуатации ИУ ГЭУ можно достичь только в том случае, когда объект работоспособен, т.е. он выполняет заданные функции с параметрами, установленными нормативно – технической документацией. Обеспечение безотказности и контролепригодности становится возможным, если в процессе проектирования объекта разработано диагностическое обеспечение (ДО). ДО разрабатывается на втором этапе проектирования системы диагностирования, параллельно с проектированием технических средств диагностирования и деятельности оператора. ДО позволяет проектировщику принимать объективные решения при разработке структуры и конструкции объекта.

Таким образом, задачи ДО, связанные с поддержанием безотказности и повышением контролепригодности являются актуальными и решаются в рамках данной работы на основе технической диагностики, судовых электроприводов и гребных электрических установок, которые получили в последнее время теоретическое и прикладное развитие отечественными и зарубежными учеными.

Цель диссертационной работы – поддержание безотказности и повышение контролепригодности исполнительного устройства гребной электрической установки при эксплуатации судна по назначению за счет формирования совокупности диагностических параметров и построения алгоритма поиска дефектов при снижении его степени работоспособности.

В диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Анализ и обоснование актуальности диагностического обеспечения ИУ ГЭУ переменного тока;
2. Формирование перечня оцениваемых диагностических показателей и условий работоспособности ИУ ГЭУ, определение признаков наличия дефектов;
3. Разработка и анализ диагностических моделей типов ИУ ГЭУ для определения контрольных точек и построения алгоритма поиска причин, приводящих к снижению степени работоспособности ИУ ГЭУ переменного тока;
4. Построение математических моделей элементов ИУ ГЭУ переменного тока для разработки его диагностических моделей в САПР Orcad;
5. Исследование влияния дефектов элементов на степень работоспособности ИУ ГЭУ.

Методы исследования. Для решения поставленных в диссертационной работе задач использовались методы теории графов, теории автоматического управления, теории чувствительности, компьютерных методов исследования на базе стандартных программных продуктов.

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Диагностические модели (ДМ) ИУ ГЭУ переменного тока (с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором и с синхронным двигателем с обмоткой возбуждения) в виде диаграммы прохождения сигналов (ДПС), анализ ДМ методом теории чувствительности.

2. Процедура разработки диагностического обеспечения ИУ ГЭУ. Алгоритм поиска причин, приводящих к снижению степени работоспособности ИУ ГЭУ. Алгоритм определения достоверности диагностирования ИУ ГЭУ.

3. Диагностические модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, синхронного двигателя с обмоткой возбуждения и гребного винта, построенные в САПР Orcad.

4. Метод исследования влияния дефектов элементов ИУ ГЭУ на его работоспособность использованием САПР Orcad.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Диагностические модели (ДМ) ИУ ГЭУ переменного тока (с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором и с синхронным двигателем с обмоткой возбуждения) в виде диаграммы прохождения сигналов (ДПС), анализ ДМ методом теории чувствительности, отличающиеся тем, что в их основу положены методы и структурные схемы векторного управления электроприводами.

2. Процедура разработки диагностического обеспечения ИУ ГЭУ, алгоритм поиска причин, приводящих к снижению степени работоспособности ИУ ГЭУ, алгоритм определения достоверности диагностирования ИУ ГЭУ, отличающийся тем, что анализ получаемых по этому методу таблиц чувствительности позволяет выбрать последовательные контрольные точки для проверки состояния ИУ ГЭУ, что дает возможность построения алгоритма поиска дефектов, приводящих к снижению степени работоспособности ИУ ГЭУ.

3. Диагностические модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, синхронного двигателя с обмоткой возбуждения и гребного винта, построенные в САПР Orcad, отличающиеся тем, что позволяют изменять параметры элементов ИУ ГЭУ в широких диапазонах и имитировать переход ИУ ГЭУ из области работоспособности в область неработоспособности и наоборот.

4. Метод исследования влияния дефектов элементов ИУ ГЭУ на его работоспособность использованием САПР Orcad, отличающиеся тем, что путем моделирования дефектов на основе анализа выходных характеристик в заданных контрольных точках диагностической модели определяется запас работоспособности ИУ ГЭУ.

Достоверность научных и практических результатов. Достоверность научных положений, результатов и выводов данной работы обуславливается корректным использованием указанных выше методов, применением современных компьютерных средств и программных комплексов, а также результатами экспериментального исследования разработанных в работе диагностических моделей разных типов ИУ ГЭУ переменного тока в лабораторных условиях.

Значимость полученных результатов для теории и практики:

Теоретическая значимость работы обусловлена её новизной и заключается в развитии актуального научного направления, связанного с разработкой диагностических моделей ИУ ГЭУ переменного тока в виде диаграммы прохождения сигналов. Исследование разработанных моделей с применением теории графов, теории чувствительности и метод оценки по частотным характеристикам передаточных функций, позволяет определить контрольные точки и построить алгоритм поиска причин, приводящих к снижению работоспособности ИУ ГЭУ.

Практическая ценность результатов работы:

- созданы полезные в инженерном проектировании модели разных типов ИУ ГЭУ переменного тока, подлежащие к диагностированию, применимые в условиях ограниченного объема априорных сведений об объектах (паспортных данных гребных электродвигателей и гребного винта, неопределенности изменения параметров элементов ИУ ГЭУ);

- разработан метод имитации и исследования влияния дефектов, приводящих к снижению работоспособности ИУ ГЭУ, современными компьютерными средствами в учебном процессе.

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

- рабочем проектировании организации систем диагностировании электроприводов универсальных и транспортных судов;
- программном комплексе для расчета частотных характеристик функций передачи и ранжирования диагностических параметров ИУ ГЭУ (2012 г.), № 2012619612;
- методическом указании к лабораторным работам по дисциплине «Надежность и техническая диагностика судового оборудования и автоматики» с названием «Исследование влияния дефектов на работоспособность ИУ ГЭУ переменного тока».

Апробация работы. Основные теоретические и экспериментальные результаты диссертационной работы докладывались на 5 международных и всероссийских научно – технических конференциях: на XXVIII международной межвузовской школе – семинаре «Методы и средства диагностики в технике и социуме» (2011 г., г. Иванофранковск, Украина), Э65 всероссийской научно – практической конференции «Энергосбережение в промышленности» (2012 г., г. Чевоксары), I всероссийском конгрессе молодых ученых (2012 г., г. Санкт-Петербург), 64-м и 65-м научно – технических конференциях профессорско – преподавательского состава университета в СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в 2011 и 2012 гг.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 9 научных работах, в том числе 4 статьи (из них 3 статьи – в изданиях, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК), 4 работ в материалах международных и всероссийских научно – технических конференциях и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619612.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав с выводами, заключения, списка литературы, включающего 89 наименований, и трех приложений. Работа содержит 95 рисунков и 13 таблиц. Основная часть работы изложена на 160 страницах машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе проведена классификация используемых типов ИУ ГЭУ в отрасли судостроения, на основе которой выбран ИУ ГЭУ переменного тока в качестве объекта диагностирования, выполнен анализ ИУ ГЭУ переменного тока как объекта диагностирования. Проанализированы два основных свойства надежности ИУ ГЭУ: безотказность и ремонтпригодность. Рассмотрены причины снижения работоспособности ИУ ГЭУ и процентное распределение его отказов. Перечислены методы диагностирования элементов ИУ ГЭУ переменного тока, включающие в себя метод теплового диагностирования, метод ударных импульсов, метод спектрального анализа, метод анализ спектров модулей векторов Парка тока и напряжения и логический метод. Сформулирована характеристика ИУ ГЭУ переменного тока как объекта диагностирования.

Возможные способы поддержания безотказности и повышения ремонтпригодности ИУ ГЭУ переменного тока могут быть:

– разработка новых конструкций ИУ ГЭУ, исходя из особенностей ее эксплуатации и места на судне;

- правильный выбор режима работы элементов ИУ ГЭУ;
- автоматизация изготовления элементов массового использования с целью снижения влияния субъективных факторов в производстве;
- включение устройств защиты;
- снабжение ИУ ГЭУ средствами технического диагностирования.

Сформулирована процедура решения общей задачи диагностического обеспечения ИУ ГЭУ переменного тока, включающая теоретический анализ диагностических моделей в виде ДПС и экспериментальное исследование диагностических моделей ИУ ГЭУ в САПР Orcad. Общая процедура разработки диагностического обеспечения показана на рис. 1.

