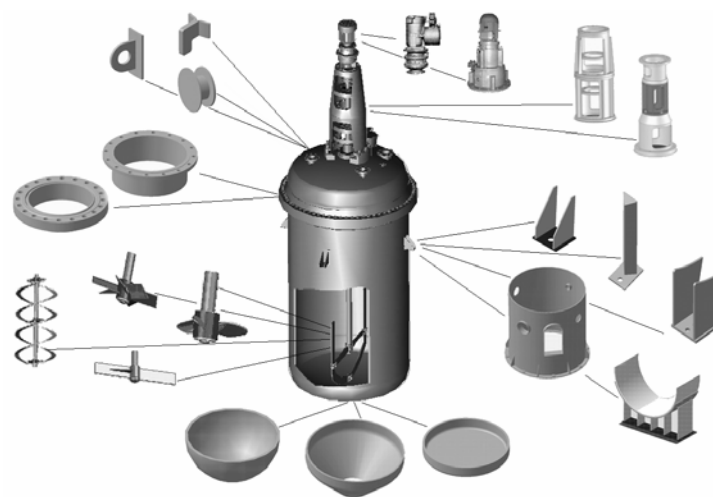


В.Г. МОКРОЗУБ

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



◆ ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ ◆

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**В.Г. МОКРОЗУБ**

**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*Утверждено Учёным советом университета в качестве учебного пособия  
для бакалавров и магистров направления 150400 «Технологические  
машины и оборудование» и студентов, обучающихся по специальностям 240801 «Машины и аппараты химических про-  
изводств»,  
230104 «Системы автоматизированного проектирования»*



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2008

УДК 681.518  
ББК Л11-5-05я73  
М749

**Рецензенты:**

Заведующий кафедрой компьютерного и математического моделирования ИМФИ Тамбовского государственного университета им. Г.Р. Державина, доктор технических наук, профессор  
*А.А. Арзамасцев*

Доктор технических наук, профессор кафедры САПР  
Тамбовского государственного технического университета  
*Ю.В. Литовка*

**Мокрозуб, В.Г.**  
М749 Разработка интеллектуальных информационных систем автоматизированного проектирования технологического оборудования : учебное пособие / В.Г. Мокрозуб. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 80 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-0740-7.

Рассмотрены процедурная и информационно-логические модели, позволяющие генерировать законченный вариант конструкции технологического оборудования. Для ёмкостного аппарата с перемешивающим устройством представлены информационно-логическая модель, включающая реестр элементов, модели определения структуры, параметров и позиционирования элементов в пространстве, соответственно. Предложено производственно-фреймовое представление моделей в информационной системе.

Предназначено для бакалавров и магистров направления 150400 «Технологические машины и оборудование» и студентов, обучающихся по специальностям 240801 «Машины и аппараты химических производств», 230104 «Системы автоматизированного проектирования».

УДК 681.518  
ББК Л11-5-05я73

ISBN 978-5-8265-0740-7

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный  
технический университет» (ТГТУ), 2008

Учебное издание

МОКРОЗУБ Владимир Григорьевич

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБО- РУДОВАНИЯ

Учебное пособие

Редактор З.Г. Чернова  
Компьютерное макетирование Т.Ю. Зотовой

Подписано в печать 27.10.2008  
Формат 60 × 84 / 16. 4,65 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 467

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

## ВВЕДЕНИЕ

Использование автоматизированных информационных систем (АИС) является в настоящее время необходимым условием эффективной работы промышленных предприятий. Проектирование технологического оборудования – один из наиболее длительных и ответственных этапов технической подготовки машиностроительного производства.

Несмотря на несомненные достижения в области искусственного интеллекта и большое разнообразие существующих АИС, предназначенных для проектирования технических изделий, конструкторские отделы затрачивают много времени на разработку технической документации, особенно чертежей. В связи с этим, проблема создания АИС, позволяющей проектировать технологическое оборудование, остаётся актуальной, особенно в плане применения методов искусственного интеллекта и получения технической документации с минимальным участием лица принимающего решения.

Развитие перерабатывающих отраслей промышленности, в том числе химической и пищевой, является в настоящее время актуальной задачей экономики Российской Федерации.

Технологическое оборудование химических и пищевых производств состоит преимущественно из типовых элементов, что даёт возможность создать информационную систему, которая позволит автоматизировать не только такие стадии проектирования, как определение основных элементов аппаратов, технологические и механические расчёты, но и стадии разработки рабочих чертежей, что является актуальным, так как позволит уменьшить сроки проектирования и повысит качество проектных решений.

