

ОБЩЕСИСТЕМНАЯ СТРУКТУРНО- ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯМИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Н. П. Кириллов

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

СПИИРАН, 14-я линия ВО, д. 39, Санкт-Петербург, 199178

<kirill@spiras.nw.ru>

УДК 681.5

Кириллов Н. П. Общесистемная структурно-функциональная модель процессов управления состояниями технических объектов // Труды СПИИРАН. Вып. 6. — СПб.: Наука, 2008.

Аннотация. Предложена общесистемная структурно-функциональная модель процессов управления техническими системами (ТС) с детальным рассмотрением функций, составляющих процессы принятия решений. Модель представлена в виде IDEF0-диаграмм. С использованием этой модели определен функциональный состав модельных представлений ТС, используемых в процессе принятия управленческих решений. Определены правила классификации нештатных ситуаций и выявлены причины их возникновения. Определены возможности и перспективы прикладного использования такой модели. — Библ. 8 назв.

UDC 681.5

Kirillov N. P. Universal the structural functional model of administrative processes by the conditions of technical objects // SPIIRAS Proceedings. Issue 6. — SPb.: Nauka, 2008.

Abstract. Is proposed the universal skeleton functional simulator of administrative processes by technical systems (TS), with the detailed treatment of functions forming decision making process. Simulator is presented in the form of IDEF0-graphs. With the use of this simulator is determined the functional composition of simulators TS utilized in the process of the acceptance of managerial decisions. Are determined the principles of the classification of unstaff situations and detected the reasons of their appearance. Are determined abilities and the perspectives of the applicable use of such simulator. — Bibl. 8 items.

1. Введение

Принятие решений по управлению поведением технических систем (ТС) в пространстве состояний (далее — управление ТС) невозможно без использования моделей и знания правил функционирования ТС. Будем называть в дальнейшем совокупность таких моделей и правил *модельным представлением ТС*.

Применительно к ТС со сложной внутренней организацией причинно-следственных взаимодействий их компонентов (конструктивных элементов и подсистем) задача формирования таких модельных представлений по целому ряду причин имеет проблемный характер [1]*. Одной из причин этого, в частности, является то обстоятельство, что в настоящее время *отсутствуют единые общепринятые взгляды* на состав модельных представлений ТС, функциональные границы его компонентов и их целевое назначение. В результате, как в теоретических исследованиях, так и в практических разработках модель-

* Здесь имеются в виду сложные ТС, моделирование поведения которых является для большинства аналитиков нетривиальной задачей. Отметим, что понятие «сложные системы» до сих пор не имеет строго определения. Оно не является абсолютным понятием и оценивается сегодня на качественном уровне по различным характеристикам объекта с учетом субъективных особенностей самих аналитиков, проявляемых при оценке этой сложности.

ных представлений ТС их авторы имеют полную свободу в выборе собственной субъективной системы взглядов в определении функционального состава таких моделей и правил. Эти взгляды во многом определяются конструктивной спецификой моделируемой ТС, а также спецификой системы, реализующей функции управления этой ТС. Это обстоятельство является одной из исходных причин существующего разнообразия различных частных решений и результатов в рассматриваемой предметной области, что существенно затрудняет их систематизацию и использование применительно к другим объектам моделирования.

Известно, что основным принципом, широко применяемым для решения сложных задач, является принцип «разделяй и властвуй». Но для его эффективного использования требуется предварительно как-то определить разделяемые объекты в соответствующей предметной области. Решение этой задачи применительно к рассматриваемой тематике заключается в выявлении функционального состава и детализации свойств элементов модельного представления ТС с общесистемных позиций. Это создаст необходимые условия: для систематизации существующих представлений о составе моделей и правил управления ТС; для разработки общесистемных прототипов и общесистемных методик их формирования; для проведения целенаправленного поиска информации, требуемой для формирования каждого из элементов модельных представлений ТС и для упрощения процессов решения целого ряда других не менее актуальных задач в области моделирования ТС.

Как уже отмечалось, рассматриваемые модельные представления необходимы для решения задач управления ТС. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что функциональный состав таких модельных представлений может быть определен путем выявления и детализации *структурно-функционального состава процессов управления* ТС. Действительно, если известны и каким-то образом детализированы функции, выполняемые в процессе управления ТС, то для каждой из них можно будет определить, какая для ее выполнения требуется информация о ТС.

Необходимость в построении общесистемной структурно-функциональной модели процессов управления ТС обусловлена также тем обстоятельством, что без такой модели практически невозможно аргументированно выявить потенциально возможные нештатные ситуации, которые могут возникать в процессе управления ТС, и разработать подходы к формированию правил принятия решений в таких ситуациях. Этот тезис становится очевидным, если рассматривать нештатные ситуации как факты несоответствия поведения ТС ее модельному представлению. Такие факты могут быть выявлены *в процессе* управления ТС или же в результате *анализа моделей* этих процессов.

До настоящего времени в технической литературе в качестве общесистемных концептуальных моделей процессов управления ТС используются в основном модели взаимодействия *систем*, реализующих эти процессы, а не *функциональные модели* самих этих процессов [2, 3]. *Общесистемные* свойства таких моделей малоинформативны для решения рассматриваемых задач. Чаще всего они ограничиваются рассмотрением агрегированных свойств взаимодействия только двух объектов — объекта управления (ТС) и системы управления его состояниями. Иногда в составе системы управления ТС выделяют подсистему планирования, подсистему оперативного управления, подсистему анализа состояний ТС. При этом разными авторами таких моделей могут предполагаться различные по составу и содержанию функции, выполняемые

подсистемами системы управления ТС, связи между ними и правила их взаимодействия.

Процессы функционирования систем управления ТС могут быть представлены при использовании существующих технологий и средств структурного анализа сложных систем в виде их различных структурно-функциональных моделей, в частности в виде диаграммы функциональной декомпозиции (FDD), диаграммы потоков данных (DFD), диаграммы «сущность-связь» (ERD) [4]. Однако такие модели отражают прежде всего *специфику* конструктивных и организационных особенностей используемых вариантов реализации процессов и функций систем управления ТС, что не позволяет рассматривать их с общесистемных позиций и непосредственно использовать для решения поставленных задач.

2. Концепция построения общесистемной структурно-функциональной модели

Эта концепция основана прежде всего на *гипотезе существования общесистемной* структурно-функциональной модели процессов управления ТС и возможности ее детализации до уровня, на котором возможно решение поставленных выше задач с общесистемных позиций.

При разработке такой модели предполагается рассматривать только общесистемные свойства процессов управления, а не конструктивные особенности реализующих их систем. Это положение основано на том, что степень разнообразия функционального состава и структур таких процессов существенно меньше степени разнообразия возможных средств и методов их реализации*. Переход от анализа вариантов конструктивной реализации различных ТС и их систем управления к анализу реализуемых ими функций с общесистемных позиций, должен обеспечить выполнение требования унификации разрабатываемой модели.

Очевидно, что анализировать процессы управления невозможно, пока предварительно не будут определены свойства объекта управления, в данном случае — ТС, которые могут оказывать свое существенное влияние на содержание функционального состава этих процессов и определять их особенности. Следовательно, исходя из требования общесистемного рассмотрения этих процессов, необходимо каким-то образом выявить и охарактеризовать общесистемные особенности различных ТС. Однако разнообразие ТС и их конструктивных решений, а следовательно, и их различных свойств настолько велико, что их не представляется возможным даже учесть для всех таких систем. Это означает, что решить поставленную задачу путем анализа и обобщения свойств реальных ТС представляется делом весьма проблематичным.

Тем не менее для этой задачи найдено приемлемое решение, которое основано на использовании сформулированной выше гипотезы. Оно заключается в том, что в качестве объекта управления, удовлетворяющего общесистемным требованиям, можно выбрать *гипотетическую ТС*, функциональный состав процессов управления которой априори включает в себя *все возможные* функции и взаимосвязи между ними, которые потенциально могут быть выявлены в составе процессов управления реальными ТС.

* Здесь просматривается прямая аналогия с известным законом «необходимого разнообразия», сформулированным У. Эшби.

