

ДИАГНОСТИКА КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА ИХ СОСТОЯНИЙ

А. Б. Щербань

В настоящее время проблема мониторинга и диагностики потенциально-опасных (ПОО) и критически важных (КВО) объектов представляется все более актуальной. Это объясняется повышением сложности таких объектов и превращением их в эргатические системы, элементами которых является человек, с постоянным усилением роли человеческого фактора в таких системах. При повышении сложности ПОО и КВО усиливается их взаимодействие с внешним окружением, которое необходимо рассматривать как эргатическую стохастическую надсистему.

Обобщенные требования к мониторингу и управлению технически сложными системами регламентированы ГОСТ Р1.12-2005, который устанавливает основные требования к построению структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами (СМИС). В ГОСТе указано, что СМИС необходимо строить на базе программно-технических средств, обеспечивающих передачу в реальном времени информации о состоянии ПОО для последующей обработки с целью оценки, предвидения и устранения последствий дестабилизирующих факторов.

Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций осуществляются различными организациями (Росгидромет, Федеральная система сейсмических наблюдений и прогноза землетрясений, включающая учреждения и наблюдательные сети РАН, МЧС, Минобороны, Госстроя). При этом используются различные методы и средства, от которых во многом зависит качество мониторинга, управления и прогноза, определяющим образом влияющее на эффективность снижения рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

Обобщенно функционал системы мониторинга безопасности включает измерение и анализ параметров существенных свойств ПОО и КВО, определяющих их состояние, с целью формирования оценки состояния с точки зрения риска возникновения чрезвычайных ситуаций, прогнозирования траектории состояний и выработки управляющих воздействий для стабилизации траектории состояний и снижения риска возникновения ЧС. Исходя из функционала, принимаются решения по структуре системы мониторинга, ее организационно-техническому и аппаратно-программному обеспечению.

В настоящее время разработаны программно-технические комплексы оперативного управления безопасностью, которые содержат станции мониторинга параметров состояний (объектовые аппаратно-программные комплексы) и комплексы средств автоматизации ситуационных центров, предназначенные для контроля и наблюдения за ПОО и КВО, прогнозирования, оценки последствий и планирования действий по устранению чрезвычайных ситуаций.

Программное обеспечение таких комплексов позволяет рассчитывать возможную степень опасности чрезвычайных ситуаций и планировать действия аварийно-спасательных подразделений. При этом прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций осуществляется, как правило, на основе параметрической диагностики, т.е. путем контроля параметров процессов функционирования объектов и выявления отклонений их текущих значений от нормативных.

Однако даже абсолютно достоверной, максимально полной и своевременной информации о параметрическом состоянии диагностируемых объектов не во всех случаях бывает достаточно для прогнозов и выработки эффективных управленческих решений с целью надежного обеспечения безопасности ПОО и КВО и эффективного управления рисками. Проблема повышения точности и своевременности прогнозирования и выработки эффективных управляющих воздействий средствами комплексной мониторинговой системы остается актуальной, поскольку точность и своевременность принятия решений зависят от адекватности и полноты математических моделей, используемых для расчетов оценок, рисков и прогнозирования развития опасностей.

Альтернативной основой разрабатываемых автоматизированных систем мониторинга представляется структурный подход к разработке математического и информационно-алгоритмического обеспечения методов моделирования и прогнозирования состояний ПОО и КВО.

Структурный подход предполагает, что в условиях системного представления, целесообразно анализировать не отдельные параметры ПОО и КВО, а классы их состояний, т.е. применять принцип ситуационного управления [1, 2], позволяющий получать новые знания о динамике состояний управляемого объекта, необходимые для формализованного перехода к выбору способов управления на этапах предшествующих критическому развитию ситуаций.

Задачи диагностики в рамках структурного подхода предлагается формализовать как задачи идентификации синтаксических структурных моделей [2, 3–10] состояний ПОО и КВО. В результате решения таких задач каждому оцениваемому состоянию ставится в соответствие конкретное управляющее воздействие, препятствующее развитию критической траектории состояний, приводящей к чрезвычайной ситуации.