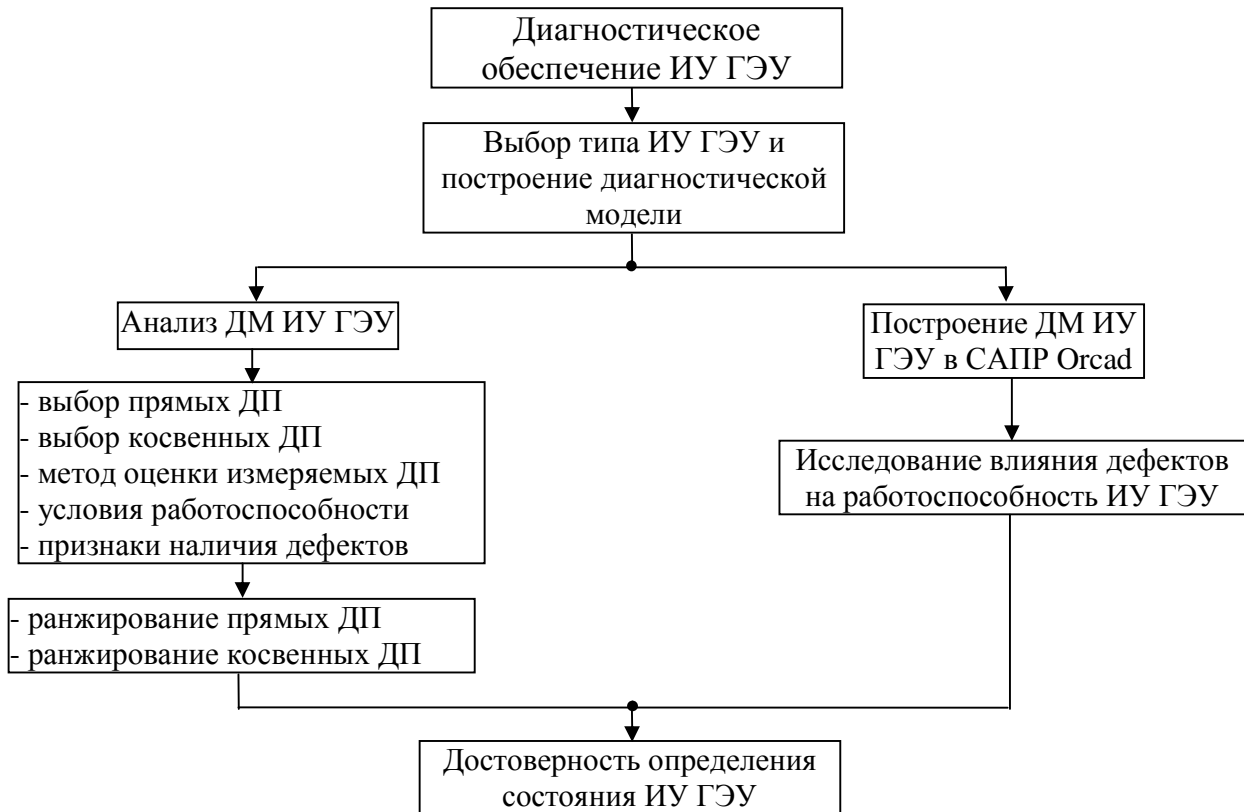


Рис. 1. Общая процедура разработки диагностического обеспечения ИУ ГЭУ

Во второй главе Проведена классификация диагностических моделей непрерывных объектов, а в частности – исполнительного устройства гребной электрической установки, на основе результата которой выбрана диаграмма прохождения сигналов в качестве диагностической модели. Построены диагностические модели ИУ ГЭУ переменного тока в виде ДПС на основе их структурных и функциональных схем. Анализ ДМ осуществляется методом теории чувствительности, на основе результата которой выбраны контрольные точки (диагностические показатели). Разработаны алгоритм и программа расчета чувствительности функции передачи по частотным характеристикам, построен алгоритм поиска причин, приводящих к снижению работоспособности ИУ ГЭУ переменного тока. Разработан алгоритм определения достоверности диагностирования ИУ ГЭУ.

Под термином «диагностическая модель» объекта подразумевается его формальное описание с помощью математических или графических представлений. При построении диагностической модели необходимо располагать о нем определенными сведениями, такими как структура, законы управления и регулирования, регулируемые процессы и др.

Классификация диагностических моделей ИУ ГЭУ приведена на рис. 2.

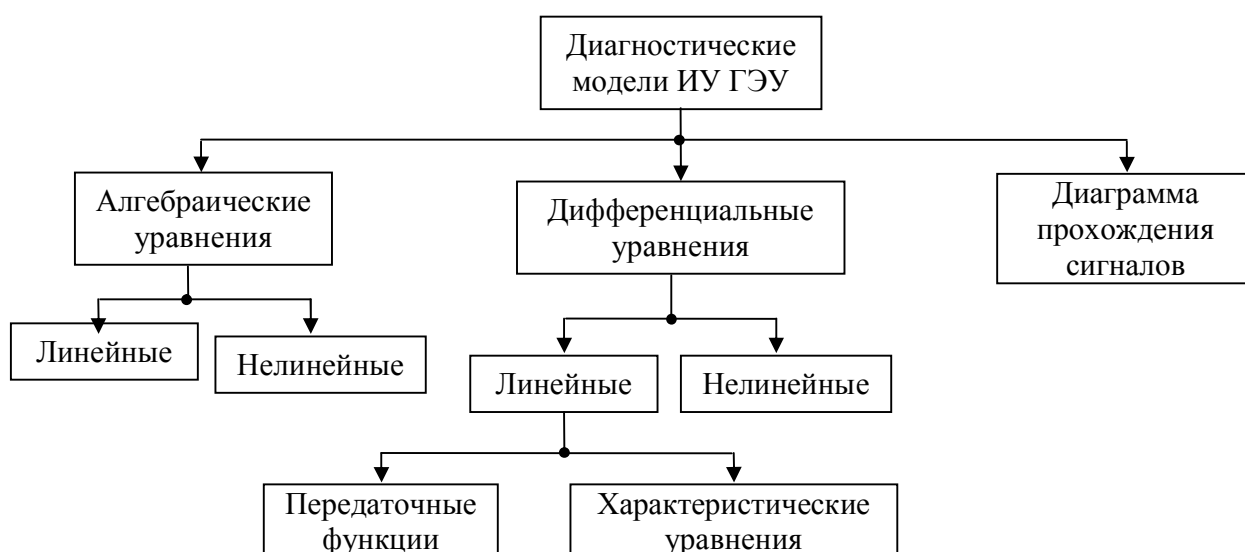


Рис. 2. Классификация диагностических моделей ИУ ГЭУ переменного тока

В математических представлениях диагностические модели ИУ ГЭУ могут быть линейные или нелинейные алгебраические уравнения, линейные (передаточные функции, характеристические уравнения) или нелинейные дифференциальные уравнения. В качестве графического представления диагностические модели ИУ ГЭУ могут быть диаграмма прохождения сигналов, которая представляет собой ориентированный граф – графическое изображение соотношений между переменными. Установлено, выбрана диаграмма прохождения сигналов в качестве диагностической модели ИУ ГЭУ переменного тока для исследования.

Построение диагностических моделей ИУ ГЭУ в виде диаграммы прохождения сигналов осуществляется на основе его функциональных схем, причем узлы диаграммы соответствуют переменным (параметрам ИУ ГЭУ) и обозначаются буквой u с индексом соответствующего сигнала, а ветви диаграммы соответствуют операторам - передаточным функциям (из узла к узлу), обозначенные соответствующей функцией с указанием направления действия.

Диагностическая модель ИУ ГЭУ с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором показана на рис. 3.

