

Авторефер.

Ф 33

Одесский технологический институт пищевой
промышленности им. М. В. Ломоносова

На правах рукописи

ФЕДОРОВ Леонид Константинович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ВАЛОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ
ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЛОВА
И ПЕРЕРАБОТКИ РЫБЫ

Специальность 05.13.07 – автоматическое управление
в регулировании, управление технологическими про-
цессами (промышленность)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Пересушен 1984

Одесса - 1981

Работа выполнена в Одесском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте на кафедре автоматики и телемеханики.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - доктор технических наук,
профессор И.И.КРИНЕЦКИЙ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ - доктор технических наук,
профессор М.М.КРАСНОШАПКА

ОНАХТ 25.05.12
Исследование и разра



v013669

- кандидат технических наук,
доцент Ю.В.КОСЕНКО

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ - Черноморское рыбопромышленное про-
изводственное объединение
"Антарктика"

Защита состоится "30" октября 1981 г. в 14⁰⁰ час.
на заседании специализированного совета Д 068.35.01 при Одес-
ском технологическом институте пищевой промышленности им.М.В.Ломо-
носова по адресу: 270039 г.Одесса, ул.Свердлова, 112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
технологического института пищевой промышленности им.М.В.Ломоно-
сова.

Автореферат разослан "29" сентября 1981 г.

секретарь
совета

А.Ф.ЗАГИБАЛОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для решения задач, поставленных XXVI съездом КПСС перед рыбной промышленностью "увеличение выпуска товарной пищевой рыбной продукции на 30-32 процента, повышения производительности труда в рыбной промышленности на 16-18 процентов", необходимо добиваться не только наиболее полного и рационального использования машин и оборудования, но и создавать новое, автоматизированное, высокоэкономичное, которое бы способствовало решению центральных задач научно-технического прогресса: снижению металлоемкости, экономии топлива и энергии, повышению производительности труда. Условия работы рыбопромышленного судна на промысле позволяет его рассматривать как технологическую единицу общего технологического процесса (ТП) добычи и переработки рыбы в готовую продукцию.

Возросшие мощности оборудования технологических линий определили новые задачи как к качественным показателям параметров электроэнергии (частота и напряжение), производимой валогенераторами переменного тока, так и к экономичной эксплуатации главного источника механической энергии технологического процесса рыбопромышленного судна на промысле. Решение этих задач при создании в настоящее время перспективных вариантов отечественных комплексно автоматизированных систем энергоснабжения технологического процесса выдвинуло на первый план как особо значимую и актуальную проблему разработки автоматически управляемых валогенераторов переменного тока, позволяющих на промысле эксплуатировать главный судовой дизель на экономичных режимах по расходу топлива.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является исследование, разработка и выдача технического задания

1
v013669
ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШ-
ЛЕННОСТИ ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

на перспективный вариант автоматически управляемого валогенератора переменного тока в рациональной системе энергоснабжения технологического процесса рыбопромыслового судна с винтом регулируемого шага (ВРШ) в условиях промыслового лова и переработки рыбы, который позволяет решить вопрос экономичной эксплуатации главного источника механической энергии. При выполнении диссертационной работы были поставлены следующие задачи: 1) определение влияния изменения частоты тока производимой электроэнергии валогенератором переменного тока на производительность технологических линий добычи и переработки рыбы; 2) научный поиск рационального типа автоматически управляемого валогенератора переменного тока обеспечивающего экономичную эксплуатацию по расходу топлива главного источника механической энергии технологического процесса добычи и переработки рыбы рыбопромыслового судна на промысле; 3) исследование предложенного варианта рационального валогенератора переменного тока как объекта автоматического регулирования в системе энергоснабжения технологического процесса рыбопромыслового судна; 4) исследование и разработка структуры системы автоматического управления (САУ) частоты тока рационального варианта валогенератора, качественные показатели которой удовлетворяют требования технологического процесса.

Методика выполнения исследования. Для решения поставленных задач принята следующая методика исследования: 1) теоретические разработки на базе анализа научно-технической литературы; 2) экспериментальные исследования действующей стендовой установки в условиях близких к реальным; 3) моделирование на аналоговой вычислительной машине.

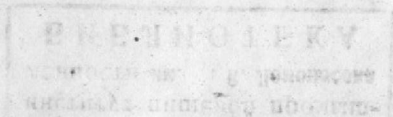
Научная новизна работы: Предложена методика анализа энергопотоков полезных мощностей СБВГ на основе теории механических

дифференциалов, а также математические зависимости, позволяющие определить величину полезной мощности на валу машины опоры в зависимости от диапазона изменения угловой скорости вращения винта рыбопромыслового судна и ее необходимые регулировочные свойства.

2. Получено математическое описание синхронного биротативного валогенератора (СБВГ) как объекта управления по частоте при энергопотоке дифференциальной мощности, замкнутом на вход и выход объекта. Составлены структурные схемы объекта и определены передаточные функции по задающему и возмущающим воздействиям, учитывающим особенности работы рыбопромыслового судна на промысле.

