

На правах рукописи

Нгуен Минь Дык

**КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПО ОПЕРАТИВНОМУ УПРАВЛЕНИЮ
ОБЪЕКТАМИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

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), на кафедре систем автоматического управления

Научный руководитель: Леута Алексей Александрович,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Ясаков Геннадий Серафимович,
доктор технических наук, профессор,
Военно-морская академия им. Адмирала Флота
Советского Союза Н. Г. Кузнецова,
заслуженный деятель науки РФ.

Бубнов Евгений Александрович,
кандидат технических наук,
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет, доцент ка-
федры корабельных систем управления.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный мор-
ской технический университет

Защита диссертации состоится «23» декабря 2013 года в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.238.05 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «22» ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.238.05

Белов Михаил Петрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Объекты судовой электроэнергетики относятся к классу сложных технических объектов, так как являются многокомпонентными и многоконтурными. Взаимодействие между компонентами происходит в различных режимах и характеризуется многими параметрами под управлением локальных систем автоматического регулирования и централизованных систем автоматизированного управления.

На протяжении многих лет автоматизации функций управления, контроля и регулирования параметров и защит судовых электроэнергетических объектов уделялось самое пристальное внимание. Постоянно совершенствовались элементная база и алгоритмы функционирования, о чем свидетельствуют труды Токарева Л.Н., Ясакова Г.С., Максимова Ю.И. и Павлюченкова А.М., Баранова А.П., Королевой Т.Н. и многих других ученых, разработчиков и создателей судовых объектов электроэнергетики. Однако безвахтенная эксплуатация таких объектов практически не осуществляется из-за возможности наступления очень опасных последствий. В функции оператора входит слежение за состоянием объекта в нормальных режимах и вмешательство в работу объекта в особых случаях и режимах. Оперативное управление такими ответственными объектами требует от операторов повышенной концентрации внимания, безошибочности принятия решений и их своевременного осуществления. Важнейшей задачей является локализация предаварийной и аварийной обстановки, поэтому в помощь операторам на автоматизированные рабочие места выводится необходимая для этого информация. Эволюция технических средств, выполняющих эту функцию, последовательно проходит этапы развития от приборных панелей и простых систем допускowego контроля к встраиваемым системам диагностики, с использованием традиционных технологий моделирования поведения объектов средствами классической теории управления. Это говорит об актуальности задачи оказания информационной поддержки операторам таких сложных и ответственных объектов.

Вместе с тем, зарождение и существование новой теории «нечетких» множеств (Fuzzy Sets), предложенной математиком Лотфи Заде в 1965 г., а так же ее развитие последователями (Мамдани (Mamdani), Ассилианом (Assilian), Холмбладом (Holmblad), Остергадом (Osregaad) и многими другими) в методы «нечеткой» логики и «нечеткого» вывода, дают основания для успешной реализации и автоматизации предполагаемой технологии имитации обработки информации человеком (оператором), который, при определенных условиях, и в большей части успешно, способен находить решения и осуществлять функции оперативного управления объектами любой сложности, не используя методы классической теории. Поскольку примеры использования новой теории в различных сферах деятельности доказывают ее эффективность и универсальность, есть основания надеяться на эффективность ее использования и в сфере судовой электроэнергетики в частности, при реализации функций управления или информационной поддержки принятия решений в оперативном управлении. Исследования и разработки в данном направлении могут найти применение не только в новых проектах судов, кораблей и других технических средств флота, но и на объектах уже находящихся в эксплуатации, подлежащих ремонту и модернизации.

Цель работы – снижение субъективных факторов в процессах оперативного управления объектами судовой электроэнергетики путем внедрения систем информационной поддержки операторов с автоматизацией функций сбора и обработки данных, анализа предшествующих, текущих состояний и перспективных событий и предоставления оператору оптимизированных рекомендаций к оперативным действиям

В диссертационной работе поставлены и решены следующие задачи:

1. Провести анализ режимных параметров систем и объектов судовой электроэнергетики с целью определения перечня параметров, необходимых для использования в системе информационной поддержке принятия решений по оперативному управлению объектом.

2. Разработать и проверить прототип математической модели для систем и объектов судовой электроэнергетики, способной непрерывно функционировать в условиях эксплуатации объектов, в составе систем информационной поддержки, и обеспечивать своевременную информационную поддержку оператора в оперативном управлении объектом, способствующую снижению аварийности и/или минимизации отрицательных последствий аварий. Для чего использовать метод формального описания параметров ввода и вывода данных, методы обработки данных и формирования выводов по оперативной оценке состояний и тенденций изменений, метод формирования вывода информации в виде сообщений оператору СОЭЭ.

3. Разработать алгоритм и аппаратно-программные средства реализации и проверки метода оперативной оценки состояний СОЭЭ для локализации предаварийной и аварийной обстановки.

Методика исследования. В работе использованы методы математического моделирования систем, описываемых дифференциальными уравнениями, методы теории нечетких систем, включая подразделы нечеткой логики и нечеткого вывода, методы структурного анализа и проектирования информационных систем, организации баз данных и принципы объектно-ориентированного программирования.

На защиту выносятся следующие научные результаты:

1. Прототип математических моделей сложных объектов судовой электроэнергетики с использованием методов теории нечетких систем.

2. Алгоритм реализации механизма теории нечеткого вывода и представления информации, на основе данных контроля и анализа режимных параметров.

3. Комплекс технических (аппаратно-программных) средств, реализующих алгоритмы контроля режимных параметров, анализа состояний и информационной поддержки принятия решений в оперативном управлении объектами судовой электроэнергетики.

Научная новизна работы содержится:

1) в построении, для сложных объектов судовой электроэнергетики, комплексных математических моделей с использованием методов теории нечетких систем, способных непрерывно функционировать в режиме эксплуатации объектов и, на основе анализа текущих значений режимных параметров, в реальном масштабе времени, формировать управляющие воздействия или информирующие, рекомендательные или управляющие сообщения для оперативного управления объектами.

2) в разработанном алгоритме реализации механизма теории нечеткого вывода и представления информации, на основе данных контроля и анализа режимных параметров, для информационной поддержки принятия решений в оперативном управлении объектами судовой электроэнергетики.

3) в разработанных структурных, схемотехнических и программных решениях для комплекса технических средств информационной поддержки принятия решений по оперативному управлению объектами судовой электроэнергетики с целью повышения эффективности и безаварийности их эксплуатации.

Практическая значимость работы. В ходе диссертационной работы получены следующие результаты:

1. Разработана и проверена методика моделирования функционирования нечеткой системы поддержки принятия решений (в управлении СЭЭО) с использованием одного информационного параметра на примере регулирования выходного напряжения и защитного отключения по отклонению напряжения от заданного диапазона), без использования формального описания на основе классической теории управления в виде дифференциальных уравнений и традиционных уравнений регуляторов.