Предлагаемый структурный подход к диагностике и управлению ПОО и КВО дает возможность применять количественные методы структурного оценивания сложных систем путем перехода от параметрического оценивания состояний к анализу их синтаксических структурных моделей. Структурные модели предоставляют для анализа более полную и целостную формализованную информацию, позволяющую автоматизировать выбор адекватных управляющих воздействий и прогнозирование возможных траекторий состояний оцениваемого объекта.

В качестве основы идентификационно-структурного подхода к диагностике и управлению ПОО и КВО рассматривается принцип идентификационно-структурного управления [2].

В соответствии с принципом идентификационно-структурного управления задачи диагностики ПОО и КВО решаются как задачи идентификационно-структурного анализа, которые заключаются в поиске структурных отображений различных уровней «связноподобности» структурных моделей текущих состояний ПОО и КВО в классе множеств структурных моделей эталонных состояний.

Сущность применения идентификационно-структурного анализа представлена в виде Use Case диаграммы на рис. 1.

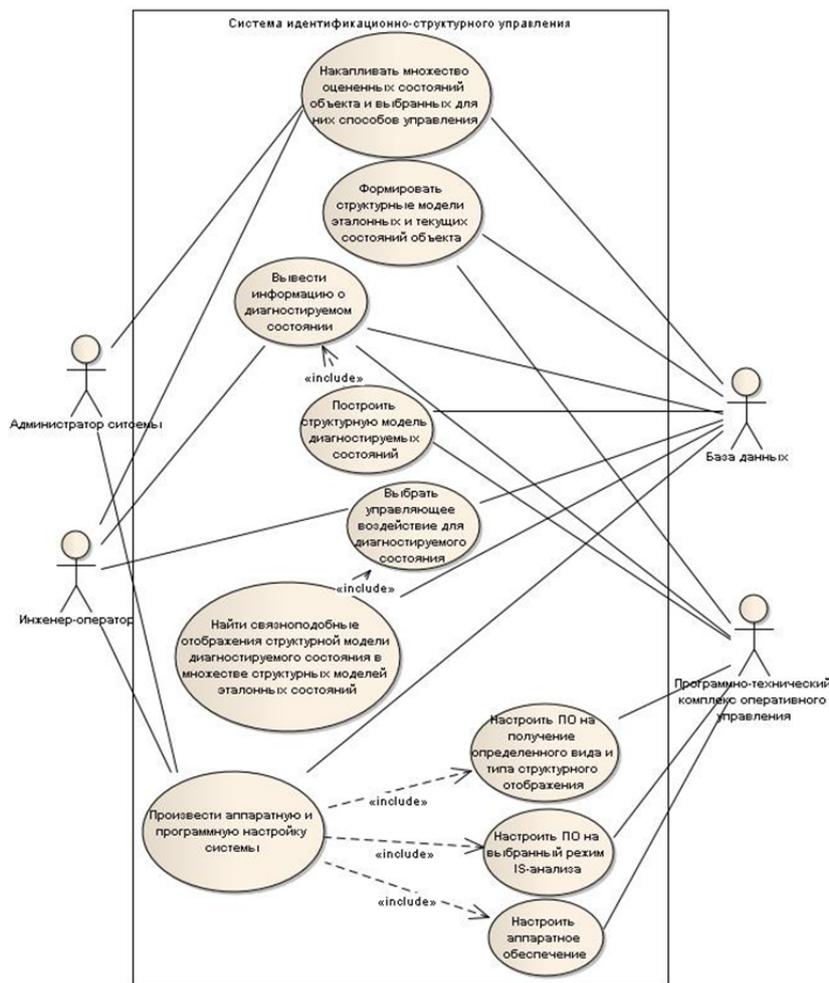


Рис. 1. Вариант обобщенной методики идентификационно-структурного управления ПОО и КВО

На рис. 1 в виде *Use Case* диаграммы показан возможный вариант обобщенной методики реализации принципа идентификационно-структурного управления (*S*-принципа), предлагаемой в качестве методологической концепции построения математического и программного обеспечения программно-технического комплекса оперативного управления безопасностью ПОО и КВО.

Принцип идентификационно-структурного управления (*S*-принцип) предполагает, что в распоряжении комплекса управления безопасностью ПОО и КВО имеется m вариантов управления. Число возможных вариантов управления, как правило, относительно небольшое и может быть определено предварительно на основе прогнозирования возможных состояний объекта управления.

