

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРАНИЦ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯМИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОЛОГИИ SADT

Н.П. Кириллов

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

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

<kirill@spiiras.nw.ru>

---

УДК 681.5

Кириллов Н. П. **Определение функциональных границ процессов управления состояниями технических систем с использованием методологии SADT** // Труды СПИИРАН. Вып. 4. — СПб.: Наука, 2007.

**Аннотация.** *Определение функциональных границ моделей процессов управления состояниями технических систем производится на начальной стадии моделирования, и осуществляются эмпирическим путем. Ошибки, допущенные при их определении, ограничивают возможности моделирования и автоматизации этих процессов. В статье рассматривается подход к определению функциональных границ этих процессов с использованием их SADT-моделей и предложены соответствующие методические рекомендации для решения этой задачи. Использование этих моделей и рекомендаций позволяет осуществлять целенаправленный поиск информации, требуемой для решения задачи определения функциональных границ рассматриваемых процессов и за счет этого существенно упростить её решение.* — Библ. 11 назв.

UDC 681.5

Kirillov N. P. **Determination of the functional walls of administrative processes by the conditions of technical systems with the use of strategy SADT** // SPIIRAS Proceedings. Issue 4. — SPb.: Nauka, 2007.

**Abstract.** *The determination of the functional walls of the simulators of administrative processes by the conditions of technical systems is produced on the initial stage of simulation, and are realized by empiricism. Mistakes, accepted in their determination, restrict the abilities of simulation and the automations of these processes. In paper is considered approach to the determination of the functional walls of these processes with the use of their SADT-simulators and proposed corresponding methodical recommendations for the solution of this goal. The use of these simulators and recommendations permits to realize goal-seeking information retrieval demanded for the solution of the goal of the determination of the functional walls of scrutinized processes and due to it is substantial to simplify its solution.* — Bibl. 11 items.

## 1. Введение.

Определение границ объекта моделирования осуществляется на самых ранних этапах разработки его модели. На этом этапе устанавливается, что является предметом моделирования, а что относится к его окружению. В некоторых случаях эти границы очевидны, но зачастую решение о границах объекта моделирования требует значительного анализа или даже попросту принимается с субъективных позиций волевым решением [1]. Очевидно, что от решения этой задачи во многом будет зависеть степень адекватности моделей их предметным областям и целям моделирования. Применительно к задаче моделирования процессов управления состояниями технических систем (ТС) от выбора этих границ существенно зависят функциональные возможности автоматизированных систем управления (АСУ) ТС, создаваемых на основе таких моделей.

На первый взгляд, решение этой задачи для технических систем не вызывает трудностей. Каждая ТС — это законченный конструктивный объект, который имеет вполне определенные технические и эксплуатационные характеристики. Известно целевое назначение ТС, возможности управления и наблюдения процессов её функционирования и т. п. Вместе с тем при построении моделей *процессов управления* состояниями даже достаточно простых ТС различные эксперты (аналитики) по-разному подходят к определению их функциональных границ. Наиболее часто при решении этой задачи ими допускается смешивание разноуровневых понятий и причинно-следственных связей, определяющих эти процессы. При этом одни из них могут характеризовать собственно процессы управления состояниями системы, а другие — предшествующие или сопутствующие им процессы, а также процессы, которые инициируются вследствие различных изменений состояний ТС.

Приведем достаточно типичный пример такого смешивания понятий при определении границ процессов управления ТС. В [1] Г. Буч, один из авторов методологии объектно-ориентированного моделирования, приводит пример использования своего подхода к определению границ объекта моделирования — гидропонной теплицы (цитата):

«В поведении гидропонной теплицы играют роль следующие события:

- посажена новая партия семян;
- урожай созрел и готов к сбору;
- из-за плохой погоды упала температура в теплице;
- отказало охлаждающее устройство;
- наступил заданный момент времени.

Идентификация событий, подобных этим, позволяет определить границы поведения системы и распределить обязанности по осуществлению этого поведения между отдельными классами».

Следуя этим рассуждениям, можно сделать неверный вывод о функциональных границах процесса управления климатом в теплице. В указанных характеристиках границ модели гидропонной теплицы (она рассматривается здесь как технический объект), помимо функций обеспечения и поддержания заданных характеристик освещенности, температуры и влажности в некотором замкнутом пространстве, она должна также выполнять функции управления процессами «выращивания семян» и «получения урожая». Не нужно быть специалистом в области сельского хозяйства, чтобы понимать, что процессы созревания выращиваемых в теплице растений являются *следствием* правильной работы автоматики этой теплицы, а также — выполнения целого ряда других условий, необходимых для получения урожая. Т. е., очевидно, что процессы посадки семян и выращивания урожая находятся за пределами границ модели функционирования теплицы и не должны учитываться при их определении. При этом требуемые параметры, необходимые для определения этих границ, в этом примере не указаны.

Можно привести еще множество подобных примеров смешивания понятий и неправильного использования причинно-следственных связей при определении функциональных границ процессов управления состояниями технических систем, которые можно найти в различных публикациях, посвященных вопросам моделирования систем, в том числе и у признанных в этой области авторитетов (например, в [2] — это модель процессов функционирования микроволновой печи). Эти примеры подтверждают вывод о том, что существующие подходы к решению рассматриваемой задачи носят исключительно эмпирический

характер и не имеют под собой приемлемой в практике моделирования методической основы. В этой работе предлагается подход к разработке таких методических рекомендаций.

## 2. Особенности существующих подходов

Для разработки такого подхода целесообразно сначала выявить и проанализировать причины, обуславливающие нетривиальность задачи определения границ рассматриваемой предметной области. По мнению автора, они состоят в том, что на концептуальном уровне рассмотрения процессов управления состояниями ТС используются подходы, не отражающие или слабо отражающие содержание этих процессов и характеризующие их причинно-следственные взаимодействия с объектами внешней среды системы.

Наиболее распространенный подход в рассмотрении вопросов управления состояниями ТС на начальной фазе их анализа, считающийся уже, наверное, классическим, заключается в иллюстративном представлении и последующем анализе систем и объектов, *реализующих* процессы управления ТС, а также структуры и содержания существующих или предполагаемых конструкторским проектом связей между ними и технической системой. Вариант иллюстрации подобного представления показан на рис. 1.