Создание процедурных и информационно-логических моделей технологического оборудования на разных уровнях абстрагирования и разработка на их основе информационных систем, обладающих интеллектуальными свойствами, позволит накапливать и использовать опыт экспертов всеми разработчиками проекта.

### 1. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПУТИ ИХ РАЗВИТИЯ

Бурное развитие методов и средств автоматизации привело к созданию автоматизированных систем обработки информации (АСОИ) различного назначения, охватывающих все этапы жизненного цикла изделия: автоматизированных систем проектирования (САПР), управления (АСУ), технологической подготовки производства (АСТПП) и других. Научные исследования и опыт создания и применения автоматизированных систем в различных отраслях машиностроения выявили необходимость структурирования средств обеспечения АСОИ. В соответствии с выполняемыми функциями в системе выделяют техническое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, методическое и организационное обеспечение [9].

Назначение, содержание и правила применения средств обеспечения уже в 70-е годы XX века регламентировались нормативными документами и государственными стандартами. К началу 90-х годов разработка комплекса основополагающих нормативных документов и государственных стандартов в области АСОИ в нашей стране была практически завершена. Основными принципами создания таких систем, их подсистем и компонентов определены системное единство, развитие, совместимость и стандартизация [9].

Задачи, решаемые АИС, можно классифицировать следующим образом:

- 1) вычислительные задачи (например, прочностные расчёты, оптимизация, моделирование), предъявляющие повышенные требования к производительности процессора и объёму оперативной памяти;
- 2) задачи обработки больших массивов информации (например, задачи создания и введения баз данных конструкторской документации, задачи информационного поиска, доступа к базам данных), требующие наличия внешних накопителей большой ёмкости и достаточно малого времени доступа;
- 3) задачи интерактивного (диалогового) проектирования (например, речевой ввод или интерактивная графика), требующие специальных аппаратных средств (графический дисплей, графопостроитель, диджитайзер и др.), обеспечивающих удобство работы и малое время ответа;
- 4) задачи обмена информацией между подсистемами АИС (например, передача в комплексную АИС информации от технологической подсистемы к программно-управляемому оборудованию); к этим же задачам относится дистанционное, сетевое и межсетевое взаимодействие технических средств АИС;
- 5) задачи, решаемые с применением методологии искусственного интеллекта, в частности, экспертных систем.

АИС для машиностроения условно делят на САД, САМ и САЕ системы.

САД-системы (computer-aided design – компьютерная поддержка проектирования) предназначены для решения конструкторских задач и оформления конструкторской документации (более привычно они именуется системами автоматизированного проектирования – САПР). Как правило, в современные САД-системы входят модули моделирования трехмерной объёмной конструкции (детали) и оформления чертежей и текстовой конструкторской документации (спецификаций, ведомостей и т.д.). Ведущие трехмерные САД-системы позволяют реализовать идею сквозного цикла подготовки и производства сложных промышленных изделий.

САМ-системы (computer-aided manufacturing – компьютерная поддержка изготовления) предназначены для проектирования обработки изделий на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) и выдачи программ для этих станков (фрезерных, сверлильных, эрозионных, пробивных, токарных, шлифовальных и др.). САМ-системы еще называют системами технологической подготовки производства. В настоящее время они являются практически единственным способом для изготовления сложнопрофильных деталей и сокращения цикла их производства. В САМ-системах используется трехмерная модель детали, созданная в САД-системе.

САЕ-системы – (computer-aided engineering – поддержка инженерных расчётов) представляют собой обширный класс систем, каждая из которых позволяет решать определенную расчётную задачу (группу задач), начиная от расчётов на прочность, анализа и моделирования тепловых процессов до расчётов гидравлических систем и машин, расчётов процессов литья.

В САЕ-системах также используется трёхмерная модель изделия, созданная в САД-системе. САЕ-системы ещё называют системами инженерного анализа.

В настоящее время разработчики прикладных автоматизированных систем уделяют большое внимание приданию им интеллектуальных функций. Существуют предпосылки, что следующим шагом в развитии автоматизированного проектирования технических объектов будет создание интеллектуальных систем, позволяющих генерировать различные варианты технических решений, исходя из сведений о технологическом назначении проектируемого объекта [26, 28].