Каждому варианту управления $U_j, j = 1, 2, \dots, m$ соответствует множество состояний объекта управления, представленное множеством обобщенных структурных моделей структур текущих состояний (ОСМ СТС). Тогда возможное множество текущих состояний управляемого объекта ОСМ СТС можно формализовано представить в виде класса множеств $SC = \{SC^1, SC^2, \dots, SC^j, \dots, SC^n\}$, где $SC^j = \{sc_1^j, sc_2^j, \dots, sc_k^j, \dots, sc_r^j\}$ множество ОСМ СТС, описывающее подмножество текущих состояний ПОО и КВО, требующих управления U_j .

С другой стороны, на основе анализа истории состояний и вариантов управлений ПОО и КВО, с использованием вариантного анализа можно сформировать класс множеств ОСМ эталонных состояний (ОСМ СЭС) $SA = \{SA^1, SA^2, \dots, SA^j, \dots, SA^m\}$. Каждому множеству $SA^j = \{sa_1^j, sa_2^j, \dots, sa_k^j, \dots, sa_r^j\}$ этого класса должно соответствовать определенное управляющее воздействие.

Тогда в соответствии с принципом идентификационно-структурного управления (*S*-принципом) задача диагностики текущих состояний ПОО и КВО и выбора управлений с целью предотвращения критических ситуаций формулируется как задача поиска структурно близких (связноподобных) структурных отображений ОСМ СТС sc_k^j в классе множеств ОСМ СЭС. Найденное отображение $\varphi: sc_k^j \rightarrow sa_k^j \Rightarrow SA^j \Rightarrow U_j$ позволяет идентифицировать управляющее воздействие U_j , препятствующее развитию критической траектории состояний ПОО и КВО.

Кроме этого, если имеется класс множеств ОСМ СЭС $SA = \{SA^1, SA^2, \dots, SA^j, \dots, SA^m\}$, то каждому множеству $SA^j \subset SA$ можно поставить в соответствие некоторую ОСМ $sw_j \in SW$, где $SW = \{sw_1, sw_2^j, \dots, sw_j, \dots, sw_m\}$, которая имеет сходство структурной связности со всеми ОСМ соответствующего множества SA^j . Такую ОСМ $sw_j \subset SW$ можно интерпретировать как структурную модель обобщенного элемента множества SA^j или как обобщенный структурный образ ситуации, для которой наиболее целесообразным представляется выбранное управляющее воздействие U_j . Следовательно, каждому управляющему воздействию можно поставить в соответствие ОСМ некоторой эталонной ситуации (СЭСИ), в которой могут находиться ПОО и КВО.

В этом случае в соответствии с *S*-принципом идентификационно-структурного подхода к диагностике ПОО и КВО, для ОСМ СТС $sc_k^j \in SC^j$ необходимо найти сходную по структурной связности ОСМ в множестве СЭСИ, т.е. найти структурное отображение вида $\varphi: sc_k^j \rightarrow sw_j \Rightarrow U_j$, где φ – выбранный вид и тип отображения, определяющие условия связноподобности ОСМ, т.е. условия принадлежности текущего состояния управляемого ПОО или КВО некоторой эталонной ситуации, которой соответствует определенное управляющее воздействие.

Таким образом, идентификационно-структурный подход к диагностике и управлению ПОО и КВО сводится к формированию ОСМ СЭС, ОСМ СЭСИ, ОСМ СТС и формализованному поиску связноподобных структурных отображений ОСМ СЭС в классе множеств ОСМ СЭС или в множестве ОСМ СЭСИ.

Процесс идентификационно-структурной диагностики и управления ПОО и КВО условно разделим на два подпроцесса:

- подпроцесс структурного обучения;
- подпроцесс структурного управления.

Задачи поиска связноподобных структурных отображений, составляющих каждый подпроцесс, т.е. задачи идентификационно-структурного анализа ОСМ (*IS*-анализа) [3], при управлении ПОО и КВО можно решать в трех режимах:

- задачи «*IS*-анализа в режиме с обучением»;
- задачи «*IS*-анализа в режиме с частичным обучением»;
- задачи «*IS*-анализа в режиме без предварительного обучения».