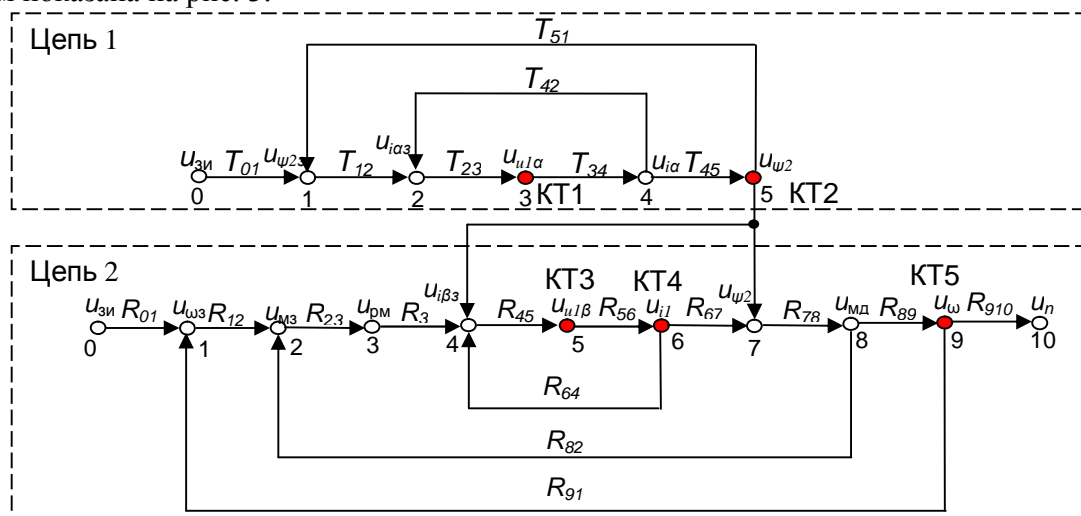


Рис. 3. Диагностическая модель ИУ ГЭУ с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

Диагностическая модель с синхронным двигателем с обмоткой возбуждения представлена на рис. 4.

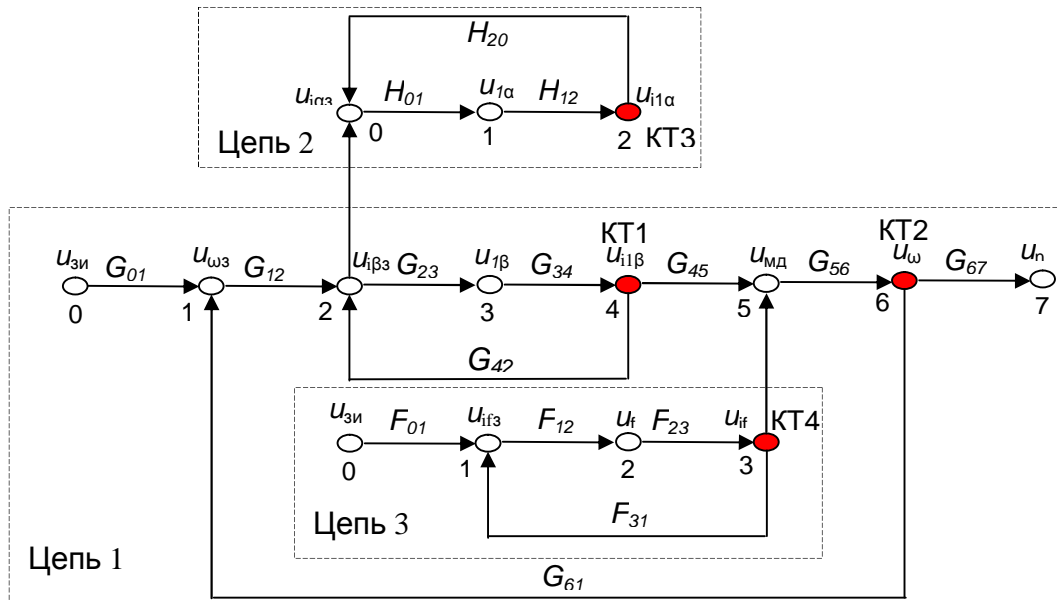


Рис. 4. Диагностическая модель с синхронным двигателем с обмоткой возбуждения

По теории чувствительности операторы в разных степенях влияют на чувствительность функции передачи объекта (т.е. его работоспособность) в зависимости от их места расположения на диаграмме. Степень влияния каждого оператора может быть определена относительной чувствительности функции передачи объекта к нему.

Относительная чувствительность определяется по формуле:

$$V_{W_{kl}}^{T_{oi}} = \frac{\partial \ln W_{oi}}{\partial \ln T_{kl}} = \frac{\partial W_{oi}}{\partial T_{kl}} \cdot \frac{T_{kl}}{W_{oi}} = U_{T_{kl}}^{W_{oi}} \cdot \frac{T_{kl}}{W_{oi}}.$$

Результат вычисления чувствительности функции передачи вписывается в таблицу, в каждой строке которой записываются чувствительности одной функции передачи W_{ij} ко всем m операторам ветвей T_k , а в каждом столбце записываются чувствительности всех n функций передачи к изменению одного k -го оператора T_k , $k = \overline{1, m}$ (табл. 1).

Анализ таблицы осуществляется сравнением суммы всех чувствительностей одной строки к другой, в результате получается последовательность упорядочения функций передачи по их чувствительности:

$$W_{oi} \succ \dots \succ W_{ij} \succ \dots \succ W_{mn}, \text{ если: } \sum_{k=1}^m V_{T_k}^{W_{oi}} > \dots > \sum_{k=1}^m V_{T_k}^{W_{ij}} > \dots > \sum_{k=1}^m V_{T_k}^{W_{mn}}.$$

На основе упорядочения функций передачи можно определить контрольные точки (рис. 3, 4), которые сформируют совокупность диагностических показателей ИУ ГЭУ с:

- асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором

$$S_{\text{ИУГЭУ-АД}} = (u_{1\alpha}, \psi_2, u_{1\beta}, i_{1\beta}, \omega);$$

где $u_{1\alpha}$ - продольная составляющая напряжения на выходе ПЧ (КТ1), ψ_2 - потокосцепление ротора (КТ2), $u_{1\beta}$ - поперечная составляющая напряжения на выходе ПЧ (КТ3), $i_{1\beta}$ - поперечная составляющая тока обмотки статора (КТ4) и ω - частота вращения вала АД (КТ5);

- синхронным двигателем с обмоткой возбуждения

$$S_{\text{ИУГЭУ-СД}} = (i_{1\beta}, \omega, i_{\alpha}, i_f);$$

где $i_{1\beta}$ - поперечная составляющая тока обмотки (КТ1), ω - частота вращения вала СД (КТ2), $i_{1\alpha}$ - продольная составляющая тока обмотки (КТ3), i_f - ток обмотки возбуждения (КТ4).

Таблица 1

Функции передачи W_{ij}	Операторы ветвей T_k				
	T_1	...	T_k	...	T_m
W_{01}	$V_{T_1}^{W_{01}}$	...	$V_{T_k}^{W_{01}}$	...	$V_{T_m}^{W_{01}}$
...
W_{ij}	$V_{T_1}^{W_{ij}}$	...	$V_{T_k}^{W_{ij}}$	...	$V_{T_m}^{W_{ij}}$
...
W_{nm}	$V_{T_1}^{W_{nm}}$	...	$V_{T_k}^{W_{nm}}$	...	$V_{T_m}^{W_{nm}}$

При каждой контрольной точке на ДМ имеется последовательность проверки состояния ИУ ГЭУ. Для построения алгоритма поиска причин, приводящих к снижению работоспособности объекта, используется метод вычисления чувствительности функций передачи по частотным характеристикам. Причем логарифмическая чувствительность одной функции передачи к l -му оператору определяется следующим образом:

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

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

Алгоритм вычисления значений критерия u_l показан на рис. 5. На основе данного алгоритма создан программный комплекс для расчета частотных характеристик функций передачи и ранжирования диагностических параметров ИУ ГЭУ с помощью компьютерным средством Delphi 7.

Результат вычисления программ позволяет определить последовательность проверки операторов для разных контрольных точек:

- ИУ ГЭУ с АД с короткозамкнутым ротором
 - Для контрольной точки КТ1: $T_{34}, T_{23}, T_{01}, T_{12}, T_{45}, T_{42}, T_{51}$;
 - Для контрольной точки КТ2: $T_{34}, T_{23}, T_{01}, T_{12}, T_{42}$;
 - Для контрольной точки КТ3: $R_{34}, R_{45}, R_{67}, R_{23}, R_{12}, R_{56}, R_{01}, R_{78}, R_{53}, R_{71}, R_{62}$;
 - Для контрольной точки КТ4: $R_{34}, R_{45}, R_{23}, R_{12}, R_{01}, R_{53}$;
 - Для контрольной точки КТ5: $R_{34}, R_{23}, R_{12}, R_{01}$;
- ИУ ГЭУ с СД с обмоткой возбуждения
 - Для контрольной точки КТ1: $G_{34}, G_{23}, G_{45}, G_{12}, G_{01}, G_{56}, G_{51}, G_{42}$;
 - Для контрольной точки КТ2: $G_{34}, G_{23}, G_{12}, G_{01}, G_{42}$;
 - Для контрольной точки КТ3: $H_{23}, H_{12}, H_{01}, H_{31}$;
 - Для контрольной точки КТ4: $F_{23}, F_{12}, F_{01}, F_{31}$.