3. Исследована и разработана структура САУ синхронного биротативного валогенератора (СБВГ), обеспечивающая высокие качественные показатели параметров производимой электроэнергии (частоты тока и напряжения) в наиболее тяжелых условиях работы рыбопромыслового судна.

Практическая ценность. Выполненные исследования позволяют физически реализовать комплексно автоматизированные системы энергоснабжения рыбопромысловых судов на промысле с СБВГ мощностью до 2500 кВт на базе изготавливаемых отечественной промышленностью электромагнитных муфт скольжения типа ИМС и любого типа синхронных генераторов морского исполнения с номинальной частотой вращения вала 1500-3000 об/мин, отвечающих требованиям Регистра СССР к судовому электрооборудованию. В качестве машин опоры и обмена используются серийно выпускаемые тяговые электрические машины типа ГПА. Комбинированный регулятор частоты тока СБВГ физически реализуется на элементах общепромышленного изготовления, а для автоматического регулирования напряжения может быть



использован обчный регулятор напряжения.

Реализация работы в промышленности. Результаты диссертационной работы использованы Черноморским Центральным проектно-конструкторским бюро, Черноморское ордена Ленина Морское пароходство, при проектировании серии из 20 судов. Экономический эффект от внедрения СБВГ на эту серию судов составляет 115 тыс.рублей в год. Разработанные математические модели объекта автоматического управления по частоте тока и рациональная структура САУ СБВГ являются начальным этапом разработок комплексно автоматизированной системы энергоснабжения технологического процесса (ТП) добычи и переработки рыбы супертраулеров перспективной постройки, проводимых в Черноморском рыбопромышленном производственном объединении (ЧПОП) "Антарктика".

Апробация работы. Научные результаты диссертационной работы обсуждались и получили одобрение: 1. На всесоюзной конференции по проблемам автоматизации морских судов (г.Одесса, май 1970г.) 2. На отчетных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Одесского политехнического института (г.Одесса, 1970-1976 гг. XXXII-XXXIX конф.) 3. На объединенном заседании кафедр: Автоматика и телемеханика ОПИ; Автоматика и вычислительная техника ОИИМФ; Автоматизация холодильных и криогенных установок ОТИП; Судовое электрооборудование и электроавтоматика ОБИМУ (Одесса, май 1976 г.). 4. На семинаре "Комиссия ЮНЦ УССР по проблемам Кибернетика морских судов и портовых устройств" (Одесса, февраль 1978 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации отражено в 5-ти научно-технических публикациях и одном авторском свидетельстве (1-6).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений.

Диссертация содержит 151 страницу машинописного текста, 54 рисунка, 6 таблиц, трех приложений на 38 страницах, иллюстрированных 26 рисунками, которые содержат материалы и акт стендовых испытаний СБВГ и акт внедрения СБВГ, списка литературы, включающего 154 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В первой главе показана необходимость рассмотрения системы энергоснабжения рыбопромыслового судна на промысле как единого целого, неотделимого от технологического процесса. В результате исследования систем энергоснабжения рыбопромысловых судов с ВРШ типа "Тропик", "Атлантик", супертраулер "Атлантик" и "Баренцево море", установлено, что в условиях промыслового лова и переработки рыбы при резко переменных скоростях движения судна и работе главного источника механической энергии технологического процесса на долевых нагрузках не представляется возможным эксплуатировать главный судовой дизель на экономичных режимах по расходу топлива из-за включенного на шину синхронного валогенератора, так как необходимым условием его работы является фиксированная частота вращении вала главного судового дизеля. Рассмотрены вопросы влияния изменения частоты тока электроэнергии, производимой синхронным валогенератором, на работу оборудования технологических линий. Допустимое отклонение по частоте тока ($50 \pm 2,5$ Гц) в рассмотренных системах энергоснабжения значительно снижает производительность, мощность технологических линий, увеличивает массогабаритные показатели оборудования. При тралении в штормовых условиях возмущающие воздействия, обусловленные волнением моря и качкой рыбопромыслового судна, передаются не-

посредственно через синхронный валогенератор в сеть к потребителям электроэнергии технологических линий, что отрицательно сказывается на работу оборудования и качественные показатели производимой рыбы продукции. В результате выполненного в работе научного поиска и сравнительного анализа валогенераторов переменного тока рыбопромысловых и транспортных судов установлено, что одним из перспективных направлений по решению этого вопроса является использование в качестве валогенератора переменного тока автоматически управляемых синхронных биротативных машин (СБМ). Технико-экономические показатели СБВГ сравниваются с показателями судовых реальных валогенераторов переменного тока, физически реализованных по системе генератор-двигатель постоянного тока - синхронный генератор; электромагнитная муфта скольжения - синхронный генератор (ЭМС-СГ); кпд СБВГ в этом случае для диапазона изменения угловой скорости вращения винта рыбопромыслового судна равного $(0,78-1,03)\omega$, в среднем выше на 25-30%, удельная масса СБВГ меньше на 40-60%. Себестоимость электроэнергии, производимой СБВГ, ниже на 15-20%. Ежегодная экономия от внедрения СБВГ только мощностью 12 кВт составляет до 6000 рублей в год.