Определение функционального состава процессов управления такой гипотетической ТС и его структуры с общесистемных позиций можно осуществить итеративным путем, мысленно проигрывая рабочие версии общесистемной модели применительно к процессам управления различными реальными техническими системами. В процессе выполнения таких итераций рабочие варианты модели будут постепенно приобретать общесистемный характер и в конечном итоге, на каком-то определенном этапе их построения могут быть представлены на некотором общем для всех процессов управления различными ТС уровне детализации их структурно-функционального содержания.

Выбор объекта управления в виде определенной таким образом гипотетической ТС изначально предусматривает свойство *функциональной полноты* модели процесса управления состояниями этой системы и не требует для обеспечения этого свойства проведения каких-то других дополнительных исследований.

Предложенное решение позволяет также рассматривать эту модель в качестве общесистемного прототипа (гомоморфного прообраза) структурно-функциональных моделей процессов управления реальными ТС, которые могут содержать в себе все или только отдельные функциональные элементы и связи между ними, представленные в модели управления гипотетической ТС. При этом, в соответствии с определением этой модели, никаких дополнительных специфических функций, не входящих в ее состав, в моделях процессов управления реальными системами быть не должно.

Отметим, что если верна сформулированная выше рабочая гипотеза, то тогда ТС можно рассматривать как *особый класс систем*, имеющих общие признаки, характеризующие функциональный состав моделей процессов управления их состояниями. Такие признаки могут отображать наличие или отсутствие тех или иных функций и/или связей между ними в структурно-функциональной модели конкретной ТС в сравнении с функционально полной моделью гипотетической ТС. Это обстоятельство позволит также сравнивать различные ТС друг с другом по признакам, характеризующим сложность одноименных функций, входящих в функциональный состав моделей процессов управления состояниями этих ТС.

Это обстоятельство существенно актуализирует потребность в построении общесистемной структурно-функциональной модели процессов управления гипотетической ТС, так как в этом случае появляется реальная возможность *построения специальной метрики для классификации и сравнения* различных ТС по составу и сложности функций, выполняемых в процессе управления их состояниями. Эта задача относится к области *квалиметрии моделей* и до настоящего времени не имеет пока еще приемлемого решения для его использования в теории и практике моделирования.

Рассматриваемые задачи и предложенная концепция их решения полностью являются оригинальными. Это обстоятельство обуславливает необходимость в поиске соответствующих им новых подходов и методов моделирования. Для этого в рассматриваемой предметной области предлагается применить методологию структурно-функционального анализа и моделирования (SADT) [5], которая ранее почему-то не использовалась для моделирования технических объектов, но широко используется и хорошо зарекомендовала себя при моделировании сложных организационных процессов и была успешно апробирована автором при построении структурно-функциональных моделей процессов функционирования ТС [1, 6].

Основанием для выбора методологии SADT является то обстоятельство, что в рассматриваемой постановке процессы управления гипотетической ТС априори являются сложными, неформализуемыми процессами. В этом смысле они схожи с процессами функционирования организационных систем, для моделирования которых успешно применяется эта методология.

Основное назначение методологии SADT состоит в последовательной декомпозиции сложных неформализуемых процессов и представлении их в виде множества функций и отношений между ними (связей) до такого уровня их детализации, на котором они однозначно воспринимаются читателями модели, могут быть представлены в виде алгоритмов и/или, если это необходимо, могут быть формализованы. Это свойство методологии SADT идеально подходит для удовлетворения указанных выше потребностей в построении рассматриваемой модели.

3. IDEF0 модель процессов управления гипотетической ТС

IDEF0 представляет собой международный стандарт моделирования, разработанный в соответствии с методологией SADT. В соответствии с ним для построения модели требуется сначала определить цели моделирования, объект моделирования и точку зрения, с которой оно будет осуществляться.

Цель моделирования состоит:

- в определении общесистемного функционального состава модельных представлений ТС;
- в определении причин возникновения и в формировании правил общесистемной классификации нештатных ситуаций, которые могут быть выявлены в процессе управления ТС.

Объект моделирования. Систему управления ТС можно рассматривать как *исполнительную подсистему* некоторой внешней по отношению к ней системы, которая, в частности, формирует и задает цели для управления ТС. Последнюю систему, во избежание путаницы в дальнейших рассуждениях, будем называть *мегасистемой*. При этом мегасистема также может рассматриваться как исполнительная подсистема какой-то третьей системы и т. д.

Известно, что такая «вложенность» рассматриваемых систем в их системное окружение может быть представлена в виде модели эшелонов [7]. Очевидно, что эта особенность в представлении систем может каким-то образом отразиться на функциональном составе процессов управления ТС. Поэтому при выборе объекта моделирования для решения поставленных задач необходимо корректно определить его функциональные границы так, чтобы не упустить какие-то отдельные составляющие его элементы в общесистемном представлении процессов управления ТС и одновременно с этим максимально упростить учет фактора «вложенности» систем.

Корректное решение этой задачи заключается в рассмотрении мегасистемы как *автономной* системы, не связанной с какими-либо другими системами, оказывающими влияние на её функционирование. Это позволяет учесть в модели процессов управления гипотетической ТС общесистемные функции взаимодействия системы управления ТС с её системным окружением и одновременно с этим упростить предметную область моделирования без потери её общности.

Будем считать, что назначение такой автономной мегасистемы состоит в преобразовании некоторых её входных объектов — *ВХОД* в выходные —

ВЫХОД, которые она осуществляет в соответствии с собственными целями. При этом предполагается, что гипотетическая ТС и система управления ее состояниями входят в состав мегасистемы в качестве ее подсистем. Процессы функционирования такой мегасистемы выберем в качестве исходного (концептуального) объекта моделирования.

Точка зрения. Будем полагать, что моделирование осуществляется с позиций *супервизора* процессов функционирования мегасистемы, т. е. с позиции аналитика, априори имеющего полную информацию обо всех функциях и структуре модели этих процессов. Выбор такой точки зрения на моделируемый процесс соответствует предложенной концепции итеративного определения структурно-функционального состава модели процессов управления гипотетической ТС.

Методологию SADT можно рассматривать как один из возможных вариантов реализации принципа «разделяй и властвуй». Эта методология не дает однозначных ответов на вопрос о том, как именно надо разделять моделируемые объекты, а предлагает только общие рекомендации и советы по их декомпозиции, а также правила их наглядного отображения. Поэтому состав и структура IDEF0-моделей во многом зависят от субъективных способностей и позиции их авторов.

В целях компенсации степени субъективизма таких моделей и повышения степени их адекватности моделируемым процессам в этой методологии предусматривается следующая последовательность разработки моделей.

Первоначальная модель получает статус «рабочей модели», которая затем проходит экспертизу специалистов в моделируемой предметной области. В соответствии с замечаниями и предложениями экспертов «рабочая модель» претерпевает ряд изменений. В конечном итоге достигается согласование модели с экспертами и она получает статус «рекомендуемой модели». При этом, как и в любом другом творческом процессе, наиболее трудным, но одновременно и наиболее значимым для получения требуемого конечного результата является этап разработки «рабочей модели» — овеществленного представления моделируемого объекта, т.е. его прототипа, предназначенного для его последующего анализа, критики и доработки.

В данной работе читателю предлагается именно такая «рабочая модель» процессов функционирования автономной мегасистемы, в которой, в соответствии с поставленными целями ее разработки особое внимание уделено детализации функционального состава процессов принятия решений, реализуемых в процессе управления состояниями ТС.

IDEF0 модель процессов управления гипотетической ТС представляет собой набор диаграмм, посредством которых последовательно детализируются содержание и состав выполняемых в этом процессе функций (рис. 1–8).

Синтаксис IDEF0 моделей достаточно прост. Прямоугольниками в них обозначаются функциональные блоки. Дуги, входящие в блоки слева, соответствуют информационным входам (аргументам) функции. Дуги, входящие в блоки сверху, — управляющим входам. В рассматриваемой модели они чаще всего отображают необходимые условия для реализации соответствующих функций. Дуги, входящие в блоки снизу, соответствуют механизмам (системам) реализации функций, а дуги, исходящие из блоков, — результатам выполнения (значениям) функций.