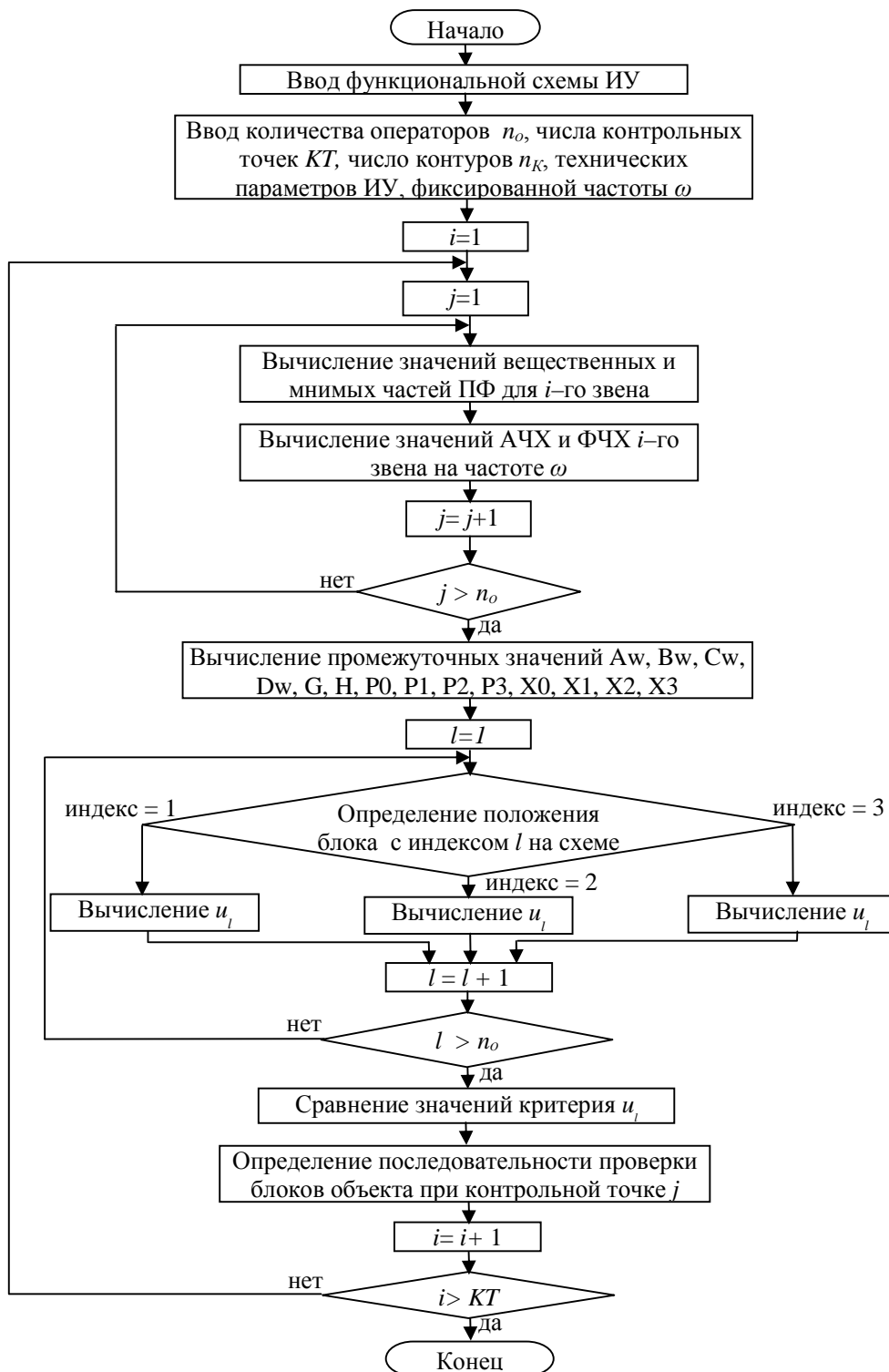


Рис. 5. Алгоритм расчета чувствительностей частотных характеристик ПФ ИУ ГЭУ

На основе выбранных контрольных точек и ранжирования степени влияния операторов можно построить алгоритмы поиска причин, приводящих к снижению работоспособности ИУ ГЭУ переменного тока. Алгоритм для ИУ ГЭУ с АД с короткозамкнутым ротором показан на рис. 6.