В зависимости от режима идентификационно структурной диагностики ПОО и КВО можно получить различные схемы реализации *S*-принципа при управлении такими объектами. На рис. 2 приведена *Use Case* диаграмма идентификационно-структурного управления в режиме «с обучением».

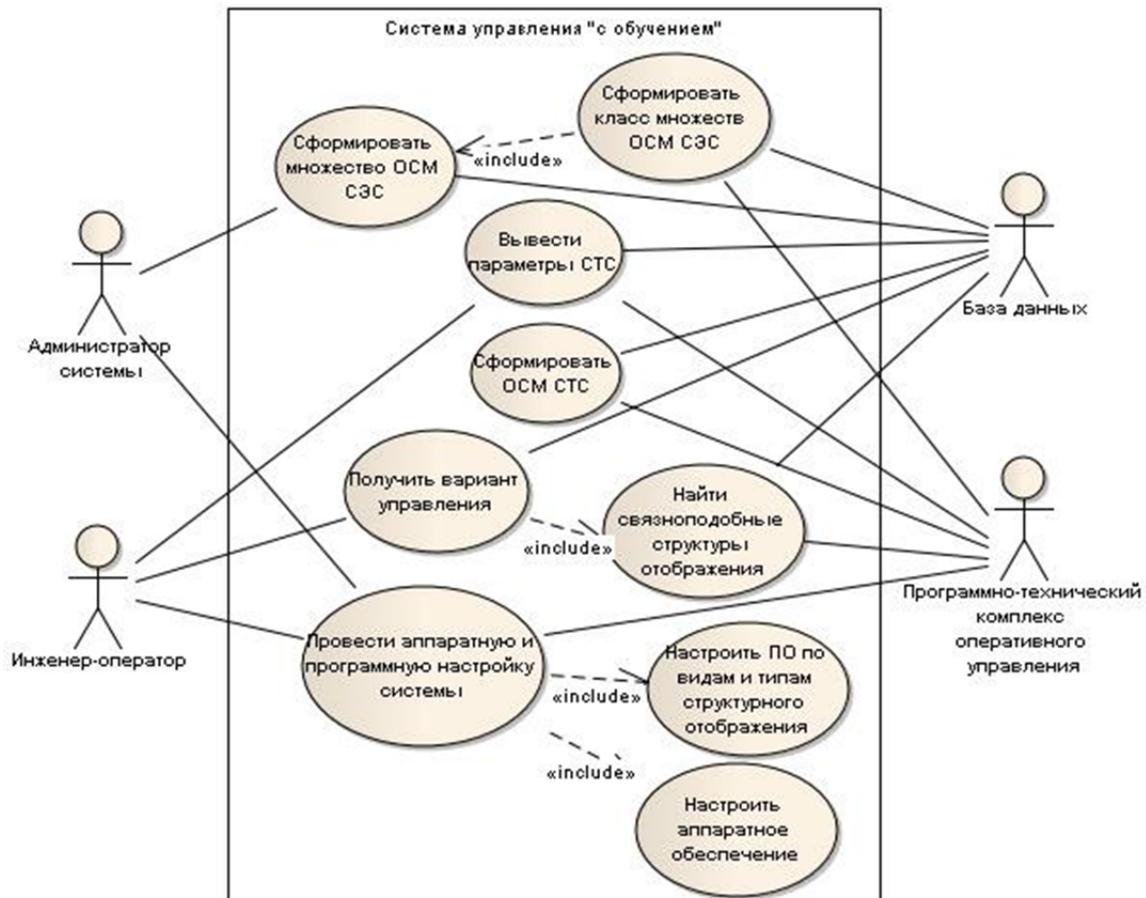


Рис. 2. Идентификационно-структурная диагностика и управление в режиме «с обучением»

К задачам *IS*-анализа с «обучением» отнесем все задачи подпроцессов структурного обучения и структурного управления, которые решаются в условиях заданного исходного множества ОСМ СЭС. В случае *IS*-анализа с обучением подпроцесс структурного обучения будет включать решение задач формирования ОСМ СЭС, ОСМ СТС и класса множеств связноподобных ОСМ СЭС $SA = \{SA^1, SA^2, \dots, SA^j, \dots, SA^m\}$. Подпроцесс структурного управления в этом случае заключается в поиске связноподобных отображений вида $\varphi: se_k^j \rightarrow sa_k^j$.