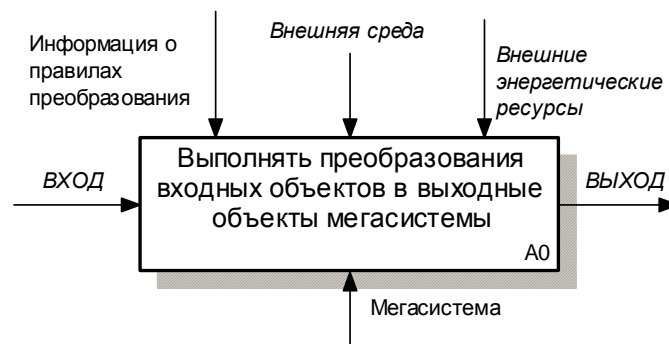


Рис. 1. Диаграмма А-0. Концептуальная модель процессов функционирования мегасистемы.

На рис. 9 представлена структура построенной IDEF0 модели процессов функционирования мегасистемы, позволяющая получить целостное представление о ее функциональном составе.

При построении модели процессов функционирования мегасистемы, с последовательной детализацией в ней процессов управления ТС и принятия решений при управлении состояниями ТС, дополнительно учитывались следующие соображения:

1. Процессы управления и функционирования ТС (блок А2) рассматриваются в модели функционирования мегасистемы (диаграмма А0) в качестве процессов, *обеспечивающих* какое-то одно из множества *необходимых* условий для выполнения процесса преобразования *ВХОД*→*ВЫХОД* (блок А4), выполняемого мегасистемой (диаграмма А0, рис 2). Применительно к процессу управления ТС это условие содержательно интерпретируется и задается в виде *целей управления* ТС (выход блока А1). Цель управления ТС предполагает выполнение соответствующих процессов по переводу ТС в заданное (целевое) состояние и/или по поддержанию ее в заданном состоянии на требуемом интервале времени.*

Цели управления ТС и другими обеспечивающими этот процесс системами формируются в функциональном блоке А1. Содержание функциональных блоков А1, А3 и А4 модели А0 далее не уточняется, так как они используются только для концептуального представления функций системного окружения и определения их взаимосвязей с моделями процессов управления и функционирования ТС.

* В IDEF0 диаграммах не отображаются временные закономерности моделируемых процессов.

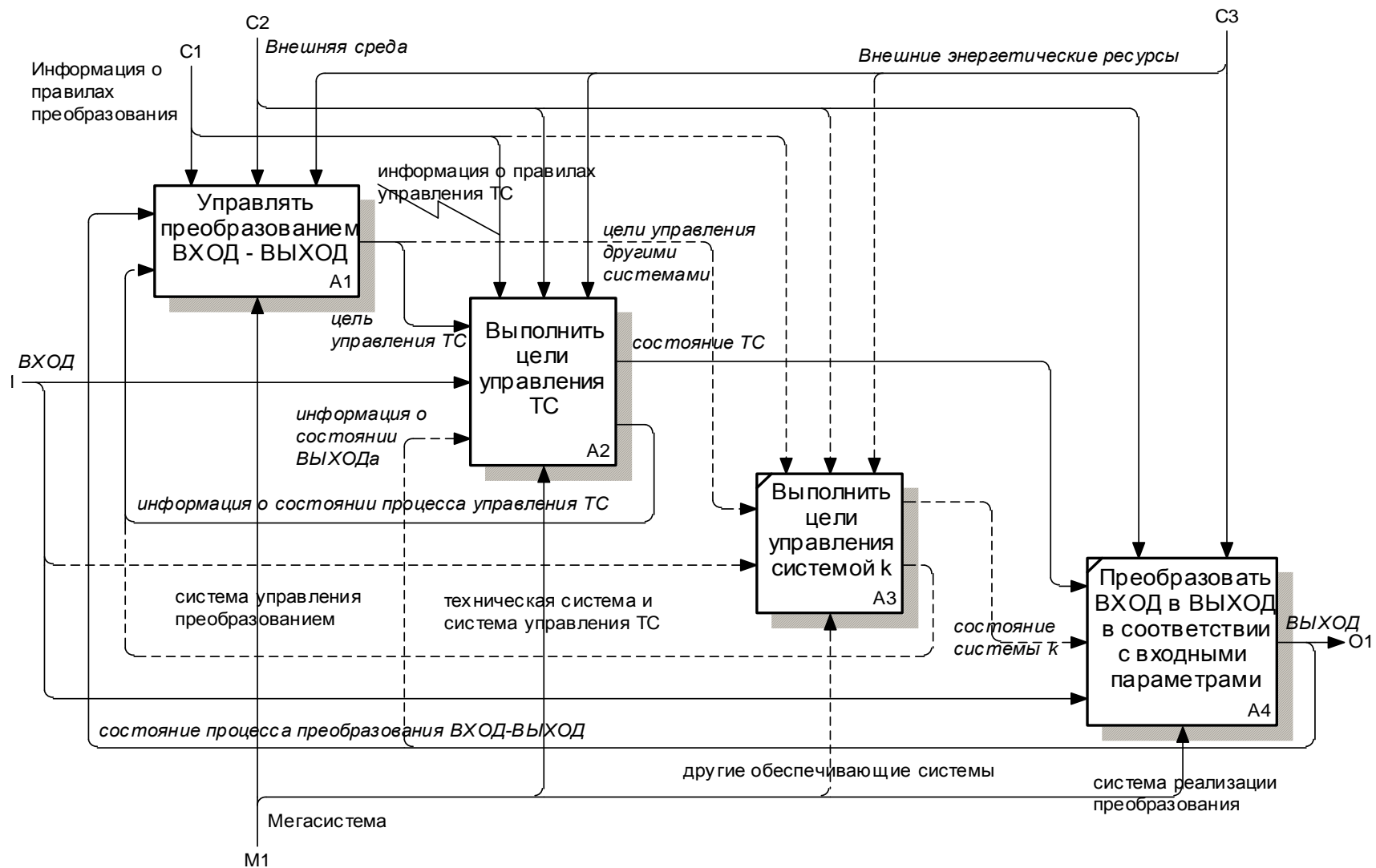


Рис. 2. Диаграмма А0. Выполнять преобразование входных объектов в выходные объекты мегасистемы.