Ниже рассматриваются существующие подходы к созданию подобных интеллектуальных автоматизированных систем.

Существуют два основных направления конструирования технических объектов: поисковое и типовое. Результатом поискового конструирования является оригинальная конструкция, претендующая на получение патента. Результат типового конструирования – технический объект, собранный из типовых элементов.

Автоматизации процесса поискового конструирования посвящен ряд работ А.И. Половинкина [36, 37].

Исследования в области создания автоматизированных систем, обладающих интеллектуальными свойствами, начались ещё в 60-е годы XX века.

В работах [36, 38] рассматривается подход к автоматизированному проектированию технических объектов, исходя из сведений о выполняемых объектом функциях. Здесь также проведён анализ, из каких элементов состоят большинство технологических объектов, какие физические эффекты лежат в основе их работы, рассмотрены различные способы представления структуры объектов и взаимодействия их элементов.

Для автоматизации типового конструирования имеется множество систем автоматизированного проектирования, позволяющих получать конструкторскую и технологическую документацию. Фирмы разработчики известных программных продуктов (SolidWorks, Inventor, Компас) постоянно совершенствуют свою продукцию, добавляя новые возможности (3D моделирование, параметризация графических объектов, библиотеки типовых объектов и т.д.). Несмотря на это, в известных САПР в настоящее время отсутствует возможность получения технической документации автоматически или с минимальным участием человека, хотя предпосылки для этого существуют особенно в типовом конструировании.

Методология разработки прикладных автоматизированных систем на базе промышленного способа их создания, обоснованного в работах Г.Д. Волковой [4, 5], включает:

- процесс разработки, состоящий из определённого набора этапов;
- методик выполнения этапов;
- средств представления исходной и результирующей информации каждого этапа.

Приведён процесс автоматизации предметных задач, на основе предлагаемой методологии и с учётом формируемых модельных представлений, включающий в себя следующие этапы

Концептуальное моделирование предметных задач позволяет объективировать (выявлять) систему знаний выделенной предметной области и зафиксировать её в определенной форме. Концептуальное моделирование в соответствии с методологией промышленного создания САПР осуществляется на трёх уровнях абстрагирования: абстрактном, обеспечивающем общее представление систем знаний; объектном, обеспечивающем представление специфики систем знаний предметных областей; конкретном, описывающем множество конкретных фактов, событий, явлений реального мира в процессе решения прикладных задач. При этом концептуальная модель любого уровня включает: множество элементов (категорий); множество структурных связей на этих элементах; множество ограничений на связи и элементы. Под категорией понимается обобщенный термин для понятий разных уровней абстрагирования.

Представление концептуальных моделей включает в себя две части: универсальное концептуальное представление и концептуальные представления предметных задач. Универсальное концептуальное представление определяет общее строение системы знаний на разных уровнях абстрагирования, а концептуальные представления предметных задач определяют строение системы знаний для конкретных предметных областей.

За последние несколько лет быстро вырос интерес к искусственным нейронным сетям. Специалисты из таких областей, как техническое конструирование, философия, физиология и психология, ищут приложение им внутри своих дисциплин. Это возрождение интереса было вызвано как теоретическими, так и прикладными достижениями. Неожиданно открылись возможности использования вычислений в сферах, до этого относящихся лишь к области человеческого интеллекта, возможности создания машин, способность которых учиться и запоминать удивительным образом напоминает мыслительные процессы человека, и наполнения новым значительным содержанием критикованного термина «искусственный интеллект».

Эволюционные вычисления [17], синонимом которых в зарубежной литературе является термин «evolutionary computation», доказали свою эффективность как при решении трудноформализуемых задач искусственного интеллекта (распознавание образов, кластеризация, ассоциативный поиск), так и при решении трудоемких задач оптимизации, аппроксимации, интеллектуальной обработки данных. К преимуществам эволюционных вычислений относятся адаптивность, способность к обучению, параллелизм, возможность построения гибридных интеллектуальных систем на основе комбинирования с парадигмами искусственных нейросетей и нечеткой логики. Многообещающей выглядит предпосылка создания единой концепции эволюционных вычислений, включающих генетические алгоритмы [7], генетическое программирование (ГП), эволюционные стратегии и эволюционное программирование (ЭП).

