

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра технологии машиностроения

Составитель
М. С. Махалов

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ В СООТВЕТСТВИИ СО СТАНДАРТАМИ IDEF

**Методические указания к лабораторной работе
по дисциплинам «CALS и CASE технологии
в машиностроении» и «Жизненный цикл
изделий машиностроения»**

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления
подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты

Кречетов А. А. – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения

Клепцов А. А. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии машиностроения

Махалов Максим Сергеевич

Построение моделей процессов в соответствии со стандартами IDEF: методические указания к лабораторной работе [Электронный ресурс] по дисциплинам «CALS и CASE технологии в машиностроении» и «Жизненный цикл изделий машиностроения» для обучающихся направления подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств всех форм обучения / сост.: М. С. Махалов; КузГТУ. – Кемерово, 2019

В методических указаниях изложены основные цели и принципы построения моделей процессов стандарта IDEF0. Даны примеры моделей и варианты заданий для выполнения лабораторной работы по дисциплинам «CALS и CASE технологии в машиностроении» и «Жизненный цикл изделий машиностроения».

© КузГТУ, 2019

© Махалов М. С.,
составление, 2019

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы: научиться моделировать процессы с использованием методологии функционального моделирования SADT, реализованной в стандартах группы IDEF.

Анализ и моделирование любого процесса или объекта, как правило является сложной многопараметровой задачей, решение которой помимо прочего зависит от точки зрения автора модели.

Учитывая это, разработана и широко используется методология функционального моделирования SADT (Structured Analysis and Design Technique), позволяющая наглядно представить моделируемые объекты или процессы.

Такой подход позволяет определить суть решаемой проблемы, выявить и в дальнейшем установить необходимые взаимосвязи внутри системы с учетом точки зрения автора.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ СТАНДАРТА IDEF0

IDEF0 – это более строгая реализация методологии SADT. Начиная с момента создания первой версии, методика успешно применялась для проектирования телефонных сетей, систем управления воздушными перевозками, производственных предприятий и др.

Описание объектов и процессов в IDEF0 выполняется в виде совокупности взаимосвязанных блоков (рис. 1), называемых блоками ICOM (Input-Control-Output-Mechanism), где I – вход, C – управление, M – механизм, O – выход.

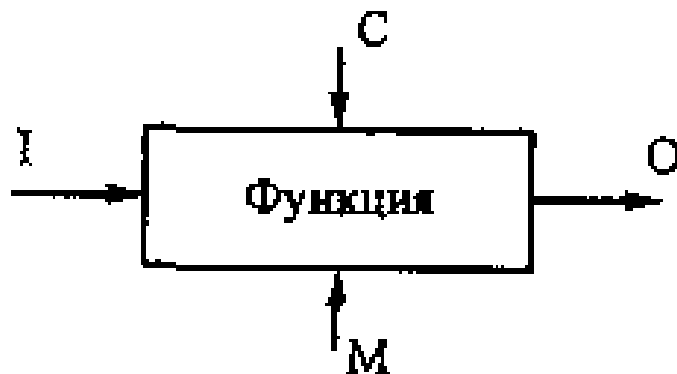


Рис. 1. Блок ICOM

Сами блоки представляют функции (работы), и их названия выражаются глаголами или отглагольными существительными.

Типичные примеры: планировать, разработать, классифицировать, измерить, изготовить, отредактировать, рассчитать, продать (или планирование, разработка, классификация, измерение, изготовление, редактирование, расчет, продажа).

Число блоков на одном уровне иерархии – не более 6, иначе восприятие диаграмм будет затруднено.

Число уровней иерархии не ограничено, но обычно – не более 5.

Блоки в диаграммах IDEF0 связаны дугами (стрелками), которые отображают множества объектов (данных).

Управление (control) определяет условия выполнения. Примеры управления: требования, чертеж, стандарт, указания, план.

Механизм (mechanism) выражает используемые средства, например: компьютер, САПР, оснастка, заказчик, фирма.

Входы и выходы могут быть любыми объектами.

Пример диаграммы IDEF0 показан на рис. 2, где представлены функции, выполняемые на начальных этапах процесса реинжиниринга предприятия.

На диаграмме показаны 4 этапа подготовки к реинжинирингу на предприятии. После формулировки заказа на рестройку процессов функционирования на базе информатизации управления проводится обследование предприятия, выявляются его структура, информационные потоки между подразделениями, внешние информационные связи, степень компьютеризации, наличие вычислительной сети и т. п.

На основании полученных данных составляется функциональная модель As Is («как есть») и разрабатывается модель To Be («как должно быть»). Эта модель верхнего уровня далее конкретизируется, каждая из функций раскрывается более подробно на диаграммах следующих уровней.