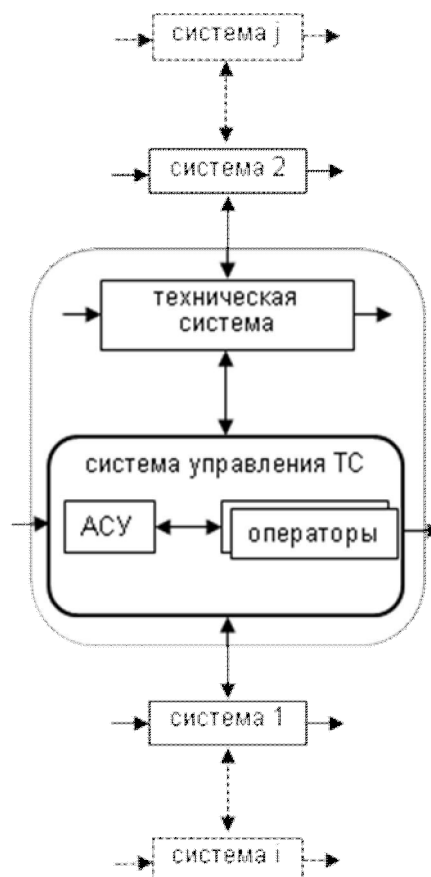


Рис. 1. Вариант взаимодействия систем в среде функционирования ТС и СУ.

Такое представление позволяет выделить *физические* границы взаимодействующих друг с другом систем и объектов и связи между ними, что, как правило, не вызывает особых проблем. При этом одни аналитики могут ограни-

чиваться (в зависимости от собственных предпочтений) рассмотрением только систем и объектов, входящих в контур управления ТС (ТС, АСУ и операторы) [3–5] — другие, расширяют эти рамки, включая в рассмотрение взаимодействие объектов этого контура с различными системами среды функционирования ТС (системы 1, 2,  $i, j$ ) [6]. Следует отметить, что в любом случае представление моделей процессов реализующими их системами переносит на эти модели какие-то специфические свойства этих систем, что делает их уникальными уже на концептуальном уровне их рассмотрения.

Формирование требований к моделям и алгоритмам процесса управления состояниями технической системы может рассматриваться с разных точек зрения, как извне системы управления ТС, так и изнутри неё (рис. 2).

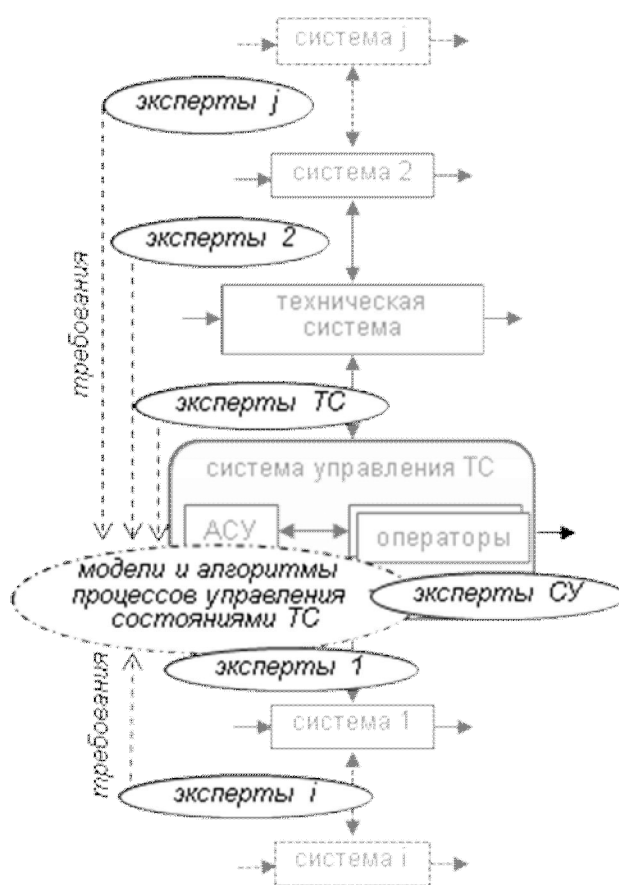


Рис. 2. Иллюстрация возможных позиций экспертов при определении функциональных границ моделей и алгоритмов управления состояниями ТС.

Недостатки этих подходов состоят в следующем.

1. В иллюстративном представлении физических объектов (систем) и структуры их взаимодействия содержание процессов управления состояниями ТС остается за его рамками, т.к. в нем в явном виде не отражены состав, структура и место используемых в реализации этих процессов моделей и алгоритмов. Другими словами, можно сказать, что рис. 1 иллюстрирует только модель какого-то *конкретного варианта реализации* процессов управления ТС, но не сами эти процессы.

2. При таком представлении процессов управления ТС никак не иллюстрируется зависимость функциональных возможностей разрабатываемых моделей и алгоритмов от наличия, полноты, достоверности и особенностей форм пред-

ставления исходной информации о рассматриваемых системах и процессах. В то же время характеристики исходной информации существенно влияют на эти возможности и поэтому их принципиально необходимо учитывать при рассмотрении подходов к моделированию процессов управления состояниями ТС.

3. Такое иллюстративное представление систем, объектов и их взаимосвязей не позволяет проводить анализ процессов управления ТС *с общесистемных позиций*, т.к. оно отражает в себе какое-то, как правило, уникальное конструкторское решение по их технической, программной и организационной реализации. Это обстоятельство всякий раз обуславливает необходимость искать оригинальные и специфические подходы к определению функциональных границ и анализу процессов управления состояниями ТС в условиях, когда функции, составляющие эти процессы, уже каким-то образом распределены между реализующими их объектами — АСУ, различными системами автоматики и операторами.

Всякая выполняемая в процессе управления ТС функция может быть реализована множеством различных способов. Поэтому вполне логично предположить, что разработка общесистемных подходов к анализу таких процессов и их границ возможна только в случае, когда они рассматриваются без привязки к средствам их реализации.