В случае формирования ОСМ СЭСИ получаем схему реализации *S*-принципа с частичным обучением. На рис. 3 приведена *Use Case* диаграмма идентификационно-структурного управления с частичным обучением.

К задачам *IS*-анализа «с частичным обучением» в первую очередь отнесем задачу формирования множества СЭСИ, когда известно множество СЭС и сформирован класс множеств ОСМ СЭС $SA = \{SA^1, SA^2, \dots, SA^j, \dots, SA^m\}$.

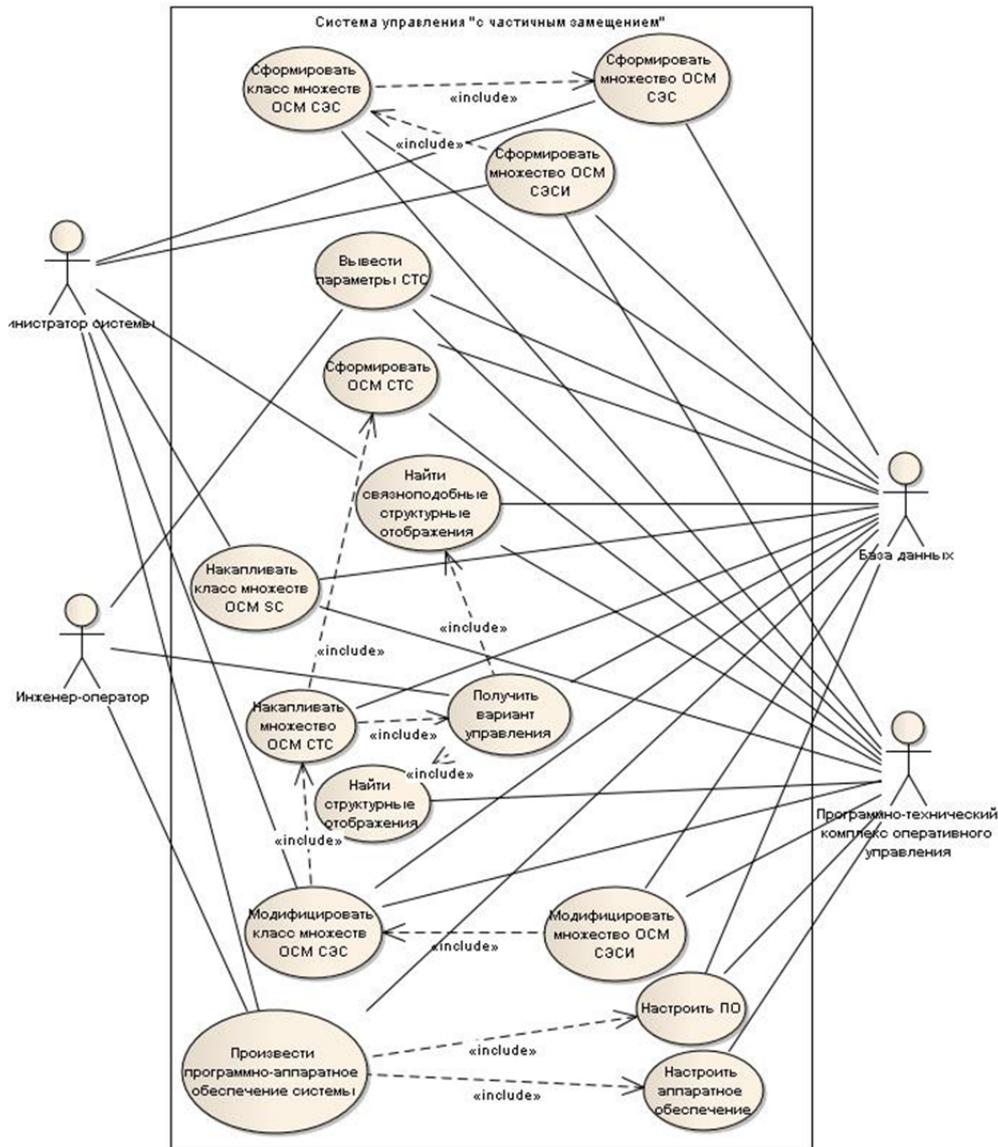


Рис. 3. Идентификационно-структурная диагностика и управление с частичным обучением

Кроме этого, задачами «с частичным обучением» будем считать задачи модификации класса множеств ОСМ СЭС и множества ОСМ СЭСИ. Если в процессе управления с обучением или с частичным обучением не удастся получить связноподобное структурное отображение ОСМ СТС в множестве ОСМ СЭС или ОСМ СЭСИ требуемого вида, то тогда решение задачи управления с частичным обучением заключается в нахождении различных типов связноподобных отображений исследуемой ОСМ СТС в множестве ОСМ СТС, накопленных в процессе управления, т.е. в процессе дообучения системы.