**CALS-технологии.** Одним из направлений повышения эффективности промышленного сектора экономики является применение современных информационных технологий для обеспечения процессов, протекающих в ходе всего жизненного цикла продукции и её компонентов. Жизненный цикл (ЖЦ) продукта, как его определяет стандарт ISO 9004-1, – это совокупность процессов, выполняемых от момента выявления потребностей общества в определенной продукции до удовлетворения этих потребностей и утилизации продукта.

В отличие от интегрированной автоматизированной системы управления производством (ИАСУ), CALS-система охватывает все стадии ЖЦ [16, 30]. Предметом CALS являются технологии совместного использования и информации (ин-

формационной интеграции) в процессах, выполняемых в ходе ЖЦ продукта. В основе CALS лежит комплекс единых информационно-технологических моделей, стандартизация способов доступа к информации и её корректной интерпретации, обеспечение безопасности информации, а также юридические вопросы совместного использования информации (в том числе интеллектуальной собственности).

#### Вопросы для самопроверки

1. Классификация задач, решаемых автоматизированными информационными системами.
2. Классификация автоматизированных информационных систем.
3. Основные направления конструирования технических объектов.
4. Пути развития информационных систем.

## 2. ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 2.1. Методология проектирования технологического оборудования

Проект современного технологического производства является результатом интеллектуальных, творческих усилий целого ряда исследовательских, проектных, конструкторских и строительных организаций и объединений.

Сложность и многообразие задач, возникающих при проектировании, обусловили и многостадийность этого процесса [13, 15, 19, 20].

Существующая практика проектирования широко использует принцип декомпозиции, в результате чего выделяются отдельные подзадачи, решение которых возлагается на специализированные подразделения в рамках проектной организации и различных отраслей промышленности.

При разработке аппаратного оформления основной задачей является выбор типов и размеров аппаратов на каждую стадию технологической схемы. Выбор каждого вида оборудования сопровождается проведением ряда расчётов. Структурная схема проектирования технологических схем показана на рис. 2.1.

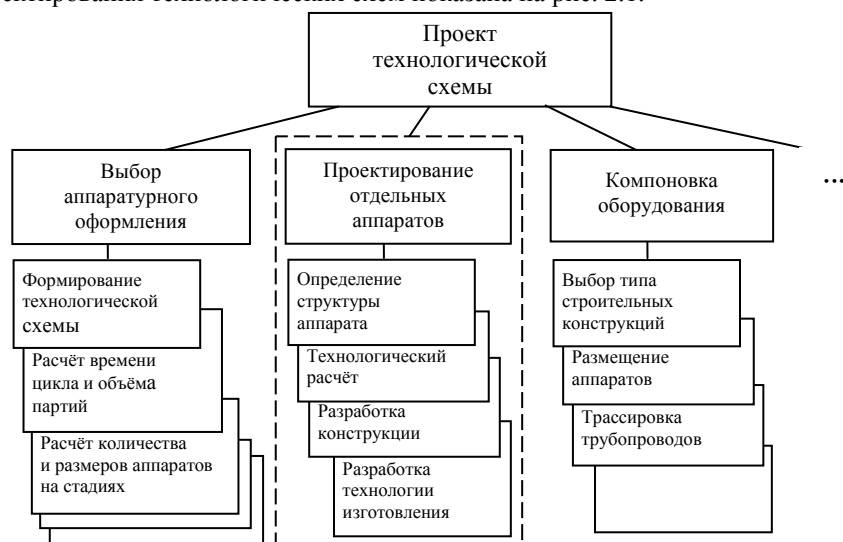


Рис. 2.1. Структурная схема проектирования ТС

Технологической схемой (ТС) называется совокупность аппаратов, взаимосвязанных технологическими потоками сырья, полупродуктов и продуктов, в которых осуществляется определенная последовательность технологических операций (подготовка сырья, химическое превращение, выделение целевого продукта, очистка газообразных отходов).

Анализируя процесс проектирования технологических производств, можно выделить следующие основные направления: технологическое проектирование, проектно-конструкторские разработки, строительное проектирование, составление смет и проектов производства работ [13, 14, 33].

К технологическому проектированию можно отнести разработку следующих частей проекта: 1) собственно технологической; 2) монтажно-технологической; 3) контроля и автоматики; 4) теплотехнической; 5) электротехнической; 6) организации труда; 7) технико-экономической [14].

К проектно-конструкторским разработкам можно отнести: 1) конструирование аппаратуры и оборудования; 2) проектирование металлоконструкций для обслуживания аппаратуры и оборудования; 3) проектирование теплоизоляции аппаратуры и оборудования; 4) подтверждение к использованию стандартного оборудования, материалов и комплектаций.

