

УДК 658.5, 658.512, 621.001.2

Функциональное моделирование организационно-технических систем разработки рабочей документации для механических деталей

Ю. П. Кулик, И. А. Федоров

Аннотация

Разработка взаимосвязанной системы рабочей документации является основной задачей технической подготовки производства любого промышленного изделия. Качество процесса разработки конструкторской, технологической и эксплуатационной документации в первую очередь будет определять качество самой выпускаемой продукции. Для механических изделий с управляемой конфигурацией этот процесс обладает своей спецификой.

В работе с использованием методологии функционального моделирования IDEF0 описана организационно-техническая система создания рабочей документации, а также в рамках этой системы идентифицированы процессы управления конфигурацией механических изделий.

Ключевые слова

методология IDEF0; рабочая документация; техническая подготовка производства; управление конфигурацией механических изделий.

Формирование модели процесса разработки рабочей документации является необходимым условием автоматизации технической подготовки производства любого промышленного изделия. Функциональная модель этого процесса является наиболее оптимальной для использования в автоматизированных системах подготовки рабочей документации [1].

Моделирование выполнялось в соответствии с рекомендациями по стандартизации Р 50.1.028-2001 «Методология функционального моделирования», а именно методологии IDEF0. В результате была построена версия функциональной модели системы, отображающая ее структуру и функции, а также потоки информации и материальных объектов, преобразуемых этими функциями.

Каждая из диаграмм расположена на отдельной странице (мастер-странице), структура которой представлена на [рис. 1а](#). Сами диаграммы располагаются на рабочем поле. Верхнее поле

мастер страницы использовано только лишь для перечисления примечаний, излагаемых применительно для каждой из диаграмм.

Диаграммы состоят из блоков – прямоугольников, внутри которых расположено наименование функции (деятельность, процесс или преобразование) в виде глагола или глагольной формы, которые описывают то, что должно быть выполнено. В правом нижнем углу блока приводится номер функции, а под правым нижним углом блока - номер страницы, на которой расположена декомпозиция помеченного блока.

Каждый из блоков имеет стрелки: входа, выхода, вызова, механизма и управления. Каждая из стрелок (за исключением стрелки вызова) имеет латинское обозначение (см. [рис. 1б](#)), к которому присоединяется порядковый номер в направлениях: слева-направо или сверху-вниз. Управления определяют условия необходимые функции для того, чтобы произвести правильный выбор. Стрелки механизма поддерживают выполнение функции, вызова – определяют общие блоки для нескольких моделей.

Диаграммы имеют иерархию. Первой рассматривается диаграмма с номером [A-1](#) (А минус единица), описывающая контекст функциональной модели. Далее строится родительская диаграмма [A0](#) и дочери или текущие, используемые для декомпозиции отдельных блоков родительской диаграммы.

Рассмотрим пояснения к контекстной диаграмме [A-1](#).

1. В качестве входов и выходов используются логические потоки, которые в данном случае объединяют информационный и материальный потоки, т.е. определяют некоторую неделимую сущность, поступающую на вход модели или же определяющие ее выход. Поскольку диаграмма [A-1](#) рассматривает инженерную деятельность по созданию продукции в контексте управления жизненным циклом последней, то модель подразумевает сравнение затрат на потребление продукции с затратами на ее разработку и производство.

2. Деятельность в приведенном контексте рассматривается не как атрибут личности, но как некоторая полиструктура (сеть процессных моделей) соответствующей организационно-технической системы.

3. В соответствии с рекомендациями международных стандартов серии ИСО-9000 деятельность подлежит организации, для чего используется соответствующая нормативная документация.

К родовой диаграмме [A0](#) необходимо дать следующие положения:

1. Совокупность входов может быть определена следующим образом:

I1 - решение о начале создания продукции;

I2 - информация о требованиях рынка к создаваемой продукции. Как правило, эта информация плохо структурирована, а зачастую и противоречива. Несмотря на это предполагается, что

ее можно подвергнуть начальному упорядочению, и тем самым сделать пригодной для инженерного анализа;

I3 - материальный поток, необходимый для изготовления продукции;

I4 - поток запасных частей и расходных материалов, необходимых для успешной эксплуатации изделия.

Управлениями служат:

S1 - системы национальных стандартов РФ Система Разработки и Постановки Продукции на Производство (СРПП). В нее входят стандарты, регламентирующие порядок (процессы) выполнения научно-исследовательских работ (ОКР) и разработки рабочей документации (РД), постановки продукции на производство и ввода ее в эксплуатацию, а также стандарты, регламентирующие порядок планирования работ по созданию продукции;

S2 - правила участия заказчика в реализации процессов создания продукции;

S3 - стандарты, регламентирующие порядок разработки эксплуатационной документации.

Выходы родительской диаграммы:

O1 - система планов выполнения функций 1...5, перечисленных в соответствующих блоках диаграммы [A0](#). Эти планы создаются поэтапно: вначале разрабатывается единый (сквозной) или генеральный план создания продукции, в состав которого входят специализированные планы, разрабатываемые перед началом соответствующих работ;

O2 - результаты выполненных НИР, в своей совокупности определяющие научно-технический задел, играющий базовую роль в создании продукции. Сюда же входят аванпроект (техническое предложение);

O3 - рабочая документация, представляющая собой как уже говорилось ранее, органическое единство конструкторской документации (КД), технологической документации (ТД) и организационно-технологической или производственной документации;

O4 - комплект эксплуатационной документации;

O5 - изготовленная (произведенная) продукция, каждая единица которой имеет персональный формуляр, содержащий фактически данные о продукции, подлежащие учету в процессе эксплуатации;

O6 - эксплуатируемые изделия;

4. В качестве механизмов используются подсистемы организационно-технической системы, реализующие процессы:

M1 - управления деятельностью по созданию продукции;

M2 - научных исследований и разработки аванпроекта (технического предложения);

M3 - выполнения ОКР, разработки рабочей и эксплуатационной документации;

М4 - управления производством продукции заданного качества для постановки ее потребителям в установленные сроки;

М5 - управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) продукции.

5. Родительская диаграмма включает в себя два канала обратных связей:

- «выход-вход», обеспечивающих синхронизацию выполнения функций и согласование входов вышестоящих функций в соответствии с фактическими значениями выходов нижестоящих функций;

- «выход-управление», позволяющих согласовать выходы нижестоящих функций с управлениями вышестоящих функций, для чего используются процедуры авторского надзора разработчика как над производством и эксплуатацией, так и технического надзора производителя над эксплуатацией.

На листах [A2](#) и [A3](#) представлены текущие диаграммы для блоков 2 и 3 родительской диаграммы соответственно.

Для прояснения особенностей диаграммы [A2](#) необходимы следующие пояснения.

На диаграмме имеются блоки 22 и 23, функцией которых являются оценка технического уровня разрабатываемой продукции и формирование требований к ее качеству, а также разработка технико-экономического обоснования создания продукции соответственно. Технический уровень определяется путем сопоставления показателей качества с некоторыми целевыми значениями или с аналогичными показателями продукции принятой за эталон.

Выполнение этих НИР производится одной подсистемой М22 организационно-технической системы, состоящей из трех модулей:

М221 - организации заказчика;

М222 - головным разработчиком;

М223 - организациями-соисполнителями. В результате формируются два выхода: научно-технический задел по создаваемой продукции и тактико-техническое задание на выполнение аванпроекта.