4. Решение задачи определения функциональных границ процессов управления ТС в условиях, когда предварительно уже использованы какие-то варианты их реализации, неминуемо сводится к решению задачи определения этих границ только относительно функций, выполняемых программным обеспечением (ПО) АСУ. При этом все функции управления состояниями ТС, которые при этом «выпадают» из субъективных представлений экспертов, формирующих требования к ПО (а значит, и требований к моделям и алгоритмам управления), остаются за пределами функциональных границ этой предметной области. Эти функции, как правило, явно не детализируются, а их реализация возлагается на операторов.

5. Такие подходы не предусматривают каких-либо целенаправленных действий по анализу рассматриваемой предметной области. Поэтому они оставляют аналитикам практически абсолютную свободу в использовании собственных (субъективных) концептуальных позиций при определении состава системного окружения ТС и её системы управления, а также в выборе функциональных границ и состава рассматриваемой предметной области, в формировании требований к соответствующим моделям и алгоритмам и т. п.

Следует отметить, что модели взаимодействия систем, показанные на рис. 1, могут с определенной точки зрения рассматриваться как стратифицированные представления реализуемых ими процессов [6]. Однако такой подход можно рассматривать только как еще один возможный вариант иллюстративного их представления, а не метод определения их функциональных границ. Он, по сути дела, также никак и ничем не ограничивает аналитиков в использовании своих субъективных представлений о предметной области моделирования и её границах.

### **3. SADT-модель процесса управления состояниями ТС**

Из сказанного выше вытекает, что задачу определения функциональных границ процессов управления состояниями ТС необходимо научиться решать с общесистемных позиций и поэтому она должна быть представлена на таком

понятийном и иллюстративном уровне, который не зависит от способов и методов программной, технической и организационной реализации этих процессов.

Этому требованию полностью удовлетворяет методология SADT (Structured Analysis and Design Technique — методология структурного анализа и проектирования) [7]. Она была специально разработана для того, чтобы облегчить описание и понимание искусственных систем, попадающих в разряд систем средней сложности.

С точки зрения методологии SADT модель может быть акцентирована либо на функциях системы, либо на её объектах. SADT-модели, ориентированные на функции, принято называть функциональными моделями. Функциональная модель представляет с требуемой степенью детализации систему функций, которые в свою очередь отражают свои взаимоотношения через объекты системы.

SADT-модель является некоторым толкованием системы или процесса. Однако моделируемые объекты не существуют изолированно: они всегда связаны с окружающей средой. По этой причине в методологии SADT подчеркивается необходимость точного определения границ системы. SADT-модель всегда ограничивает свой субъект, т. е. модель устанавливает точно, что является и что не является субъектом моделирования, описывая то, что входит в систему, и подразумевая то, что лежит за её пределами.

SADT-модель — это описание системы, у которого есть единственный субъект, цель и одна точка зрения. Цель формулируется как набор вопросов, на которые должна ответить модель. Точка зрения — это позиция, с которой описывается система. Цель и точка зрения — это основополагающие понятия SADT. Приступая к построению SADT-модели всегда необходимо сначала определить цель, субъект и точку зрения моделирования.

**Цель моделирования** состоит в поиске ответа на вопрос: как определять функциональные границы процессов управления состояниями ТС?

**Субъект моделирования.** В методологии SADT предусматривается четкое определение субъекта моделирования и, следовательно, его границ. Это означает, что рассматривать процессы управления состояниями ТС в качестве такого субъекта, до тех пор пока не будут определены его функциональные границы, что собственно и является целью моделирования, не представляется возможным.

Для того чтобы определиться с субъектом моделирования, ответим сначала с общих философских позиций на вопрос: для чего вообще предназначены технические системы? На этот вопрос можно дать следующий ответ: ТС можно рассматривать как инструмент, предназначенный для выполнения каких-то внешних по отношению к нему потребительских функций. В частности, ТС можно рассматривать как инструмент, обеспечивающий возможность *требуемых преобразований* состояний или видов каких-то внешних по отношению к нему материальных объектов (энергии, информации и др.) в требуемые состояния или виды этих или производных от них объектов. Например, осветительные приборы предназначены для преобразования электрической энергии в свет; телевизоры — для преобразования телевизионных сигналов в изображение; радиоприемники — для преобразования радиосигнала в звук и т. п.

Такой взгляд на технические системы позволяет рассматривать любую ТС как *исполнительную подсистему* (ИП) некоторой более сложной системы. Последнюю, во избежание путаницы в дальнейших рассуждениях, будем называть

*мегасистемой*. Мегасистема также может рассматриваться как исполнительная подсистема какой-то третьей, еще более сложной системы и т. д.

Для того чтобы не выйти за рамки рассмотрения вопроса об определении подходов к определению границ процессов управления состояниями ТС, будем полагать, что мегасистема представляет собой *автономную* систему, не связанную с какими-либо другими системами, оказывающими влияние на её функционирование. При этом будем считать, что назначение мегасистемы состоит в преобразовании некоторых её входных объектов — *ВХОД* в выходные — *ВЫХОД*. Процесс функционирования такой мегасистемы выберем в качестве субъекта моделирования.

Следует специально подчеркнуть, что субъект моделирования в нашем случае представляет собой *процесс* функционирования мегасистемы, рассматриваемый как совокупность выполняемых при этом *функций*. Поэтому все входные и выходные объекты модели и связи между её функциональными блоками должны отображать только *информационные характеристики* содержательно сопоставимых этим связям материальных объектов. Так, например, если *ВХОД* реальной системы всегда ассоциируется с каким-то материальным объектом (радиосигналом, электроэнергией и т. п.), то в SADT-модели процесса её функционирования под понятием «*ВХОД*» понимается *состояние* этого объекта, представляющее собой некоторую его совокупную информационную характеристику [1–4].\*

Основанием для такого выбора субъекта моделирования являются следующие аргументы:

1. Границы процесса функционирования автономной мегасистемы, представляющие собой информационные характеристики её входных и выходных объектов, могут быть легко определены, т.к. эта система не связана с какими-либо другими системами из её внешней среды.