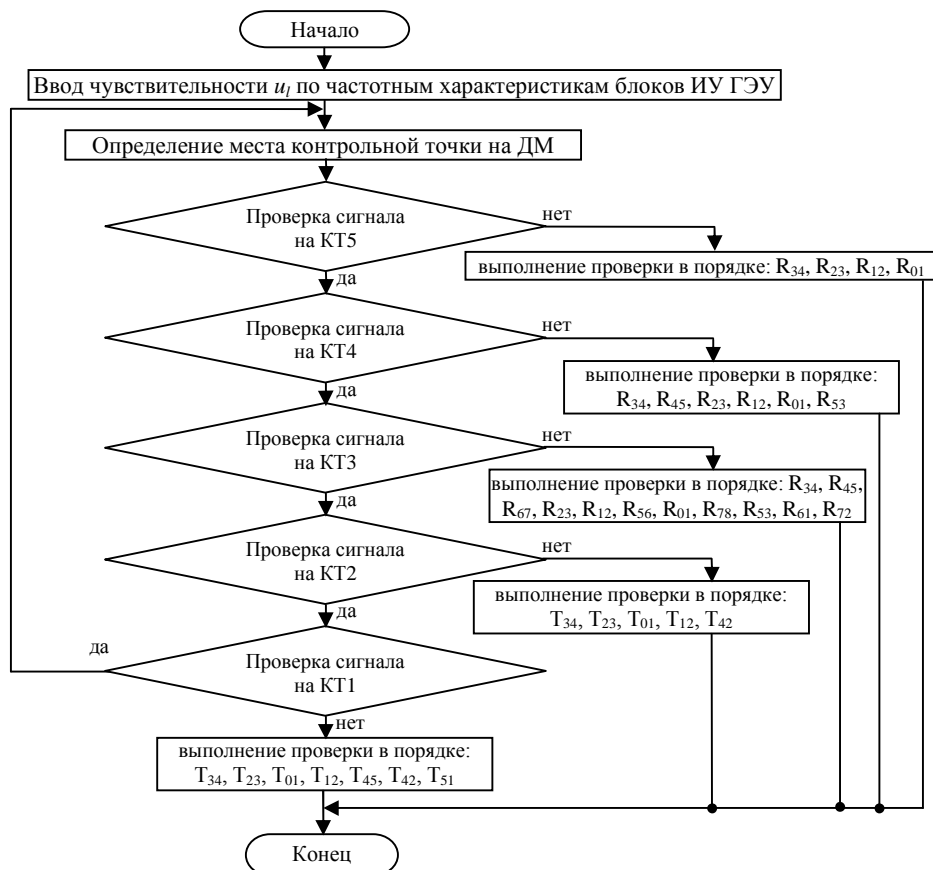


Рис. 6. Алгоритм поиска дефектов ИУ ГЭУ с АД с короткозамкнутым ротором

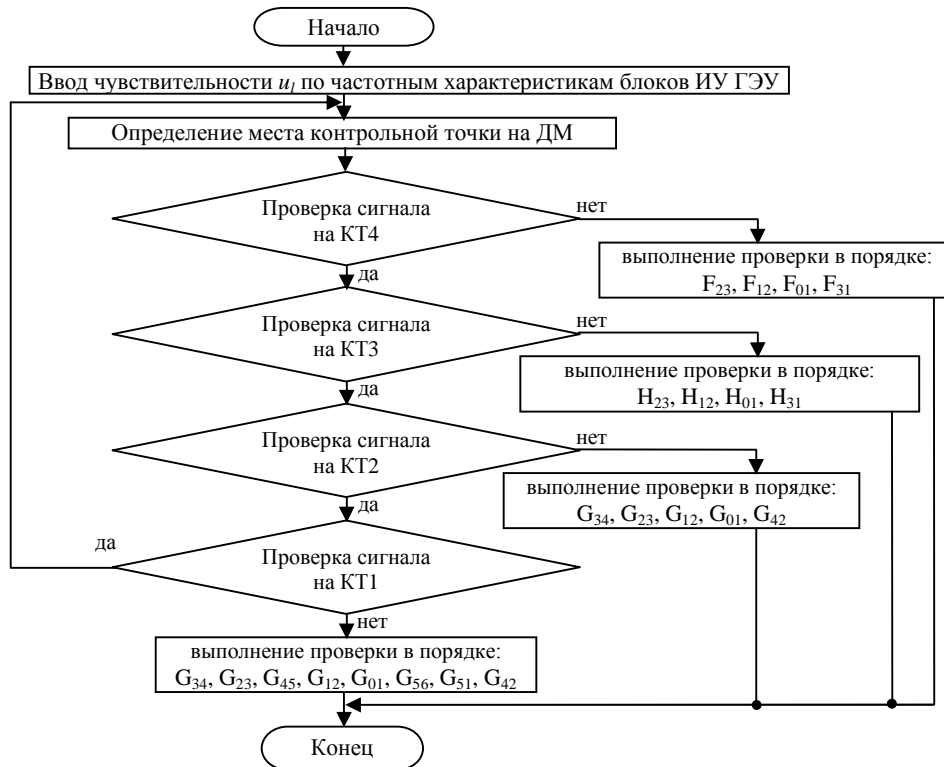


Рис. 7. Алгоритмы поиска дефектов ИУ ГЭУ с СД с обмоткой возбуждения
Алгоритм для ИУ ГЭУ с СД с обмоткой возбуждения показан на рис. 7.

Оценка достоверности процесса диагностирования ИУ ГЭУ осуществляется путем сравнения заданного значения вероятности P_0 с величиной вероятности $p(n,m)$, которая рассчитывается по формуле:

$$p(n,m) = \frac{\sum_{i=1}^n k_i c_i u(s_{ni}) + \sum_{j=1}^m k_j c_j v(s_{kj})}{\sum_{i=1}^N k_i c_i u(s_{ni}) + \sum_{j=1}^M k_j c_j v(s_{kj})},$$

где s_{ni} , s_{kj} – прямые и косвенные диагностические признаки; n , m – числа оцениваемых соответственно прямых и косвенных диагностических признаков; k_i , k_j – коэффициенты, учитывающие безотказность основных частей объекта, участвующих в формировании данного признака; c_i , c_j – коэффициенты, учитывающие важность признаков s_{ni} , s_{kj} .

Алгоритм определения достоверности диагностирования ИУ ГЭУ переменного тока приведен на рис. 8.

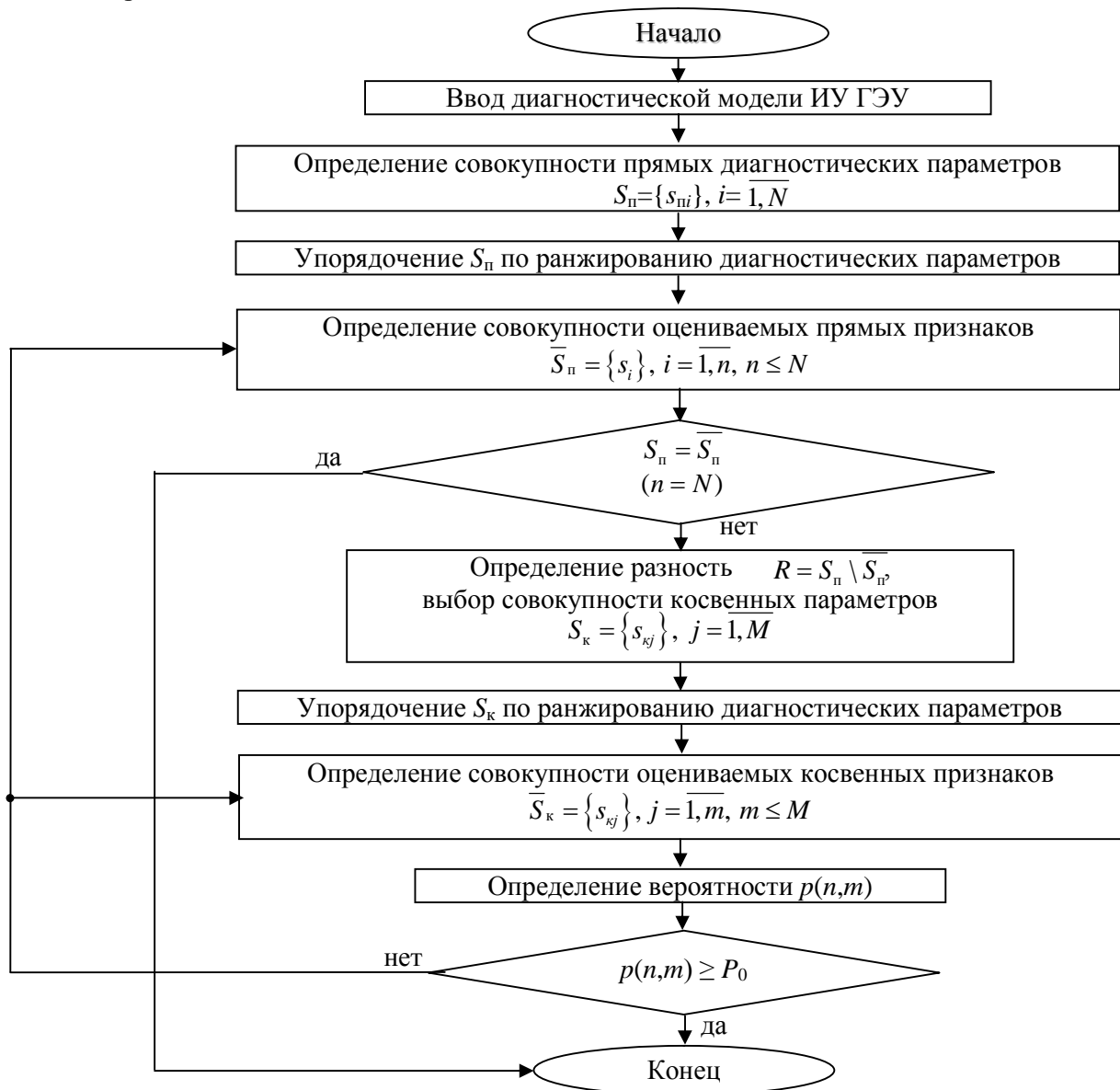


Рис. 8. Алгоритм определения достоверности диагностирования ИУ ГЭУ

В третьей главе представлено математическое описание компонентов ИУ ГЭУ переменного тока. Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором может быть представлена в фазных координатах abc и в физических единицах. Математическая модель синхронного двигателя может быть описана в ортогональных роторных координатах dq и в относительных единицах. Математическая модель гребного винта построена на основе кривых универсальных коэффициентов (кривых Папмеля).

Предложена процедура создания иерархических схем и проекта моделирования в САПР Orcad. Обоснованы способы графического решения алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих работу компонентов ИУ ГЭУ переменного тока, которые позволяют построить иерархические схемы и создать проекты имитационного моделирования ИУ ГЭУ. Построены диагностические модели отдельных компонентов на основе математического описания и применения процедур создания иерархических схем и проектов моделирования. Разработаны общие схемы ИУ ГЭУ переменного тока для исследования его работоспособности.

Диагностическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором построена на основе графического решения алгебраических и дифференциальных уравнений математического описания в фазных координатах abc , и паспортных данных асинхронного двигателя типа АМ 101 – 2. Разработанная диагностическая схема АД с короткозамкнутым ротором показана на рис. 9, а его компактная форма в библиотеке Orcad представлена на рис. 10.