Подсистемой М24, являющейся временно сформированной группой разнопрофильных специалистов по создаваемой продукции, выполняется аванпроект, где комплексно прорабатываются вопросы, определяющие облик продукции и подлежащие дальнейшей детализации в последующих блоках родительской диаграммы.

Среди прочего в состав выхода О2 - аванпроекта (технического предложения) входят следующие документы:

О21 - схема деления изделия на составные части;

О22 - конструкторско-технологическая проработка стыков – конструкторского оформления разъемов между составными частями;

О23 - модель эксплуатации продукции, диктующая требования к эксплуатационной технологичности продукции;

О24 - модель предполагаемой организации серийного производства продукции, включая вопросы кооперации;

О25 - предварительные директивные технологические материалы, определяющие методы обработки и сборки деталей, а также основные группы технологического оборудования;

О26 - тактико-техническое задание на выполнение ОКР и разработку рабочей документации.

Схема деления изделия на составные части не есть конструкторская спецификация в обычном понимании, а отображение деления изделия на самостоятельные агрегаты (модули), законченные в конструкторском и технологическом отношении. Важно отметить, что эти агрегаты имеют, наряду с собственными формой и размерами, параметрически согласованные присоединительные размеры. ГОСТ 2.053-2006 рекомендуют разделять составные части (С4) на группы:

- оригинальные С4, входящие в С4 высшего уровня;
- заимствованные С4, применяемые без доработки;
- заимствованные С4, подлежащие доработке, в первую очередь для стыковки с другими С4;
- покупные комплектующие изделия (С4, проектируемые и изготавливаемые по кооперации);
- стандартные С4.

5. Конструкторско-технологическая проработка стыков позволяет обеспечить нормированные размерные связи взаимного расположения С4 и определить технические средства, необходимые для обеспечения полной взаимозаменяемости по стыкам агрегатов.

Относительно дочерней диаграммы [A3](#) необходимо сделать следующие примечания.

1. Входом блока 32 является выход 02, вызываемый с предыдущей диаграммы.
2. Подсистемы М32, М33 и М 34 представляют собой временные группы специалистов, разного профиля, профессионалов в области создания рассматриваемой продукции.

Рабочая документация создается в три приема:

- конструкторская документация (КД) и технологическая документация (ТД) на создание опытных образцов изделий. Здесь же разрабатывается окончательный вариант директивных технологических материалов ДТМ;

- КД и ТД на опытную партию изделий. Основой для их разработки служит ранее разработанная документация, подлежащая уточнению по результатам испытаний опытных образцов (управление – директив С33);

- рабочая документация на серийное производство, получаемое путем корректировки ранее разработанных КД и ТД по результатам испытаний управлений С34 опытной партии изделий и

дополнения их организационно-технической (производственной) документации, призванной обеспечить требуемые ритм выпуска продукции и издержки производства.

Разработанная функциональная модель организационно-технической системы разработки рабочей документации для механических деталей позволяет, опираясь на агрегатно-модульный принцип построения техники, получить для каждого из агрегатов (модулей) вплоть до деталей искомый комплект рабочей документации. Этот комплект представляет собой органическое единство конструкторской, технологической и эксплуатационной документации.

Рассмотрим возможность реализации в рамках предложенной функциональной модели проектов с управляемой конфигурацией.

Современный рынок машиностроительной продукции предъявляет к её поставщикам жесткие требования как в части удовлетворения запросов групп однородных потребителей (вплоть до индивидуальных потребителей) к качеству и специальным потребительским свойствам продукции, так и к срокам её поставки (вплоть до часа астрономического времени).

Необходимость безусловного выполнения этих требований рынка заставило поставщиков разрабатывать и быть готовыми к изготовлению по заказу не одной модели продукции, а нескольких её моделей. Каждая из моделей может обладать некоторой совокупностью вариантов, а последние иметь по несколько исполнений. Схема такой концепции продукции представлена на [рис. 2](#).

Уровень конкурентоспособности поставщиков в этом случае определяется их способностью совместить два, кажущихся несовместимыми, подхода к процессу создания изделий: мелкосерийный тип производства и чрезвычайно высокую его мобильность при минимальном из возможных уровней собственных издержек.

Решить эту задачу оказалось возможным только посредством разработки и практического использования специального подхода к созданию (разработка и производство) изделий - технических средств, а в общем случае и управления жизненным циклом технической системы [3]. Этот подход получил название административного управления конфигурацией, а проекты, его использующие - проектов с управляемой конфигурацией.

Под конфигурацией продукции - технических средств понимается уникальное сочетание её свойств, полностью удовлетворяющих запросы потребителей с возможностью целенаправленного снижения издержек производителя за счёт совершенствования процессов создания изделий и технического уровня производства [4].

На каждом из уровней конфигурации рассматриваемые варианты продукции считаются подобными, а потому каждый из них неизбежно содержит как универсальную (общую для всех вариантов), так и специальную (уникальную для конкретного варианта) части (объемное соотношение их близко к 2:1). При переходе с вышестоящего уровня конфигурации на нижестоящий опера-

ция расчленения варианта на части повторяется применительно только к специальной части вышестоящего варианта. Этот переход продолжается до тех пор, пока он представляется имеющим смысл. То же самое относится и к числу вариантов на каждом из уровней конфигурации.

По мере изменения запросов рынка как число уровней конфигурации, так и число вариантов изделия на каждом из них может изменяться.

Задачи конфигурации правомочны ко всем видам изделий: специфицированным и неспецифицированным, а потому они могут относиться как к структуре объекта, так и к параметрам его элементам. В дальнейшем особенности этих двух задач будут игнорироваться, поскольку их постановка и подходы к решению могут рассматриваться лишь в определенном контексте.

Предметом дальнейшего рассмотрения будет цепочка: объект конфигурации - элемент конфигурации - конфигурируемые параметры - фактические значения параметров - версия объекта конфигурации.

Поскольку любое изделие, в конечном счете, состоит из неспецифицированных изделий-деталей, то представляется целесообразным рассмотреть проекты именно этих изделий. При этом в качестве **первого объекта конфигурации выбирается система связей, накладываемых на деталь в процессе её конструирования**. Эта система имеет структуру, определяемую сущностью детали, а каждая из связей - количественную характеристику, определяемую условиями использования детали в сборочной единице или изделии.

Конкретная конфигурация системы связей, определенная в проекте, подлежит материализации в процессе производства. Материализация обеспечивается посредством реализации жестко упорядоченной последовательности выполняемых работ и режимов воздействий различной физической природы на заготовку детали и её полуфабрикаты (промежуточные состояния) [2]. Другими словами, средства труда должны быть предварительно налажены для выполнения предписанных работ, а характеристики этих наладок как бы копируются на деталь. Таким образом определяется второй объект конфигурации - технологическая система и режимы её функционирования.

В рамках каждого из объектов конфигурации выделяются элементы конфигурации, как бы вложенные в объекты конфигурации и обладающие наследуемыми свойствами. Любой элемент конфигурации обладает набором конфигурируемых характеристик. Если значение всех характеристик определены, то тем самым определена конкретная версия конфигурации, т.е. конкретный экземпляр детали.

Конкретная версия детали определяется посредством рабочей документации, представляющей собой органическое единство трех комплектов документации: конструкторской, технологической и организационно-технической (производственной). Последний комплект документации предназначен для формирования необходимых логистических потоков в сферах производственной

и материально-технического снабжения, а также управления ими. Эти потоки призваны синхронизировать потоки необходимых работ.