2. ТС по определению входит в состав мегасистемы. При этом процессы управления состояниями ТС представляют собой какую-то составную часть процессов функционирования мегасистемы и, следовательно, не выходят за рамки их функциональных границ.

3. ТС в мегасистеме выполняет функцию исполнительной подсистемы, которая *непосредственно* влияет на процесс преобразования *ВХОД* → *ВЫХОД*, что не позволяет при определении границ процесса управления состояниями ТС неоправданно их расширять, рассматривая какие-либо отдаленные последствия её функционирования.

**Точка зрения.** Будем полагать, что моделирование осуществляется с позиций супервизора, т. е. такого объекта, который располагает любой необходимой информацией о моделируемом процессе.

Существенным концептуальным аспектом, дополнительно определяющим эту точку зрения, является требование: осуществлять моделирование процессов функционирования мегасистемы с позиций общесистемного видения составляющих её процессов (функций) и их взаимосвязей так, чтобы модель включала в себя все возможные варианты, которые могут встретиться при анализе процессов функционирования различных реальных систем.

Выполнение этого требования позволит получить полное представление о *потенциально возможном* структурно-функциональном составе моделируемого

---

\* Понятие «состояние» какого-либо объекта или процесса, используемого при решении различных задач, в том числе задач управления, требует отдельного рассмотрения, что выходит за рамки этой публикации.

процесса. Наличие такой модели позволит осуществлять моделирование процессов функционирования реальных систем путем сопоставления выполняемых ими функций и связей между ними с функциями и связями модели мегасистемы и их последующей конкретизации. При этом отдельные функции модели мегасистемы могут рассматриваться как вырожденные, между множеством аргументов и множеством значений которых существует взаимнооднозначное соответствие, а какие-то связи между функциональными блоками этой модели могут быть исключены в виду их отсутствия в функциональном представлении поведения реальной системы.

Такой подход позволит существенно упростить моделирование процессов функционирования реальных систем. Моделирование в этом случае, по сути дела, будут сведено к выбору и параметризации требуемых наборов элементов общесистемной структурно-функциональной модели, что намного проще осуществления творческих процессов моделирования поведения реальных систем с «чистого листа». Такая общесистемная модель может рассматриваться также и как основа для разработки системы классификации процессов функционирования реальных систем, т.к. она будет представлять собой единый гомоморфный прообраз моделей этих процессов для всех систем. Это означает, что появится возможность их взаимного сопоставления и сравнения друг с другом по составу, структуре и сложности составляющих их функций.

Методологию SADT можно рассматривать как один из возможных вариантов реализации основного принципа анализа сложных систем и процессов — 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 графического отображения. Поэтому состав и структура SADT-моделей во многом зависят от субъективных способностей и позиции их авторов.

В целях компенсации 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, предназначенного для его последующего анализа, критики и доработки. В данной работе читателю предлагается именно такая «рабочая модель» процессов функционирования автономной мегасистемы.

**Характеристики концептуальной модели A0.** В методологии SADT модели начального уровня называют концептуальными моделями и обозначают индексом «A0»\*. Как правило, эти модели в виду функциональной и структурной сложности моделируемых процессов невозможно представить на формализованном уровне, достаточном для их конструктивного математического описания. Поэтому, в зависимости от целей моделирования, концептуальная модель

---

\* В индексах могут использоваться также и другие буквы.



и модели составляющих её процессов декомпозируются до уровня, признанного достаточным для решения поставленной задачи. Предельным уровнем декомпозиции концептуальной модели является уровень, на котором представление моделируемого процесса допускает возможность их конструктивной формализации и алгоритмизации.

Для решения поставленной нами задачи требуется определить место и внешние взаимосвязи (функциональные границы) процесса управления состояниями ТС с другими процессами, составляющими процесс функционирования мегасистемы. Поэтому на этом этапе анализа этих процессов не ставится задача достижения предельного уровня их декомпозиции.

Модель *A0* процесса функционирования мегасистемы показана на рис. 3. Мегасистема рассматривается как автономный объект. Это означает, что осуществляемое ею преобразование *ВХОД* → *ВЫХОД* осуществляется в соответствии с целями, которые формируются внутри мегасистемы, а не вне нее.

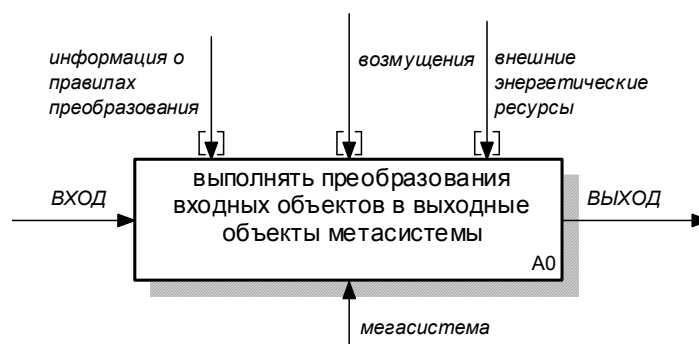


Рис. 3. Модель *A0*.

Входами и выходами модели являются соответственно объекты *ВХОД* и *ВЫХОД* (точнее, их состояния). Кроме того в модели учитываются три *управляющих* входа:

- «*информация о правилах преобразования*», которая доступна объектам мегасистемы, реализующих функцию *A0*;
- «*возмущения*», которые каким-то образом могут влиять на процессы функционирования мегасистемы;
- «*внешние энергетические ресурсы*», потребляемые мегасистемой при её функционировании\*.

Представление этих объектов в виде управляющих входов концептуальной модели мегасистемы позволяет рассматривать её как *множество* различных моделей этих процессов. Это множество образовано моделями, каждая из которых взаимнооднозначно соответствует концептуальной модели *A0* при каких-то заданных комбинациях состояний её управляющих входов. Такое представление модели мегасистемы отвечает современным взглядам на полимодельное представление сложных систем [8]. Кроме того, оно позволяет несколько упростить моделирование, если в качестве его субъекта рассматривать процессы функционирования мегасистемы при фиксированных значениях её управляющих входов. Функциональный состав концептуальной модели от этого

\* В составе мегасистемы могут быть собственные энергоресурсы, что должно быть учтено на соответствующем уровне декомпозиции процессов ее функционирования.