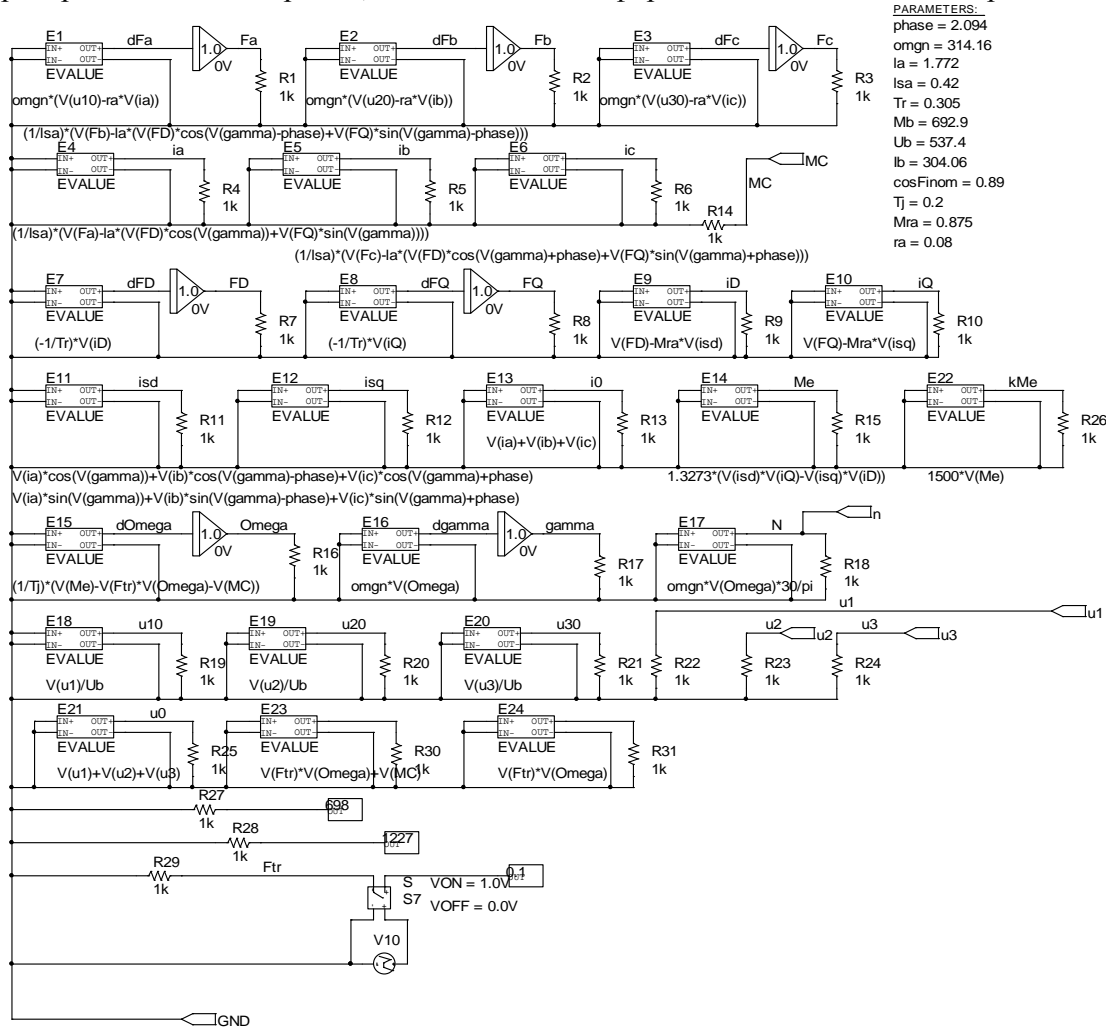


Рис. 9. Схема АД с короткозамкнутым ротором

Рис. 10. Форма АД в библиотеке Orcad

Диагностическая модель синхронного двигателя с обмоткой возбуждения разработана на основе графического решения алгебраических и дифференциальных уравнений математического описания в ортогональных роторных координатах dq , и паспортных данных синхронного двигателя типа МСС 115 – 8. Входными сигналами для схемы СД являются трехфазные напряжения питания, момент сопротивления гребного винта, приложенный на валу СД и постоянное напряжение питания обмотки возбуждения, а выходным сигналом является частота вращения гребного вала.

Диагностическая схема синхронного двигателя с обмоткой возбуждения представлена на рис. 11, а его компактная форма в библиотеке Orcad показана на рис. 12.

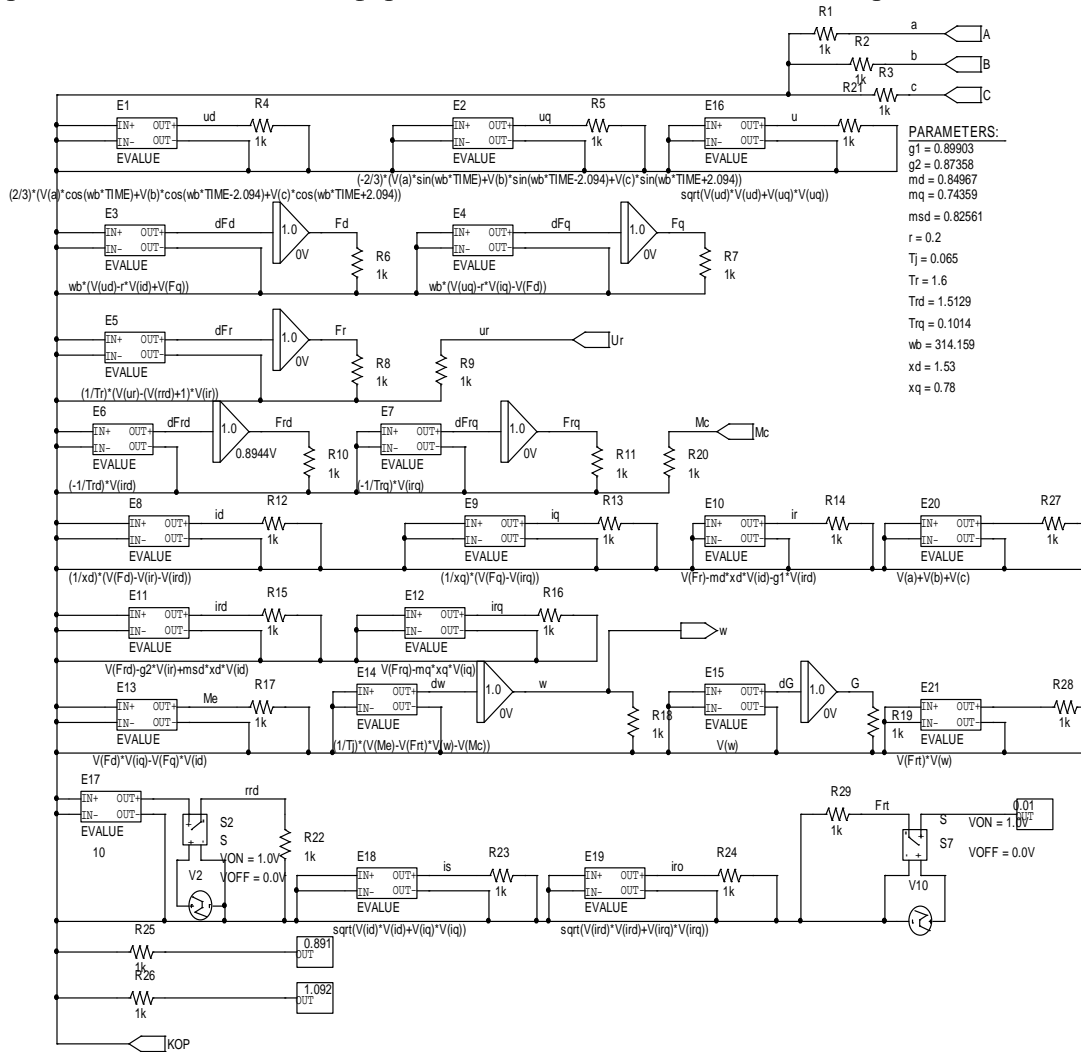


Рис. 11. Схема СД с обмоткой возбуждения

Рис. 12. Форма СД в библиотеке Orcad

Диагностическая модель гребного винта фиксированного шага построена на основе решения графического решения алгебраических и дифференциальных уравнений математического описания гребного винта. Динамика ГВ характеризуется универсальными коэффициентами упора K_T и момента K_M . Эти коэффициенты сохраняют конечные значения при любом значении частоты вращения ГВ.

Диагностическая схема гребного винта фиксированного шага представлена на рис. 13, а его компактная форма в библиотеке Orcad показана на рис. 14.