2. Разработана и проверена методика нечеткого математического моделирования сложных многопараметрических компонентов и систем на их основе для функционирования многопараметрической нечеткой системы поддержки принятия решений (в управлении слож-

ным объектом) на примере статического преобразователя электроэнергии, с использованием параметров, в том числе не имеющих традиционного математического описания.

3. Показано, что методики, опробованные на данных примерах, могут быть распространены на такие объекты судовой электроэнергетики, как централизованные и распределенные системы вторичного электропитания аппаратуры судовых технических комплексов, СЭЭС, ГЭУ и т. п.

4. Разработаны, изготовлены и испытаны образцы аппаратно-программных средств отвечающих целям и задачам реализации метода анализа режимных параметров СЭЭО и оперативной информационной поддержки оператора. Метод основан на использовании теории нечеткой логики и нечеткого вывода о состоянии СЭЭО и алгоритма, реализующего функции контроля параметров, анализа состояний СЭЭО и информационной поддержки в оперативном управлении СЭЭО для снижения аварийности в процессе эксплуатации.

Полученные в работе результаты могут быть использованы на практике:

- при разработках систем управления и электроэнергетических объектов новых проектов судов и других средств флота;
- при модернизации уже находящихся или бывших в эксплуатации судов или технических средств;
- в учебном процессе, как при подготовке молодых специалистов, так и на курсах повышения квалификации работников промышленных и проектных предприятий, а также преподавателей.

Акт о внедрении и использовании результатов диссертационной работы в учебном процессе кафедры САУ ФЭА СПбГЭТУ «ЛЭТИ» дан в приложении.

Акт о внедрении и использовании результатов диссертационной работы в промышленном производстве приводится в приложении.

Апробация работы. Основные теоретические и практические результаты работы докладывались на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава кафедры САУ СПбГЭТУ (ЛЭТИ) в 2010, 2011 г.

Публикации. Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в 7 печатных работ, в том числе 5 в научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 статья в другом издании, 1 доклад на научно-технической конференции.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав основного материала, заключения, библиографического списка из 77 наименований и 7 приложений. Работа содержит 153 страниц (с приложениями) машинописного текста, включая 43 рисунка и 2 таблицы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы – обосновывается актуальность диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследования, перечисляются методы исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Первая глава диссертации посвящена анализу предпосылок и постановке задачи создания систем информационной поддержки операторов систем и объектов судовой электроэнергетики, а также исследованиям характерных объектов судовой электроэнергетики с целью анализа используемых технологий контроля их состояний, оценки качества функционирования, возможности обнаружения изменений предшествующих авариям.

Ввиду высокой ответственности систем и объектов судовой электроэнергетики за нормальную эксплуатацию судна, корабля или другого технического средства флота, эти объекты остаются под контролем дежурных операторов, несмотря на высокие достижения в их автоматизации. В процессе эксплуатации, роль оператора может существенно изменяться от простого наблюдения в нормальных режимах, до непосредственного вмешательства в управление объектом, в особых режимах изменений схемы коммутации компонентов, в предаварийных и в аварийных режимах.

Анализ схемы принятия решений в оперативном управлении судовыми электроэнергетическими объектами показывает, что оператор, используя предоставляемую ему информацию, навыки и опыт осуществляет анализ данных, оценку состояний и выбор решений, необходимых для осуществления возникающих задач таким образом, как это показано на рис. 1.



Рис. 1. Структура процесса принятия решений в оперативном управлении объектами судовой электроэнергетики

Математическую модель процесса выработки управляющих воздействий или рекомендаций $Y(P)$ можно описать в следующих выражениях:

$$Y(P) \in (Y_1, \dots, Y_k), \quad (1)$$

и

$$Y(P) = B_c\{C_1, \dots, C_n\} = B_c\{B_n\{P_1, \dots, P_m\}\}, \quad (2)$$

где: $C_{i=1..n} = B\{P_1, \dots, P_m\}$,

что означает: оператор выбирает одно из списка возможных управляющих воздействий и выбор (B_c) осуществляется на основе анализа состояний и ситуаций (C_i), которые определяются в результате контроля и оценки (B_n) поступающих от объекта данных о режимных параметрах (P_j).

В условиях необходимости принятия быстрых, безопасных и, по возможности, оптимизированных решений, желательно снизить зависимость

от чисто субъективной составляющей процесса выбора, то есть постараться хотя бы частично его автоматизировать. Поэтому задача совершенствования технологий и средств информационной поддержки оператора представляется актуальной.

В работе обосновывается возможность автоматизации функций рассмотренной на рис. 1 схемы принятия решений с помощью комплекса технических средств и методов, которые обеспечивают достижение желаемой цели в виде системы информационной поддержки принятия решений (СИП ПР) в оперативном управлении объектами судовой электроэнергетики. При этом выражения (1) и (2) принимаются как основа в построении и использовании встроенной, постоянно действующей математической модели объекта и механизма принятия решений.

По существующим технологиям для оперативного управления оператор может использовать информацию, предоставляемую в виде мнемосхем, панелей сигнализации, приборных панелей, включая виртуальные. Однако следует учитывать, что наличие традиционных систем допускового контроля параметров, а также разработки и внедрения систем технической диагностики, помогают оператору в решении только части необходимых функций при подготовке к действиям, поскольку они отражают уже случившиеся события и не дают рекомендаций к оперативному управлению объектом. То есть эти системы не только желательно объединить в одно целое, но и, как будет показано в данной работе, существенно переработать в плане используемых технологий обработки данных.

В работе рассмотрены примеры характерных объектов судовой электроэнергетики, функционирующих под управлением дежурных операторов. На рис. 2 и рис. 3 приведены структуры рассмотренных объектов виде многоуровневых схем, отражающих потоки данных, концентрирующихся на рабочих местах операторов. Это позволяет эффективно контролировать состояния компонентов и прогнозировать тенденции развития событий.