Технологическая часть проекта выполняет проработку регламента на проектирование и анализ вариантов технологических схем: расчёт материальных балансов, конструктивных параметров аппаратов, технологических режимов; разработку номенклатуры оборудования как стандартного, так и нестандартного; компоновку оборудования; разработку заданий смежным частям проекта. Технологическая часть проекта координирует деятельность всех смежных частей проекта в процессе выполнения работ путём консультаций, увязок и согласований, проводимых между смежными частями проекта, с внешними организациями, с контролирующими организациями и с заказчиком.

Начальным этапом процесса разработки проекта технологического производства после получения задания на проектирование и технологического регламента является выполнение укрупненной и обобщенной модели проектируемого объекта. На основе этой модели появляется укрупненная принципиальная схема технологического объекта, выявляются номенклатура основных блоков и узлов, определяются материальные связи между блоками, определяется последовательность технологической проработки блоков и узлов [15].

Следующим этапом является проработка вариантов технологических схем отдельных блоков по укрупненным показателям. Для каждого варианта определяются возможности реализации процессов и регулирования ими, проводятся при-

кидочные расчёты и осуществляется отсев нереализуемых или неэффективных вариантов технологических схем. Для оставшихся вариантов начинается разработка технологической схемы, включающей расчёт материальных и тепловых балансов, определение конструкционных и режимных параметров основных аппаратов, расчёт основных технологических трубопроводов.

При выполнении этого этапа необходимо ориентироваться на использование типовых проектных решений на базе унификации технологических и конструкционных комплексов, а также на широкое применение типовых проектов. Для производств с часто меняющейся технологией должно применяться универсальное оборудование, позволяющее без значительных дополнительных затрат приспособлять его к новой технологии или номенклатуре продукции.

На этапе конструирования осуществляется проработка аппаратов, состоящая из расчётов конструкционных размеров, расчётов вспомогательного оборудования, расположенного вне аппаратов, из разработки схемы регулирования и проработки вопросов пуска и останова. На этом этапе составляются предварительные сметы и спецификации.

После предварительного определения варианта аппаратурного оформления проводится анализ, выявляющий лимитирующие по времени, либо неэффективно использующие материальные и энергетические ресурсы стадии и операции. На основе выполненного анализа необходимо определить конструктивные и режимные характеристики, которые приводят к уменьшению значений лимитирующих факторов.

Современная конструкторская разработка должна опираться на знание основных принципов формирования, закономерностей развития и обновления технических объектов и предусматривать использование соответствующих методов и средств их конструирования [1, 37].

Любой объект техники может рассматриваться как техническая система, так как представляет собой многокомпонентное, структурно-организованное системное образование. Его отличительной особенностью от других материально-вещественных системных образований является то, что он создаётся искусственно из материалов и процессов природы на основе действующих в ней закономерностей с учётом достижений науки и техники с целью реализации определённых функций труда и жизнедеятельности человека.

Начиная от этапа формирования инженерного замысла, объект конструирования проходит разнообразные стадии и этапы жизненного цикла.

При выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ объект предстает первоначально в форме знания (этап исследования), затем в виде информационной модели (этап проектирования) и, наконец, в виде натурального изделия (этап изготовления и испытаний опытного образца).

Современная конструкторская разработка – это, как правило, сложный творческий процесс, основанный, прежде всего, на широком привлечении практически всего арсенала известных методов, приемов и средств исследовательской деятельности, а также на применении производительных средств механизации и автоматизации инженерного труда и систем автоматизированного проектирования [2, 21].

Основные требования, предъявляемые к вновь разрабатываемым конструкциям ёмкостных аппаратов должны учитывать основные тенденции развития отрасли химических, пищевых и других смежных производств. Эти требования сводятся к следующим: 1) эффективность функционирования оборудования; 2) надёжность оборудования (расчётная долговечность 10 – 15 лет); 3) прочность, жёсткость и устойчивость; 4) минимальные материало- и энергоёмкость при заданной производительности; 5) производственная и эксплуатационная технологичность; 6) транспортабельность; 7) безопасность при эксплуатации; 8) экологическое совершенство, т.е. отсутствие вредного воздействия на окружающую среду; 9) соответствие основным положениям эргономики и технической эстетики; 10) патентная чистота; 11) экономическая эффективность.