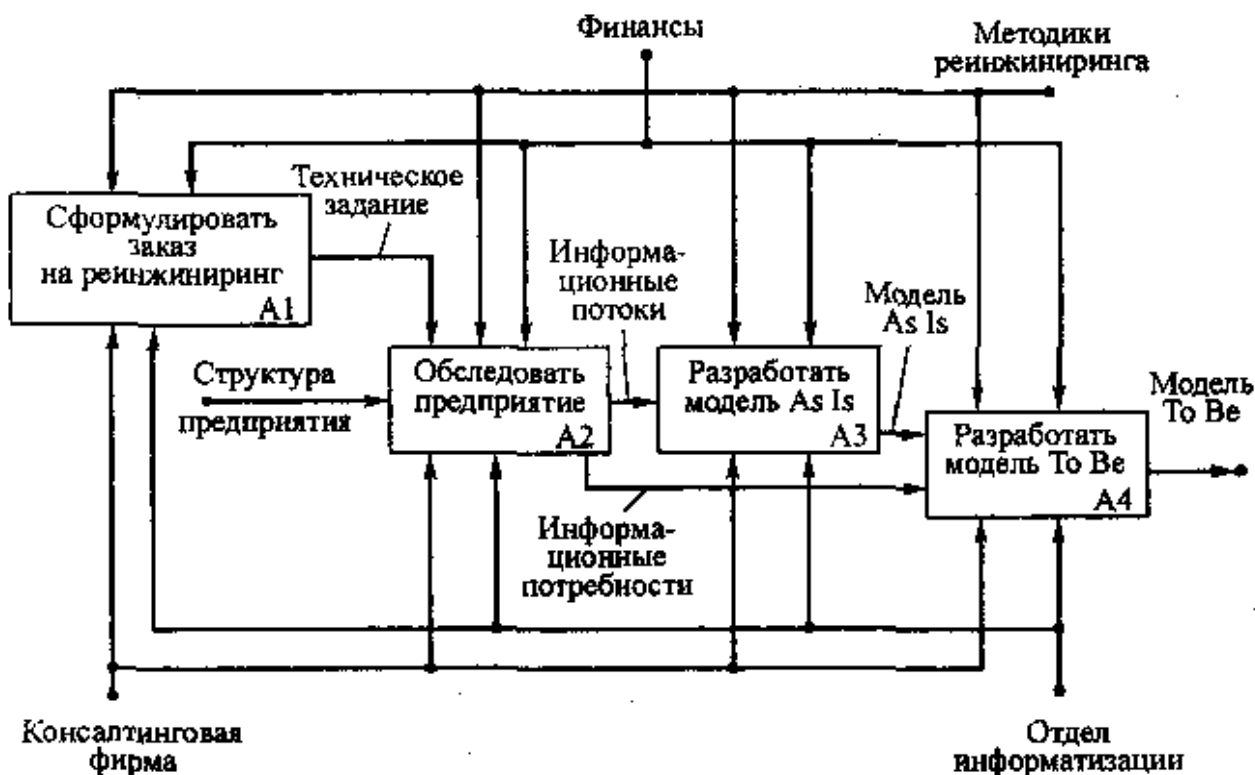


Рис. 2. Пример IDEF0- диаграммы

3. ПРИМЕРЫ МОДЕЛИ

Пример 1. Модель управления параметрами механического состояния поверхностного слоя металла на стадии упрочняющей обработки размерным совмещенным обкатыванием (PCO).

Модель начинается с представления системы как единого целого-прямоугольника с взаимодействиями, простирающимися за пределы системы. В рамках данного примера в качестве контекстной выбрана функция «Управлять параметрами механического состояния поверхностного слоя металла на стадии PCO с целью обеспечения заданной циклической долговечности детали». На контекстной диаграмме определены и описаны основные взаимодействия (стрелки), которые активируют родительскую функцию (рис. 3).

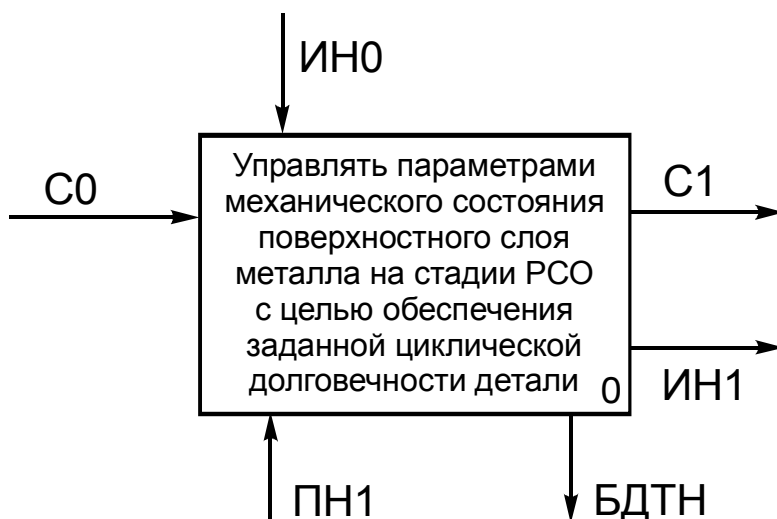


Рис. 3. Контекстная диаграмма уровня **A0**

В рассматриваемом примере в качестве входа принято состояние поверхностного слоя детали **C0**, поступающей на стадию обработки РСО, которое характеризуется параметрами, наследуемыми от предыдущей операции механической обработки. Индексом обозначена стадия предшествующего нагружения (до выполнения данной функции).

В качестве управляющего воздействия на стадии РСО принята история нагружения **ИНО**, описываемая в терминах и категориях механики технологического наследования (рис. 3).

В соответствии с представлениями автора в процессе обработки РСО, как и при любом другом процессе механической обработки, происходит изменение состояния поверхностного слоя, которое выражается в накоплении деформации, частичном исчерпании запаса пластичности и формировании тензора остаточных напряжений.

Продуктом выполнения функции является измененное состояние поверхностного слоя после текущей стадии обработки РСО **C1**.

Помимо **C1**, результатом выполнения функции является также история нагружения **ИН1**, измененная на текущей стадии нагружения.

В качестве механизма реализации функции принята программа нагружения **ПН1**, которая определяет протекание процесса пластической деформации на стадии РСО и при этом сама

определяется совокупностью параметров режима обработки, назначаемого технологом.

В рамках данной модели осуществляется запрос к внешней (за пределами модели) базе данных технологического наследования **БДТН** с целью получения информации о правилах формирования очагов деформации, состояния поверхностного слоя и реализации механизма обеспечения оптимальной долговечности и эксплуатационных свойств поверхностного слоя детали.

Одна из наиболее важных особенностей методологии SADT состоит в постепенной детализации описания модели.

Декомпозиция контекстной диаграммы производилась путем построения диаграмм-потомков (рис. 4).