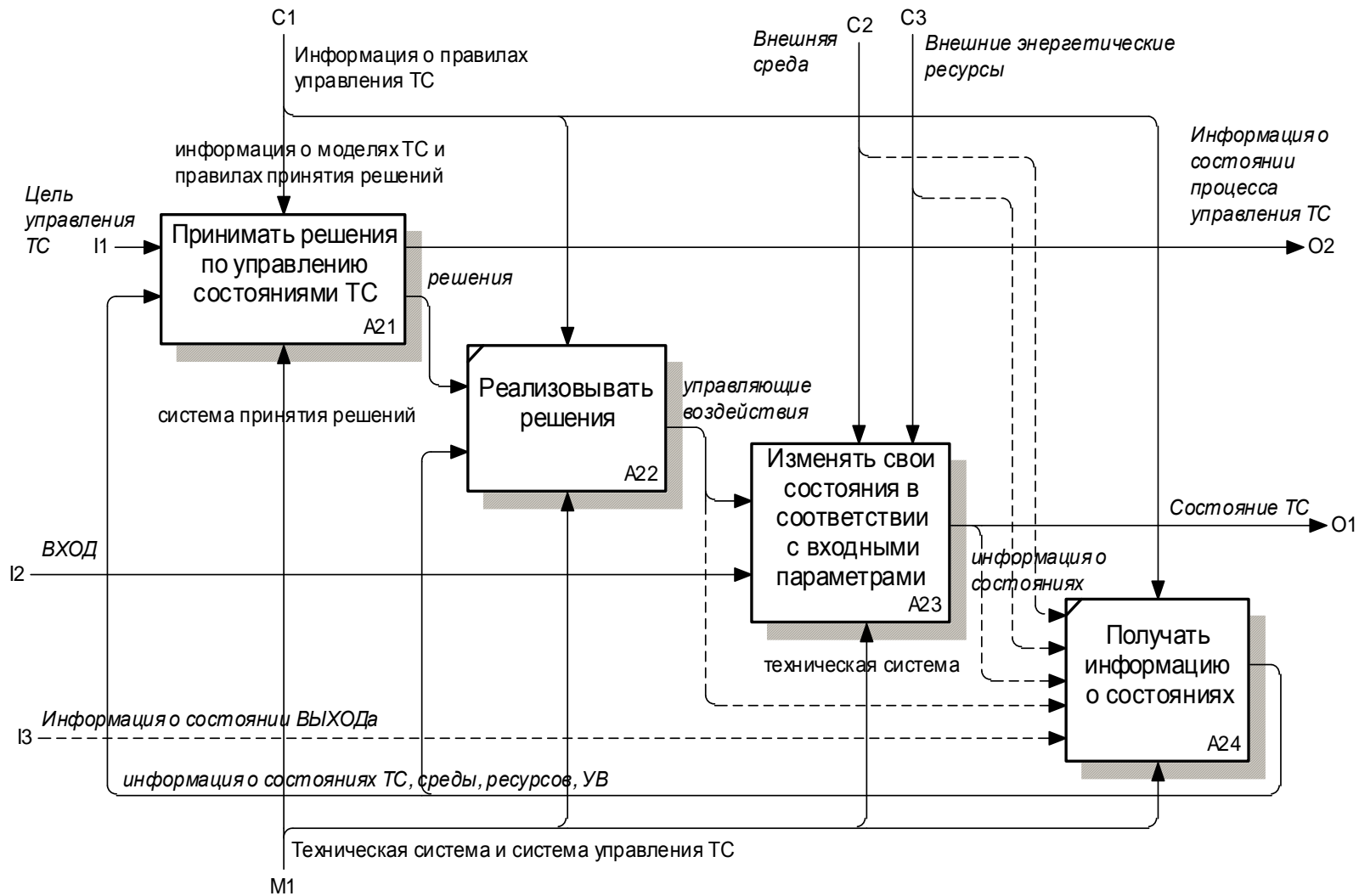


Рис. 3. Диаграмма А2. Выполнять цели управления ТС.

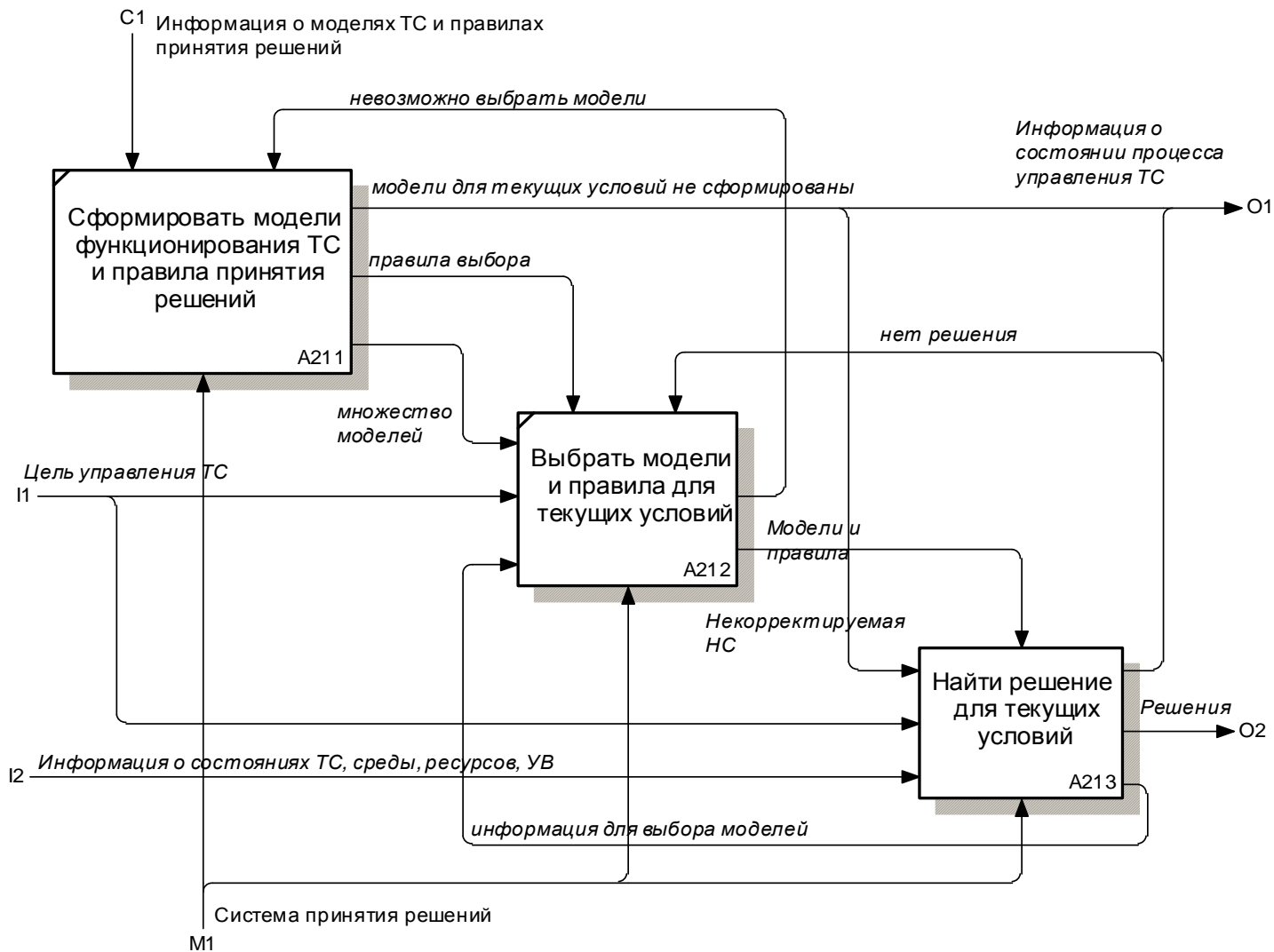


Рис. 4. Диаграмма A21. Принимать решения по управлению состояниями ТС.

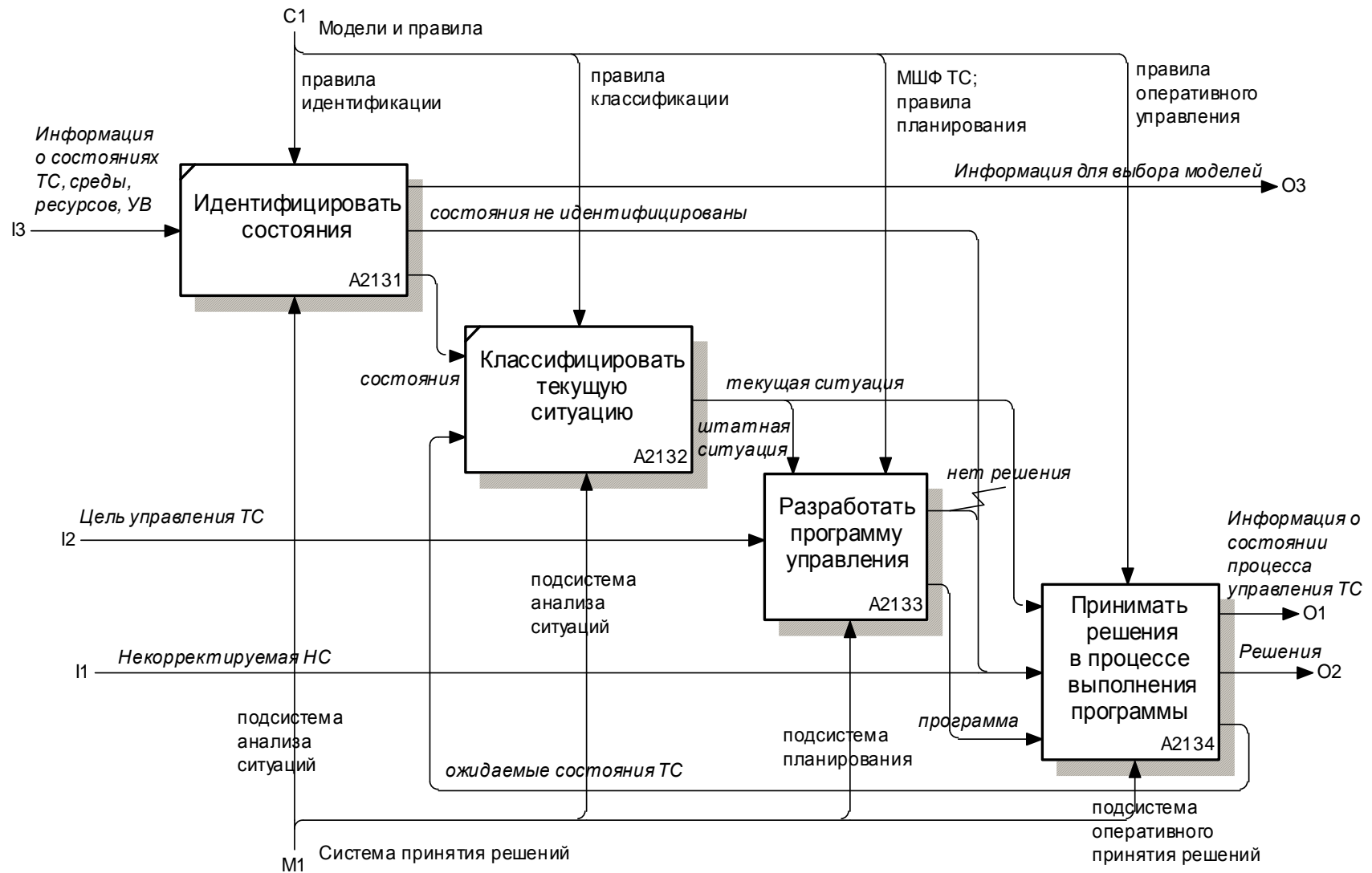


Рис. 5. Диаграмма A213. Найти решение для текущих условий.