Единство перечисленных комплектов документации означает не только связанность всех атрибутов этих документов, но и возможность строгой и формальной прослеживаемости этих связей в любой момент времени существования документации.

Конкретное взаимодействие двух объектов конфигурации призвано обеспечить технологический процесс, который играет роль сопряжения (информационного интерфейса), обеспечивающего функциональное взаимодействие на границе между двумя объектами [5].

Дальнейшее изложение будет вестись в нотации, представленной на [рис. 3](#). Прямоугольниками будем обозначать информационные объекты, отображающие интересующие нас реальные физические объекты. Стрелки, соединяющие прямоугольники, соответствуют атрибутам этих объектов, описание которых помещается в овальном прямоугольнике. Направление стрелок показывает порядок определения этих атрибутов вплоть до конкретной версии объекта с управляемой конфигурацией.

На [рис. 4](#) представлена схема управления разработкой документации. Здесь рассмотрена сетевая схема организации производства, где одновременно реализуется некоторая совокупность реальных производственных линий, занятых изготовлением некоторого набора разных деталей; физически эти потоки пересекаются в определенных технологических системах, что требует их синхронизации не только в дискретной шкале времени (моменты наступления событий, связанных с началом и окончанием работ), но и в шкале астрономического времени. Предполагается, что для конкретной версии детали существует хотя бы одна, отвечающая требованиям директивного технологического процесса. Для каждой из виртуальных производственных линий всегда определена стоимость потребных ресурсов, что позволяет управлять издержками производства.

Схема управления конфигурацией любого из двух ранее введенных в рассмотрение объектов конфигурации представлена на [рис. 5](#).

Схема разделена пунктирной линией на две зоны: зону определения объекта конфигурации и зону определения конкретной версии объекта конфигурации в виде рабочей документации (или же её фрагмента).

Формализованное описание объекта конфигурации представляет собой совокупность концептуального описания объекта конфигурации и исчерпывающего описания требований к объекту со стороны вышестоящей системы. Концептуальное описание объекта есть не что иное, как представление того, каким образом система связей изделия может быть определена в его конструкции или же материализована в процессе изготовления. В качестве атрибутов этого информационного объекта выступает совокупность взаимосвязанных элементов конфигурации.

Аналогичным образом определяются элементы конфигурации и конфигурируемые параметры, но здесь в качестве вышестоящей системы выступают соответственно объект и каждый из элементов конфигурации.

Определение конкретной версии конфигурации производится посредством двух процессоров: принятия решений при определении фактических значений конфигурируемых параметров и отработки конкретной версии объекта конфигурации.

В результате работы первого из процессоров на основании исходных данных формируется конкретная версия объекта конфигурации. Полученную таким образом конкретную версию посредством второго процессора подвергают тестированию на основании данных, предъявляемых к ней со стороны той конкретной версии сборочной единицы (изделия), в состав которой входит версия объекта конфигурации. Упомянутые требования нельзя смешивать с требованиями со стороны вышестоящей системы, входящими в состав формализованного описания объекта конфигурации, поскольку последние рассматриваются как универсальная часть требований, предъявляемых ко всем возможным версиям.

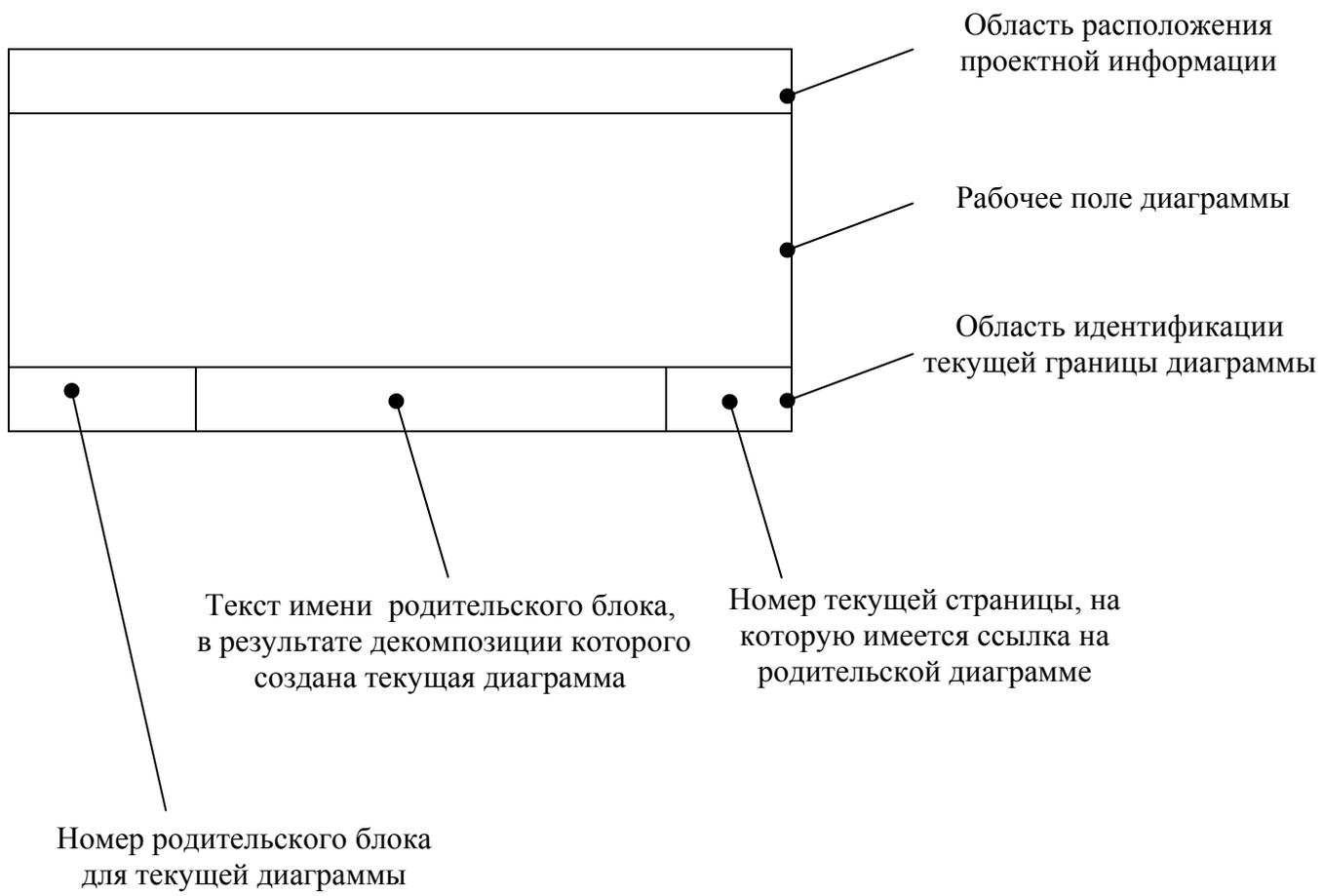
По результатам тестирования может происходить уточнение отдельных конфигурируемых параметров, и на их основе формируется рабочая документация на объект конфигурации (или отдельные её элементы).