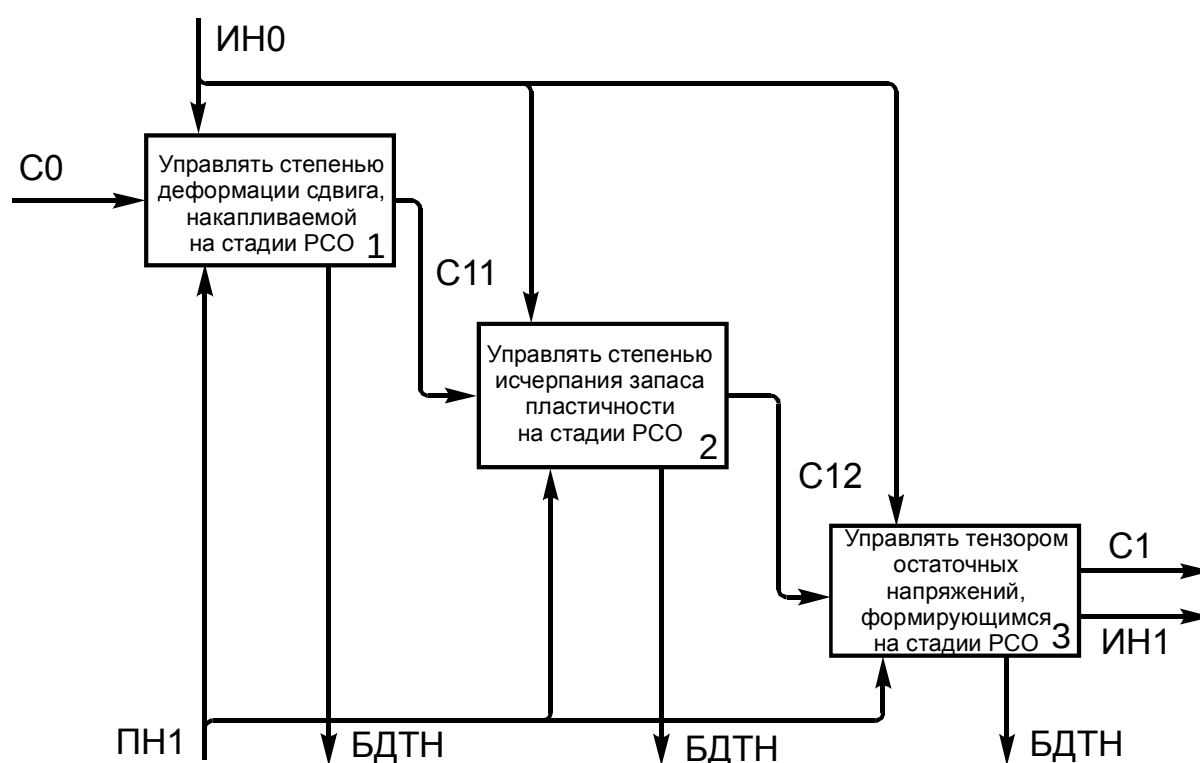


Рис. 4. Декомпозиция диаграммы уровня **A0**

Отличительными особенностями детализированной диаграммы уровня **A0** являются:

1. Каждый блок диаграммы представляет основную подфункцию исходной функции (блок **A0**).

2. Обеспечение заданной циклической долговечности осуществляется путем одновременного управления тремя основными интегральными параметрами – степенью деформации

сдвига (блок **A1**) (рис. 5), степенью истощения запаса пластичности (блок **A2**) (рис. 6) и тензором остаточных напряжений (блок **A3**) (рис. 7).