К задачам «с частичным обучением» отнесем также задачи модификации класса множеств ОСМ СЭС и множества ОСМ СЭСИ с учетом решения предыдущей задачи.

Задачи IS-анализа ПОО и КВО в режиме «без предварительного обучения» определим как задачи структурной «автоидентификации», решаемые только на множестве накопленных ОСМ СТС. На рис. 4 приведена Use Case диаграмма идентификационно-структурного управления «без обучения».

В режиме «без предварительного обучения» можно решать задачи накопления класса множеств ОСМ СЭС и множества СЭСИ, а также задачу управления в условиях отсутствия исходного множества ОСМ СЭС.

Поскольку S-принцип наиболее целесообразно применять для диагностики и управления сложными эргатическими системами необходимо учитывать, что исходные множества СЭС могут

быть недостаточны для идентификации возможных СТС таких систем. Поэтому схема реализации S-принципа предлагается открытой, т.е. предусмотрены возможности накопления множества ОСМ СЭС и модификации множества ОСМ СЭСИ по мере накопления оцененных ОСМ СТС и принятых по ним управляющих воздействий.

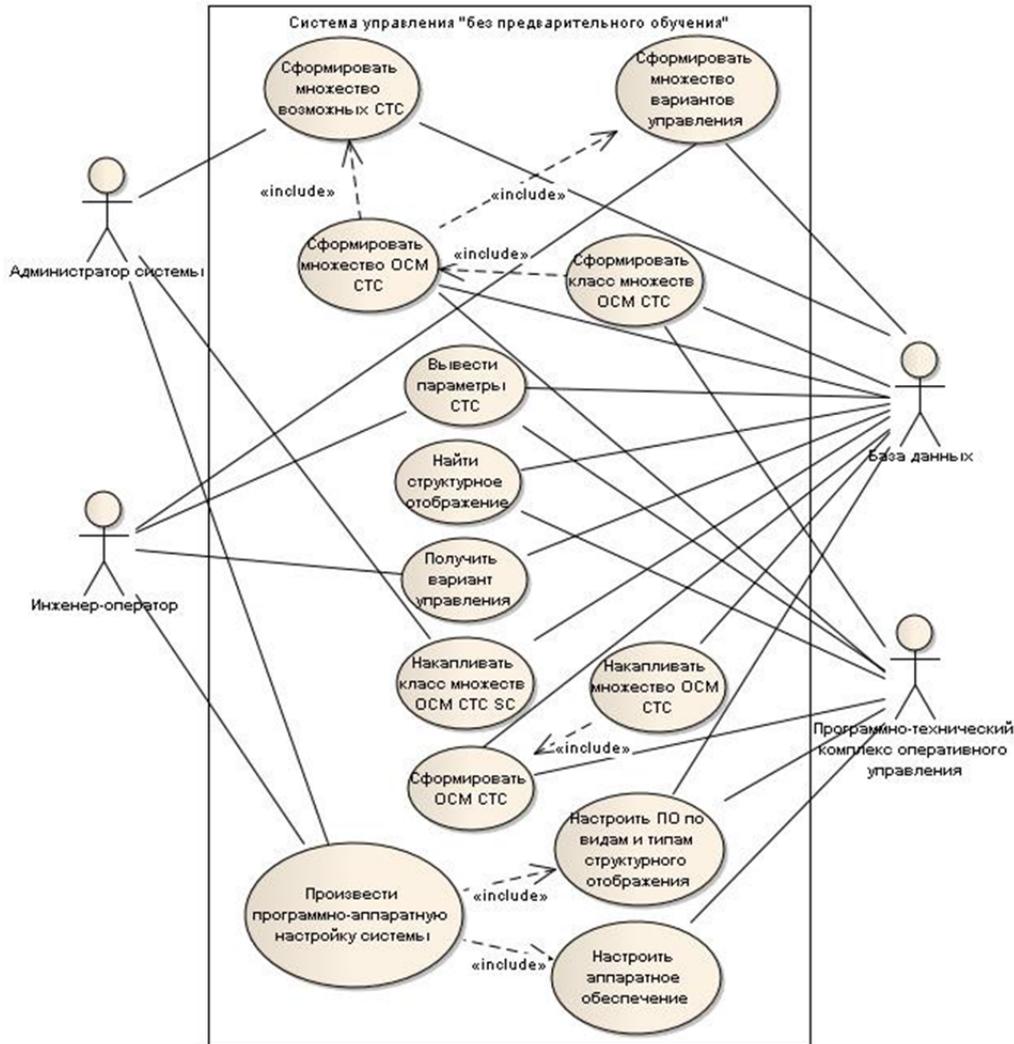


Рис. 4. Идентификационно-структурная диагностика и управление «без обучения»

Предлагаемые варианты обобщенной схемы идентификационно-структурного управления ПОО и КВО обеспечивают возможности постоянного самообучения (дообучения) в процессе управления путем накопления исследуемых ОСМ СТС и принятых по ним управляющих воздействий с последующим изменением состава и увеличением мощностей класса множеств ОСМ СЭС и множества СЭСИ.

За счет непрерывного «дообучения» возможности системы идентификационно-структурной диагностики и управления ПОО и КВО будут постоянно увеличиваться, а следовательно, будет повышаться ее эффективность. Процесс «дообучения» подобной системы при небольшом количестве управлений завершится достаточно быстро, а процесс самообучения будет продолжаться непрерывно.

