



УДК 621.431.74

MANAGEMENT OF SHIP ENERGY INSTALLATIONS IN PREVENTION SITUATIONS**УПРАВЛЕНИЕ СУДОВЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ В ПРЕДАВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ****Goschenko G.G./Дощенко Г.Г.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**Kherson State Maritime Academy**Херсонская государственная морская академия*

Аннотация. Результаты исследования представлены в разработке теоретических основ создания эффективных средств противоаварийного управления техническими объектами на примере судовых энергетических установок, позволяющих предсказывать, предотвращать, локализовать аварии и восстанавливать нормальный режим СЭУ.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, аварийная ситуация, система интеллектуальной поддержки, судовые технические средства.

Значительная часть всех аварийных случаев судовых энергетических установок (СЭУ) происходит из-за несвоевременного обнаружения предаварийного состояния, а также неправильных или неэффективных действий экипажей морских судов во время самой аварии. Это объясняется недостатком информации о развивающейся аварийной ситуации (АС) и неумением пользоваться имеющейся информацией.

Снизить влияние этих факторов на безопасность морского судоходства можно двумя путями: созданием систем интеллектуальной поддержки (СИП) операторов и путем перераспределения функций управления между оператором и системой управления техническим объектом.

Если принципы первого направления уже нашли свое применение, то второе направление находится еще в стадии своего становления.

Однако в последнее время в связи с ужесточением требований к безопасности морского судоходства и разработкой беспилотных судов к принципам второго направления интерес возрос, поскольку они позволяют разрабатывать локальные системы нижнего уровня, обеспечивающие безопасное управление судовыми техническими средствами (СТС), где процессы настолько быстротечны, что оператор, даже при подсказке со стороны СИП, не всегда в состоянии отреагировать на их ненормальные отклонения.

Отдельные такие системы уже появляются на морских судах. Например, фирмой Сименс разработана серия микроконтроллеров Simatic для безопасного управления судовыми электроприводами, фирма Нор-контрол оборудует главные двигатели специальными системами безопасности (safety system) [1].

Однако все эти системы решают, в основном, лишь задачи защиты человека или технических объектов от повреждений и не обеспечивают бесперебойной работы объекта. Так, при срабатывании систем безопасности объект прекращает свое функционирование (отключается или останавливается), что приводит к снижению общей безопасности морского судоходства (БМС),



для которой важно, чтобы объект продолжал выполнять свои функции при любых условиях, пусть и с ухудшением показателей качества.

С целью обеспечения БМС необходимо повысить бесперебойность работы СЭУ путем своевременного обнаружения и реагирования на ненормальные режимы эксплуатации. Для этого судовые энергетические установки должны быть оборудованы средствами автоматизации, построенными на новых принципах, позволяющих решать задачи не только традиционного управления, но и уметь оценивать бесперебойность текущего режима, прогнозировать ее изменение, чтобы предвидеть ожидаемый промах и предупредить его соответствующим действием, которое будем называть противоаварийным управлением, а системы управления, построенные на таких принципах, — системами с противоаварийным управлением (ПАУ).

Целью настоящего исследования является разработка теоретических основ создания эффективных средств противоаварийного управления техническими объектами на примере судовых энергетических установок, позволяющих предсказывать, предотвращать, локализовать аварии и восстанавливать нормальный режим СЭУ.

Целевой функцией таких систем является не определение места неисправности, а предотвращение аварий технических объектов путем предсказания, своевременного выявления и парирования (устранения) опасных факторов, создающих аварийную ситуацию. Для достижения поставленной цели были решены следующие главные и вспомогательные задачи:

1. Исследование проблемы обеспечения бесперебойной работы СЭУ. Выявление особенностей функционирования элементов СЭУ в ненормальных режимах. Решение первой главной задачи было начато с изучения причин аварийности СЭУ, обобщения опыта эксплуатации имеющихся средств защиты и ПАУ элементами СЭУ. Это позволило сделать вывод, что существенным резервом повышения бесперебойности СЭУ является обеспечение ее элементов средствами автоматизации, которые позволяют решать задачи управления техническими объектами в предаварийных, аварийных и послеаварийных режимах и которые могут быть интегрированы в общую систему управления СЭУ.