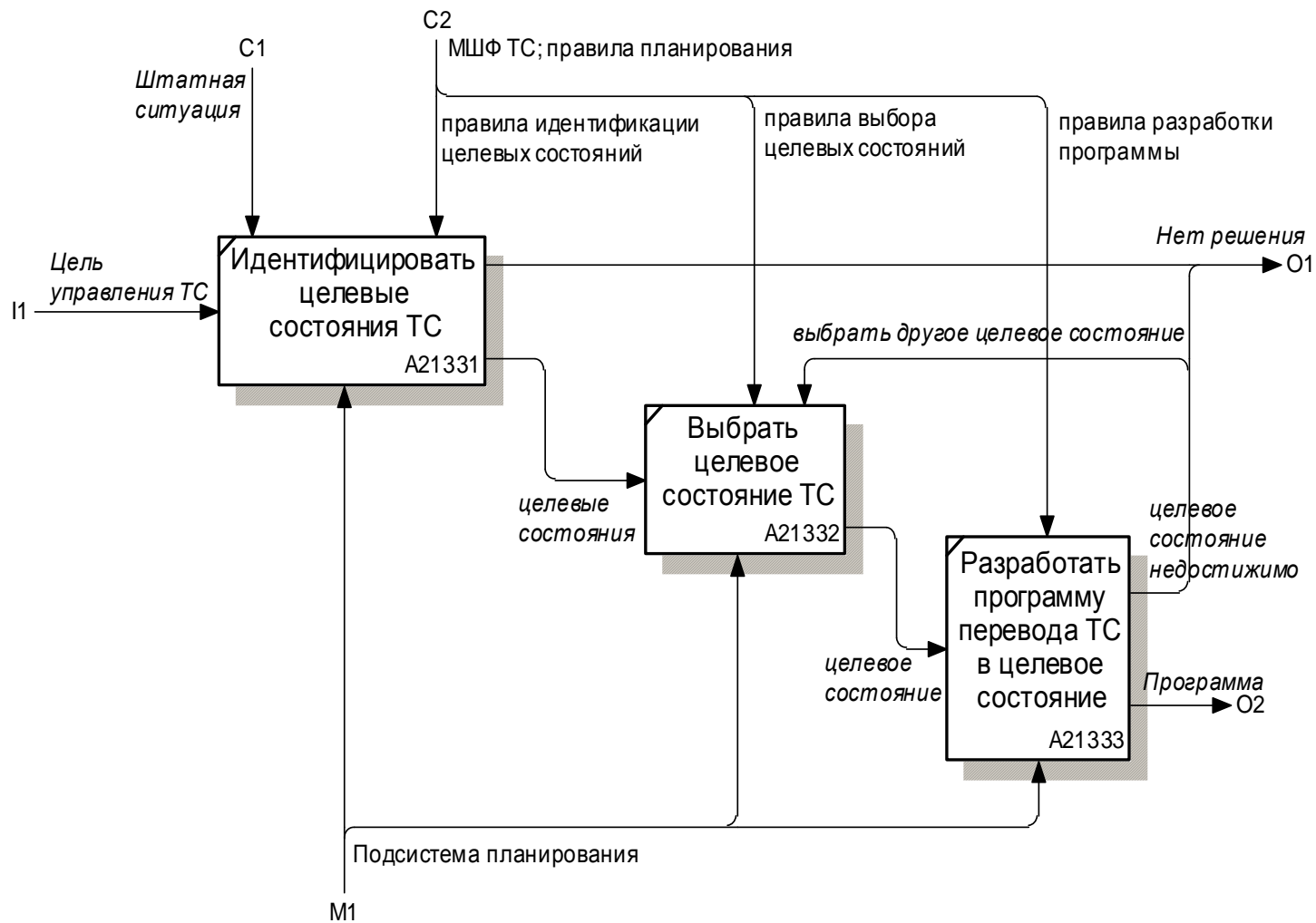


Рис. 6. Диаграмма A2133. Разработать программу управления.

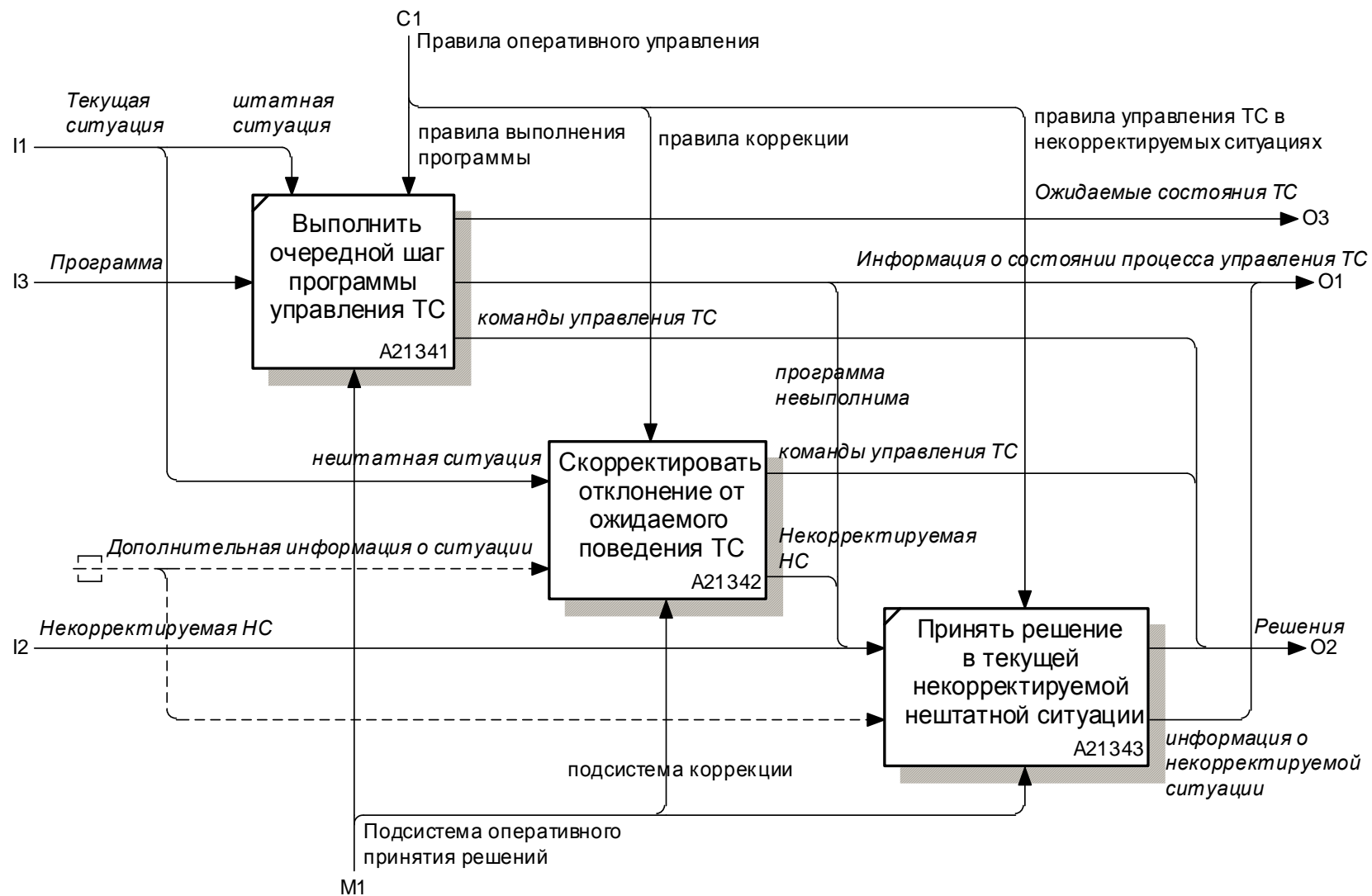


Рис. 7. Диаграмма A2134. Принимать решения в процессе выполнения программы.