В первой главе сформулированы основные требования ТП добычи и переработки рыбы к качественным показателям САУ частоты тока, определены основные направления по разработке комплексно автоматизированных систем энергоснабжения технологического процесса рыбопромысловых судов на промысле. Глава заканчивается формулировкой основных задач, выводами и рекомендациями.

Во второй главе исследуются энергетические показатели дифференциального контура регулирования частоты тока СБВГ в зависимости от диапазона изменения частоты вращения винта рыбопромыслового судна на промысле. При этом биротативные машины (БМ) пе-

ременного тока можно рассматривать как "трехзвенный механический дифференциал", в котором происходит алгебраическое суммирование подведенных мощностей и угловых скоростей вращения валов. Поэтому для исследования энергетических показателей СБВГ применяется метод расчета электромеханических передач дифференциальных редукторов. При анализе энергопотоков мощностей СБВГ считаем, что СБВГ работает в установившемся режиме с номинальной нагрузкой, при этом на выходе поддерживаются регуляторами частоты и напряжения номинальные значения регулируемых параметров производимой электроэнергии: $P_{ном} = const; I_{ном} = const; f = const; U = const$. Задавшись диапазоном изменения угловой скорости вращения первичного вала СБВГ - винта рыбопромыслового судна $\gamma = \frac{\omega_{min}}{\omega_{max}}$ можно определить величину мощности машины опоры на вторичном валу СБВГ. В СБВГ с энергопотоком дифференциальной мощности, замкнутым на вход объекта для заданного γ , полезная мощность машины опоры на вторичном валу будет равна: $P_2 = \pm \frac{1-\gamma}{1+\gamma} P_{ном}; M_2 = M_{эм}$, (I) где знаки минус и плюс относятся к минимальной ω_{min} и максимальной ω_{max} угловых скоростей вращения первичного вала (винта рыбопромыслового судна). В СБВГ с энергопотоком дифференциальной мощности, замкнутым на выход объекта, величина полезной мощности машины опоры на вторичном валу для заданного диапазона γ равна:

1) при подсинхронной угловой скорости вращения первичного вала,

$$\omega_{min} < \omega_0: P_{2min} = \frac{1-\gamma}{1+\gamma} P_{ном}; M_{2min} = \frac{2}{1+\gamma} M_{эм}, \quad (2)$$

2) при сверхсинхронной угловой скорости вращения первичного вала,

$$\omega_{max} > \omega_0: P_{2max} = -\frac{1-\gamma}{1+\gamma} P_{ном}; M_{2max} = \frac{2\gamma}{1+\gamma} M_{эм}. \quad (3)$$

Полученные формулы (I)-(3) позволяют определить в дифференциальном контуре регулирования частоты тока величину полезной мощности машины опоры, а также ее необходимые регулировочные

свойства в зависимости от того, как в СБВГ замкнут энергопоток дифференциальной мощности. Для определения величины полной мощности машины опоры в дифференциальном контуре регулирования частоты тока СБВГ необходимо учитывать величину потерь в якровой цепи и кд редуктора на вторичном валу. Глава заканчивается выводами и рекомендациями по расчету величин мощностей машины опоры и обмена в дифференциальном контуре регулирования частоты тока СБВГ в зависимости от диапазона изменения угловой скорости вращения первичного вала ω , обусловленного требованиями технологического процесса добычи и переработки рыбы.

В третьей главе определены исходные аналитические выражения и на их базе разработана математическая модель СБВГ как объекта автоматического управления по частоте тока, реализующая зависимость между основными параметрами СБВГ в комплексно автоматизированной системе энергоснабжения ТП рыбопромыслового судна на промысле. Исследования показали, что в СБВГ для инженерных методов расчета с достаточной степенью точности можно рассматривать каналы регулирования частоты и напряжения как автономные. Поэтому основное внимание было уделено исследованию СБВГ как объекта автоматического управления по частоте тока. Для получения математической модели объекта автоматического управления по частоте тока в дополнение к аналитическому методу был использован метод преобразования на основе структурных схем. Учитывая то, что СБВГ является сумматором подведенных к его валам механических мощностей, в качестве исходных уравнений динамики СБВГ используются уравнения баланса моментов, приложенных к первичному валу

$$J_{np} P \Delta \omega_1(P) = \Delta M_1(P) - \frac{\sqrt{3}U}{\omega_0} \Delta I_a(P), \quad (4)$$

вторичному валу

$$J_{np2} P \Delta \omega_2(P) = \Delta M_2(P) - \frac{\sqrt{3}U}{\omega_0} \Delta I_a(P), \quad (5)$$

и уравнение связи скоростей:

$$\Delta \omega(P) = \Delta \omega_1(P) \pm \Delta \omega_2(P), \quad (6)$$

где J_{np}, J_{np2} - приведенные моменты инерции всех маховых масс к ротору и статору СБВГ; $\Delta M_1, \Delta M_2$ - приращения механических моментов, приложенных к первичному и вторичному валам СБВГ; $\Delta M_{rot} = \Delta M_{ст} = \frac{\sqrt{3}U}{\omega_0} \Delta I_a$ - приращения моментов сопротивления ротора и статора СБВГ, создаваемых активной нагрузкой; $\Delta \omega, \Delta \omega_1, \Delta \omega_2$ - приращения угловых скоростей вращения электромагнитного поля, первичного и вторичного валов СБВГ; U - напряжение на выходе СБВГ, которое регулируется автономным регулятором напряжения общепромышленного изготовления. На рис. I показана силовая часть стендовой установки СБВГ с энергопотоком дифференциальной мощности, замкнутым на вход объекта с помощью электрических машин постоянного тока независимого возбуждения (машины обмена "а" и машины опоры "в").