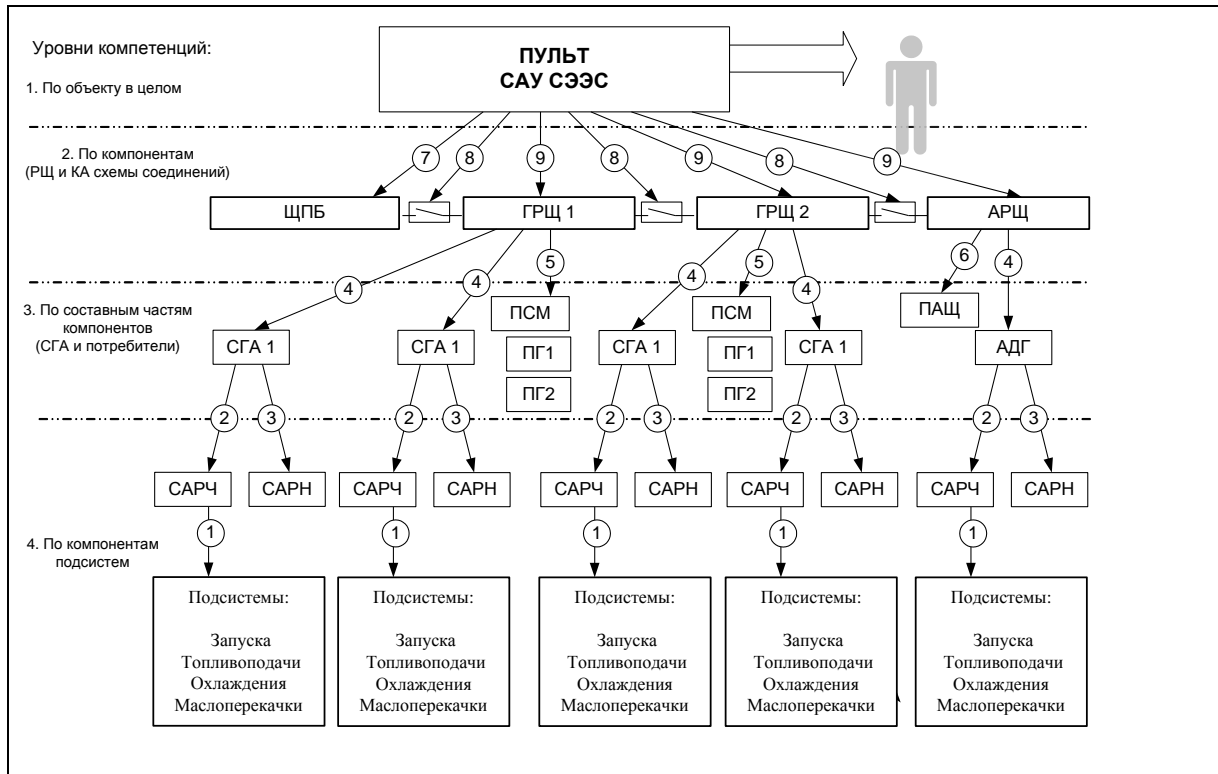


Рис. 2. Структура типовой автоматизированной СЭЭС с разделением уровней компетенции информационных потоков данных для формирования задачи построения СИППР.

По представленной на рис.2 структуре СЭЭС, по аналогии с выражением(2), математическая модель функционирования СИППР может быть описана выражением:

$$Y(P)_{\text{СЭЭС}} = V_c \{C_{\text{ГРЩ 1}}, C_{\text{ГРЩ 2}}, C_{\text{АРЩ}}, C_{\text{ЩПБ}}, C_{\text{КА}}\}. \quad (3)$$

Раскрывая компоненты, концентрирующие информацию от нижних уровней структуры, получим:

$$Y(P)_{\text{СЭЭС}} = V_{c1} \{ V_{c2} \{ C_{\text{СГА 1}}, \dots, C_{\text{СГА-4}}, C_{\text{АДГ}}, C_{\text{п}} \} C_{\text{ЩПБ}} \dots, C_{\text{КА}} \}, \quad (4)$$

или:

$$Y(P)_{\text{СЭЭС}} = V_{c1} \{ V_{c2} \{ V_{c3} \{ V_{c4} \{ V_{c5} \{ C_{\text{САРН } i=1 \dots 5}, \dots, C_{\text{САРЧ } i=1 \dots 5}, C_{\text{ПСД}} \}, C_{\text{п}} \} C_{\text{ЩПБ}} \dots, C_{\text{КА}} \}, \quad (5)$$

при $C_j = V_j \{ \Pi_1, \dots, \Pi_m \}$;

где, записи $V_c \{ C_{\text{ГРЩ 1}}, C_{\text{ГРЩ 2}}, C_{\text{АРЩ}}, C_{\text{ЩПБ}}, C_{\text{КА}} \}$ и $V_j \{ \Pi_1, \dots, \Pi_m \}$ означают функции вывода на основании данных по состояниям компонентов и по режимным параметрам.

Наиболее полное представление о состоянии объекта в целом, можно получить если будут учитываться режимные параметры отдельных компонентов, например по ГРЩ1 и ГРЩ2, ЩПБ, АРЩ, которые в свою очередь концентрируют данные по входящим в их состав устройствам или подключенным агрегатам и потребителям. Оценивать состояния генераторных агрегатов следует не только по параметрам качества вырабатываемой электроэнергии, но и на основе данных по подсистемам. Поэтому в выражениях (3...5) представляющих математическую модель СЭЭС, для наиболее полного представления о текущих состояниях и тенденциях к их изменениям, должны учитываться не только традиционные для подобных объектов режимные параметры (напряжения, токи и т.д.), но и режимные параметры неэлектрической природы (температуры, давления и т.п.). Например, решение о выборе и запуске генераторного агрегата в работу, при наличии альтернатив, может быть оптимизировано на основе данных о параметрах и состояниях подсистем, в том числе с учетом данных по эксплуатации в предшествующие периоды. Возможности разрабатываемой системы ИППР должны это обеспечивать.