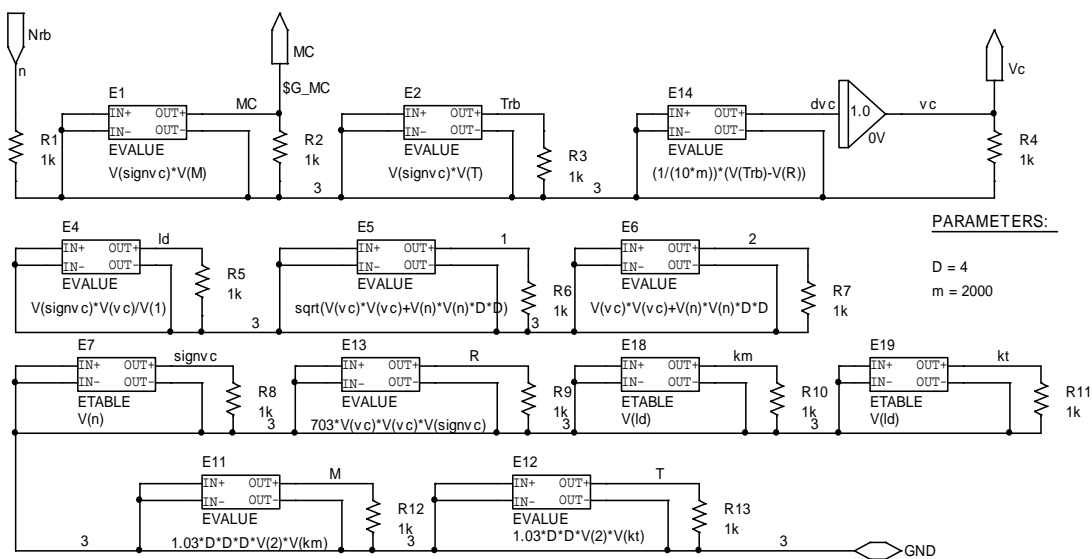
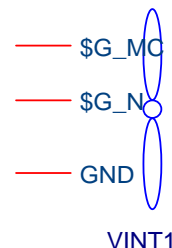


Рис. 13. Схема ГВ фиксированного шага

Рис. 14. Форма ГВ в библиотеке Orcad



В третьем главе разработаны диагностические ИУ ГЭУ переменного тока, которые дают возможность имитировать различные дефекты, приводящих к снижению работоспособности или отказу ИУ ГЭУ.

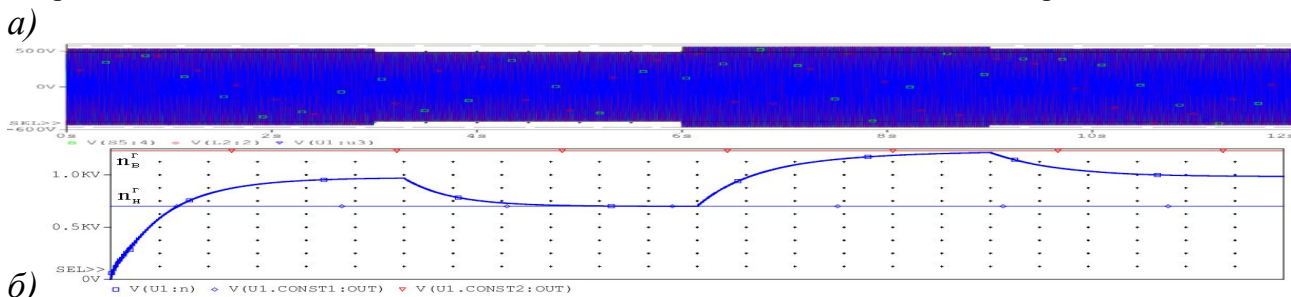
В четвертой главе представлен метод исследования работоспособности ИУ ГЭУ с применением САПР Orcad, который позволяет проанализировать характеристики при возникновении дефектов, приводящих к снижению работоспособности ИУ ГЭУ. Рассмотрено влияние на работоспособность ИУ ГЭУ изменения напряжения питающей сети, напряжения обмотки возбуждения (СД) и момента сопротивления гребного винта.

Характеристики ИУ ГЭУ в работоспособном и граничном состояниях

В данном исследовании рассматривается ИУ ГЭУ в режиме относительно медленного изменения скорости при движении судна в свободной воде вследствие перехода от одной установившегося режима к другому.

При исследовании в работоспособном и граничном состояниях установлено, что входные фазные напряжения ГЭД устанавливаются в пределах: $U_{\text{вход}} = [342, 418] \text{ В}$, т.е. амплитуда напряжения будет изменяться в пределах: $U_{\text{вход-ампл}} = [483, 591] \text{ В}$. А номинальное значение напряжения при этом устанавливалось $U_{\text{ном}} = U_{\text{фаз}} \cdot \sqrt{2} = 537 \text{ В}$, начальные фазы трех фаз сдвинуты друг друга 120 градусов.

Изменение характеристик ИУ ГЭУ переменного тока при варьировании амплитуды напряжения питающей сети в диапазоне $\pm 10\%$ от номинального, показано на рис. 15.



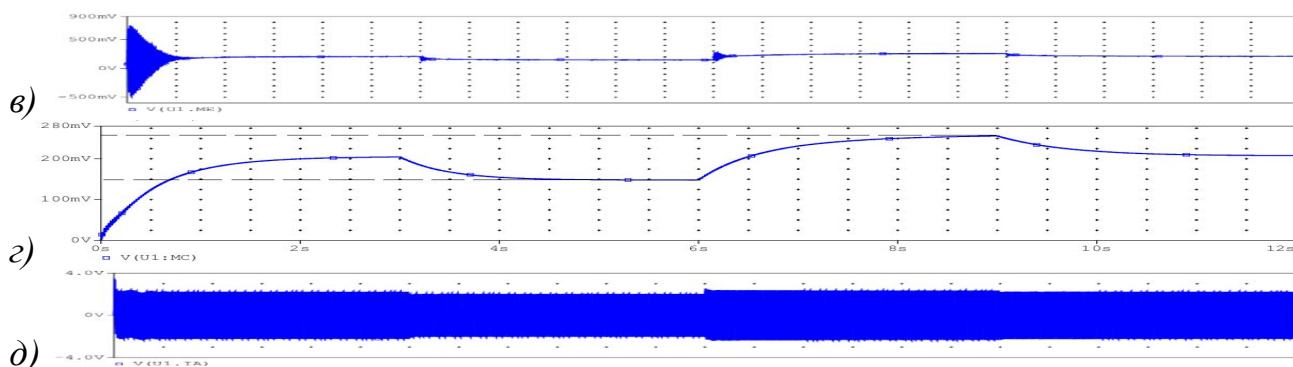


Рис. 15. Характеристики ИУ ГЭУ в граничном состоянии, *а* – трехфазное напряжение питающей сети, *б* – частота вращения гребного винта, *в* – электромагнитный момент ГЭД, *г* – момент сопротивления ГВ, *д* – ток обмотки статора

Исследование изменения характеристик ИУ ГЭУ при наличии дефектов

1. При обрыве одной фазы обмотки статора

Характеристики ИУ ГЭУ при обрыве одной фазы обмотки статора ГЭД показаны на рис.