Анализ переходов СЭУ от режима к режиму (рис. 1) позволил определить задачи, какие должны решать средства ПАУ в каждом характерном режиме, обосновать обобщенный подход к решению поставленной проблемы, наметить концепцию создания систем с противоаварийным управлением СЭУ.

Анализ СЭУ как объекта противоаварийного управления, а также исследование на ЭВМ и тренажере поведения элементов СЭУ в ненормальных режимах позволили выявить некоторые общие свойства и закономерности.

К ним можно отнести следующее:

а) все ненормальные процессы в СЭУ сравнительно быстротечны, чтобы на них не мог реагировать оператор, и в то же время достаточно инерционны, что обуславливает физическую реализуемость ПАУ с помощью быстродействующих технических средств;

б) инерционность ненормальных процессов характеризуется промежутком

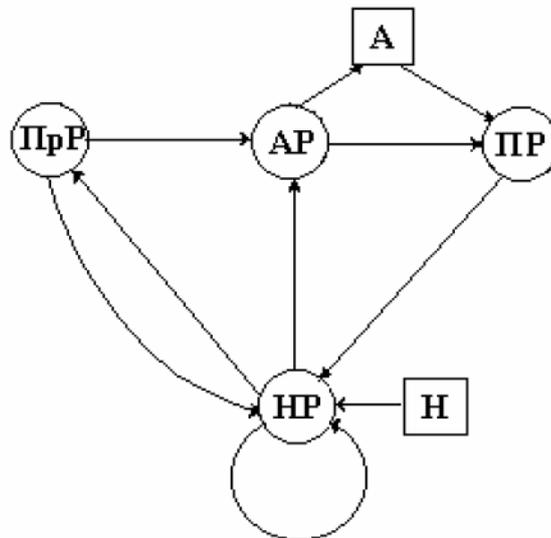


Рисунок 1. Граф переходов судовой ЭЭУ из режима в режим: НР — нормальный (оптимальный или неоптимальный) режим; ПрР — предаварийный режим; АР — аварийный режим; ПР — послеаварийный режим; А — авария; Н — нормальное состояние

времени от возникновения аварийной ситуации (выход параметра за норму) до самой аварии;

в) бесперебойность работы элементов СЭУ может характеризоваться определяющими параметрами, в качестве которых можно использовать выходные величины элементов СЭУ.

Поскольку физические, а значит и определяющие, параметры технических объектов достигают критических значений за определенное время, не равное нулю, то было предположено, что с помощью опережающего противоаварийного действия можно избежать аварии (рис. 2).

Аварийная ситуация обычно возникает (момент времени t_{ac}) и развивается в течение некоторого интервала времени τ_a , в пределах которого величина определяющего параметра достигает предельного значения (момент времени t_a), после чего наступают необратимые процессы (разрушение или несанкционированный останов объекта) — собственно авария.

Этот сравнительно небольшой резерв времени дает возможность системе управления своевременно обнаружить и устранить опасные факторы и вызываемые ими неблагоприятные последствия, т.е. аварийный фактор может быть парирован, если время реакции на него (время устранения τ_y) будет меньше предельно допустимого времени τ_a (рис. 2). За этот интервал времени должны быть выполнены все операции, необходимые для приема, анализа информации и выдачи сигналов управления, т.е. должно соблюдаться неравенство:

$$\tau_y = \sum_{i=1}^k t_i < \tau_a$$

где: t_i — время выполнения i -й операции; k — число выполняемых



операций.