В результате аналитических и экспериментальных исследований, проведенных в диссертационной работе, установлено, что динамика СБВГ по частоте тока описывается нелинейными уравнениями, которые при заданных скоростях движения рыбопромыслового судна (самый малый, малый, средний поный и самый полный) представляется воз-

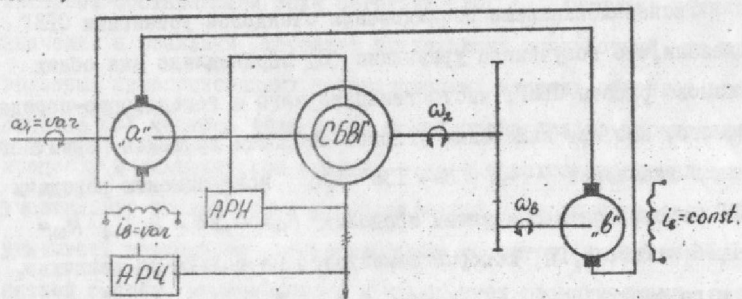


Рис. I АРН - регулятор напряжения; АРЧ - регулятор частоты тока,

можном линеаризовать. Линеаризуя и переходя к операторной форме записи, получаем систему линейных уравнений с переменными параметрами (коэффициентами линеаризации):

$$\left. \begin{aligned} \int_{n_2} i_p \rho \Delta \omega_2(p) &= \pm K_{\Phi} \Delta I_{\alpha}(p) \mp \frac{\sqrt{3}U}{i_p \omega_0} \Delta I_{\alpha}(p); \\ \Delta E_{\alpha}(p) &= K_{\Phi} i_p \Delta \omega_2(p) + R_{\alpha} \Delta I_{\alpha}(p) + L_{\alpha} p \Delta I_{\alpha}(p); \\ \Delta E_{\beta}(p) &= \left(\frac{\partial E_{\beta}}{\partial i_{\beta}}\right)_0 \Delta i_{\beta}(p) + \left(\frac{\partial E_{\beta}}{\partial \omega_1}\right)_0 \Delta \omega_1(p); \\ \Delta U_{\beta}(p) &= \gamma_{\beta} \Delta i_{\beta}(p) + L_{\beta} p \Delta i_{\beta}(p); \\ \Delta \omega(p) &= \Delta \omega_1(p) \pm \Delta \omega_2(p); \\ \Delta f(p) &= m_n \Delta \omega_1(p) \pm m_n \Delta \omega_2(p), \end{aligned} \right\} (7)$$

Преобразовав систему уравнений (7), получим линеаризованное уравнение динамики СБВГ по частоте тока в отклонениях переменных с переменными коэффициентами:

$$(a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3) \Delta f(p) = K_a K_{\beta} \Delta U_{\beta}(p) + (b_0 p^3 + b_1 p^2 + b_2 p + b_3) m_n \Delta \omega_1(p) - K_{i_a} (c_0 p^2 + c_1 p + 1) \Delta I_{\alpha}(p), \quad (8)$$

где $a_0 = T_{\alpha m} T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $a_1 = T_{\alpha m} T_{\alpha} + T_{\alpha m} T_{\alpha c}$; $a_2 = T_{\alpha m} + T_{\alpha}$; $b_0 = T_{\alpha m} T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $b_1 = T_{\alpha m} T_{\alpha} + T_{\alpha m} T_{\alpha c}$; $b_2 = T_{\alpha m} + (1 + K_{\omega} K_{\beta}) T_{\alpha}$; $b_3 = 1 \pm K_{\omega} K_{\beta}$; $c_0 = T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $c_1 = T_{\alpha} + T_{\alpha c}$;
 K_{β} - коэффициент передачи машины опоры СБВГ по напряжению, Гц/В;
 K_{i_a} - коэффициент передачи СБВГ по активной составляющей тока нагрузки, Гц/А; $T_{\alpha m}$ - электромеханическая постоянная времени машины опоры на вторичном валу СБВГ, с.

Экспериментальные исследования стендовой установки СБВГ показали, что полученное уравнение (8) справедливо для обоих режимов работы СБВГ; чисто генераторного и генераторно-передаточного, что при изменении угловой скорости вращения первичного вала в диапазоне $\omega_1 = 84 - 130$ 1/с коэффициенты передачи СБВГ изменяются в следующих пределах $K_a = 0,57 - 2,2$; $K_{\omega} = -1,36 - 1,58$ В/Гц, который изменяется не только по величине, но и по знаку.