не изменится, но при этом существенно упростится её графическое представление и описание за счет исключения из них малоинформативных связей, соответствующих управляющим входам мегасистемы. Поэтому дальнейшее моделирование будем осуществлять исходя из этих соображений, предполагая при этом наличие исключаемых связей «по умолчанию».

**Характеристика модели А-0.** Модель А-0 (рис. 4) представляет собой результат структурно-функциональной декомпозиции концептуальной модели А0.

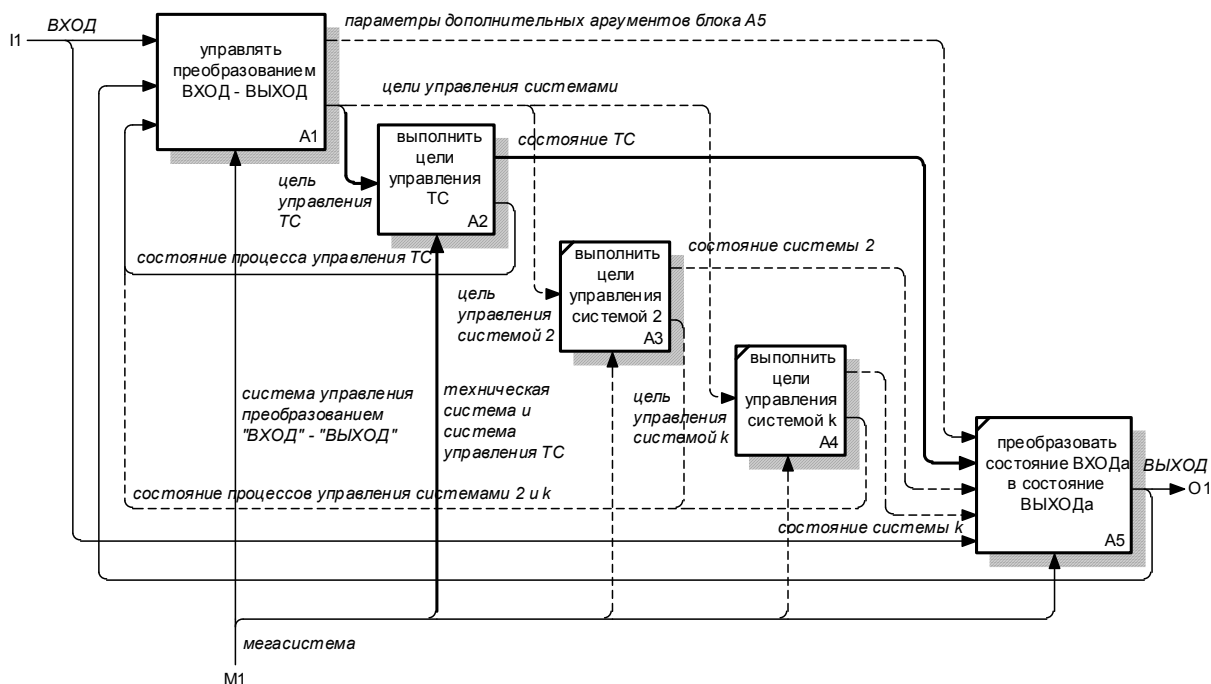


Рис. 4. Модель А-0 с фиксированными параметрами управляющих входов модели А0.

Исполнительные подсистемы в модели А-0 рассматриваются как сложные объекты, для которых в общем случае характерны следующие особенности:

- каждой цели управления ИП может соответствовать некоторое непустое подмножество её состояний;
- перевод ИП из её текущих состояний в выбранное целевое состояние может осуществляться не единственным путем;
- поведение ИП в процессе управления может отличаться от ожидаемого поведения вследствие различных факторов (действие возмущающих воздействий, несовершенство используемых в процессе управления моделей и т. п.).

Перечисленные особенности исполнительных подсистем обуславливают необходимость дополнительного учета в составе мегасистемы систем управления состояниями ИП. При этом процессы функционирования этих подсистем, также должны быть каким-то образом отражены в составе модели А-0.

Правила методологии SADT и стандарта IDEF0 ограничивают количество изображаемых в моделях функциональных блоков 4–6 блоками. Это обстоятельство не позволяет отобразить в модели А-0 упомянутые процессы и связи их взаимодействия друг с другом. Поэтому в этой версии модели они представлены в агрегированном виде — процессами выполнения целей управления состояниями исполнительных подсистем (блоки А2–А4). В рассматриваемой версии модели А-0 представлено  $k$  таких процессов.

Общесистемная координация поведения исполнительных подсистем обеспечивается при выполнении процесса  $A1$  путем формирования требуемых комбинаций целей управления исполнительными подсистемами. При этом сами процессы  $A2$ – $A4$  между собой никак не связаны и, следовательно, анализ каждого них может осуществляться независимо от процессов управления другими исполнительными подсистемами мегасистемы.

Характеристику входных и выходных связей функциональных блоков  $A2$ – $A4$  в модели  $A-0$  определим ниже, на примере структурно-функциональной модели процесса  $A2$  — «выполнять цели управления ТС».

Процесс функционирования мегасистемы в модели  $A-0$  представлен пятью функциональными блоками (процессами)  $A1$ – $A5$  и информационными связями между ними, образующими структуру модели. В ней отображены прямые и обратные связи между этими блоками, которые образуют три типа замкнутых контуров:

- $A1 \rightarrow A5 \rightarrow A1$  — внешний контур модели, отражающий возможности управления преобразованием состояний *ВХОДА* в состояния *ВЫХОДА* (процесс  $A5$ ) без использования исполнительных подсистем;

- $A1 \rightarrow A_i \rightarrow A5 \rightarrow A1$  — контур модели, характеризующий возможности управления упомянутым преобразованием, но уже с использованием исполнительной подсистемы, реализующей процесс  $A_i$ , где  $i \in \{2, 3\}$ ;

- $A1 \rightarrow A_i \rightarrow A1$  — внутренний контур модели, характеризующий процессы взаимодействия системы управления этим преобразованием с исполнительной подсистемой, реализующей процесс  $A_i$  (детализация связей, образующих этот контур, будет проведена при анализе модели  $A2$ ).