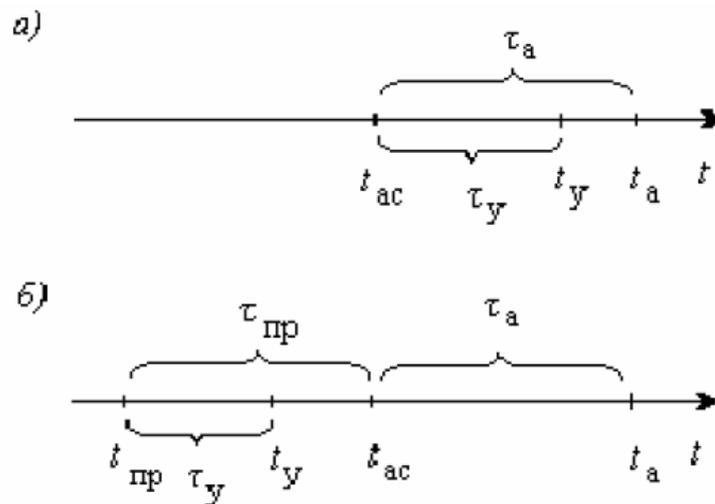


Рисунок 2. Временные интервалы состояний объекта: а) без системы ПАУ; б) с системой ПАУ; τ_a и τ_y — соответственно: среднее время, в течение которого допускается существование ненормального режима в объекте, и среднее время парирования (устранения) опасного фактора; $\tau_{пр}$ — среднее время краткосрочного прогноза ожидаемой аварийной ситуации

В результате решения задач первого этапа было установлено, что для обеспечения эффективного ПАУ с целью повышения бесперебойности СЭУ необходимо выиграть время, чтобы успеть выявить ненормальный режим и ликвидировать его, не дав ему развиться в аварию, что может быть достигнуто расширением номенклатуры функций систем управления ТС за счет реализации новых принципов и алгоритмов управления, которые позволяют предвидеть и упреждать аварийные ситуации.

2. Разработка методологии противоаварийного управления СЭУ, выбор и обоснование методов её реализации.

В рамках второй главной задачи были поставлены и решены следующие вспомогательные задачи:

- разработка принципов построения систем ПАУ СЭУ;
- выбор и обоснование методов анализа и синтеза систем ПАУ СЭУ;
- разработка рациональных структур и эффективных алгоритмов функционирования систем ПАУ СЭУ.

Для того чтобы системы управления СЭУ могли своевременно обнаруживать и реагировать на ненормальные режимы, они должны дополнительно реализовать следующие принципы:

а) предсказания возникновения опасной (аварийной) ситуации; (системы, реализующие этот принцип, действуя в нормальном режиме, должны предвидеть возникновение аварийной ситуации и соответствующими действиями предупредить ее возникновение);

б) раннего выявления возникшей аварийной ситуации (ранняя



- идентификации ненормального режима, чтобы иметь запас времени для ПАУ);
- в) прогнозирования развития аварийной ситуации и упреждающей коррекции управления по недопущению ее перерастания в аварию;
 - г) локализации аварии посредством автоматического перевода технологического оборудования в безопасное состояние;
 - д) восстановления нормального режима.

Системы, реализующие такие принципы, должны быть интеллектуальными, т.е. они должны обладать способностью к обучению и самообучению, уметь накапливать и обобщать опыт предыдущей работы, адаптироваться к изменениям внешних условий, находить оптимальную настройку в текущем режиме, организовывать процедуру выбора решений в изменившейся ситуации, составлять необходимую структуру и программу действий. При разработке таких систем могут быть использованы методы теории инвариантного, адаптивного, дуального управления, методы исследования нелинейных систем, методы предсказания и прогнозирования.

Для обеспечения бесперебойной работы объекта в нормальном (установившемся) режиме было предложено совместное использование методов предсказания ненормальных отклонений (аварийных ситуаций) и метода обобщенного параметра. Контроль текущего режима в этом случае осуществляется с помощью специального информативно-емкого обобщенного параметра $K_{оп}$, в качестве которого можно использовать функционал, построенный на базе информационной модели элементов СЭУ [2].

Например, обобщенный показатель $K_{оп}$ для контроля бесперебойности судовой электростанции определяется следующими параметрами:

$$K_{оп} = f(K_{ор}, K_{зг}, K_{ом}, \Delta P, \Delta Q, \Delta U, \Delta f),$$

где: $K_{ор}$ – коэффициент одновременности работающих генераторов в режиме; $K_{ом}$ – коэффициент отключаемой системой защиты мощности в режиме; $K_{зг}$ – коэффициент загрузки работающих генераторов; ΔP и ΔQ – неравномерность распределения активной и реактивной нагрузки; ΔU и Δf – средние значения длительного отклонения напряжения и частоты генераторов.