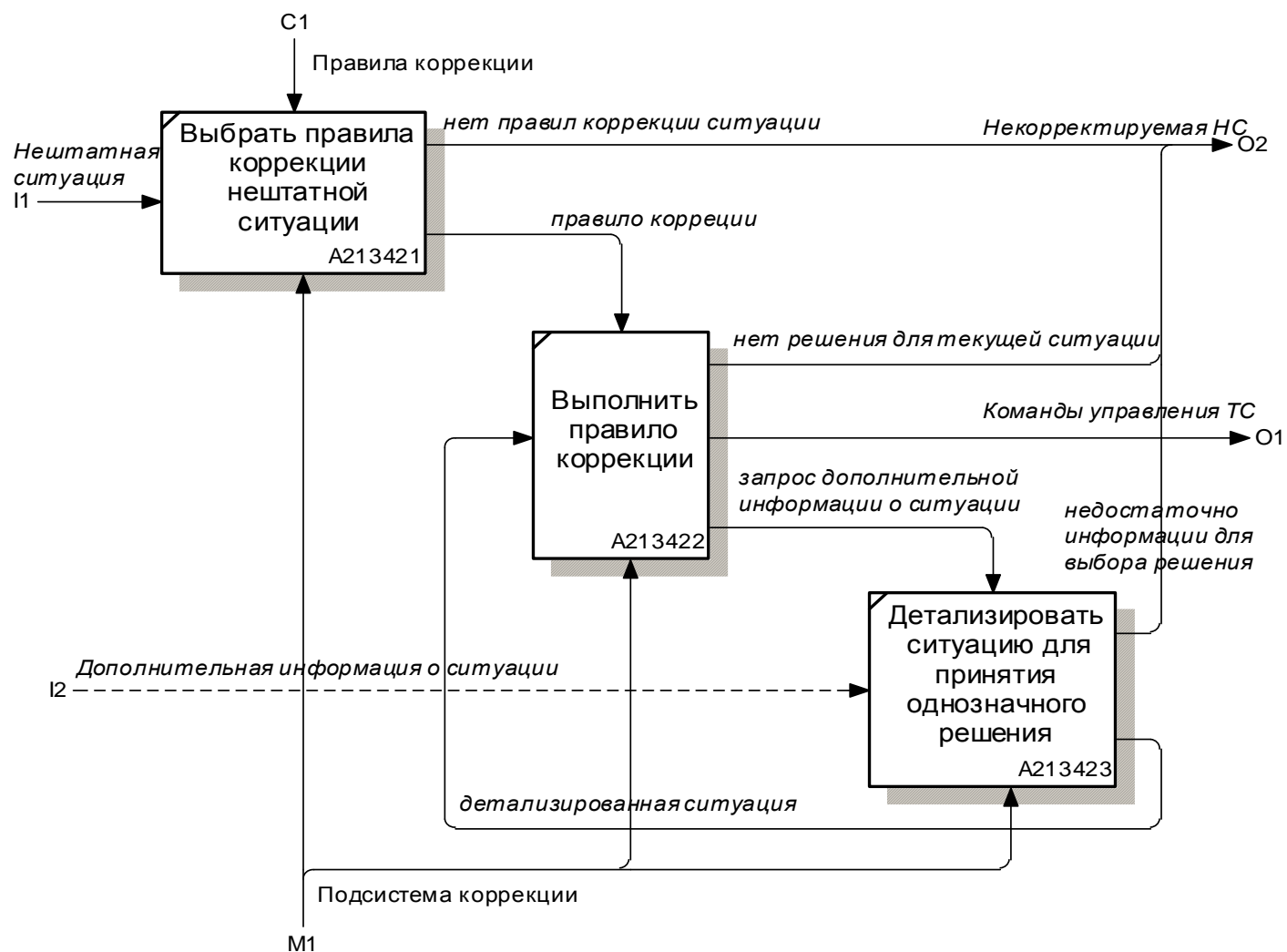


Рис. 8. Диаграмма A21342. Скорректировать отклонение от ожидаемого поведения ТС.

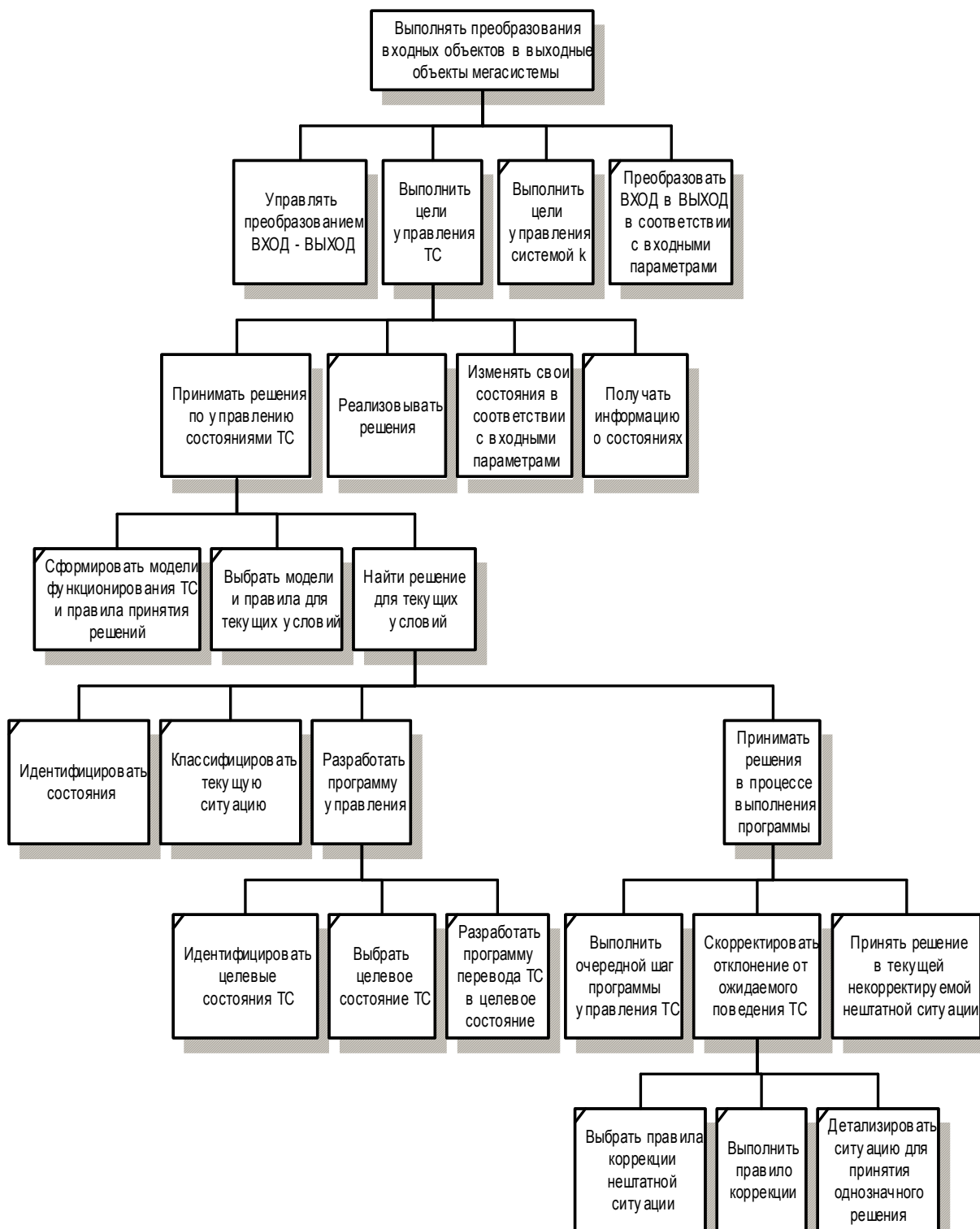


Рис. 9. Структура диаграмм IDEF0 модели процессов функционирования мегасистемы.