В результате исследований в работе также была разработана

математическая модель СБВГ по частоте тока с энергопотоком дифференциальной мощности, замкнутым на выход объекта. Динамика СБВГ по частоте тока при замыкании энергопотока дифференциальной мощности на выход объекта с помощью электрической машины постоянного тока (машины опоры "в") независимого возбуждения и реверсивного управляемого тиристорного преобразователя (УРТП), описывается следующим линеаризованным уравнением в отклонениях переменных с переменными коэффициентами:

$$(a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4) \Delta f(p) = -K_{i_a} (b_0 p^3 + b_1 p^2 + b_2 p + b_3) \Delta I_{\alpha} + K_{\beta} (1 + T_{\alpha m} p) [K_1 + K_2 (1 + T_{\alpha} p)] \Delta U_{\beta}(p) - K_{\alpha} K_{\beta} \Delta U_{\beta}(p) + (a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4) m_n \Delta \omega_1(p), \quad (9)$$

где $a_0 = T_{\beta} T_{\alpha m} T_{\alpha m} T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $a_1 = T_{\beta} T_{\alpha m} T_{\alpha m} + T_{\alpha m} T_{\alpha m} T_{\alpha} + T_{\beta} T_{\alpha m} T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $a_2 = T_{\alpha m} T_{\alpha m} + T_{\alpha m} T_{\beta} + T_{\beta} T_{\alpha m} + T_{\alpha m} T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $a_3 = T_{\alpha m} + T_{\beta} + T_{\alpha m}$; $b_0 = T_{\alpha m} T_{\beta} T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $b_1 = T_{\beta} T_{\alpha m} + T_{\beta} T_{\alpha} + T_{\alpha m} T_{\alpha} T_{\alpha c}$; $b_2 = T_{\beta} + T_{\alpha m} + T_{\alpha} T_{\alpha c}$;
 K_{α} - передаточный коэффициент УРТП; K_{i_a} - коэффициент передачи СБВГ по активной составляющей тока нагрузки, Гц/А; K_{β} - коэффициент передачи по току якорной цепи машины опоры СБВГ; K_{β} - коэффициент передачи по напряжению машины опоры СБВГ, Во/В. Полученная модель объекта по частоте тока учитывает действие на объект изменения угловой скорости вращения первичного вала ω_1 и активной составляющей тока нагрузки СБВГ I_{α} . Учитывая принятые значения и реальный характер возмущающих воздействий, на приведенных линеаризованных математических моделях объектов при синтезе САУ частоты тока можно исследовать только переходные процессы и динамические ошибки, т.к. они захватывают малые участки. Для исследования установившихся состояний необходимо учитывать нелинейные характеристики объектов (насыщение магнитной системы машины обмена и опоры, учет реакции якоря, перемножение магнитного потока и угловой скорости вращения якорей машины опоры и обмена). Анализ разработанных математических

моделей СБВГ показал, что разработку САУ частоты тока необходимо проводить по двум направлениям: 1) с контуром дифференциальной мощности, замкнутым на вход объекта; 2) с контуром дифференциальной мощности, замкнутым на выход объекта. Достоверность разработанных математических моделей объекта подтверждается с помощью математического моделирования на аналоговой вычислительной машине и экспериментально, путем снятия осциллограмм переходных функций объекта по частоте тока на стендовой установке СБВГ мощностью 3 кВт со "скоростным нулевым" режимом на валу машины опоры - вторичном валу СБВГ. На аналоговой вычислительной машине получены также переходные функции объекта автоматического управления по частоте мощностью 12 и 1500 кВт.

Анализ статических и динамических характеристик стендовой установки СБВГ показал, что данная физическая модель объекта автоматического управления по частоте тока в достаточной степени адекватна реальным установкам, поэтому полученные научные результаты могут быть успешно использованы для разработок перспективных вариантов автоматически управляемых СБВГ различных мощностей.

В четвертой главе исследованы основные возмущающие воздействия, действующие на СБВГ, обусловленные ТП добычи и переработки рыбы, рассмотрены их характерные особенности в штормовых условиях работы рыбопромыслового судна. Приведены результаты исследования комбинированной САУ частоты тока СБВГ с энергопотокм дифференциальной мощности, замкнутым на вход объекта, исследована возможность реализуемости условия абсолютной инвариантности, выполнен синтез контура регулирования по отклонению частоты тока из условия обеспечения оптимального переходного процесса, определены условия физической реализации частичной инвариантности исходя из требований ТП добычи и переработки рыбы к качественным показателям

частоты тока. Показано, что нескорректированная САУ по отклонению частоты тока, состоящая из функционально необходимых элементов (элемент задания на "скоростной нулевой" режим машины опоры вторичного вала СБВГ, датчик частоты тока с полосовым фильтром, реверсивный магнитно-транзисторный усилитель, ЭМУ (реверсивный трехфазный магнитный усилитель с выходом на постоянном токе) по качественным показателям и частоте тока не обеспечивает Требования Регистра СССР: статическая ошибка значительно превышает $\pm 2,5$ Гц, при коэффициенте усиления разомкнутой системы $K_p = 4$ наблюдается колебательный переходный процесс, система находится на границе устойчивости.