Схема конструирования детали с управляемой конфигурацией показана на [рис. 6](#). Конечная цель конструирования - определение исчерпывающей совокупности конфигурируемых параметров конструкции. Тем самым определяется система связей, подлежащих материализации в процессе изготовления детали. Система связей определяется исключительно в рамках формализованного описания конструкции детали с учетом, как системных требований, так и требований, предъявляемых со стороны той конкретной версии сборочной единицы, в состав которой входит синтезируемая версия детали. Последние рассматриваются как исходные данные для синтеза конкретной версии объекта конфигурации.

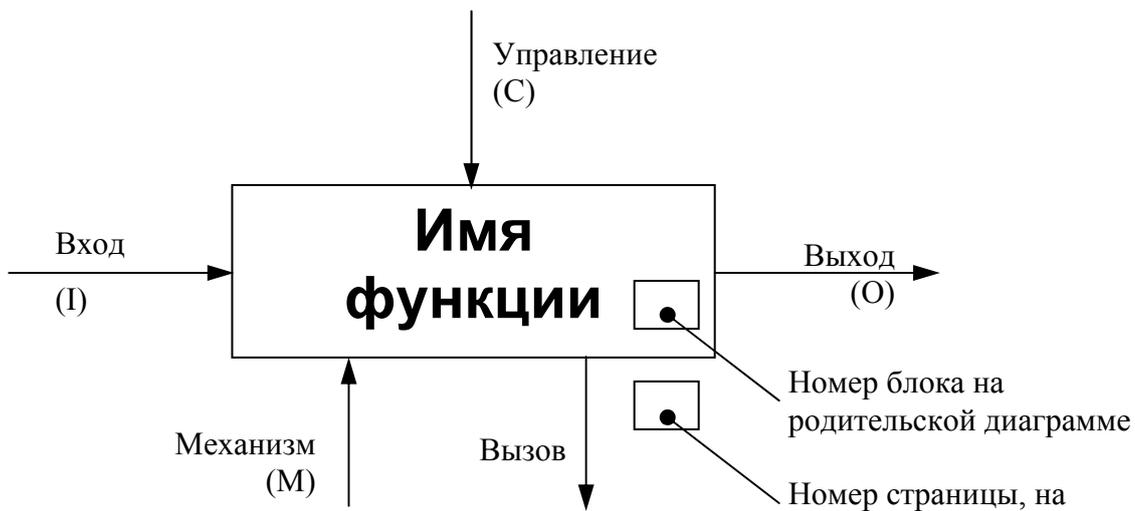
Возможны различные способы визуализации конкретной версии детали. Однако во всех случаях описание конкретной версии может быть представлено совокупностью двух подмножеств:

- конструкторского аспекта описания формы (поверхности) детали;
- конструкторского аспекта описания материала детали.

Проектирование директивного технологического процесса связано с принятием технологических решений, но принятие их на основе конструкторских аспектов описания формы и материала детали невозможно. Поэтому эти описания должны быть подвергнуты лингвистической трансляции с целью формирования технологически ориентированного описания изделия (ТООИ). Схема такой трансляции показана на [рис. 7](#).