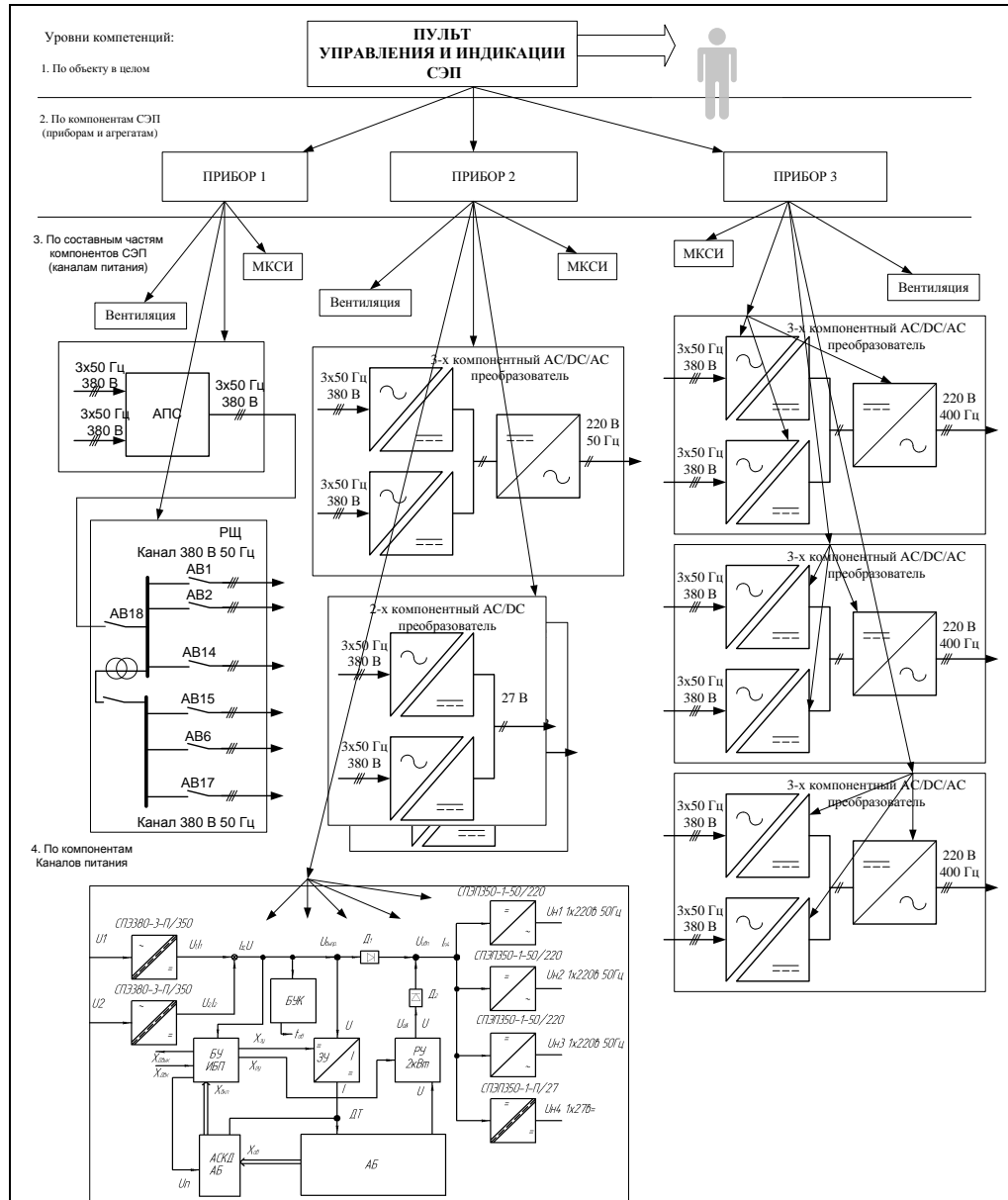


Рис. 3. Структура информационных потоков данных для СИППР по централизованной системе электропитания КСУ ТС.

Модель СЭП в СИППР может быть описана выражениями:

$$Y(P)_{\text{СЭП}} = V_c \{C_{\text{ПР1}}, C_{\text{ПР2}}, C_{\text{ПР3}}\}; \quad (6)$$

где $C_{\text{ПР1}} = V \{C_{\text{АПС}}, C_{\text{РЦ}}, C_{\text{Вент1}}, C_{\text{СИ1}}\};$

$C_{\text{ПР2}} = V \{C_{\text{КАС2}}, C_{\text{КDC2.1}}, C_{\text{КDC2.2}}, C_{\text{КИБП}}, C_{\text{Вент2}}, C_{\text{СИ2}}\};$

$C_{\text{ПР3}} = V \{C_{\text{КАС3.1}}, C_{\text{КАС3.2}}, C_{\text{КАС3.3}}, C_{\text{Вент3}}, C_{\text{СИ3}}\};$

$C_{\text{КАСi}} = V \{C_{\text{В-осн}}, C_{\text{В-рез}}, C_{\text{И-вых}}\}; \quad C_{\text{КDCi}} = V \{C_{\text{В-осн}}, C_{\text{В-рез}}\};$

при $C_j = V_j \{\Pi_1, \dots, \Pi_m\};$

Каждый из представленных на структурах уровень компетентности характеризуется набором параметров, на основании которых можно оценивать состояния, ситуации и события по отдельным компонентам объектов. Аналогично можно построить модели для любых объектов судовой электроэнергетики. При этом в качестве исходных данных для контроля и анализа состояний объектов одновременно присутствуют уже рассмотренные электрические и неэлектрические параметры.

Распространенные в настоящее время технологии подготовки данных и информирования оператора заключаются в измерениях и оценках значений контролируемых параметров, в общем виде описываемых выражениями:

$$X_{\min} < X_i < X_{\max}; \quad \text{и} \quad \Delta X_{\text{отл}} = \frac{X - X_H}{X_H} \cdot 100\%, \quad (7)$$

как для статических, так и для динамических режимов.

Конкретные параметры и характеристики показателей качества электроэнергии подробно излагаются в материалах ГОСТ, морских и речных регистрах для соответствующих категорий и классов объектов. Для параметров, не входящих в перечень показателей качества электроэнергии, критерии оценки приводятся в паспортных данных, формулярах или руководствах по эксплуатации. Это дает возможность сформировать только простейшую модель объекта, содержащую пороговые значения режимных параметров и технически реализуемую системами порогового контроля. Для поставленных в работе целей этого явно недостаточно, такая система автоматизирует только лишь регистрацию факта наступления событий, остальное остается за оператором, а если вернуться к рассмотренным структурам, то объем данных может быть слишком велик для восприятия и неавтоматизированной обработки оператором.

В развитие технологии СИППР может быть рассмотрен вариант использования оценки динамических характеристик по наблюдениям изменяющихся значений контролируемых параметров. Хорошо известно, что математические модели, разработанные на основе уравнений Горева-Парка, дают возможность рассчитать кривые параметров в переходных процессах для систем автоматического регулирования и по ним оценить качество функционирования данных систем, в виде оценок частных критериев (например, T_p – время регулирования (переходного процесса), σ – перерегулирование, ΔA – максимальное отклонение («провал») регулируемого параметра), или в виде оценки обобщенного функционала

$$F(X)_{\text{отл}} = \sum \alpha_i \varphi(u)_i, \quad (8)$$

вычисляемого как сумма частных показателей качества. Однако практика применений и рассмотренные в данной работе примеры математических моделей таких объектов показывает, что традиционные математические модели на основе дифференциальных и интегральных исчислений успешно применяются лишь для отдельных компонентов и на отдельных стадиях проектирования подобных объектов. Причем при разработке таких математических моделей в большинстве случаев делаются существенные упрощения, характерные для отдельных режимов и схем соединений. В итоге полученные математические модели могут отражать лишь частные случаи во всем многообразии эксплуатационной практики объектов судовой электроэнергетики.

Кроме этого, классический метод моделирования, не охватывает всего перечня параметров, характерных для общей оценки качества функционирования данных объектов. На примере СЭЭС видно, что вне поля зрения таких моделей остаются многие сопутствующие параметры, не имеющие сколько-нибудь точных математических описаний в виде дифференциальных уравнений. Это не только наличие, но и параметры (температуры, давления) технических жидкостей подсистем обеспечения, температуры подшипников, мест контактных соединений коммутационной аппаратуры и шин ГРЩ и т. д. На примере СЭП и статических преобразователей – это также температуры отдельных элементов силовых схем, температура и давление отдельных элементов конденсаторных батарей, вытекание электролита, наличие и интенсивность охлаждающих потоков и др.

Очевидно, что построение общей математической модели для подобных объектов, способной охватить все режимы эксплуатации и функционирующей в реальном масштабе времени, является проблемой при использовании классических технологий.