Установлено, что исследуемый класс систем стабилизации частоты тока СБВГ обладает признаком реализуемости условия абсолютной инвариантности, сформулированным академиком Б.Н.Петровым, принципом двухканальности. Проведенные исследования по вопросу возможности достижения абсолютной инвариантности частоты тока в СБВГ относительно возмущающих воздействий $\omega_1(t)$ и $I_a(t)$ выполненные с помощью структурных схем и передаточных функций показали, что для удовлетворения условий абсолютной инвариантности в исследуемой САУ частоты тока необходимо реализовать следующие передаточные функции компенсирующих устройств: а) по угловой скорости вращения вала рыбопромыслового судна - первичного вала СБВГ $\omega_1(t)$: $W_{K_1}(p) = K_{K_1}(m_0 p^5 + m_1 p^4 + m_2 p^3 + m_3 p^2 + m_4 p + 1)$, (11) б) по активной составляющей тока нагрузки потребителей технологических линий $I_a(t)$: $W_{K_2}(p) = K_{K_2}(n_0 p^4 + n_1 p^3 + n_2 p^2 + n_3 p + 1)$, (12) Вследствие неизбежности инерционных свойств дифференцирующих устройств получить чистые производные не представляется возможным. Поэтому в разрабатываемой комбинированной САУ частоты тока рассмотрены вопросы физической реализации условия частичной ин-

вариантности.

Невыполнение условия абсолютной инвариантности регулируемой координаты от возмущающих воздействий $\omega_1(t)$ и $I_a(t)$ свидетельствует о том, что переходные составляющие, вызванные этими возмущающими воздействиями, полностью не устраняются с помощью компенсирующих устройств. Поэтому при разработке высококачественной САУ частоты тока СБВГ устранение этих ошибок так же как и устранение ошибок, вызванных второстепенными возмущающими воздействиями, должно быть выполнено замкнутой частью комбинированной САУ, контуром регулирования по отклонению. Возникает необходимость формирования замкнутого контура регулирования так, чтобы отклонение частоты тока при свободном движении системы было минимальным.

Установлено, что наиболее тяжелым режимом работы разрабатываемой комбинированной САУ частоты тока ТП добычи и переработки рыбы является режим траления рыбопромыслового судна в штормовых условиях, когда угловая скорость вращения винта $\omega(t)$ из-за качки судна изменяется по периодическому и более сложному закону. Для испытания разрабатываемой САУ частоты тока при анализе был использован гармонический закон изменения $\omega(t)$. Изменения угловой скорости вращения винта аппроксимировано периодической функцией, амплитуда которой зависит от диапазона срабатывания предельного регулятора главного судового двигателя:

$$\omega_{пер} = \omega_{зад} \pm \Omega_{max} \sin \omega_k t, \quad (13)$$

где $\omega_{зад}$ - заданная угловая скорость вращения первичного вала СБВГ, обусловленная скоростью хода рыбопромыслового судна при тралении; $\Omega_{max} = \pm (0,05 - 0,1) \omega_{зад}$ - максимальное отклонение угловой скорости вращения первичного вала СБВГ от заданной в штормовых условиях движения рыбопромыслового судна; $\omega_k = 0,56 - 1,67$ 1/с - частота изменения угловой скорости вращения винта ры-

бпромыслового судна.

В линеаризованной системе стабилизации частоты тока СБВГ при гармоническом изменении угловой скорости вращения первичного вала ошибка в стационарном режиме работы системы будет также изменяться по гармоническому закону. Поэтому для разработки САУ частоты тока СБВГ, обеспечивающую заданную точность на основании Требования Регистра СССР при гармоническом изменении $\omega(t)$, необходимо, чтобы система обладала полосой пропускания гармонического сигнала амплитудой A_k при заданной угловой скорости вращения первичного вала ω_k . Величина ошибки регулируемой координаты относительно $\omega_1(t)$ определяется следующим соотношением:

$$\frac{\Delta f_{пер}}{M_n \Delta \omega_{пер}} = \frac{W_{\omega_1}(j\omega_k)}{1 + W_{np}(j\omega_k)W_{oc}(j\omega_k)}, \quad (14)$$

где $W_{\omega_1}(j\omega_k)$ - передаточная функция системы относительно возмущающего воздействия $\omega_1(t)$.

Пользуясь условием, что амплитуда ошибки регулируемой координаты значительно меньше амплитуды возмущающего воздействия $\Delta f_{max} \ll M_n \Delta \omega_{max}$ выражение (14) заменим приближенным

$$\Delta f_{max} = \frac{\Delta f_{max}}{A_k(\omega_k)}, \quad (15)$$

где $\Delta f_{max} = M_n \Delta \Omega_{max}$ - максимальное отклонение частоты СБВГ по угловой скорости вращения первичного вала; $A_k(\omega_k)$ - модуль частотной передаточной функции разомкнутой системы при $\omega = \omega_k$.

Соотношение (15) позволяет определить амплитуду ошибки в стационарном равновесии системы при гармоническом изменении $\omega(t)$.

Используя его при расчете замкнутого контура САУ частоты тока СБВГ методом логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ) определяем необходимую полосу пропускания исследуемой линеаризованной САУ для заданного диапазона изменения угловой скорости вращения винта рыбопромыслового судна (штормовые условия).