Для того чтобы системы ПАУ могли предупреждать возникновение аварии в переходных режимах, был предложен принцип построения систем с ПАУ на базе эталонной модели и прогнозирующего устройства (рис. 3).

Принцип такого управления заключается в использовании результатов сравнения экстраполированных на несколько шагов вперед значений выходной переменной движущегося объекта с эталонными значениями, полученными путем интегрирования математической модели объекта в ускоренном времени с целью не допустить или минимизировать будущее отклонение системы от нормального (эталонного) состояния.

Решение задач второго этапа позволило установить, что выигрыш времени для обеспечения эффективного противоаварийного управления с целью обеспечения максимальной бесперебойности работы СЭУ в режиме может быть достигнут путем реализации научно-обоснованных алгоритмов предсказания и краткосрочного прогнозирования.

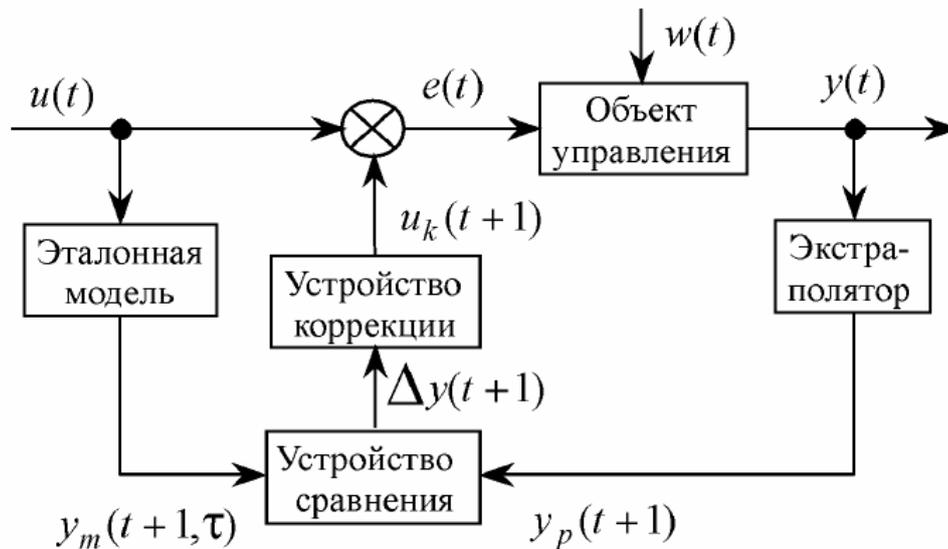


Рисунок 3. – Структурная схема системы противоаварийного управления техническим объектом

3. Разработка технико-эксплуатационных требований и рекомендаций по построению систем ПАУ СЭУ.

В рамках третьей главной задачи были поставлены и решены следующие вспомогательные задачи:

- оценка эффективности систем управления с противоаварийными функциями СЭУ;
- выработка научно-обоснованных рекомендаций по проектированию систем ПАУ СЭУ;
- разработка научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению бесперебойной работы СЭУ во время эксплуатации.

Кроме того, для оценки эффективности систем с ПАУ предложена методика сравнительной оценки качественных показателей систем аналогов, основанная на сравнении реальной (проектируемой) системы с гипотетической системой, имеющей объем автоматизации, полученный в результате объединения всех автоматизированных функций объектов аналогов [3].

Наиболее эффективная система будет иметь коэффициент функциональной полноты ПАУ, который вычисляется по формуле:

$$K_c = \frac{N_{\text{фсо}}^c \cdot N_{\text{эс}}^c \cdot \eta^c}{N_{\text{фсо}}^r \cdot N_{\text{эф}}^r \cdot \eta^r}$$

где: $N_{\text{фсо}}^c$ – число функций ПАУ сравниваемой системы; $N_{\text{эс}}^c$ – число элементарных функций сравниваемой системы; $\eta^c = \sum \mu_{ij}^c$ – приведенный вес объема автоматизации системы; $N_{\text{фсо}}^r$ – число функций ПАУ гипотетического объекта; $N_{\text{эф}}^r$ – число элементарных функций гипотетического объекта; c



$\eta^F = \sum \mu_{ij}^E$ – вес гипотетического объема автоматизации.