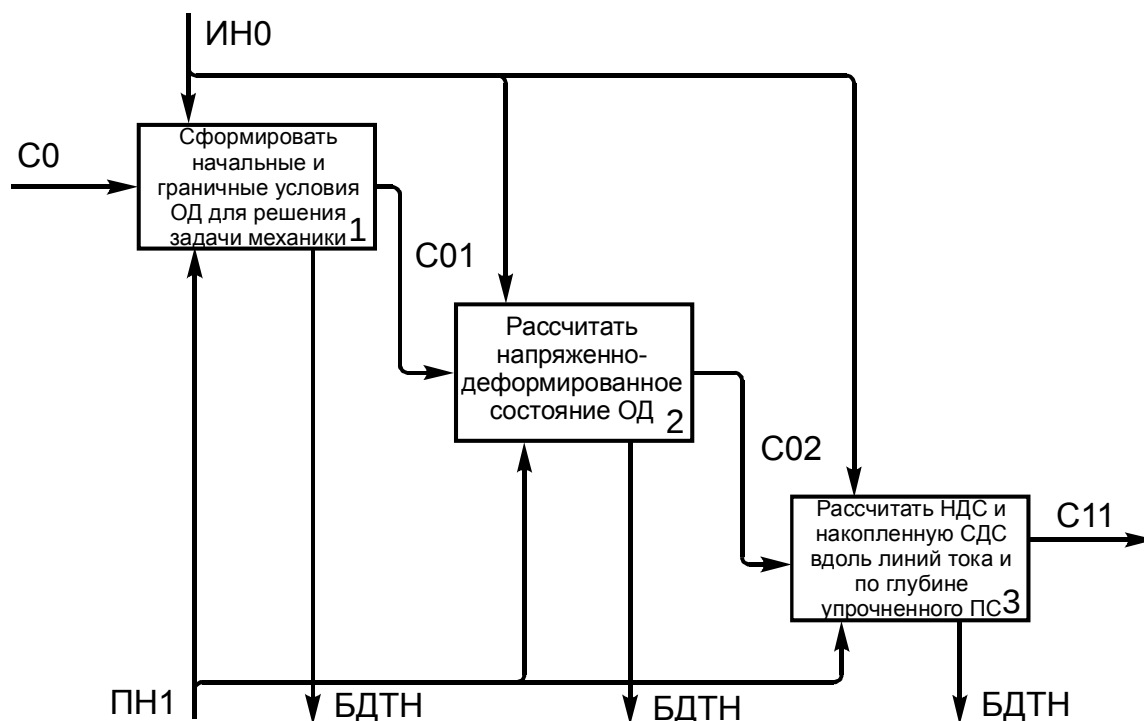


Рис. 5. Декомпозиция диаграммы **A1**

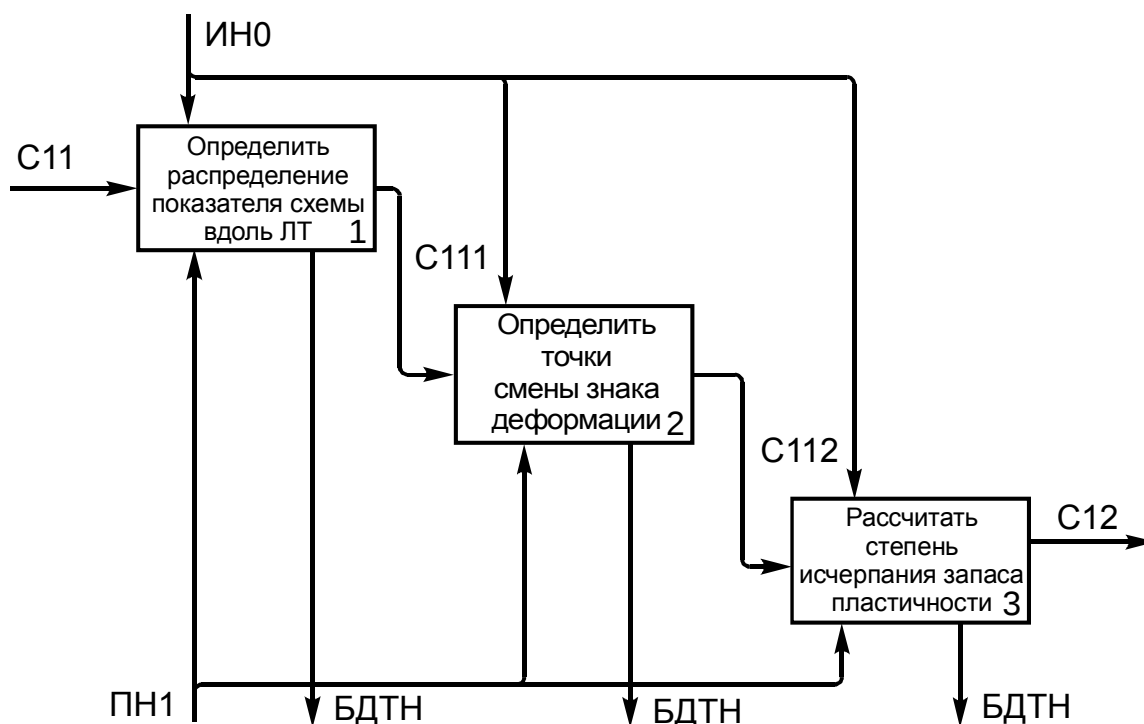


Рис. 6. Декомпозиция диаграммы **A2**

Декомпозиция диаграммы уровня **A3** была проведена по компонентам, которые в соответствии с теоремой о разгрузке составляют тензор остаточных напряжений (рис. 7).

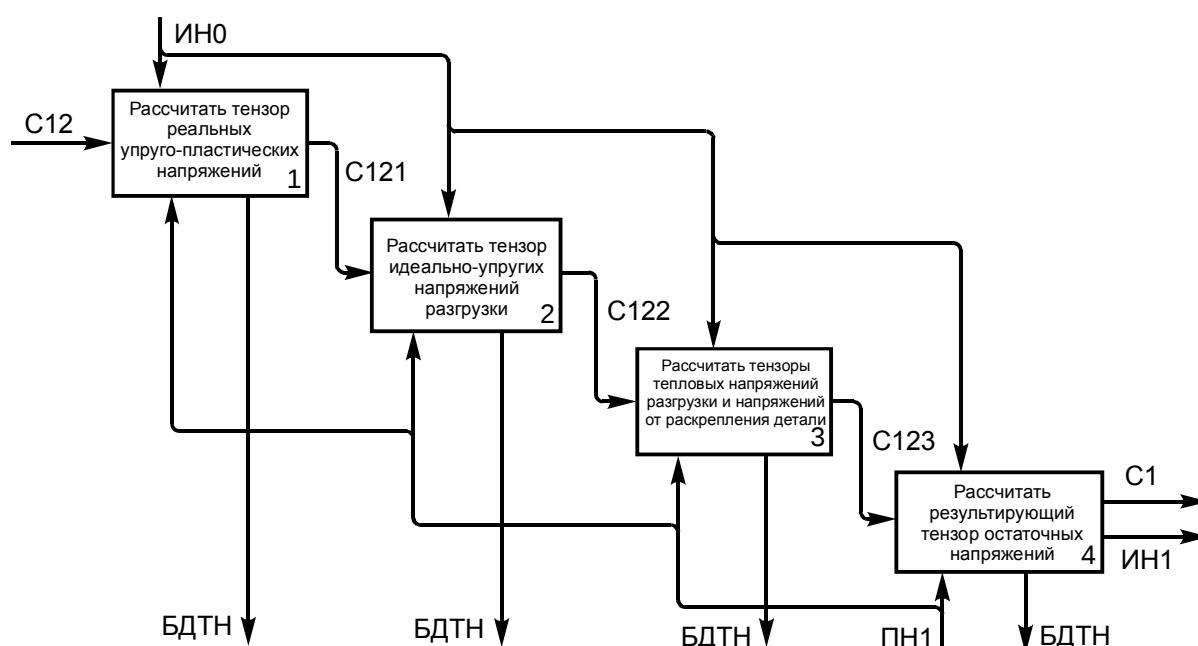


Рис. 7. Декомпозиция диаграммы **A3**

Каждый блок на диаграмме имеет свой номер (табл. 1). Семантика ярлыков в терминах и категориях механики ТН представлена в табл. 2.