Применительно к решаемой задаче анализ модели  $A-0$  позволяет сделать следующие предварительные выводы.

1. Область задания процесса (функции)  $A5$  в общем случае может быть представлена в виде декартового произведения следующих множеств:

- множества состояний исполнительных подсистем мегасистемы;
- множества дополнительных аргументов, формируемых в процессе выполнения процесса  $A1$ ;
- множества состояний, характеризующих *ВХОД* мегасистемы.

Следовательно, множество состояний *ТС* можно рассматривать в качестве одного из аргументов многокомпонентного множества, соответствующего области задания процесса  $A5$ .

2. В отдельных случаях процесс  $A5$  может быть представлен в виде функции перечисленных выше аргументов. Еще в более простом случае процесс  $A5$  может быть функцией одного аргумента, соответствующего множеству состояний *ТС*. Это возможно, если выполняются условия:

- в состав мегасистемы входит единственная исполнительная подсистема, функции которой выполняет *ТС*;
- функция  $A5$  не зависит от состояний, характеризующих *ВХОД* мегасистемы, и значений, формируемых блоком  $A1$ .

На рис. 5 изображена модель  $A-0$ , соответствующая этим условиям, которую можно рассматривать так же как некоторый гомоморфный образ модели, изображенной на рис. 4. Кроме того, эта модель иллюстрирует выполнение упомянутых выше требований по возможностям «адаптации» общесистемной модели  $A-0$ , приведенной на рис. 4, под специфику процессов функционирования реальных систем за счет исключения из неё отдельных функциональных блоков, связей и их конкретизации. Значения такой функции определяются только

состояниями ТС, которые одновременно рассматриваются как аргумент этой функции и как состояние объекта, преобразуемого в состояние *ВЫХОДА* мегасистемы.

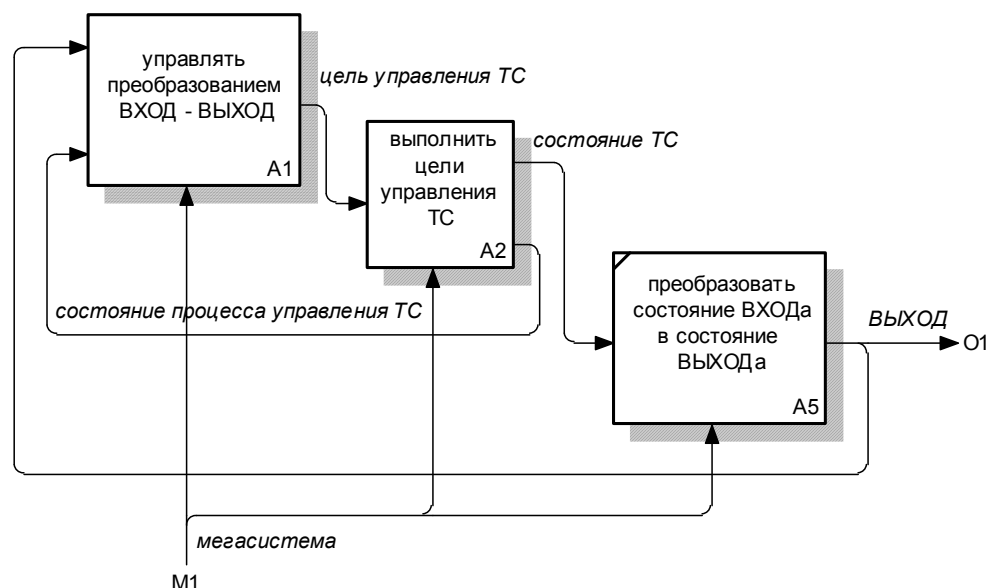


Рис. 5. Модель A-0 с функцией A5, зависящей от одного аргумента.

В наиболее простом случае функция A5 может быть функцией взаимнооднозначного соответствия между множеством состояний ТС и множеством состояний *ВЫХОДА* мегасистемы. Такие функции могут в явном виде не рассматриваться в SADT-моделях, т. е. их можно считать *вырожденными* функциями.

В качестве примера такой вырожденной функции A5 можно привести её описание в модели процесса управления освещением с использованием автономного источника света, например с помощью карманного фонаря. Не вдаваясь в детали его устройства, можно сказать, что *целевыми* его состояниями могут быть только два: фонарь включен, которому соответствует наличие тока в его электрической цепи, и фонарь выключен. Цели управления фонарем формируются в процессе выполнения процесса A1 (рис. 5). При этом функция A5 в модели управления освещением отражает наличие или отсутствие света, который является *следствием* указанных целевых состояний ТС — карманного фонаря.

В практике структурно-функционального моделирования процессов управления и функционирования ТС достаточно часто встречаются подобные примеры вырожденных функций A5, значения которых могут приниматься за состояния ТС. Однако такая подмена понятий не всегда допустима, т.к. она связана с агрегированием отдельных цепочек причинно-следственных связей моделируемых процессов, что может неоправданно усложнить моделирование их на последующих этапах и привести к различным ошибкам в моделях процессов управления состояниями ТС.

**Характеристика модели A2.** Модель процесса A2, так же как и концептуальная модель A0, может быть представлена в виде множества моделей, каждая из которых соответствует каким-то комбинациям фиксированных состояний управляющих входов системы управления ТС — её возмущающих воздействий и внешних энергоресурсов. Чтобы упростить восприятие этой модели и анализ объектов, характеризующих функциональные границы процесса управления

состояниями ТС, будем рассматривать модель этого процесса при фиксированных состояниях упомянутых выше управляющих входов.

Модель процесса A2 показана на рис. 6. В этой модели отдельные управляющие входы, принимаемые по умолчанию в модели A-0, приведены в явном виде, т.к. они должны учитываться при определении функциональных границ процессов управления состояниями ТС.