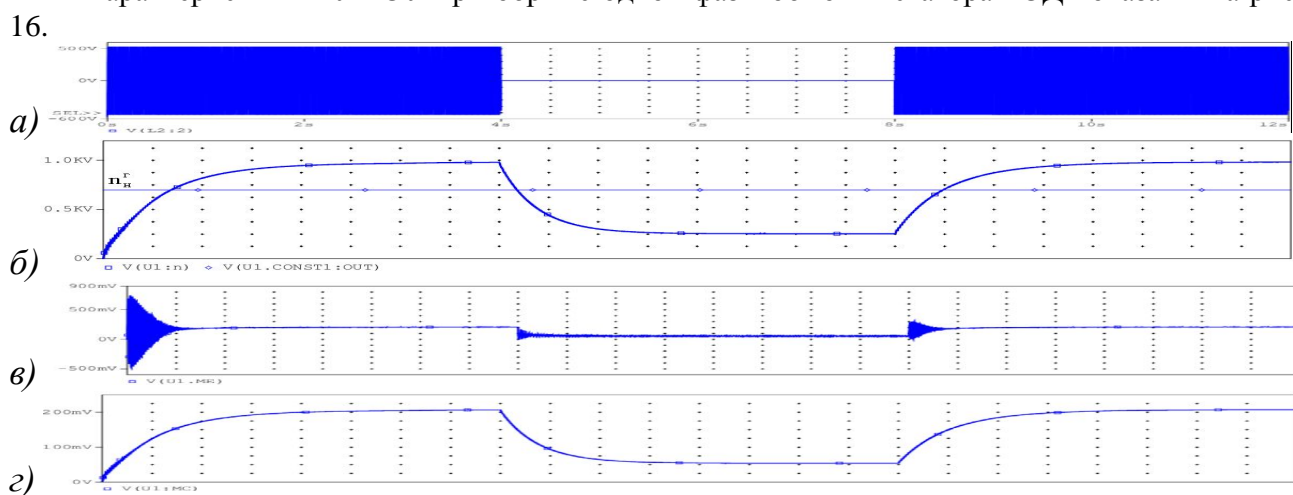
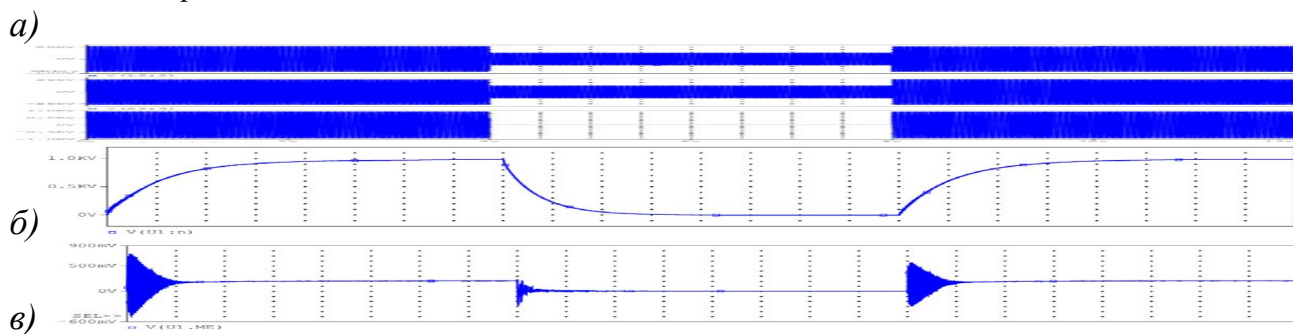


Рис. 16. Характеристики ИУ ГЭУ при обрыве одной фазы обмотки статора ГЭД, *а* – напряжение разрываемой фазы, *б* – частота вращения ГВ, *в* – электромагнитный момент ГЭД, *г* – момент сопротивления ГВ

Результат моделирования показывает, что дефект типа обрыв одной фазы обмотки статора ГЭД значительно уменьшает работоспособность ИУ ГЭУ, причем частота вращения ГВ уменьшается и выходит из области работоспособности.

2. При коротком замыкании двумя фазами обмотки статора

Характеристики ИУ ГЭУ при коротком замыкании двумя фазами обмотки статора ГЭД показаны на рис. 17.



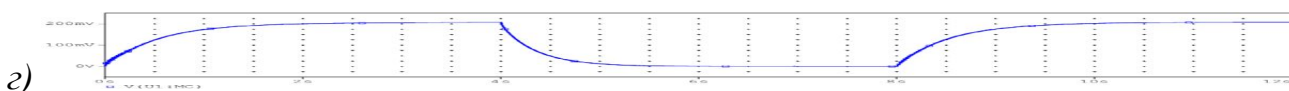


Рис. 17. Характеристики ИУ ГЭУ при коротком замыкании двумя фазами обмотки статора ГЭД, a – относительное напряжение между коротко-соединенными фазами, и напряжение на этих фазах, b – частота вращения ГВ, v – электромагнитный момент ГЭД, z – момент сопротивления

Результат моделирования показывает, что при коротком замыкании двумя фазами обмотки статора ГЭД останавливается и приводит к отказу ИУ ГЭУ в целом. При этом судно не может поддерживать заданную скорость, теряет ход в свободной воде и переходит к аварийному режиму.

Разработка диагностических моделей ИУ ГЭУ переменного тока с применением САПР Orcad может реализовать основные дефекты его элементов, которые могут уменьшать работоспособность или приводить ИУ ГЭУ к отказу. Результаты исследования дают возможность выводить подходы к защите элементов ИУ ГЭУ, а также позволяют проектировщику принимать объективные решения при разработке структуры и конструкции объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследование структуры ИУ ГЭУ, формирование его особенностей как объекта диагностирования и условий работоспособности показывают, что на живучесть и работоспособность судна значительно влияет надежность ИУ ГЭУ, отказ которого может привести к большому ущербу с точки зрения экономики и безопасности.

2. Поддержание безотказности и повышение контролепригодности осуществляются путем оценки прямых и непрямых диагностических параметров ИУ ГЭУ при помощи предложенного метода, решающего последовательно задачи контроля работоспособности и поиска дефектов, результат которых обладает достаточной точностью и достоверностью для прогнозирования или выводить рекомендации дальнейшей эксплуатации.

3. Результаты теоретического и экспериментального исследований позволяют определить совокупность перечня оцениваемых диагностических показателей, условий работоспособности (область и степень работоспособности), признаков наличия дефектов, алгоритмов поиска причин снижения работоспособности ИУ ГЭУ и определения достоверности процедуры диагностирования.

4. Разработаны диагностические модели ИУ ГЭУ переменного тока в виде диаграммы прохождения сигналов на основе их функциональных схем, которые позволяют исследовать изменение его состояния при снижении работоспособности и оценить степень влияния отказов.

5. Предложены методы анализа ДМ ИУ ГЭУ на основе теории графов и теории чувствительности, которые позволяют определить совокупность оцениваемых диагностических показателей (т.е. выбрать контрольные точки), построить алгоритм и программу вычисления чувствительности функции передачи по частотным характеристикам. Построены алгоритмы поиска причин снижения работоспособности и определения достоверности процедуры диагностирования ИУ ГЭУ.

6. Приведены математические модели элементов ИУ ГЭУ переменного тока в разных системных координатах, на основе которых можно построить диагностические модели в САПР Orcad.

7. Разработаны диагностические модели ИУ ГЭУ переменного тока, которые позволяют имитировать возможные дефекты его элементов и исследовать их влияние на степень работоспособности ИУ ГЭУ.

8. Все решенные вопросы направлены на ближайшее практическое внедрение полученных в диссертации результатов к разработке нового перспективного направления при решении

задачи диагностического обеспечения не только для исполнительного устройства гребной электрической установки переменного тока, но и для судовых электроприводов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

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

2. Та Тхань Хай. Использование метода чувствительности функции передачи для анализа диагностической модели гребной электрической установки [Текст] / Та Тхань Хай, Калявин В.П., Нгуен Ван Чьен // Приборостроение. – СПб., 2012. – Вып.5. – С.29-33.

3. Та Тхань Хай. Применение теории чувствительности функции передачи для разработки диагностического обеспечения исполнительного устройства гребной электрической установки [Текст] / Калявин В.П., Бруслиновский Б.В., Та Тхань Хай // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – СПб., 2012. – Вып.9. – С.70-75.

Свидетельства регистрации программы ЭВМ:

4. Та Тхань Хай. Программный комплекс для расчета частотных характеристик функций передачи и ранжирования диагностических параметров исполнительного устройства гребной электрической установки / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012619612, Москва 24 октября 2012 г.

Другие статьи и конференции:

5. Та Тхань Хай. Применение теории чувствительностей функции передачи для разработки диагностического обеспечения исполнительного устройства гребной электрической установки постоянного тока [Текст] / Та Тхань Хай // Материалы XXVIII международ. межвуз. школы-семинара. «Методы и средства диагностики в технике и социуме», 3 – 8 октября. Иваново-Франковск, 2011 г.

6. Та Тхань Хай. Построение и анализ диагностической модели исполнительного устройства гребной электрической установки переменного тока / [Текст] / Та Тхань Хай // Материалы I всероссийского конгресса молодых ученых, 10 – 13 апреля. Санкт-Петербург, 2012г.

7. Та Тхань Хай. Построение и анализ диагностической модели исполнительного устройства гребной электрической установки переменного тока / [Текст] / Та Тхань Хай // Материалы всероссийской научно – практической конференции. «Энергосбережение в промышленности». г. Чебоксары, 2012г.

8. Та Тхань Хай. Диагностическая модель исполнительного устройства гребной электрической установки постоянного тока / 64-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета СПбГЭТУ (ЛЭТИ) 25 января – 5 февраля 2011 г.

9. Та Тхань Хай. Диагностическая модель исполнительного устройства гребной электрической установки переменного тока / 65-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета СПбГЭТУ (ЛЭТИ) 24 января – 4 февраля 2012 г.