Таблица 1

Схема индексации узлов

Индекс		Семантика узлов
узла	подузла	
A0		Управлять параметрами механического состояния поверхностного слоя металла на стадии PCO с целью обеспечения заданной циклической долговечности детали
A1, A2, A3		Блоки-потомки, детализирующие родительский блок A0
A1		Управлять степенью деформации сдвига, накапливаемой на стадии PCO

Индекс		Семантика узлов
узла	подузла	
	<i>A11, A12, A13</i>	Блоки-потомки, детализирующие блок <i>A1</i>
	<i>A11</i>	Сформировать начальные и граничные условия очага деформации для решения задачи механики
	<i>A12</i>	Рассчитать напряженно-деформированное состояние очага деформации
	<i>A13</i>	Рассчитать напряженно-деформированное состояние и накопленную степень деформации сдвига вдоль линий тока и по глубине упрочненного поверхностного слоя
<i>A2</i>		Управлять степенью истощения запаса пластичности на стадии РСО
	<i>A21, A22, A23</i>	Блоки-потомки, детализирующие блок <i>A2</i>
	<i>A21</i>	Определить распределение показателя схемы напряженного состояния вдоль линий тока
	<i>A22</i>	Определить точки смены знака деформации
	<i>A23</i>	Рассчитать степень истощения запаса пластичности с учетом залечивания поврежденности и частичного восстановления запаса пластичности
<i>A3</i>		Управлять тензором остаточных напряжений, формирующимся на стадии РСО
	<i>A31, A32, A33, A34</i>	Блоки-потомки, детализирующие блок <i>A3</i>
	<i>A31</i>	Рассчитать тензор реальных упруго-пластических напряжений
	<i>A32</i>	Рассчитать тензор идеально-упругих напряжений разгрузки
	<i>A33</i>	Рассчитать тензоры тепловых напряжений разгрузки и напряжений от раскрепления детали
	<i>A34</i>	Рассчитать результирующий тензор остаточных напряжений

Таблица 2

Семантика некоторых ярлыков на функциональных схемах

Обозначение ярлыков	Семантика ярлыков
<i>C0</i>	Наследуемое состояние поверхностного слоя до стадии обработки РСО
<i>C01, C02, C11, C12, C111, C112, C121, C122, C123</i>	Текущее состояние поверхностного слоя на соответствующих промежуточных этапах стадии обработки РСО
<i>C1</i>	Состояние поверхностного слоя после стадии РСО
<i>ИН0</i>	История нагружения, представляющая собой информацию, передаваемую со всех предшествующих стадий нагружения на стадию нагружения РСО
<i>ИН1</i>	Трансформированная история нагружения, передаваемая на последующую стадию и представляющая собой информацию о характере накопления параметров состояния ПС на предыдущих стадиях нагружения, включая стадию РСО
<i>ПН1</i>	Программа нагружения на стадии обработки РСО
<i>БДТН</i>	Запрос к базе данных технологического наследования по правилам формирования ОД

Для функциональной модели, описывающей трансформацию параметров на стадии РСО характерно:

1. Наличие исходного (наследуемого) состояния поверхностного слоя в виде *C0*.

2. Запрос к базе данных технологического наследования *БДТН* с целью получения информации о режимах обработки.

3. Наличие наследственной информации в виде истории нагружения на предшествующих стадиях *ИН0*.

4. Генерирование собственной (измененной на стадии РСО) наследственной информации в виде *ИН1*.

5. Состояние поверхностного слоя после выполнения обработки РСО в виде *С1*, которое является исходным перед началом стадии циклической долговечности.

Пример 2. Модель синтеза технологического процесса (ТП) упрочняющей обработки с учетом явления технологического наследования (ТН).

Главная цель этапа физической реализации ТП упрочняющей обработки – обеспечить требуемую долговечность изделия на стадиях механической обработки и в процессе эксплуатации. Поэтому в качестве контекстной функции выбрана: «Разработать технологический процесс (ТП) упрочняющей обработки, обеспечивающий требуемое состояние поверхностного слоя (ПС) изделия с учетом ТН». В данном случае функция включает все возможные стадии жизненного цикла изделия, включая усталостное нагружение и возможные технологии по частичному восстановлению запаса пластичности (рис. 8).

Ресурс – «Базовая информация» и «Состояние поверхностного слоя». «Базовая информация» включает данные, содержащиеся в конструкторских документах, программу выпуска, а также условия эксплуатации изделия. «Состояние поверхностного слоя» – начальное для проектирования технологического процесса состояние поверхностного слоя.

Продукт – «Технологический процесс, обеспечивающий требуемое состояние поверхностного слоя детали с учетом технологического наследования». Реализация данного технологического процесса позволяет получить поверхностный слой с требуемыми параметрами, обеспечивающими заданную долговечность детали на стадии усталостного нагружения с учетом технологического наследования.

Управляющие воздействия – «Руководящая информация (РИ)» и «История нагружения (ИН)». Руководящая информация содержится в стандартах всех уровней на технологические процессы, оборудование и оснастку, а также в документации на перспективные ТП, производственных инструкциях. История нагружения отражает состояния поверхностного слоя после выполнения предшествующих операций (воздействий на поверхностный слой).

Механизм реализации функции – «Исполнитель». Это следует понимать так, что ТП механической обработки формирует человек, а обеспечивает выполнение этой технологии выбранный (назначенный или рассчитанный) режим нагружения поверхностного слоя изделия.