с. 6 v 013 669

Одесский технический институт пищевой промышленности им. М. Б. Демидова

Установлено, что для переходного процесса близкого к оптимальному желаемая ЛАЧХ замкнутого контура регулирования по отклонению частоты тока должна проходить на +3 дБ выше запретной области, обеспечив при синтезе в области частоты среза наклон ЛАЧХ -20 дБ/дек. В исследуемой системе стабилизации частоты тока СБВГ синтез корректирующего устройства был выполнен с помощью линейной обратной связи, путем охвата нелинейного элемента системы машины обмена. Использование местной линейной гибкой обратной связи вида $W_{oc}(p) = \frac{K_{oc} p}{T_{oc} p + 1}$ позволило получить переходный процесс, близкий к оптимальному, для одного режима скорости движения судна и увеличить коэффициент усиления разомкнутой системы на величину порядка $K_p = 5 - 11$.

В результате аналитических и экспериментальных исследований разработана структура комбинированной САУ частоты тока СБВГ, которая обладает высокими качественными показателями, рис. 2.



где $W_1(p) = K_1$; $W_2(p) = \frac{K_2}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}$; $W_3(p) = \frac{K_3}{T_3 p + 1}$; $W_4(p) = \frac{K_4}{(T_4 p + 1)(T_5 p + 1)}$;

$W_{oc}(p) = \frac{K_{oc}(T_{oc} p + 1)}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}$; $W_{oa}(p) = \frac{K_{oa}(T_{oa} p + 1)}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}$; $W_{oa}(p) = \frac{K_{oa} p}{T_{oa} p + 1}$; $W_{oc}(p) = K_{oc}$;

На основании разработанной структуры комбинированной САУ частоты тока СБВГ, рис. 2, был изготовлен регулятор с частичной

компенсацией вынужденных составляющих по $\omega_1(t)$ и $I_a(t)$. Передаточные функции компенсирующих устройств:

$$W_{k_1}(p) = \frac{K_{k_1}}{K_1 K_2 K_3 K_4}; \quad W_{k_2}(p) = \frac{K_{k_2}}{K_1 K_2 K_3 K_4}$$

В регуляторе частоты тока реализован следующий закон управления: $\sum U = -K_f \Delta f + K_{k_{\omega_1}} \Delta \omega_1 + K_{k_{I_a}} \Delta I_a - \frac{K_{oc} p}{T_{oc} p + 1} \Delta E$. (16)

Экспериментальные исследования регулятора частоты тока СБВГ под нагрузкой показали, что в установившемся режиме работы:

- 1) при подсинхронной угловой скорости вращения первичного вала $\omega_1 = 81$ I/c $\Delta f_{cm} = -0,5$ Гц;
- 2) при сверхсинхронной угловой скорости вращения первичного вала $\omega_1 = 126$ I/c $\Delta f_{cm} = +0,6$ Гц.

При изменении угловой скорости вращения винта рыбопромыслового судна - первичного вала СБВГ от $\omega_{1, \min} = 81$ I/c до $\omega_{1, \max} = 112$ I/c по экспоненциальному закону с постоянной времени $t_{экр} = 2,6$ с максимальное отклонение частоты $\Delta f_{max} = 2,6$ Гц, статическая ошибка $\Delta f_{cm} = +0,54$ Гц, время переходного процесса $t_n = 3,4$ с.

Для проверки качественных показателей регулятора частоты тока СБВГ в штормовых условиях работы рыбопромыслового судна на стендовой установке производились изменения угловой скорости вращения первичного вала СБВГ по гармоническому закону.

Результаты анализа осциллограммы ошибок по отклонению частоты тока на выходе исследуемой САУ СБВГ при гармоническом изменении $\omega(t)$ приведены в таблице № 1.

Наибольшая амплитуда отклонения частоты тока в исследуемой системе наблюдается при $T = 11,2$ с как на холостом ходу СБВГ, так и под нагрузкой. Это позволяет сделать вывод о том, что в рассматриваемом классе систем, с увеличением периода качки рыбопромыслового судна увеличивается ошибка на выходе САУ частоты тока СБВГ. При работе СБВГ под нагрузкой ошибка на выходе ис-

следуемой системы больше, чем на холостом ходу.

Таблица I.

СБВГ на холостом ходу					
N	на входе системы			на выходе системы	
	T	$\omega_{ик}$	$\pm f_{сик}$	$\pm \Delta f_{мак}$	$\Delta f_{сво}$
n	c	I/c	I/c	Гц	Гц
1	11,2	0,56	14,6	0,82	0,518
2	7,6	0,83	12	0,65	0,486
3	4,7	1,34	9,2	0,51	0,442
СБВГ под нагрузкой					
1	11,2	0,56	14,6	0,87	0,536
2	7,6	0,83	12	0,71	0,498
3	4,7	1,34	9,2	0,58	0,463