2. Корректность функционального представления модели процессов выполнения целей управления ТС (диаграмма A2, рис. 3) обусловлена наличием множества конкретных примеров раздельного рассмотрения функции принятия решений (блок A21), функции реализации этих решений (блок A22) и функции получения первичной информации о состояниях объектов контроля (блок A24). В дальнейшем состав функциональных блоков A22 и A24 не детализируется, так как это не принесет дополнительную информацию, которая могла бы быть

использована для достижения сформулированных ранее целей моделирования.

3. Структурно-функциональная модель процессов принятия решений по управлению состояниями ТС (диаграмма A21, рис. 4) представлена тремя функциональными блоками: функцией формирования моделей и правил принятия решений (блок A211), функцией выбора моделей и правил для текущих условий функционирования ТС (блок A212) и функцией поиска управленческих решений при этих условиях (блок A213).

Такое представление процесса принятия решений обусловлено следующими обстоятельствами.

Принятие решений невозможно без предварительного формирования модельного представления об объекте управления. Следовательно, в составе диаграммы A21 должна быть учтена функция формирования таких модельных представлений (блок A211).

Для различных условий функционирования ТС могут быть сформированы и использоваться в процессе принятия решений отличные друг от друга модельные представления ТС, соответствующие каждому из этих условий в отдельности. Этот тезис отражает также современные взгляды на *полиmodelное* представление сложных систем и процессов [8]. Отсюда, в свою очередь, следует, что в диаграмме A21 должна быть предусмотрена также функция выбора модельных представлений ТС для конкретных условий функционирования ТС из сформированного ранее множества моделей и правил принятия решений (блок A212).

И наконец, с использованием сформированных и выбранных модельных представлений должен осуществляться процесс поиска решений по управлению ТС в текущих условиях ее функционирования (блок A213).

4. Все ТС являются системами искусственного происхождения, в которых на конструктивном уровне предусматриваются:

- нахождение их в *устойчивых состояниях* по отношению к *штатным* (предусмотренным) воздействиям внешней среды на интервале гарантийного (установленного производителем) срока их эксплуатации и/или хранения;
- возможности *однозначной идентификации* состояний ТС;
- возможности получения (ожидания) *однозначных реакций* ТС в пространстве ее состояний на управляющие воздействия.*

Анализ процессов управления состояниями самых различных технических систем, от бытовых приборов до космических аппаратов, показывает, что все они осуществляются в дискретном времени в соответствии с *однозначными* правилами (детерминированными моделями), представленными в соответствующей эксплуатационно-технической документации.

Это обстоятельство не означает, что в процессе управления техническая система всегда будет функционировать в соответствии с такими детерминированными правилами и моделями. На любую ТС в процессе ее жизненного цикла

* На самом деле, это свойства не ТС, а ее моделей, представленных в эксплуатационно-технической документации и предназначенных для управления состояниями системы. При необходимости, для удовлетворения каких-то других целей, каждая ТС может быть представлена множеством отличных друг от друга моделей с использованием различной степени детализации информации о ее состояниях, среди которых могут быть и модели, не удовлетворяющие указанным свойствам.

постоянно оказывают влияние множество неконтролируемых факторов самой различной физической природы, не учитываемых при управлении ТС. Эти воздействия могут в любое время вызвать самые различные непредсказуемые изменения в ожидаемом детерминированном поведении ТС, вплоть до полного выхода ее из строя.

Такие ситуации выявляются в процессе управления ТС и классифицируются как *нештатные ситуации* (НС). При этом каждую НС можно интерпретировать как факт несоответствия реального поведения ТС ее модельному представлению, используемому в данный момент времени.

Функция классификации текущих ситуаций процесса управления ТС представлена в диаграмме A213 блоком A2132 (рис. 5). Правило выполнения этой функции заключается в проверке соответствия текущего состояния ТС (его идентификация осуществляется в результате выполнения функции A2131) с ожидаемым состоянием системы *на заданном интервале времени* (оно определяется в процессе выполнения очередного шага программы управления ТС — блок A21341 диаграммы A2134, рис. 7). В случае совпадения этих состояний текущая ситуация классифицируется как штатная, в противном случае она определяется как нештатная ситуация.

5. При построении модели процессов принятия решений при выполнении программы управления ТС (диаграмма A2134, рис. 7) учитывалось, что относительно наличия или отсутствия возможностей компенсации нештатных ситуаций, их можно разделить на два класса — *корректируемые* и *некорректируемые* НС.

К классу корректируемых НС относятся такие ситуации, при возникновении которых система управления располагает знаниями правил их коррекции, запасом времени и возможностями по реализации принятых решений для перевода ТС *в ожидаемое*, в соответствии с программой управления, состояние.

Отметим, что если существуют отличные от ожидаемого другие состояния ТС, относительно каждого из которых для перевода системы в целевое состояние в заданное время *не требуется внесения изменений* в реализуемую программу управления, то, очевидно, что множество всех таких состояний также может рассматриваться в качестве целей коррекции нештатных ситуаций. При этом должны учитываться оставшиеся для дальнейшего выполнения программы временные ресурсы, ограниченные требованием перевода ТС в целевое состояние к заданному времени.

НС, для которых не существует правил и возможностей их коррекции или же, если эти возможности не учтены в модельном представлении ТС, относятся к классу некорректируемых ситуаций.

Такое правило классификации НС отражает существующую закономерность в практике принятия решений в процессе оперативного управления (реализации программы управления) ТС. Оно обусловлено следующими обстоятельствами:

- перевод ТС в целевое состояние должен быть осуществлен к некоторому заданному (требуемому) моменту времени, что изначально вводит ограничения по времени выполнения всех функций процесса управления ТС;
- разработка программы управления ТС в сравнении с выполнением функций процесса ее реализации требует достаточно много времени относительно временных ресурсов, оставшихся для перевода ТС в заданное целевое состояние;

- разработка программы управления осуществляется из предположения, что поведение ТС соответствует и будет соответствовать в процессе реализации программы ее модельному представлению, которое используется в данный момент времени. Поэтому в программах управления ТС могут быть учтены дополнительные временные ресурсы *только* для компенсации *корректируемых* НС, информация о которых и о времени, требуемом для их компенсации, содержится в используемом модельном представлении ТС, в частности — в «правилах коррекции» (управляющий вход блока А21342);
- по определению некорректируемых НС информация о них выходит за рамки модельного представления ТС, используемого при формировании программы управления системой. Следовательно, невозможно аргументированно обосновать в программе управления временные ресурсы, требуемые для разработки новой программы управления относительно текущего состояния ТС в выявленной некорректируемой нештатной ситуации. Поэтому применительно к некорректируемым НС должны быть сформулированы специальные правила принятия решений в таких ситуациях (управляющий блок А21343).

6. Состав и содержание корректируемых нештатных ситуаций определяется в процессе анализа модели функционирования ТС в пространстве ее состояний с учетом конструктивных особенностей каждой конкретной системы.

Процедура такого анализа с общесистемной точки зрения заключается в том, что сначала определяются все возможные *штатные состояния* ТС, интерпретируемые в терминах значений параметров, характеризующих физические процессы функционирования ТС или составляющих ее конструктивных элементов. Затем применительно к каждому штатному состоянию ТС производится анализ возможных причин, которые могут привести к нештатным ситуациям при выполнении процесса управляемого перевода системы в какое-то другое ее штатное состояние или — к ее несанкционированным переходам в другие состояния при отсутствии управляющих воздействий.

В практике моделирования выполнить такой анализ возможно только в случае корректной декомпозиции процессов штатного функционирования ТС и представления их в виде структурированных формализованных моделей, что представляет собой самостоятельную проблему [1].