Решение задач идентификационно-структурного управления ПОО и КВО сводится к решению формализованных задач установления различных видов «связноподобности» двух или нескольких ОСМ СТС, ОСМ СЭС, ОСМ СЭСИ.

В терминах обобщенных структурных моделей [2] такие задачи интерпретированы как задачи формирования различных видов «связноподобных» взаимных отображений ОСМ различных типов структурной близости, представленные в виде математических моделей IS-анализа [4].

В качестве видов связноподобных отображений ОСМ предлагаются изоморфные, частично-изоморфные и гомоморфные отображения.

В терминах видов структурных отображений ОСМ СТС, ОСМ СЭС, ОСМ СЭСИ в соответствии с формализованным постановлением задач структурной идентификации [14,16] разработаны обобщенные методы решения задач управления ПОО и КВО, инвариантные относительно специфики реальных объектов и способов их структурного представления. Разработанные методы могут служить основой программного обеспечения объектовых программно-аппаратных комплексов и средств автоматизации контроля управления и прогнозирования чрезвычайных ситуаций ПОО и КВО [15].

Предлагаемый подход к организации диагностики и управления ПОО и КВО позволяет автоматизировать процесс синтеза математических моделей информационных процессов, описывающих их состояния на основе разработанного математического аппарата формализованного структурного описания состояний системы [2]. Разработанный математический аппарат формализации постановок задач поиска различных видов связноподобных структурных отображений (изоморфных, частично-изоморфных и гомоморфных) позволяет объединить в рамках единой методологии методы поиска структурных отображений различной степени «связноподобности» и автоматизировать моделирование и объективную оценку текущих состояний ПОО и КВО с целью выявления критических состояний и траекторий, адекватного реагирования на подобные состояния для обеспечения функциональной стабильности объектов.