Результаты экспериментальных исследований стендовой установки СБВГ показали, что комбинированный регулятор частоты тока с частичной компенсацией вынужденных составляющих по возмущающим воздействиям $\omega_r(t)$ и $I_a(t)$ по качественным показателям производимой электроэнергии значительно превосходит регуляторы частоты тока ТП добычи и переработки рыбы существующих рыбопромысловых судов. Учитывая то, что в перспективе должны быть повышены требования к качественным показателям САУ частоты тока валогенераторов рыбопромысловых судов, предлагается, с целью уменьшения влияния изменения $\omega_r(t)$ в штормовых условиях промысла на мощностные показатели оборудования технологических линий и качественные показатели технологического процесса, в разработанную структуру комбинированной САУ частоты тока ввести в закон управления (16) компенсирующее устройство, устраняющее скоростную ошибку и ошибку по ускорению на вторичном валу СБВГ: $W_k(p) = K_k (\tau_0 p^2 + \zeta p + 1)$. Компенсирующее устройство $W_k(p)$ физически реализовано на базе операционных усилителей типа К1УТ401Б, К1УТ402А путем включения фазовопаздывающей пассивной корректирующей цепочки в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя.

Разработанная и экспериментально исследованная стендовая установка СБВГ с комбинированным регулятором частоты тока мощностью 3 кВт, позволила получить результаты, достаточно достоверные для оценки практической эффективности натуральных образцов СБВГ мощностью от 10 до 2500 кВт. На основании разработанной структуры комбинированной САУ частоты тока СБВГ на аналоговой вычислительной машине была исследована динамика СБВГ мощностью 1500 кВт.

Разработки по автоматически управляемому СБВГ мощностью 12 кВт внедрены в проекты группы судов Черноморским центральным проектно-конструкторским бюро, Черноморское ордена Ленина Морское пароходство. Техническое задание и рабочие чертежи СБВГ переданы для внедрения Советскому Дунайскому пароходству.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Показано на примере рыбопромысловых судов с ВРШ типа супертраулер "Атлантик" и "Баренцovo море", что САУ частоты тока валогенераторов из-за постоянной угловой скорости вращения винта рыбопромыслового судна по своим качественным и экономическим показателям не удовлетворяют требованиям ТП добычи и переработки рыб.
2. Установлено, что экономические показатели существующих САУ частоты тока валогенераторов рыбопромысловых судов могут быть повышены путем внедрения таких автоматически управляемых валогенераторов, которые позволяют эксплуатировать на промысле основной источник механической энергии - главный судовой дизель на экономичных режимах по расходу топлива (раздельное управление шагом и частотой вращения винта).
3. Доказано, что одним из перспективных направлений для решения проблемы экономичной эксплуатации главного судового дизеля рыбопромыслового судна с ВРШ на промысле является разработка

и внедрение автоматически управляемых СБВГ.

4. Разработаны математические модели СБВГ, как объекта управления.

5. Показано, что условия абсолютной инвариантности физически не реализуемы из-за нелинейных характеристик объекта управления, входящих в условие инвариантности и большого числа дифференцирующих устройств.

6. Экспериментальные исследования стендовой установки СБВГ с комбинированным регулятором частоты тона с частичной компенсацией вынужденных составляющих по возмущающим воздействиям показали высокие качественные показатели параметров производимой электрической энергии, установившаяся ошибка не превышала $\pm 0,6$ Гц, а максимальное отклонение частоты тока в динамических режимах составляло $\pm 8\%$ от номинального значения при времени затухания не более $t_n = 3,4$ с.

7. При увеличении требований к качеству электроэнергии, производимой СБВГ, рыбопромысловых судов с ВРШ, работающих в штормовых условиях, в разработанной структуре комбинированного регулятора частоты тока предлагается физически реализовать компенсацию переходной составляющей ошибки от изменения ω , (\pm) до первой и второй производимой.

8. Внедрение автоматически управляемого СБВГ в систему энергообеспечения ТП лова и переработки рыбы в готовую продукцию позволяет начать разработки по комплексной автоматизации этой системы.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Федоров Л.М. Валогенераторная установка с синхронным биротативным генератором (СБГ), -Одесса:Изд-во общ. "Знание", Всесоюзная конференция по проблемам автоматизации морских судов, тезисы докладов (часть II), 1970, 20-21с.

2. Пичугин Е.Д., Федоров Л.К. Установка отбора мощности с синхронным генератором биротативного типа. -Киев: Изд-во Киевского университета. Техническая кибернетика, 1970, №5, 97-101с.

3. Федоров Л.К., Пичугин Е.Д. Исследование динамики синхронного биротативного генератора как объекта управления. -Киев:Изд-во Киевского университета. Транспортная кибернетика, 1972, №1, 58-74с.

4. Федоров Л.К. Применение принципа инвариантности в комбинированной системе стабилизации частоты синхронного биротативного валогенератора. -Киев: Изд-во Киевского университета. Транспортная кибернетика, 1979, № 3, 60-67с.

5. Федоров Л.К., Бояр-Созонович С.П. Режимы работы биротативного генератора при переменной скорости вращения первичного двигателя. -Киев:Изд-во Техника, Электромашиностроение и электрооборудование, 1973, №16, 96-101с.

6. А.с. 334629 (СССР). Устройство для регулирования частоты асинхронного самовозбуждающегося генератора /Кузнецов А.А., Волошин В.В., Федоров Л.К. Оpubл. в Б.И., 1972, № 12.