В целом, анализ текущего состояния технологий и средств, традиционно применяемых в области контроля и сигнализации, стабилизации и регулирования параметров, а также

управления сложными многокомпонентными и многосвязными системами и объектами судовой электроэнергетики показал, что имеется ряд проблем, решение которых требует поиска новых и эффективных технологий, методов и средств, или изыскание резервов совершенствования уже применяемых. В качестве такого резерва для совершенствования СИППР предлагается использовать теорию нечетких множеств, конкретно разделы нечеткой логики и нечеткого вывода, объединяемых в общее понятие нечетких систем.

Вторая глава посвящена вопросам создания и проверки функционирования математических моделей для объектов судовой электроэнергетики с использованием аппарата теории нечетких систем.

Кратко излагаются основания для использования аппарата теории нечетких систем применительно к объектам судовой электроэнергетики. Приводятся конкретные примеры, раскрывающие суть методов теории нечетких систем, технологию создания и проверки функционирования математических моделей нечетких систем для объектов судовой электроэнергетики.

Теория нечетких систем, разработанная как основа моделирования интеллектуальной деятельности человека с целью расширения сферы приложения систем автоматизации за пределы применимости классической теории, использует понятия нечетких множеств, лингвистических переменных и их значений (термов). Доказано, что оперируя этими понятиями, стало возможным с помощью естественно-языковых высказываний-правил «Если – то», с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, сколь угодно точно отразить произвольную взаимосвязь «вход-выход» без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального исчисления, традиционно применяемого в управлении и идентификации.

Простая модель нечеткой системы управления преобразователем электроэнергии с одним входом и несколькими выходами может быть построена с использованием очевидных и понятных лингвистических переменных и небольшим числом высказываний-правил следующим образом.

Выходное напряжение преобразователя (или генераторного агрегата), представленное как входная лингвистическая переменная, может принимать следующие значения: НИЗКОЕ, НОРМАЛЬНОЕ, ВЫСОКОЕ. Это дает основание прийти к заключению в терминах ОПАСНО, НЕ ОПАСНО и далее сформулировать рекомендации или управляющие воздействия, например в терминах ОТКЛЮЧИТЬ (ПРЕКРАТИТЬ РАБОТУ), ОСТАВИТЬ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЙ (ПРОДОЛЖИТЬ РАБОТУ), или РЕГУЛИРОВАТЬ УМЕНЬШАЯ, ОСТАВИТЬ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЙ, РЕГУЛИРОВАТЬ УВЕЛИЧИВАЯ. Очевидность и простота подобных выводов и решений показывает, что и человек, и система нечеткого вывода, при определенных условиях, в принципе, способны выполнять задачи управления, не пользуясь классическим аппаратом математического описания системы в дифференциальных уравнениях. Схема решения рассмотренных задач заключается в выполнении трех последовательных этапов: интерпретация входных данных; вывод – предупреждение (сигнализация); вывод – рекомендация или управление, в зависимости от того рассматриваем ли мы систему автоматического регулирования (контроллер) или систему информационной поддержки принятия решений в оперативном управлении объектом (СИП ПР).

Кажущееся сходство рассмотренного примера с системами допускового контроля, опровергается тем, как обрабатывается исходная информация. В нечетких системах изначально предполагается, что исходная информация неточна (размыта) в пространстве универсума $X=[0,10]$, в качестве которого выбран замкнутый интервал действительных значений напряжения от 0 В до U_{\max} , и может быть соотнесена с некоторыми областями универсума, которые могут иметь пересечения, как показано на рис. 4 для рассмотренного далее примера.

Степень принадлежности измеренного значения входного параметра (в данном случае напряжения) к конкретной области (областям) определяется специальными функциями (функцией принадлежности $\mu_A(x) = f_i(x; a_i, b_i) = [0,1]$), имеющей одну из типовых форм: Z-

образную; трапецевидную и S -образную. Выбор типа функций принадлежности в каждом конкретном случае решается путем экспертной оценки, исходя из некоторого представления о характере изменения параметра на наблюдаемом интервале. На рис. 4 показано, как отражается конкретное измеренное значение $U = 6.5$ на значении функций принадлежности к терминам (термам) НИЗКОЕ ($\mu_1(x) = 0.3$) и НОРМА ($\mu_2(x) = 0.68$), при этом видно, что для термина ВЫСОКОЕ - значение $\mu_3(x) = 0$. Дальнейшая обработка данных производится с учетом полученных значений функций принадлежности, правил и методов нечеткого вывода. Если предположить, что в примере контроллера достаточно использовать три правила обработки данных:

Правило 1: Если напряжение <ВЫСОКОЕ>, ТО следует его <УМЕНЬШАТЬ>;

Правило 2: Если напряжение <НОРМА>, ТО: <ОСТАВИТЬ без изменения>;

Правило 3: Если напряжение <НИЗКОЕ>, ТО: следует его <УВЕЛИЧИВАТЬ>;

то видно, что правило 1 оказывается неактивным из-за нулевого значения функции принадлежности, а правила 2 и 3 активны. Причем их активность пропорциональна соответствующим значениям функций принадлежности по входной переменной. Отобразив эти значения на пространстве выходной переменной, получим фигуру, выделенную цветом, как показано на рис. 4, а вычислив центр тяжести этой фигуры (в соответствии с одним из методов нечеткого вывода), получим проекцию на ось выходного параметра, т. е. положение регулирующего органа в интервале допустимых значений (от 0 до максимума). Что и даст конкретное значение результату по шкале выходного параметра (в данном случае 6 из 10 возможных).

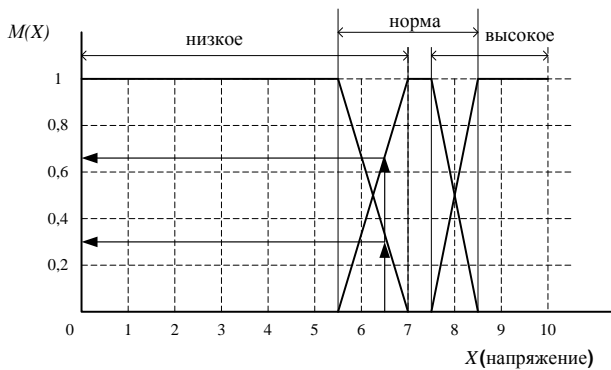


Рис.4. Вид функций принадлежности для входной переменной (напряжение) и интерпретация измеренного значения $U = 6.5$ (о.е.).

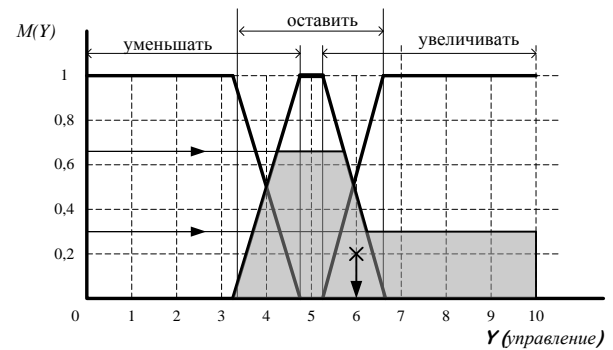


Рис. 5. Вид функции принадлежности для выходной переменной (управление) и интерпретация полученного результата (положение органа управления = 6 о.е.).