В качестве рекомендаций по проектированию был предложен двухэтапный подход к синтезу систем управления объектами с функциями ПАУ, при котором:

а) сначала осуществляют синтез структурной части системы, обеспечивающей управление объекта в нормальном режиме (малые отклонения регулируемой величины и возмущения), где используются методы теорий инвариантного и оптимального управления, причем в закон регулирования следует включать управляющие сигналы, пропорциональные не только первой, но и второй производной от величины отклонения определяющего параметра и возмущающего воздействия, которые будут осуществлять упреждающие воздействия для предупреждения аварии;

б) затем — синтез структурной части системы, обеспечивающей управление регулируемой величиной в ненормальных режимах (большие отклонения), где используются методы синтеза нелинейных систем.

Моделирование предложенных структур и алгоритмов систем ПАУ подтвердили, что целевая функция систем ПАУ может быть реализована на базе двухуровневой распределенной структуры МПСУ, реализующей научно-обоснованные алгоритмы ПАУ, обеспечивающие бесперебойное выполнение рабочих функций СЭУ при непрерывно меняющихся условиях.

Алгоритмы нижнего уровня (локальные подсистемы и регуляторы) обеспечивают локализацию внезапных отказов, контроль перехода объекта из одного установившегося состояния в другое и прогноз его протекания. В случае отрицательного прогноза осуществляется необходимое противоаварийное действие по выполнению данной функции.

Алгоритмы второго уровня осуществляют предсказание аварий путем прогнозирования и необходимые предупредительные действия. В случае отказа локальной системы управления этот уровень берет управление объектом на себя, с некоторым ухудшением качества.

В работе установлено, что повышение бесперебойности работы СЭУ может быть достигнуто путем создания систем управления ТС, реализующих научно-обоснованные принципы и алгоритмы противоаварийного управления, которые позволяют предсказывать и предвидеть аварийные ситуации.

Разработанные принципы построения систем управления СЭУ позволяют выйти на качественно новый уровень комплексной автоматизации морских судов, бесперебойность работы судовых технических средств, безопасную эксплуатацию морского судна в целом, а также способствуют развитию систем управления современных морских судов.

Литература:

1. Луковцев В.С. Противоаварийное управление судовыми энергетическими установками // Судовые энергетические установки: Науч.-техн. сб. – Одесса: ОГМА, 2004. – Вып. 11. – С. 86-94.
2. Луковцев В.С. Обобщенный параметр оценки бесперебойности режима



работы судовой электростанции // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – Одесса: ОГМА, 2001. – Вып. 6. – С. 77-78.

3. Луковцев В.С. Критерий сравнительной оценки технических объектов // Прикладная математика в инженерных и экономических расчетах: Сб. науч. тр. – СПб: СПГУВК, 2001. – С. 62-65.

***Abstract.** The results of the research are presented in the creation of effective means for emergency control of technical objects by the example of ship power plants that allow predicting, preventing, localizing accidents and restoring the normal operation of the ship power plants.*

***Key words:** ship power plants, emergency situation, intellectual support system, ship's technical means.*

References:

1. Lukovtsev V.S. Emergency control of shipborne power plants. [Ship power plants: Scientific and technical. Sat.], Odessa: OGMA, 2004, Issue. 11, pp. 86-94.

2. Lukovtsev V.S. The generalized parameter of an estimation of a continuity of a mode of work of ship power station. [Automation of ship technical means: науч.-техн. Sat.], Odessa: OGMA, 2001, Issue. 6, pp. 77-78.

3. Lukovtsev V.S. Criterion of comparative evaluation of technical objects. [Applied mathematics in engineering and economic calculations: Sat. sci. tr.], SPb: SPGUVK, 2001, pp 62-65.