В процессе такого анализа должны быть решены следующие задачи:

- сформированы модели *штатного функционирования* (МШФ) ТС для различных условий функционирования системы (управляющий вход блока А2133);
- относительно каждого состояния в каждой МШФ определены возможные нештатные ситуации;
- разработаны правила коррекции поведения ТС (управляющий вход блока А21342) для каждой нештатной ситуации;
- разработаны правила принятия решений по действиям в некорректируемых нештатных ситуациях. Эти правила (управляющий вход блока А21343) могут предусматривать выполнение самых различных действий, в частности действий:
 - по переводу ТС в ресурсосберегающее состояние;
 - по переводу ТС в состояние, безопасное для ее системного окружения и внешней среды;

- по выполнению каких-либо других безусловных, «жестких» программ управления, которые, в частности, могут быть направлены на выполнение целей, специально предусмотренных для каких-то *критических* некорректируемых нештатных ситуаций (например, самоуничтожение ТС);
- по внесению заранее предусмотренных изменений в используемое модельное представление ТС (адаптация моделей под изменения структуры ТС или условий ее функционирования);
- по инициации процессов формирования и/или выбора новых модельных представлений ТС (блоки A211 и A212), отвечающих изменившимся текущим условиям ее функционирования или ее структуры и т.п.

7. При разработке модели процессов коррекции нештатных ситуаций (диаграмма A21342, рис 8) учитывались следующие общесистемные соображения:

- для однозначного выбора решения при выполнении правила коррекции нештатной ситуации (блок A213422) кроме информации, используемой для решения задачи идентификации состояний ТС, может потребоваться дополнительная информация о поведении этой системы (вход I2 блока A213423);
- детализация текущей нештатной ситуации до степени, обеспечивающей возможность принятия однозначного решения, может осуществляться в процессе нескольких итераций вида: выполнение правила коррекции → детализация ситуации → выполнение правил коррекции (обратные связи между блоками A213422 и A213423).

При принятии решений в некорректируемых ситуациях для аналогичных целей также может потребоваться специальная дополнительная информация о текущих значениях параметров функционирования ТС (вход блока A21343).

Следствием сказанного является возможность введения системы классификации параметров, характеризующих функционирование ТС, по их целевому использованию для решения задач:

- идентификации штатных состояний ТС (блок A2131);
- детализации НС для однозначного выбора правила ее коррекции (блок A213423);
- детализации некорректируемой ситуации для однозначного выбора соответствующего ей решения (блок A21343).

4. Заключение

Диаграммы представленной IDEF0 модели наглядны, легко читаются и воспринимаются как специалистами, так и неспециалистами в области управления и моделирования ТС и, как правило, не требуют особых пояснений вне рамок данной статьи. В соответствии с поставленными целями моделирования при построении модели особое внимание уделялось детализации функционального состава модельного представления процессов функционирования ТС, а также причин возникновения и проявлений возможных нештатных ситуаций.

Апробация модели осуществлялась как в самом процессе ее построения, так и при использовании ее в качестве общесистемного прототипа для построения структурно-функциональных моделей процессов управления различными реальными техническими системами. Полученные при этом результаты

подтверждают выдвинутую гипотезу о возможности построения общесистемного модельного прототипа этих процессов, имеющего достаточную степень детализации для его практического использования при решении сформулированных целевых задач.

Анализ разработанной модели позволил с единых общесистемных позиций определить следующий состав и функциональное назначение модельного представления ТС:

- модели штатного функционирования ТС (назначение — необходимое условие выполнения функции A2133);
- правила идентификации текущих состояний ТС (назначение — необходимое условие выполнения функции A2131);
- правила идентификации целевых состояний ТС (назначение — необходимое условие выполнения функции A21331);
- правила выбора целевых состояний ТС (назначение — необходимое условие выполнения функции A21332);
- правила классификации текущих ситуаций (назначение — необходимое условие выполнения функции A2132);
- правила разработки программы управления состояниями ТС (назначение — необходимое условие выполнения функции A21333);
- правила коррекции нештатных ситуаций (назначение — необходимое условие выполнения функции A21342);
- правила принятия решений в некорректируемых ситуациях (назначение — необходимое условие выполнения функции A21343);
- правила выбора моделей (назначение — необходимое условие выполнения функции A212).

Из определения правила классификации нештатных ситуаций следует, что одним из условий их отнесения к классу корректируемых ситуаций является наличие в составе модельного представления ТС правил принятия решений по компенсации таких НС. Возможность использования таких правил в процессе оперативного управления ТС определяется следующими факторами, предусмотренными в предложенной модели этих процессов:

- наличием или отсутствием возможностей системы реализации решений (блок A22) осуществлять коррекцию поведения ТС в нештатных ситуациях;
- наличием или отсутствием возможностей получения информации о состояниях ТС, внешней среды, внешних энергетических ресурсов ТС и о состояниях процесса реализации решений (блок A24);
- наличием, степенью полноты или отсутствием исходной информации о моделях ТС и правилах принятия решений (управляющий вход блока A21);
- способностью систем или лиц, реализующих процессы принятия решений при наличии перечисленных выше условий:
 - сформировать соответствующие модели и правила (блок A211);
 - правильно выбрать модельное представление ТС для текущих условий ее функционирования (блок A212);
 - идентифицировать текущее состояние ТС (блок A2131);
 - классифицировать текущую ситуацию процесса управления ТС (блок A2132);
 - разработать программу управления (блок A2133);

- принимать решения в процессе оперативного управления ТС (блок А2134).

Анализ перечисленных факторов в совокупности с анализом временных ограничений на перевод ТС в целевое состояние и/или поддержание ее в этом состоянии позволяет выявить и детализировать причины возможных некорректируемых нештатных ситуаций. Последние из них характеризуют субъективные особенности и способности систем и/или лиц, реализующих процессы управления ТС, правильно принимать соответствующие решения. Это обстоятельство может быть использовано для разработки способов и методов проведения сравнительной оценки и выбора альтернативных вариантов построения систем, предназначенных для реализации функций процесса принятия решений.

Разработанная IDEF0 модель объективно имеет *целый ряд принципиально новых* особенностей, полезных для развития теории и практики моделирования процессов управления и функционирования ТС. В частности в этой модели впервые удалось на общесистемном уровне наглядно отразить функционально полный состав процессов управления ТС и его структуру. Предварительный анализ возможностей прикладного использования предложенной модели показывает, что она может быть использована для решения ряда актуальных в практике моделирования задач, которые первоначально не учитывались в качестве целей разработки этой модели.

К таким задачам, в частности, относятся:

- задача построения структурно-функциональных моделей для реальных систем с использованием их общесистемного прототипа;
- задача оценки и классификации ТС по структурно-функциональному составу и сложности процессов принятия решений;
- задача анализа и оценки выбранного варианта распределения функций в существующих системах, реализующих процессы принятия решений по управлению состояниями ТС;
- задача выбора рационального варианта распределения функций в проектируемых системах, реализующих процессы принятия решений по управлению состояниями ТС.

Перечисленные задачи могут рассматриваться как новые самостоятельные направления научных исследований, способы и методы решения которых могут быть основаны на использовании предложенной модели. Кроме того, к перспективным направлениям исследований следует отнести рассмотрение вопросов дальнейшей детализации состава и структуры функциональных блоков предложенной модели, которое можно проводить с учетом отдельных специфических особенностей тех или иных подклассов класса ТС. Модели для каждого из таких подклассов ТС будут содержать больше информации об общесистемных особенностях процессов управления его представителями, относительно рассмотренной выше модели и, следовательно, позволят дополнительно упростить моделирование процессов управления реальными ТС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант №08-08-00346) и программы фундаментальных научных исследований ОНТИТ РАН (проект №2.5).

Литература

1. *Кириллов Н. П.* Структурно-функциональная модель причинно-следственных закономерностей управляемого поведения технических систем // Труды СПИИРАН. 2007. Вып. 5. СПб.: Наука, 2007. С. 285–299.
2. *Волкова В. Н., Денисов А. А.* Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 512 с.
3. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
4. *Калянов Г. Н.* CASE: структурный системный анализ (автоматизация и применение). М.: ЛОРИ, 1996. 242 с.
5. *Марка Д. А., Мак Гоуэн К.* Методология структурного анализа и проектирования. М.: МетаТехнология, 1993. 240 с.
6. *Кириллов Н. П.* Определение функциональных границ процессов управления состояниями технических систем с использованием методологии SADT // Труды СПИИРАН. 2007. Вып. 4. СПб.: Наука, 2007. С. 289–305.
7. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
8. *Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.