Вызов (запрос) – «База данных технологической наследственности (БДТН)». БДТН представляет собой электронное хранилище данных, содержащее информацию о правилах формирования очагов деформации, режимах и программах нагружения, действующих унифицированных ТП на изделия-аналоги и прогрессивных методах обработки, а также каталоги, номенклатурные справочники, материалы по выбору технологических нормативов и др.

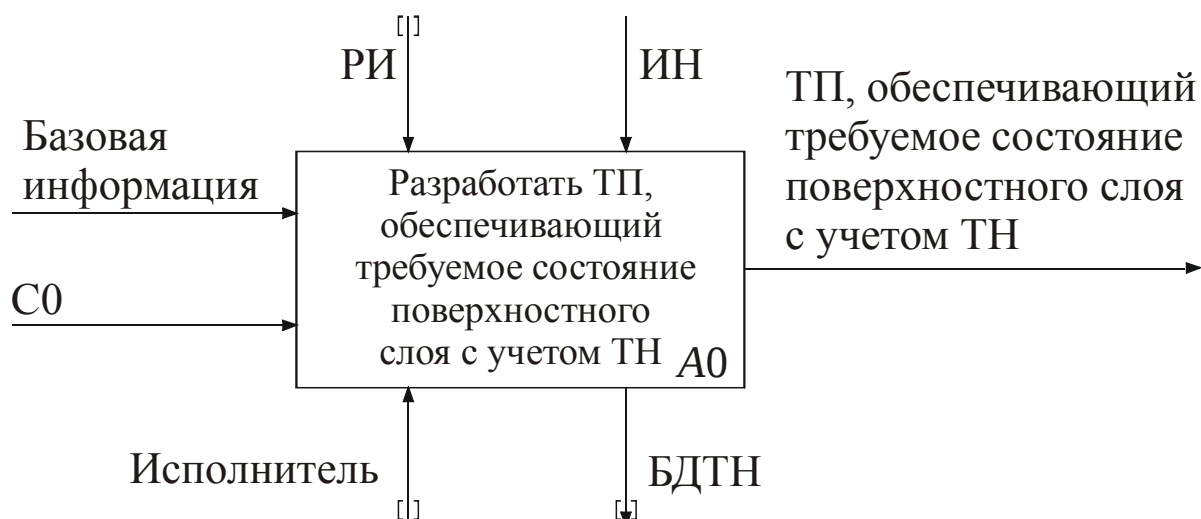


Рис. 8. Функциональная модель уровня А0. Родительский блок (ярлыки и семантика названий)

В процессе декомпозиции контекстной функции учтен многолетний опыт проектирования технологических процессов механической обработки (рис. 9, табл. 3-4). В основе проектирования технологии по данной методике лежат точностные расчеты, а требуемая точность определяет режимы механической обработки. При этом параметры качества поверхностного слоя рассчитывают исходя из известных режимов по совокупности эмпирических моделей.

Точностной анализ предполагает расчеты численных значений припусков по технологическим переходам и операциям.

Основная методика расчетов припусков учитывает явление технологического наследования, поскольку в ее структуре представлены значения высоты неровностей профиля Rz_{i-1} , глубины дефектного поверхностного слоя h_{i-1} и суммарных отклонений расположения поверхности $(\Delta_\Sigma)_{i-1}$ на предшествующем $i-1$ переходе. Шероховатость поверхности в методике расчета припусков является составляющим элементом, определяющим точность механической обработки. В то же время при оценке состояния поверхности шероховатость выступает в роли параметра качества поверхностного слоя.

Можно полагать, что припуск – это «стыковочный» параметр, определяющий, с одной стороны, точность механической обработки, а с другой, – качество поверхностного слоя.

Таблица 3

Схема индексации узлов

Индекс			Семантика узлов
узла	подузла <i>n</i> -уровня		
	<i>n</i> = 1	<i>n</i> = 2	
<i>A0</i>			Разработать технологический процесс (ТП) упрочняющей обработки, обеспечивающий требуемое состояние поверхностного слоя (ПС) с учетом ТН
<i>A1-A5</i>			Блоки-потомки, детализирующие родительский блок <i>A0</i>
<i>A1</i>			Выполнить технологический контроль конструкторской документации
<i>A2</i>			Разработать маршрутный технологический процесс
<i>A3</i>			Разработать операционный технологический процесс
	<i>A31</i>		Определить структуру операции
	<i>A32</i>		Выбрать средства технологического оснащения (СТО)
	<i>A33</i>		Рассчитать припуски и режимы обработки
	<i>A34</i>		Рассчитать точность обработки

Индекс			Семантика узлов
узла	подузла <i>n</i> -уровня		
	<i>n</i> = 1	<i>n</i> = 2	
	<i>A35</i>		Рассчитать качество поверхностного слоя
		<i>A351</i>	Определить геометрические параметры очага деформации
		<i>A352</i>	Рассчитать напряженно-деформированное состояние
		<i>A353</i>	Рассчитать программу нагружения
		<i>A354</i>	Изменить состояние поверхностного слоя в очаге деформации
		<i>A355</i>	Рассчитать параметры качества поверхностного слоя
		<i>A356</i>	Выполнить акустико-эмиссионный и ультразвуковой контроль
	<i>A36</i>		Выполнить нормирование операции
<i>A4</i>			Оценить технологические решения
<i>A5</i>			Подготовить технологическую документацию

Таблица 4

Семантика некоторых ярлыков на функциональных схемах

Обозначение ярлыков	Семантика ярлыков
<i>С0</i>	Начальное состояние поверхностного слоя
<i>РИ</i>	Руководящая информация
<i>ИН</i>	История нагружения
<i>МТП</i>	Маршрутный технологический процесс
<i>ОТП</i>	Операционный технологический процесс
<i>ТР</i>	Технологическое решение
<i>ТД</i>	Технологическая документация
<i>О12</i>	Структура технологической операции
<i>О23</i>	Перечень средств технологического оснащения
<i>О34</i>	Припуски на механическую обработку
<i>О45</i>	Точностные параметры
<i>О56</i>	Параметры качества поверхностного слоя

Обозначение ярлыков	Семантика ярлыков
<i>PK12</i>	Геометрические параметры очага деформации
<i>PK23</i>	Параметры напряженно-деформированного состояния
<i>PK45</i>	Состояние поверхностного слоя
<i>PK56</i>	Параметры качества поверхностного слоя

Исходя из сказанного, выполнена декомпозиция подфункции *A3*, где наряду с расчетом припусков и режимов (блок *A33*), выполняются расчеты точности (блок *A34*) и качества поверхностного слоя (блок *A35*) (рис. 10).