Рассмотренный пример показывает, что в результате, положение органа управления, должно соответствовать отметке 6 (по оси X на рис. 5) и может восприниматься как стремление к очень небольшому увеличению напряжения и, таким образом, оно изменится, переместившись в точку за пределами значения 7 или в окрестностях значения 7.25 (по оси X на рис. 4). Тогда значение функции принадлежности окажется равной 1 для термина НОРМА и нулю для термов НИЗКОЕ и ВЫСОКОЕ. Активным останется только правило 2 и новое значение регулирующего органа будет установлено в положение 5 как центре тяжести фигуры, образованной термом ОСТАВИТЬ (без изменений). Регулирование прекратится и будет возобновлено только тогда, когда результат измерения напряжения и обработка покажут необходимость в увеличении или уменьшении напряжения.

Аналогичный пример легко воспроизвести для любого из параметров, который необходимо учитывать в оценке качества функционирования и состояний систем и объектов судовой электроэнергетики, что показывает универсальность данного метода. Важнейшим свойством рассмотренного метода является принципиальная возможность включения всех необходимых параметров в одну математическую модель, в том числе не поддающиеся строгому математическому описанию. Именно это дает преимущество данной теории управления по сравнению с классической.

В доказательство данного утверждения в процессе исследований выполнены экспери-

менты по моделированию нечетких систем с возрастанием сложности объектов (рис. 6) за счет увеличения числа параметров, числа термов для переменных, скорости их изменений и времени нахождения в опасных зонах. Моделирование и исследования производились в среде MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. При этом использованы методы и технологии формального описания исходных данных и этапов обработки в соответствии с обобщенным алгоритмом:

Подготовительные этапы:

1. Все параметры системы приводятся к виду формального описания согласно теории нечетких множеств, т.е. весь возможный диапазон параметра разбивается на нечеткие поддиапазоны, которые описываются функциями принадлежности определенного выбранного вида (Z-образные; Треугольные; Трапециевидные; колоколообразные; V-образные; S-образные и др.) возможно с перекрытием, что собственно и определяет нечеткость данных, как показано на рис. 4, где по оси абсцисс отложено значение параметра, по оси ординат – численное значение функции принадлежности.

2. Формируются базы правил нечеткого вывода, имеющие вид:

Если $\langle T_i \rangle$ соответствует $\langle N_k \rangle$, то Вывод $\langle N_m \rangle$ и Действие $\langle N_p \rangle$,

или

Если $\{(\langle T_i \rangle \Rightarrow \langle N_k \rangle) \text{ и } \dots (\langle T_j \rangle \Rightarrow \langle N_l \rangle)\}$, то Вывод $\langle N_m \rangle$ и Действие $\langle N_p \rangle$,

где: T_i – результат измерения параметра, N_k – номер поддиапазона контролируемого параметра, N_m – номер вывода из базы данных вывода, N_p – номер действия из базы данных действий (сообщений, рекомендаций).

На этом процесс подготовки считается завершенным и нечеткую модель объекта можно применять, задавая различные значения входных переменных и анализом результатов.

Основной цикл состоит из этапов.

Этап 1: Ввод данных (или измеренных значений контролируемого параметра – a_i) и фаззификация (приведение к нечеткости) – определение численных значений по принятым функция принадлежности $b_i = \min\{\mu(a_i)\}$; для данного значения каждого параметра $V = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$;

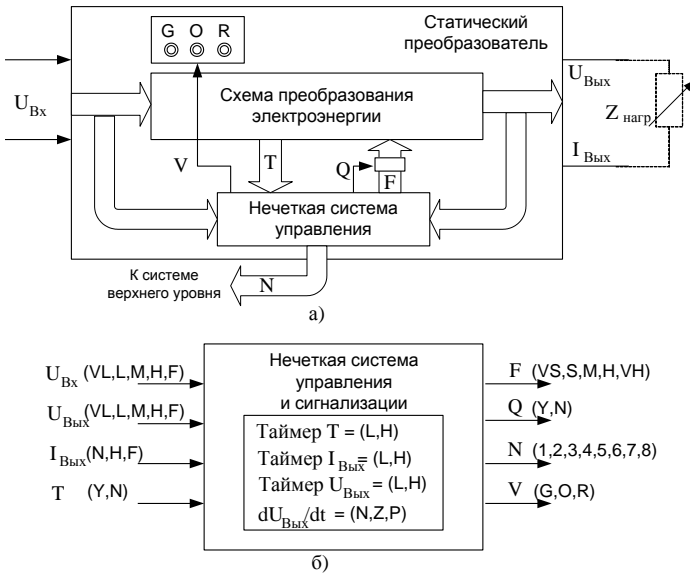


Рис. 6. Структура (а) и спецификация многопараметрической модели нечеткой системы (б) преобразователя

Этап 2: Агрегирование подусловий $\mu_c(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$;

Этап 3: Активизация или композиция подзаключений в нечетких правилах продукций.

$$\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\};$$

Этап 4: Аккумуляция $\mu_D(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \forall x \in X$

Этап 5: Дефаззификация – приведение результата к четкому виду:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \mu(x) dx}$$

Результаты, в виде численных значений (y_m) по каждой выходной переменной, проверены и дают основание утверждать, что модели функционируют правильно. Значит, есть основания для развития и внедрения нечетких систем в практику построения и эксплуатации современных и перспективных объектов судовой электроэнергетики.

Третья глава содержит материалы разработки аппаратуры, алгоритмов и программного обеспечения комплекса технических средств системы информационной поддержки принятия решений (СИП ПР) в оперативном управлении судовыми электроэнергетическими объектами.

Определены структура и состав комплекса технических средств ИППР в обобщенном виде, применимом ко всем объектам судовой электроэнергетики. Рассмотрены возможные варианты реализации в зависимости от технологии внедрения системы (как для новых проектов, так и для судов находящихся в эксплуатации, ремонте и модернизации). Определены требования к аппаратуре, осуществлен выбор элементной базы и представлены варианты схмотехнических решений для аппаратной реализации технических средств нижнего уровня. Определены требования и рассмотрены варианты реализации аппаратуры верхнего уровня, характеризующиеся особенностями человеко-машинного интерфейса, включая интерактивность.

Аппаратура нижнего уровня системы должна включать датчики, устройства преобразования уровней сигналов и процессоры предварительной обработки для всей номенклатуры параметров, характеризующих состояния объекта в эксплуатации. Предварительная обработка данных должна включать: оцифровывание, запоминание, фаззификацию (приведение к нечеткости), определение производных и активизацию счетчиков времени нахождения значений параметров в особых или опасных зонах.

Аппаратура средних уровней должна выполнять функции обработки данных методами теории нечетких систем (агрегирование, активизация, аккумуляция и дефазификация) для выводов, как по параметрам (состояниям объекта), так и по развитию ситуаций.