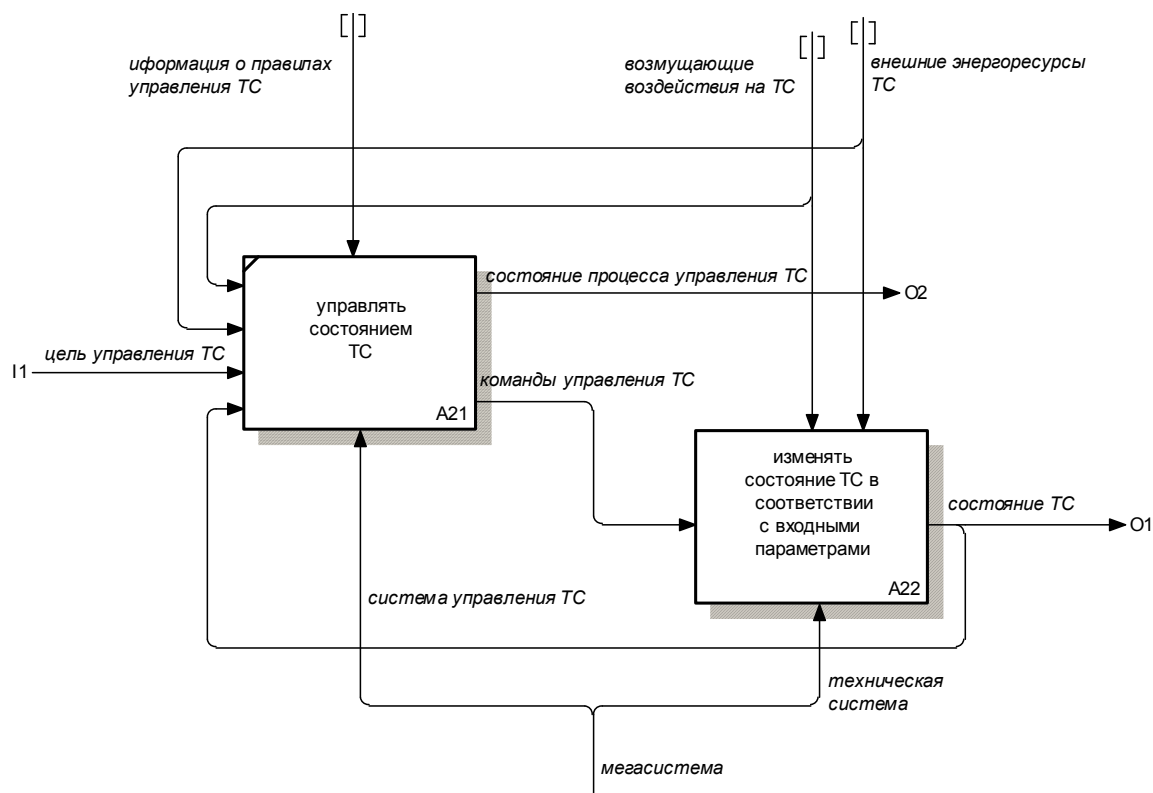


Рис. 6. Модель процесса A2.

Входные и выходные объекты модели A2 унаследованы от модели A-0. Модель A2 представлена в виде двух взаимодействующих между собой блоков, соответствующих процессам функционирования технической системы (блок A22) и процессам функционирования её системы управления (блок A21). Выбранный уровень детализации модели A2 является достаточным для решения поставленной задачи. Её решение заключается в определении состава и содержания входных и выходных объектов функционального блока A21.

**Входы блока A21:**

1. **Цель управления (ЦУ) состояниями ТС.** ЦУ рассматривается как указание на перевод ТС в одно из соответствующих этой цели состояние (временные параметры ЦУ для решения поставленной в этой работе задачи значения не имеют и поэтому здесь не учитываются). Это понятие можно рассматривать с двух различных позиций — как *внешняя цель* и как *собственная цель* системы управления ТС. Внешние цели формируются вне СУ, в блоке A1 модели A-0. Введение понятия «собственная цель СУ» обусловлено необходимостью решения следующих задач:

- экономного расходования энергоресурсов ТС (как собственных, так и внешних) при выполнении внешних ЦУ;

• сохранения целостности ТС, которая инициируется системой управления в случае выявления таких нештатных ситуаций в поведении ТС, при возникновении которых сохранение целостности ТС становится задачей более приоритетной, чем задача выполнения внешней ЦУ.

2. *Возмущающие воздействия и энергоресурсы ТС.* Эти входы блока A21 соответствуют управляющим входам блока A22. В полимодельном представлении процессов функционирования ТС различным комбинациям состояний этих управляющих входов могут соответствовать разные модели поведения этой системы. Поэтому информация об их состояниях необходима системе управления ТС для решения задачи выбора модели поведения технической системы, адекватной текущим условиям её функционирования.

3. *Состояние ТС.* Информация о текущем состоянии ТС обеспечивает возможность системе управления осуществлять процесс управления с использованием обратной связи. Эта связь замыкает контур, образованный связями между функциональными блоками модели A2:  $A21 \rightarrow A22 \rightarrow A21$ . Его можно рассматривать так же как вложенный контур модели A-0.

Понятие «состояние ТС» является системообразующим понятием моделей процессов управления ТС. Формализованное конструктивное определение этого понятия представляет собой нетривиальную задачу и требует проведения специальных исследований. Такое определение этого понятия приведено в [9]. На данном этапе моделирования процессов функционирования мегасистемы относительно состояний ТС можно сделать только следующее заключение: каждому элементу из множества имен ЦУ ТС и каждому элементу из множества значений, принимаемых функцией A5, должно взаимнооднозначно соответствовать некоторое непустое подмножество множества состояний ТС.

*Управляющий вход блока A21* позволяет в явном виде отобразить зависимость функциональных возможностей системы управления ТС от содержания и форм представления исходной информации о правилах управления состояниями технической системы. Действительно, если в исходной информации о ТС отсутствуют сведения о функциях, составляющих процесс управления её состояниями, и правилах их реализации, то построение соответствующих моделей и алгоритмов становится невозможным. Неполнота и противоречивость этой информации приведут к ограничению *объективно существующих функциональных возможностей* управления системой, т. е. к сужению функциональных границ данной предметной области моделирования. К этому же результату может привести использование неудобных для анализа и формализации этой информации форм её представления.