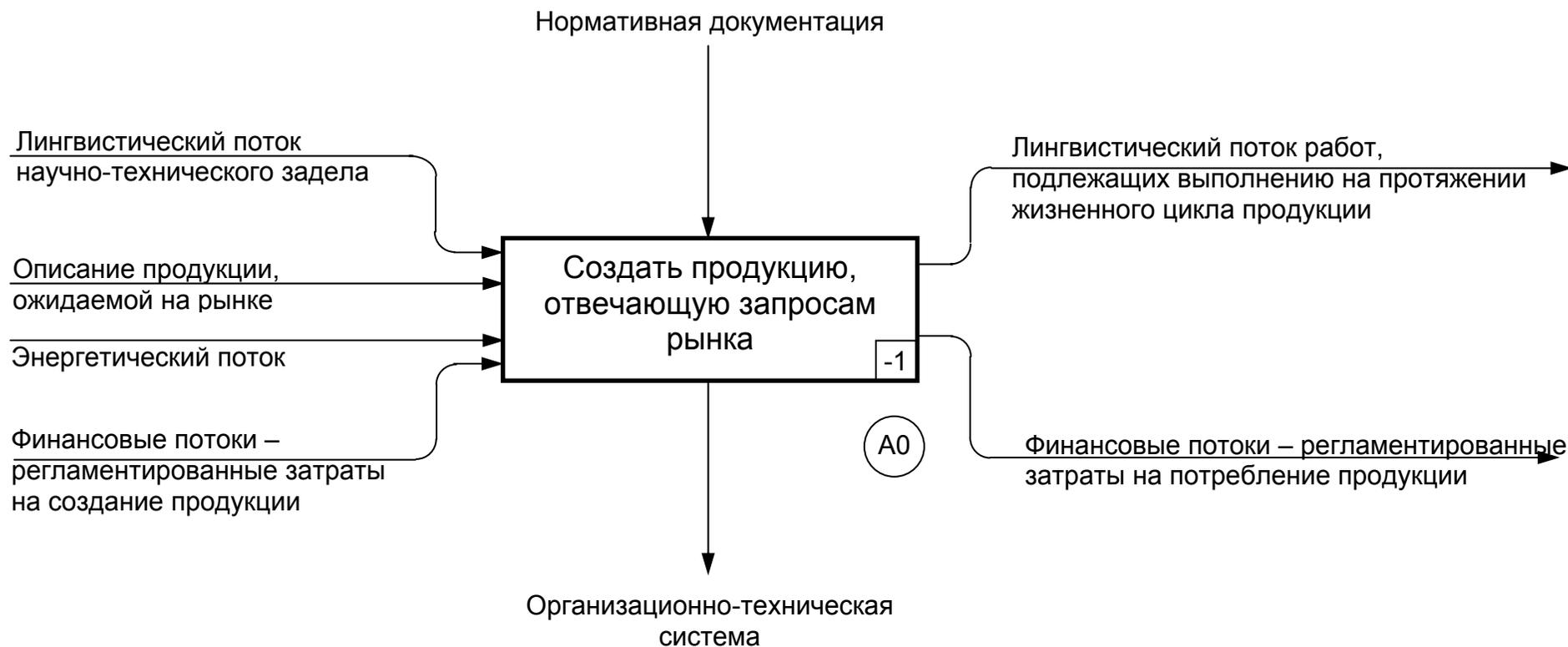


а) мастер-страница диаграммы



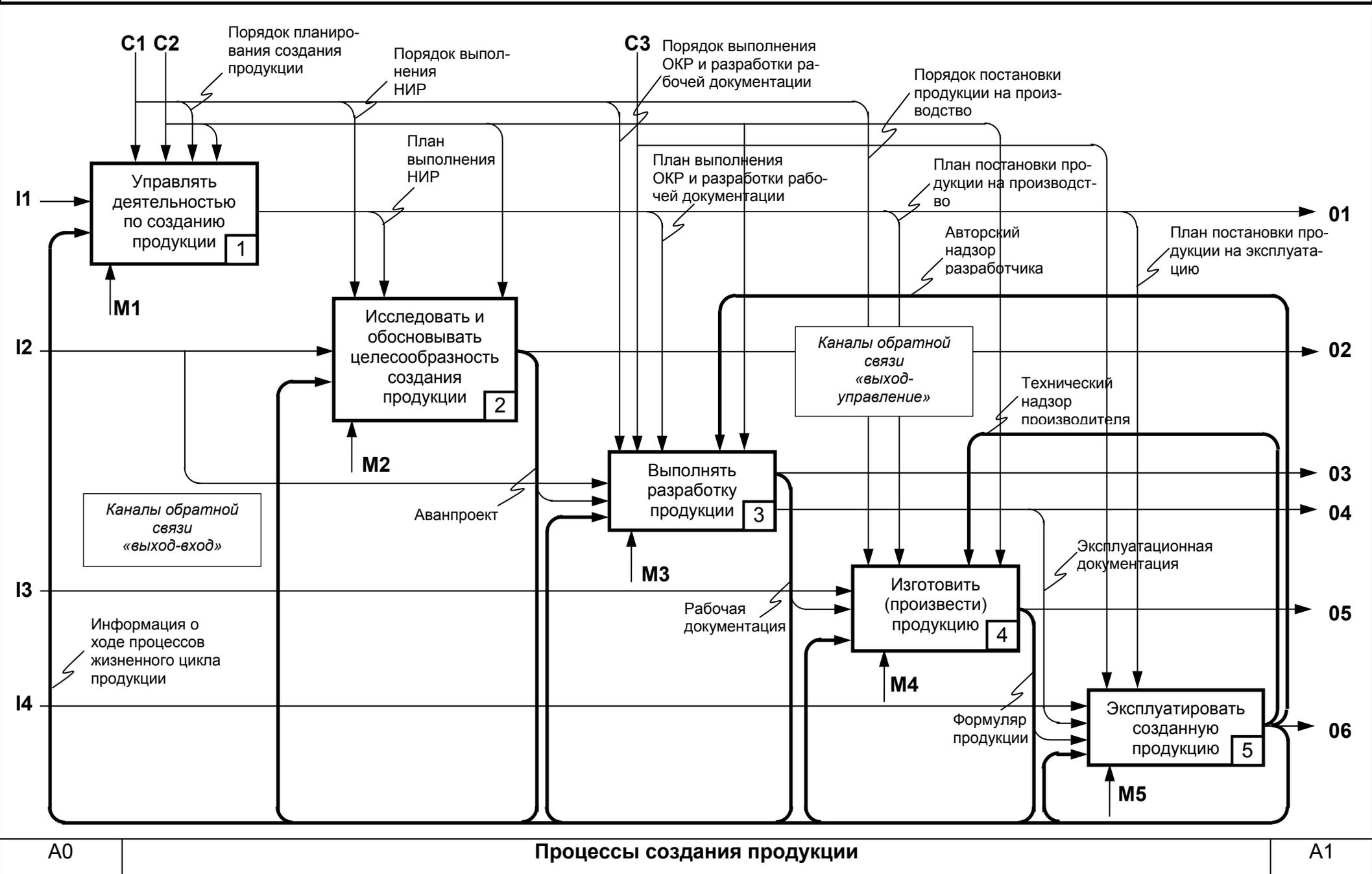
б) структура блоков диаграммы

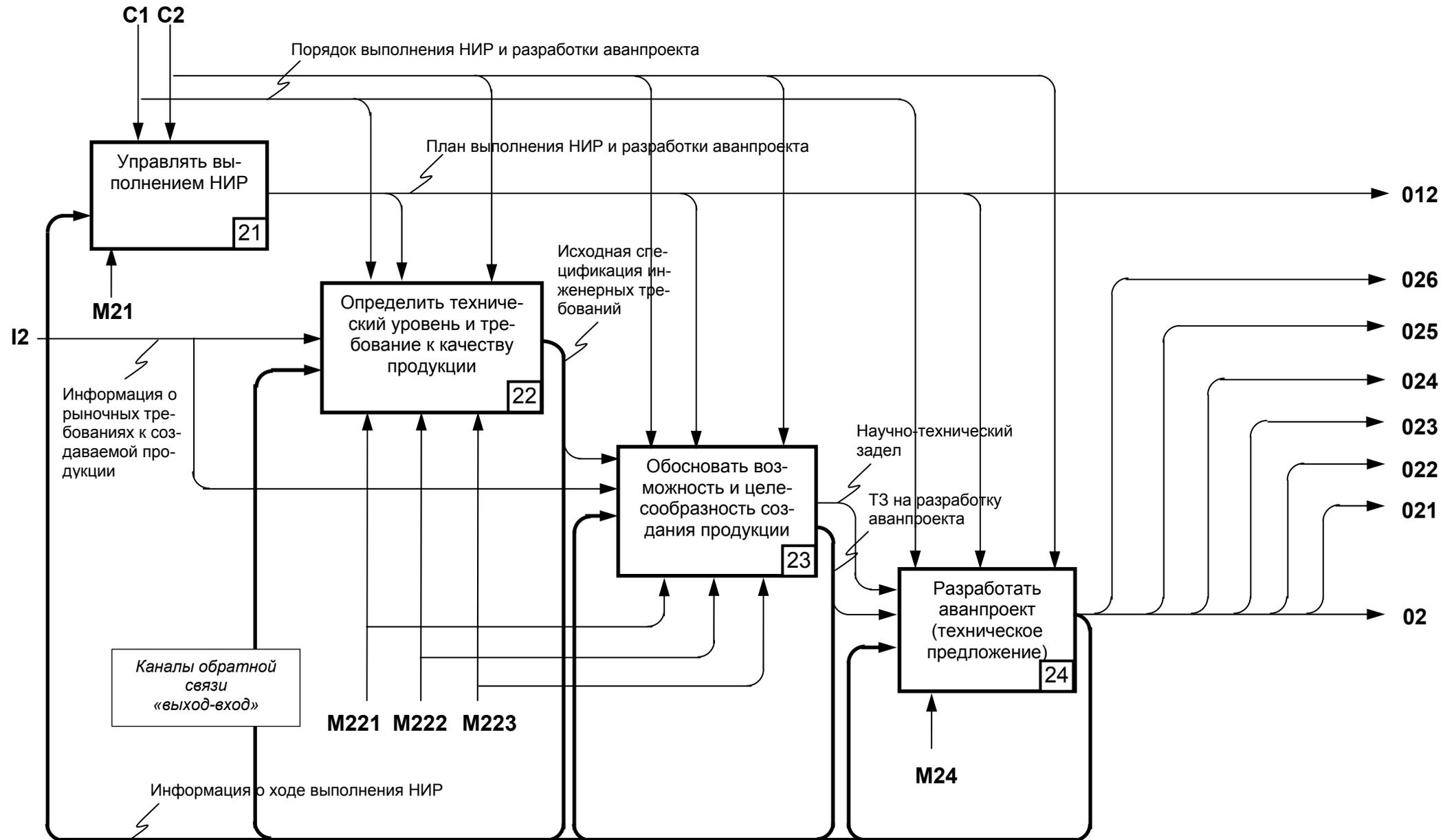
Рис. 1. Нотация графического изображения диаграмм IDEF0.