Аппаратура верхнего уровня, как средства человеко-машинного интерфейса, должна обладать способностью вывода и отображения результатов обработки данных на конечном этапе и на любых более ранних этапах, по степени важности – автоматически, или в интерактивном режиме общения с оператором.

Несмотря на специфику и разнообразие объектов судовой электроэнергетики выявлено, что в номенклатуре аппаратных устройств измерения и предобработки достаточно иметь типовые измерители мгновенных значений напряжений, токов и температуры, а также типовые устройства ввода дискретных сигналов, как основных источников информации о режимных параметрах объектов.

В работе предложены и экспериментально проверены конкретные детализированные схмотехнические решения для устройств связи с объектом. Схемы имеют гальваническую развязку вход-выход и представляют собой универсальные унифицированные миниатюрные изделия, принятые к внедрению при создании централизованных систем бесперебойного электропитания ряда заказов. Универсальность изделий подтверждается возможностью применений для измерений любых параметров объектов судовой электроэнергетики, предварительно преобразованных в электрический сигнал.

Применение микроконтроллеров в составе аппаратуры низкого уровня обосновано их преимуществами перед другими вариантами реализации. Необходимые при этом алгоритмы функционирования процессора разработаны и реализованы в виде программного обеспечения широко распространенных PIC-микроконтроллеров (MicroChip).

Алгоритм предварительной обработки данных выполняет задачи аппаратуры нижнего уровня: прием измеренных значений контролируемых параметров; определение опасности по длительности нахождения параметра в недопустимых диапазонах или вблизи них; определение скорости или ускорения изменений параметра и запоминание в базах данных (измерения и производные и таймеры).

Аппаратура средних и верхнего уровней, в зависимости от варианта внедрения, может быть реализована средствами промышленного компьютера или с помощью микроконтроллеров, например серии DSPic (MicroChip).

Фрагменты алгоритмов представлены на рис. 7 и рис.8. и реализует задачи использования баз данных, фаззификации, агрегирования, активизации, аккумуляции, вывода.

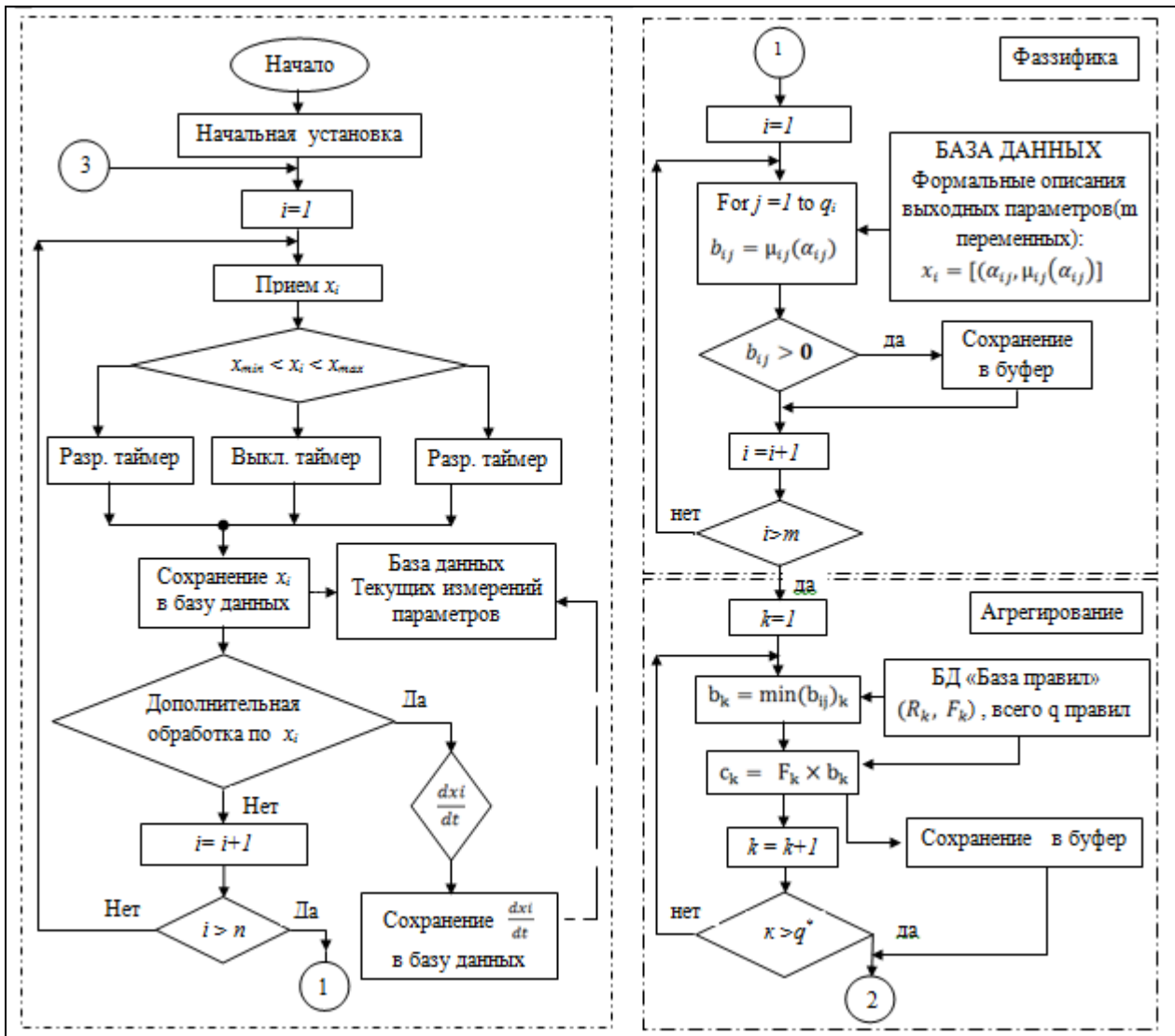


Рис. 7. Фрагмент блок-схемы алгоритма

Приводится краткое описание и блок-схема алгоритма функционирования нечеткой системы информационной поддержки.

1. Получение измеренных данных: данные от датчиков параметров поступают в оцифрованном виде (двоичный код) X_i и запоминаются в оперативной базе даны (ОБД1) – «первичные входные параметры»;

2. Вычисление производных данных входных параметров: определение скорости изменений входных параметров или чтение таймеров (продолжительность выхода параметра за допустимые пределы);

3. Запоминание входных данных и производных в буфере БД «История»;

4. Фаззификация: сравнение входных данных с данными БД «Формальные описания параметров» и определение порядковых номеров термов по каждому входному параметру и численных значений по соответствующим функциям принадлежности;

5. Агрегирование подусловий: определение отличных от 0 минимальных значений функций принадлежности при сочетании термов входных параметров;

6. Поиск и определение числовых значений (коэффициентов) истинности активных правил: для каждого правила из базы правил БП вычисляется значение истинности по ненулевому значению результата агрегирования;

7. Активизация: определение минимального значения по функциям принадлежности к активным термам выходных переменных базы данных БД «выходные параметры»;

8. Аккумуляция: определение максимальных из численных значений полученных на эта-

пе активизации для каждого агрегированного подусловия выходных термов (активных);

9. Дефаззификация: вычисление центра тяжести агрегированных термов выходных параметров. Получение четких результатов для вывода из баз управления (сообщений, комментариев).