Особенностью детализации дальнейшего описания является учет наследственных закономерностей, представленных в категориях механики технологического наследования. Это нашло отражение в декомпозиции блока *A35*, которая полностью соответствует ранее принятой функциональной модели механики технологического наследования (рис. 11). Технологическое наследование качества поверхностного слоя определяется путем решения задач механики (блоки *A351-A353*), по результатам которых происходит формирование программ нагружения поверхностного слоя. На входе в блок *A354* в качестве управляющего воздействия используется история нагружения, а программа нагружения выступает в качестве механизма реализации данной подфункции. Параметры качества поверхностного слоя (блок *A355*) рассчитываются с учетом установленных физических закономерностей ТН, и в случае получения неудовлетворительного результата, по обратной связи проводится корректировка структуры операции. По итогам выполнения операции проводится АЭ или УЗ контроль (блок *A356*).

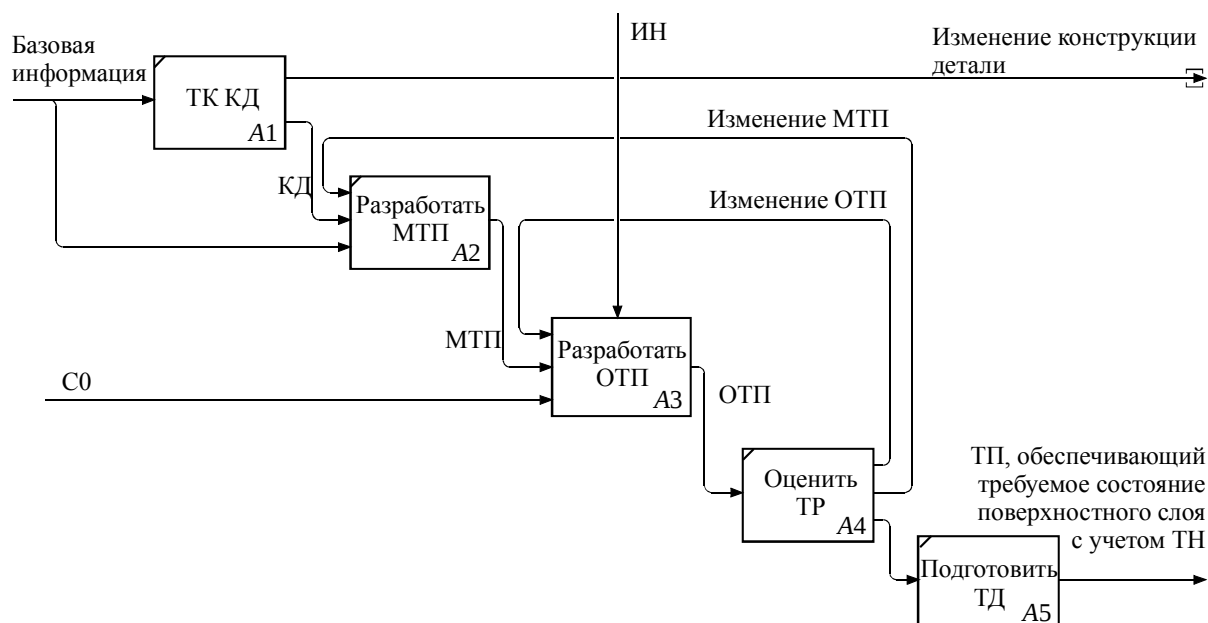


Рис. 9. Декомпозиция функциональной модели механики ТН уровня *A0*

Особенностью рассматриваемой функциональной модели является возможность ее дальнейшего расширения и дополнения, например:

1. По результатам проектирования ТП выявлена необходимость разработки новых методов механической обработки с вполне определенными возможностями в плане создания программ нагружения. Использование расчетных моделей позволяет сформулировать комплекс требований и совокупность технологических параметров. Тогда функциональная модель может быть декомпозирована, а информация уточнена до требуемого уровня детализации; система обратных связей позволяет уточнить правила ТН и внести уточнения в модели, учитывающие историю нагружения.

2. Появляется необходимость учета стадии ремонта (частичного или полного восстановления запаса пластичности) детали. Тогда после выполнения подфункции контроля, вводится подфункция ремонта с соответствующей системой обратных связей и т. д.

На этапе внедрения научных разработок возможно расширение контекста и использование таких важных подфункций, как предпроектное обследование производства, экономическое обоснование привлекательности инвестиций в предлагаемую техноло-

гию, уточнение дополнительных организационных и технологических факторов, передача готового продукта заказчику и др.

Преобразование совокупности функциональных моделей в модель данных позволяет использовать их для решения задач автоматизации проектирования технологий упрочняющей механической обработки, в частности, разработки БДТН.