Цель: функциональное моделирование инженерной деятельности, направленной на создание продукции, обладающей постоянным уровнем технической готовности к потреблению в соответствии с техническим назначением и известным уровнем необходимых для этого затрат на протяжении всего периода её эксплуатации при приемлемом уровне издержек на разработку и производство продукции

A - 1	Диаграмма деятельности по созданию продукции в контексте управления её жизненным циклом	A0
-------	--	----

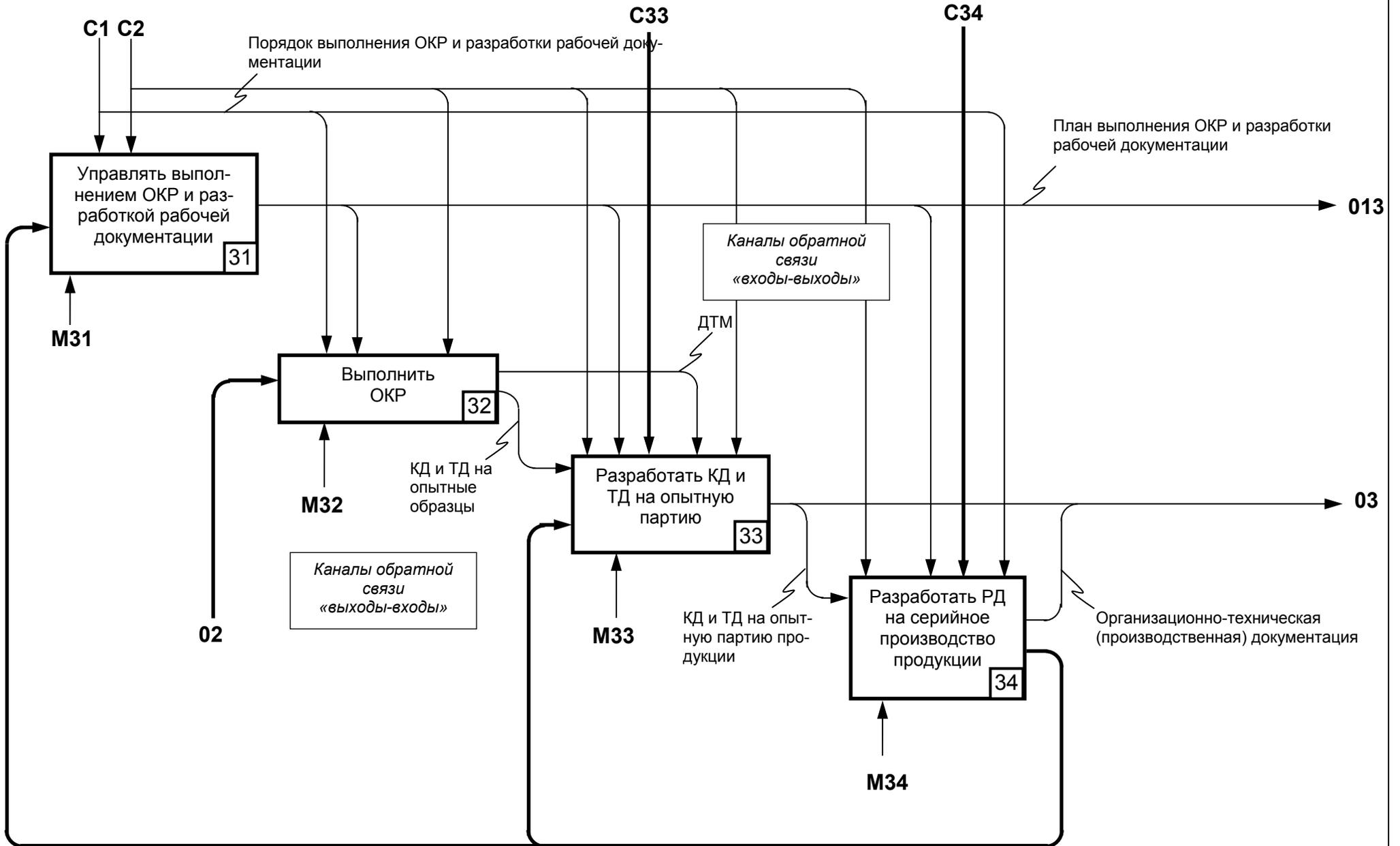




A1

Операции выполнения НИР

A2



A3

Операции выполнения ОКР и разработки рабочей документации

A0

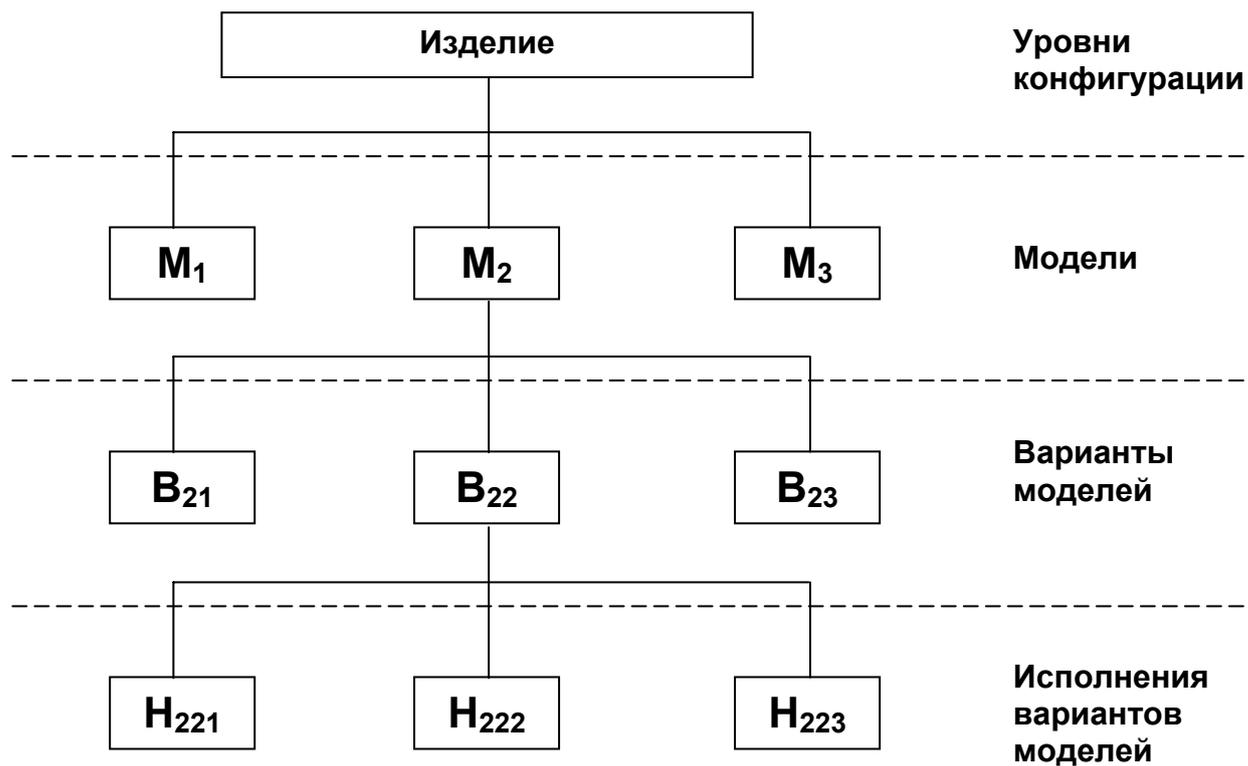


Рис. 2. Современная концепция машиностроительной продукции.