Список литературы

1. Щербань, А. Б. Обобщенные структурные модели информационных объектов / А. Б. Щербань, К. Е. Братцев, Т. В. Жашкова и др. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 1 (9). – С. 12–20.
2. Щербань, А. Б. Структурно- синтаксический подход к поиску альтернатив управления сложными системами / А. Ф. Зубков, А. Б. Щербань, И. А. Симонов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. «Информатика. Телекоммуникации. Управление». – 2010. – № 3 (101). – С. 45–49.
3. Щербань, А. Б. Классификация задач IS-анализа / А. Б. Щербань // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2010. – № 2. – С. 3–12.
4. Mikheev, M. U. On the multilevel information model of behavior of groups of autonomous intelligent agents for biomedical systems / M. U. Mikheev, V. V. Istomin, T. V. Istomina // Инновационные информационные технологии : III Междунар. науч.-практ. конф. / Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ. – Прага, Чехия, 2014. – № 1. – С. 385–395.
5. Жашкова, Т. В. Обобщенная процедура синтеза алгоритмов нейросетевой идентификации на базе теории целых функций экспоненциального типа / Т. В. Жашкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4 (24). – URL: [http://www.aspu.ru/images/File/Izdatelstvo/Prikspiiskii%204\(24\)2013/94-101.pdf](http://www.aspu.ru/images/File/Izdatelstvo/Prikspiiskii%204(24)2013/94-101.pdf).
6. Increasing the precision of metrological characteristics of smart sensors in large scale monitoring systems / М. Ю. Михеев, В. А. Юрманов, К. Ю. Пискаев и др. // Инновационные информационные технологии : III Междунар. науч.-практ. конф. / Московский институт электроники и математики НИУ ВШЭ. – Прага, Чехия, 2014. – № 2. – С. 370–375.
7. Михеев, М. Ю. Применение UML-моделирования для управления структурной динамикой сложных технических систем нейросетевой идентификации сигналов сложной формы / М. Ю. Михеев, С. А. Исаков, Е. Н. Мурашкина // Труды международного симпозиума Надежность и качество, 2014. – Т. 1. – С. 244–247.
8. Михеев, М. Ю. Разработка диаграммы вариантов использования датчиков на ПАВ / М. Ю. Михеев, С. А. Исаков, Е. Н. Мурашкина // Современные информационные технологии : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : ПГТА, 2014. – Вып. 14. – С. 57–60.
9. Михеев, М. Ю. Реализация модельно-ориентированного подхода при проектировании системы сбора данных / М. Ю. Михеев, К. В. Гудков, Е. А. Гудкова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 304. – URL: www.science-education.ru/120-16833.
10. Щербань, А. Б. Модель IS-анализа сложных физических систем (тезисы) / А. Б. Щербань, Т. В. Жашкова, К. Е. Братцев // Обзорные прикладной и промышленной математики. – 2009. – Т. 16, вып. 3. – С. 571–572.
11. Щербань, А. Б. Теоретико-множественный подход к формированию структурных моделей сложных информационных систем обучения / А. Б. Щербань, А. В. Новиков // Открытое образование. – 2009. – № 5. – С. 30–35.
12. Щербань, А. Б. Идентификационно-структурное управление как поиск гомоморфных отображений структурных моделей / А. Б. Щербань // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – № 3 – С. 174–182.

13. Щербань, А. Б. Формализация структурных моделей сигналов / А. Б. Щербань, А. Г. Дмитриенко, В. В. Соловьев // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер. «Технические науки». – 2012. – № 4. – С. 161–173.
14. Юрков, Н. К. Риски отказов сложных технических систем / Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 18–24.
15. Системный анализ процесса управления качеством изделий электронной техники / В. В. Маркелов, А. И. Власов, Э. Н. Камышная // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 1 (5). – С. 35–42.

Щербань Александр Борисович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационных технологий и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
(440039, Россия, г. Пенза, ул. Гагарина, 13)
(8412) 49-60-09
E-mail: schas999@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается подход к повышению точности и своевременности принятия решений по управлению потенциально опасными объектами, основанный на автоматизированном построении структурных моделей диагностируемых состояний и идентификационном структурном анализе полученных моделей.

Ключевые слова: критически важные объекты, система диагностики и управления технически сложными объектами, идентификационно-структурный подход, идентификационно-структурный анализ.

Shcherban' Aleksandr Borisovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information technologies
and systems,
Penza State Technological University
(440039, 13 Gagarin street, Penza, Russia)

Abstract. We consider the approach to increase of accuracy and timeliness of decision making on management of potentially dangerous objects based on the automated creation of structural models of the diagnosed conditions and the identification structural analysis of the received models.

Key words: critical facilities, diagnostics and management of technically complex objects, identification and structural approach, identification and structural analysis.

УДК 621.396.6

Щербань, А. Б.

Диагностика критически важных объектов на основе идентификационного структурного анализа их состояний / А. Б. Щербань // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 1 (9). – С. 77–84.