Исходную информацию о правилах управления ТС следует рассматривать как прообраз модели этих правил (алгоритмов управления состояниями ТС). Отсюда можно сделать вывод о том, что свойства исходной информации о правилах управления ТС являются одним из основных факторов, определяющих *потенциальные достижимые* функциональные возможности системы управления.

*Выходы блока A21:*

1. *Состояние процесса управления ТС.* Это состояние необходимо учитывать при выполнении процесса A1 (рис. 4) с использованием обратной связи с системой управления ТС. Корректная детализация этого понятия возможна только в ходе дальнейшей структурно-функциональной декомпозиции процесса A21. Однако и на этом этапе модельного представления этого процесса можно сделать вывод о том, что это состояние должно характеризовать: способность

СУ и ТС выполнить задаваемые цели; ход процесса управления ТС; результаты выполнения целей управления и, возможно, причины их невыполнения.

2. *Команда управления (КУ) ТС.* Процессы функционирования технических систем удобно представлять в виде последовательностей переходов в пространстве состояний ТС. Эти переходы могут осуществляться только при выполнении множества каких-то определенных условий, которые учитываются при построении моделей системы. Компоненты этих условий могут формироваться как системой управления ТС, так и независимо от неё. Команды управления рассматриваются как компоненты таких условий, формируемых в процессе функционирования системы управления ТС. Кроме того, они могут рассматриваться так же как требования, предъявляемые к ТС по осуществлению соответствующих им переходов в пространстве её состояний.

Следует отметить, что в теории систем в моделях пространств состояний управляемых объектов вместо используемого здесь термина «команда управления» традиционно используется термин «управляющее воздействие» [3–5]. Однако при рассмотрении структурно-функциональных моделей *процессов* функционирования и взаимодействия ТС с системой управления её состояниями использовать термин «управляющее воздействие» представляется не совсем корректно, т.к. соответствующее ему понятие отражает прежде всего какие-то аспекты *способов реализации* команд управления, а не их информационное содержание. В отличие от управляющих воздействий понятие «команда управления» отражает только информационную сущность условия переходов в пространстве состояний системы, а не способы реализации этих команд, которых может быть достаточно много.

Способы реализации КУ относятся к классу понятий, характеризующих специфические особенности конструкции ТС и её системы управления, что не позволяет рассматривать их на общесистемном уровне. Поэтому на общесистемном уровне моделирования процессов управления состояниями ТС информация о способах реализации КУ сознательно не учитывается. При этом полагается, что моделирование процессов преобразования команд управления в соответствующие им управляющие воздействия для реальных ТС не представляет собой особой проблемы. Подобные подходы к разделению информации, учитываемой в моделях различных объектов на существенную и несущественную, достаточно широко применяются в практике моделирования [10].

Модель процесса A22 может быть представлена в виде классической формализованной модели дискретной динамической системы [11] и не требует особых пояснений. Однако такое формализованное представление процессов функционирования сложных ТС, как правило, не является конструктивным. Это обстоятельство обуславливает необходимость выявления дополнительных общесистемных свойств этих процессов и дальнейшей декомпозиции модели A22, что является предметом самостоятельного исследования.

## 4. Заключение

В результате проведенных исследований выявлены и охарактеризованы общесистемные взаимосвязи процесса управления состояниями технической системы с процессами функционирования объектов из её системного окружения. Полученные результаты моделирования позволяют сформулировать рекомендации по определению функциональных границ процесса управления состояниями ТС. Для этого необходимо последовательно определить:

1). характеристики (параметры состояний) внешней среды функционирования ТС (управляющих входов блока А22), для которых поведение системы должно быть представлено разными моделями.

2). целевое назначение ТС. Для этого следует проанализировать процесс А5 в модели А-0 (рис. 4) и детализировать характеристики (параметры) целевых состояний ТС, используемых в качестве аргументов области задания этого процесса.

3). цели управления ТС для разных условий функционирования системы во внешней среде. Если эти цели не заданы в явном виде, то их можно выявить в результате рассмотрения и детализации объектов внешнего контура модели А-0.

4). состав команд управления ТС. Для решения этой задачи целесообразно сначала выявить состав управляющих устройств ТС и затем отдельно для каждого такого устройства определить соответствующие ему КУ.

5). состав и содержание информации о состояниях процесса управления ТС, которая должна предоставляться системе, формирующей цели управления ТС (блоку А1).

Описания представленных в работе моделей, показанных на рис. 4–6 и перечисленные рекомендации позволяют осуществить целенаправленный поиск информации, требуемой для решения задачи определения функциональных границ процессов управления состояниями ТС и за счет этого существенно упростить её решение. Используемый подход к решению этой задачи показал результативность использования в рассматриваемой предметной области методологии SADT. Это обстоятельство обуславливает целесообразность использования этой методологии для дальнейшей детализации структурно-функционального состава процессов управления состояниями ТС (блок А21) и процессов функционирования ТС (блок А22) с целью разработки общесистемной методики их моделирования.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант), СПбНЦ РАН и Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга.

## Литература

1. *Гради Буч*. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. Второе издание. М.: Бином, 2001. 560 с.
2. *Шлеер С., Меллор С.* Объектно-ориентированный анализ: моделирование мира в состояниях. Киев: Диалектика, 1993. 240 с.
3. Теория и методы системного анализа в управлении и связи / *В. Н. Волкова, В. А. Воронов, А. А. Денисов и др.* М.: Радио и связь, 1983. 248 с.
4. *Волкова В. Н., Денисов А. А.* Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. 512 с.
5. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
6. *Месарович М., Мако Д., Такахари И.* Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
7. *Дэвид А. Марка и Клемент МакГоуэн.* Методология структурного анализа и проектирования SADT. М.: МетаТехнология, 1993.
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.
9. *Кириллов Н. П.* Построение моделей процессов функционирования технических систем по их исходным описаниям // Изв. вузов. Приборостроение. 2006. т. 49, №11. С. 12–16.
10. *Heninger K. L.* Specifying software requirements for complex systems: new techniques



- and Their Application // IEEE Transactions on Software Engineering. Vol. SE-5, №1, January. 1980. P. 2–13.
11. *Калман Р., Фалб П., Арбиб М.* Очерки по математической теории систем. М.: Мир, 1971. 400 с.