Все перечисленные требования взаимосвязаны, причём в одних случаях их воздействия на определенные показатели качества проектируемого оборудования совпадают, в других – нет.

Противоречивость требований, предъявляемых к конструкциям машин, выдвигает задачу поиска оптимального решения, при котором соотношение отдельных требований обеспечивает наибольшую эффективность оборудования. Следовательно, проектирование машин является задачей оптимизационного типа и соответствующий процесс её решения называется оптимизационным проектированием [15].

Общая последовательность проектирования технологического аппарата выглядит следующим образом:

1. *Определение структуры* (концептуальное проектирование). На данном этапе определяется: во-первых, тип проектируемого аппарата (ёмкостной аппарат, колонный аппарат, барабанный аппарат, фильтр, теплообменник и др.); во-вторых, определяется, из каких основных узлов и деталей он будет состоять.

2. *Технологические расчёты*. Здесь осуществляются различные материальные, тепловые, гидродинамические расчёты, в результате которых определяются основные размеры проектируемого аппарата, такие, как, например, объём корпуса ёмкостного аппарата, поверхность теплообмена, число тарелок и диаметр корпуса колонны, мощность перемешивающего устройства и т.д.

3. *Разработка конструкции*. На этапе разработки конструкции производятся предварительные и поверочные прочностные расчёты, разрабатываются сборочный чертёж аппарата и чертежи узлов и деталей, а также другая конструкторская документация. В результате получается готовый конструкторский проект.

4. *Разработка технологии изготовления*. Когда конструкция аппарата определена, приступают к разработке технологических маршрутов изготовления деталей и сборки узлов и аппарата в целом.

5. *Внесение изменений*.

## **2.2. Информационный анализ конструкции и процесса проектирования технологического оборудования**

Технологические аппараты предназначаются для осуществления в них физических, химических или физико-химических процессов (химическая реакция, теплообмен без изменения агрегатного состояния, испарение, конденсация,





рата;  $Q_1$  – условия взаимодействия аппарата с рабочей средой (давление, температура, коррозионные свойства и др.);  $Q_2$  – условия взаимодействия аппарата с окружающей средой (место установки, ветровые, снеговые нагрузки и т.д.);  $Q_3$  – условия взаимодействия аппарата с человеком (требования к обслуживанию и безопасности);  $Q_4$  – дополнительные требования и ограничения (например, ограничение по габаритным размерам).

Функции аппарата

$$fa = (D, G, H),$$

где  $D$  – указание действия, производимого аппаратом;  $G$  – указание объекта, на который направлено действие;  $H$  – указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие.

Результат проектирования – рабочий проект (РП).

$$РП = \{РП_k\}, \quad k = 1, 2 \dots 9,$$

где РП<sub>1</sub> – сборочный чертёж аппарата; РП<sub>2</sub> – сборочные чертежи отдельных частей аппарата; РП<sub>3</sub> – чертежи всех деталей аппарата; РП<sub>4</sub> – спецификации; РП<sub>5</sub> – паспорт аппарата; РП<sub>6</sub> – технологические расчёты процессов, протекающих в аппарате; РП<sub>7</sub> – расчёт на прочность; РП<sub>8</sub> – руководство по эксплуатации; РП<sub>9</sub> – технологическая документация.

Для представления этапов процесса проектирования технологического оборудования и информационных потоков, присутствующих при проектировании воспользуемся методологией IDEF0.

Контекстная диаграмма верхнего уровня, отображающая связи объекта моделирования с окружающей средой, представлена на рис. 2.3.

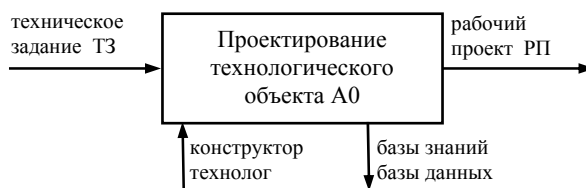


Рис. 2.3. Контекстная диаграмма верхнего уровня A0

Функцией блока на диаграмме A0 является проектирование технологического объекта. На входе этого блока – техническое задание, на выходе – рабочий проект. Конструктор и технолог обеспечивают контроль над работой интеллектуальной информационной системы. Они являются «лицом принимающим решение» в вопросах выбора. Для работы системы необходимы различные базы данных и базы знаний.