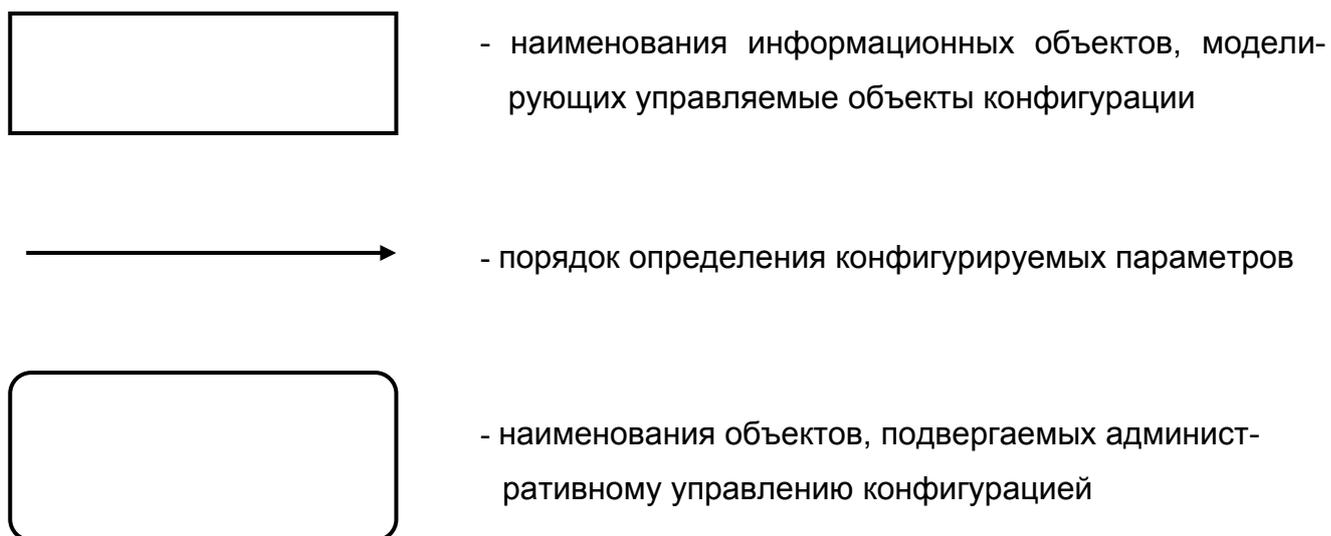


Рис. 3. Нотация схем управления объектами конфигурации.

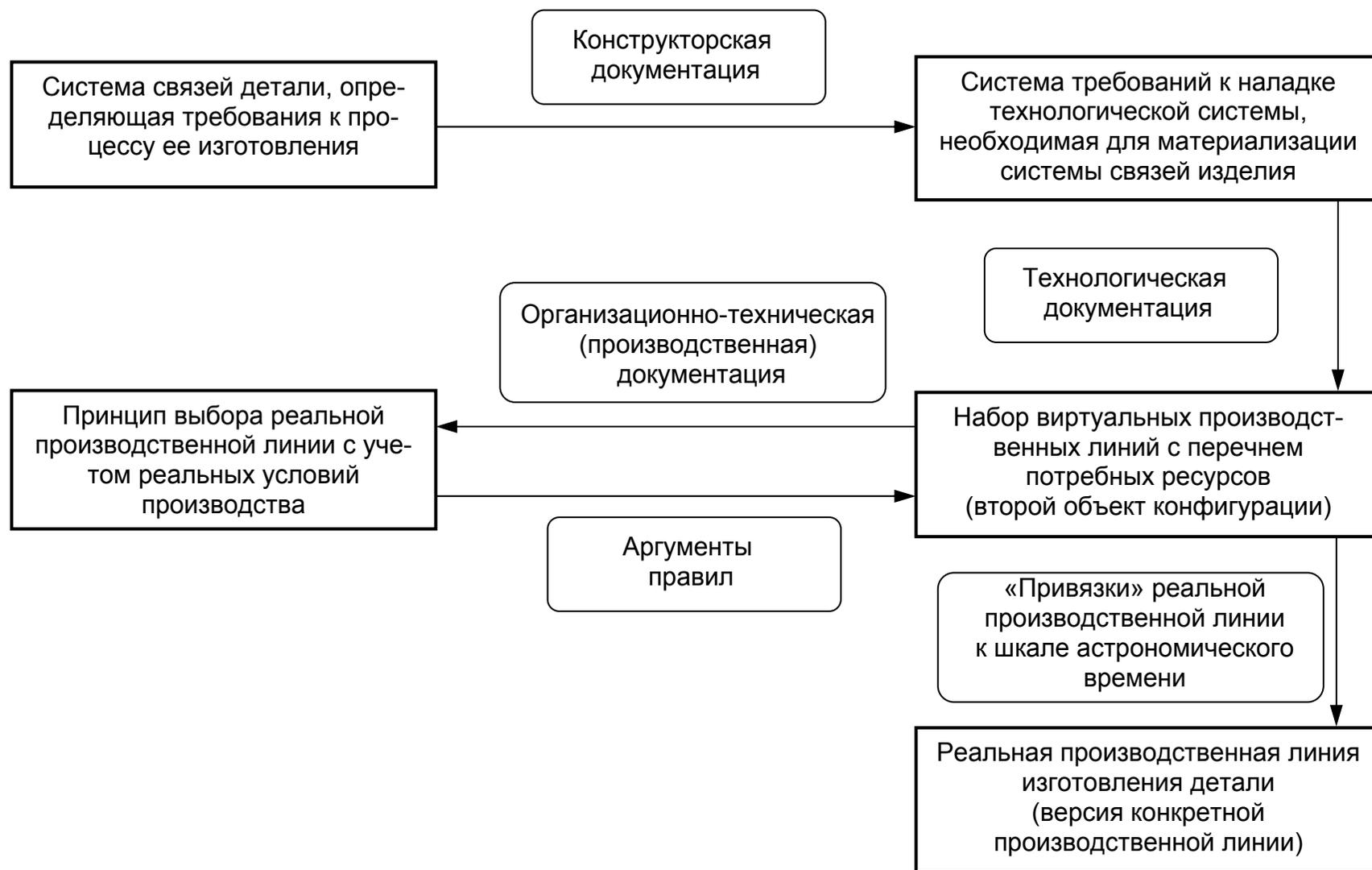


Рис. 4. Схема управления процессом разработки документации.