Отмечается, что совокупность баз данных и баз правил, формализованных предложенными методами, образует базу знаний об объекте, как это принято называть в разработках систем искусственного интеллекта и наполнение такой базы знаний может осуществляться при участии на основании опыта и знаний экспертов по конкретным типам объектов. Возможна и желательна так же организация режима постоянного самообучения путем накопления данных в процессе эксплуатации. Сочетание наполненной базы знаний об объекте с предложенными аппаратно-программными средствами вывода на основе методов нечеткой логики, организованных в соответствии с предложенными иерархическими структурными схемами, в том числе с распараллеливанием процессов обработки данных, позволяет функционировать данному комплексу в реальном времени, что отвечает поставленным в данной работе целям. При этом показано, что возможны реализации КТС ИППР, как в новых проектах, так и на объектах находящихся в эксплуатации.

Приводятся материалы, иллюстрирующие варианты реализации аппаратуры верхнего уровня: средств человеко-машинного интерфейса для вывода информации (данных, рекомендаций и сообщений) в удобной для оператора форме, с учетом требований по эргономике и эргономике.

Приложения содержат материалы, иллюстрирующие исследования информативности параметров объектов судовой электроэнергетики математическим моделированием компонентов СЭЭС по классическим технологиям; материалы построения и использования примеров нечетких моделей объектов судовой электроэнергетики; иллюстративные материалы сопровождающие разработку комплекса технических средств системы информационной поддержки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе обоснована необходимость и целесообразность использования методов теории нечетких систем в оперативном управлении сложными объектами судовой электроэнергетики, позволяющих автоматизировать основные функции оператора при анализе данных и выработке решений, и тем самым снижать субъективный фактор выработки решений в особых условиях и режимах эксплуатации объектов.

2. Проведено построение и проверка функционирования математических моделей нечетких систем управления или поддержки принятия решений по управлению, как для отдельных компонентов, так и для сложных объектов судовой электроэнергетики, позволяющих учитывать все необходимые режимные параметры объектов, как электрической, так и неэлектрической природы и, в том числе, не имеющие строгого математического описания в виде дифференциальных уравнений.

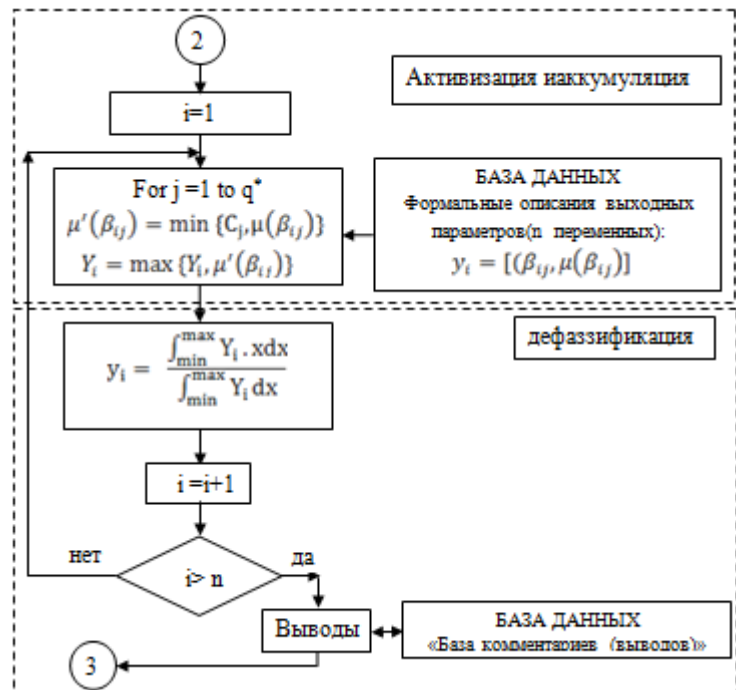


Рис. 8. Фрагмент блок-схемы алгоритма

3. Разработана многоуровневая структура и определен состав комплекса технических средств ИППР, которые могут быть реализованы на основе недорогих микропроцессорных устройств, особенно в аппаратуре нижнего уровня. Рассмотрены варианты схмотехнических решений аппаратной части комплекса. Разработаны соответствующие структуре и составу КТС алгоритмы функционирования и программное обеспечение. Разработаны требования и проработаны варианты реализации человеко-машинного интерфейса системы ИППР.

4. Сформулированы подтверждающие поставленные в работе основные практически значимые и выносимые на защиту научные результаты.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, включенных в перечень ВАК:

1. Леута А. А., Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д. Математическая модель компонентов судовых электроэнергетических систем как составная часть технологии испытаний систем автоматического управления // Известия государственного электротехнического университета. Сер. «Автоматизация и управление». СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2010. №2. С. 25 – 30.

2. Леута А. А., Нгуен М. Д., Нгуен Ч. Ч. Информационная поддержка принятия решений по оперативному управлению объектами судовой электроэнергетики с применением методов нечеткой логики // Известия государственного электротехнического университета. Сер. «Автоматизация и управление». СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. №1. С. 61 – 67.

3. Леута А. А., Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д. Решение проблем управления судовыми электроэнергетическими объектами с использованием методов оптимизации и нечеткой логики // Известия государственного электротехнического университета. Сер. «Автоматизация и управление». СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. №8. С. 56 – 63.

4. Леута А. А., Нгуен М. Д. Моделирование системы информационной поддержки в оперативном управлении электроэнергетическим объектом на примере многопараметрической нечеткой модели статического преобразователя электроэнергии // Научно-аналитический журнал ИННОВАЦИИ и ИНВЕСТИЦИИ. Уголок аспиранта и соискателя. № 4. 2012. С. 156 – 161.

5. Леута А. А., Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д. Судовая автоматика и электроэнергетика. Совершенствование технологий управления // «Судостроение», (принята к опубликованию).

В других изданиях:

6. Леута А. А., Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д. Комплект математических моделей компонентов судовых электроэнергетических систем как средство наладки и испытаний аппаратуры автоматического и автоматизированного управления // «Молодой ученый». Сер. «технические науки». Чита, Июль 2011. Т. 1. №7(30). С. 32-37.

7. Нгуен Ч. Ч., Нгуен М. Д., Нгуен Х. Т. Имитационное моделирование компонентов судовых электроэнергетических систем для настройки и испытаний систем автоматизированного управления // «II Международная заочная научно-техническая конференция: Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT - 2012)». -Тольятти, Апрель 2012. Часть 3, С. 87-93.