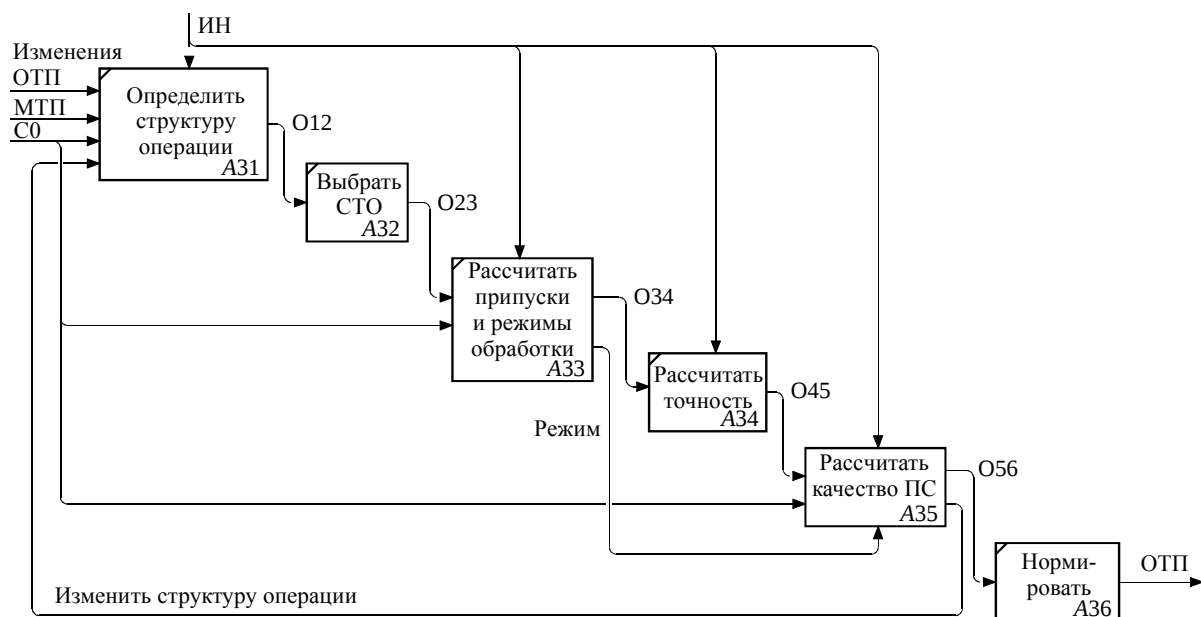


Рис. 10. Декомпозиция диаграммы АЗ

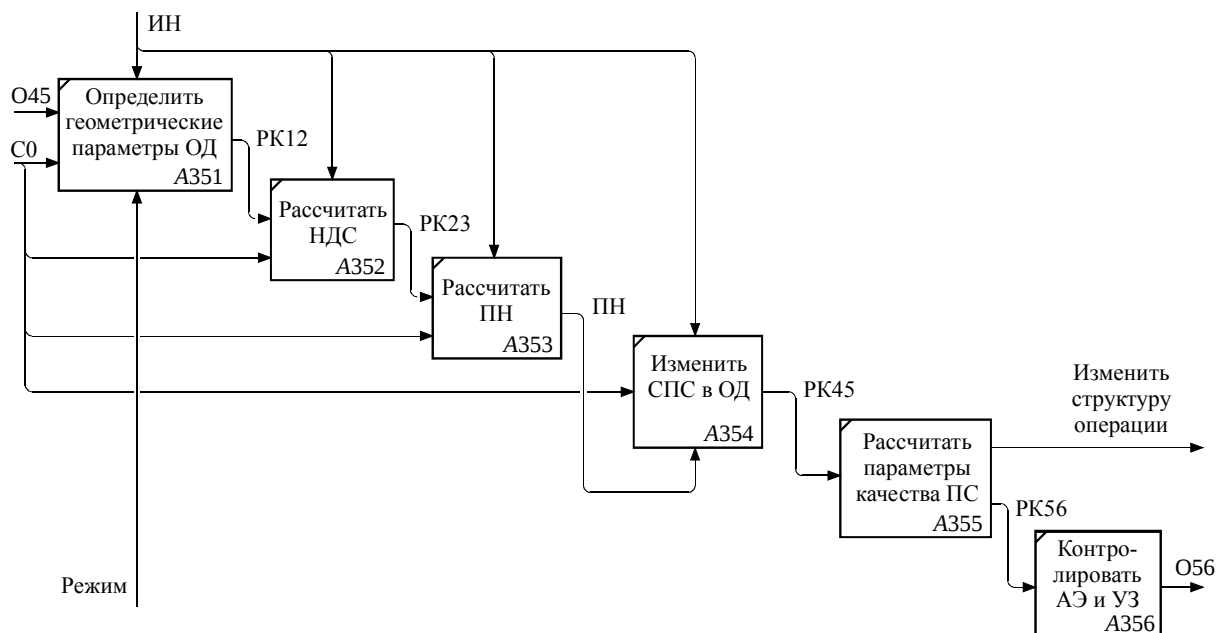


Рис. 11. Декомпозиция диаграммы А35

4. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариантом задания является любой процесс или целевая функция, выбранные для разработки модели. Вид модели и степень детализации подфункций (количество уровней декомпозиции) определяется автором – разработчиком модели.

5. СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМА ОТЧЕТА

Отчетом о работе является созданная модель процесса или объекта в виде набора взаимосвязанных диаграмм, текстового описания и таблиц со схемами индексации узлов и семантикой ярлыков на функциональных схемах.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое блок ICOM?
2. Что такое контекстная диаграмма?
3. Что такое управляющее воздействие и механизм реализации?
4. Что может являться входом и выходом диаграммы?
5. Что такое декомпозиция диаграммы?

Список рекомендуемой литературы

1. Вендров А. М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем / А. М. Вендров. – Москва: Argussoft Co, 1999. – 86 с.
2. Методология функционального моделирования IDEF0: руководящий документ. – Москва: Изд-во стандартов, 2000. – 75 с.
3. Марка Давид. Методология структурного анализа и проектирования / Давид Марка, Клемент МакГоуэн; пер. с англ. – Москва, 1993. – 240 с.