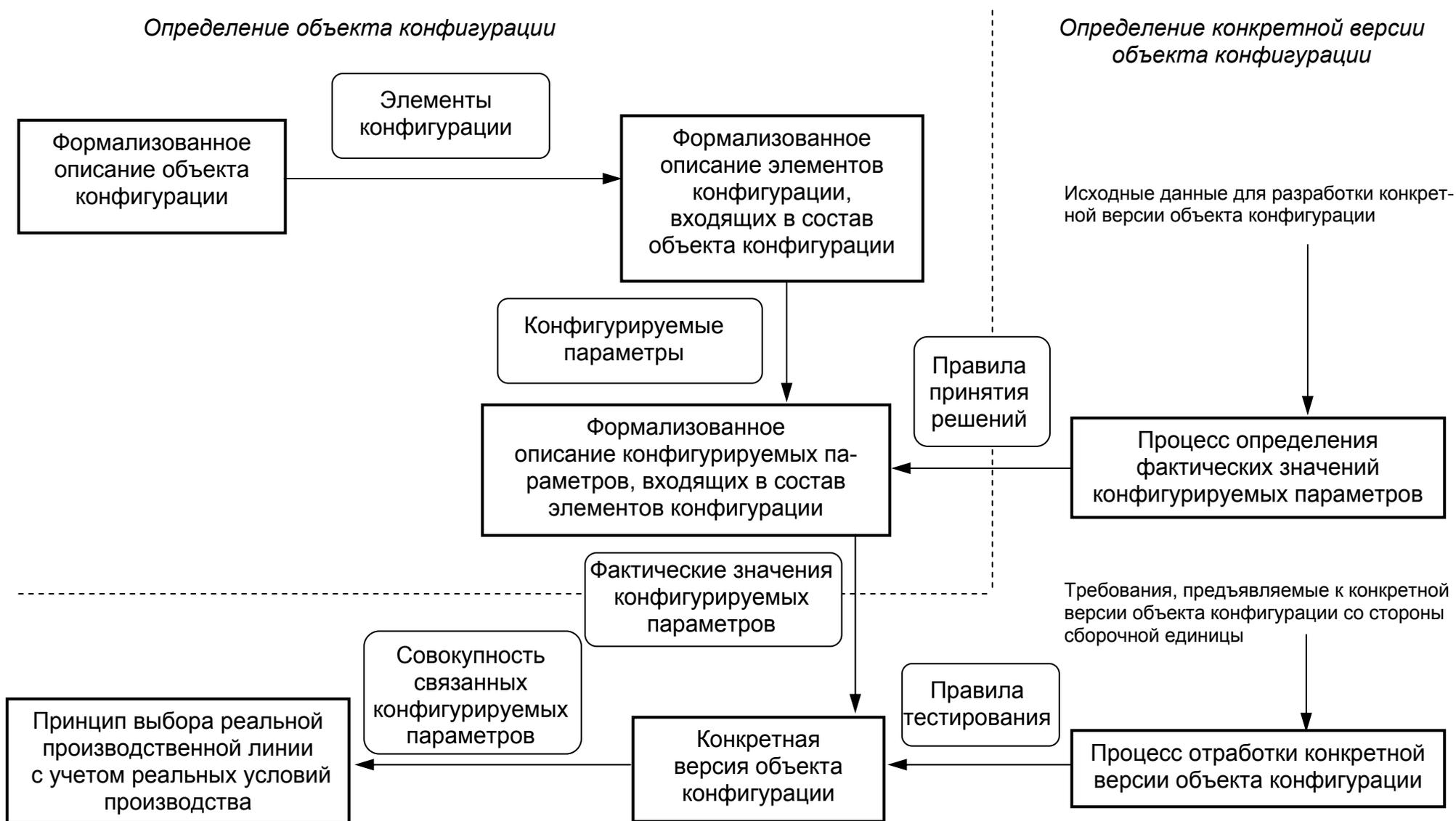


Рис. 5. Схема управления объектом конфигурации.

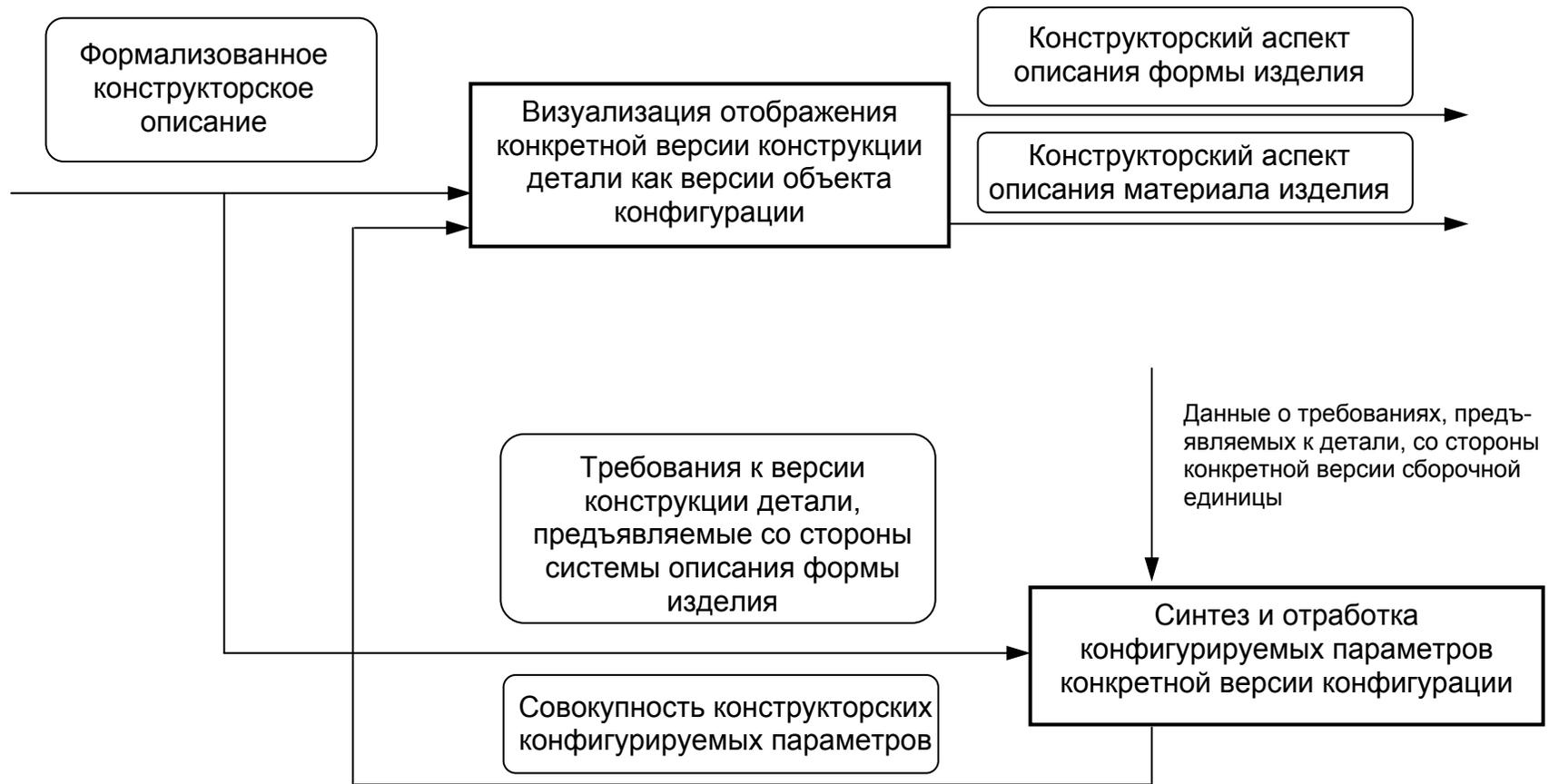


Рис. 6. Схема конструирования детали с управляемой конфигурацией.



Рис. 7. Схема формирования технологического ориентированного описания изделия (ТООИ).

Библиографический список

1. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий. –М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002, – 320 с.
2. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1997, – 450 с.
3. Судов Е.В. Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. –М.: ООО Издательский дом "МВМ", 2003, – 264 с.
4. ГОСТ Р ИСО 1000-2007 Менеджмент организации. Руководящие указания по управлению конфигурацией. – М.: Стандартиформ, 2008, – 17 с.
5. ГОСТ 2.053-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная структура изделия. Общие положения. – М.: Стандартиформ, 2006, – 10 с.

Сведения об авторах

Кулик Юрий Павлович, заведующий кафедрой «Производство аэрокосмической техники» Московского авиационного института (государственного технического университета), к.т.н, доцент.

+7 499 158-58-74.

Фёдоров Илья Александрович, доцент кафедры «Производство аэрокосмической техники» Московского авиационного института (государственного технического университета), к.т.н.

+7 499 158-58-74.