На рисунке 2.4 представлена функциональная диаграмма A0, отображающая процесс проектирования технологического оборудования.

Блок A1 «Определение структуры технологического объекта» представлен на рис. 2.5.

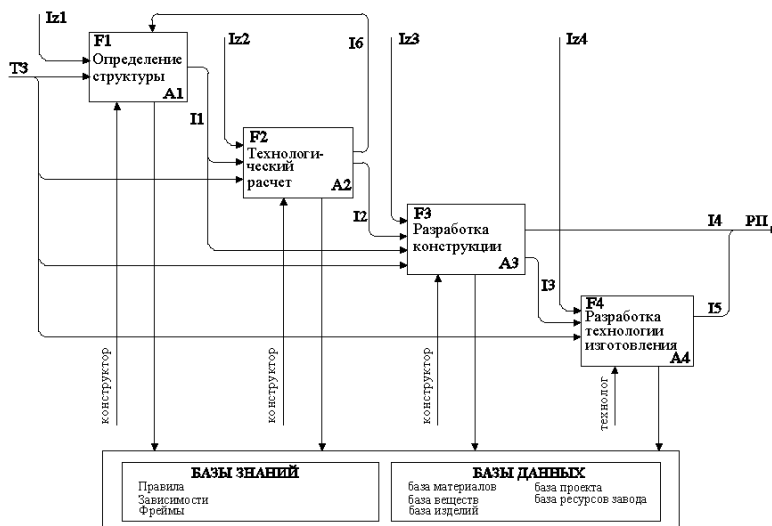


Рис. 2.4. Функциональная диаграмма A0

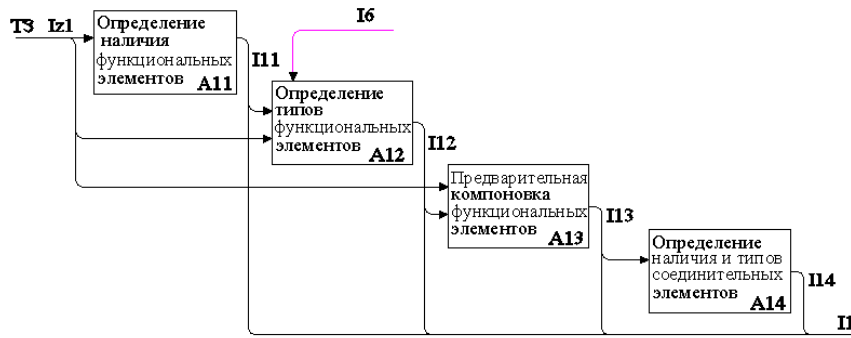


Рис. 2.5. Диаграмма A1

Блок A2 «Технологический расчёт» состоит из двух подблоков, представленных на рис. 2.6.

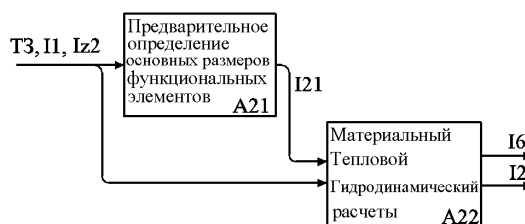


Рис. 2.6. Диаграмма A2

Блок A3 «Разработка конструкции аппарата», структура этого блока представлена на рис. 2.7.

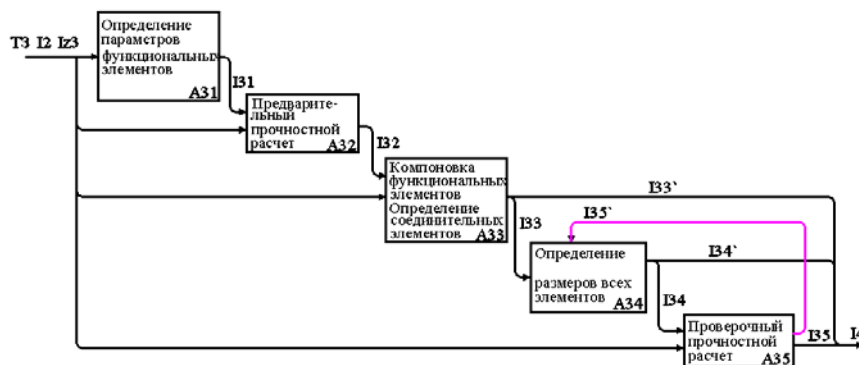


Рис. 2.7. Диаграмма A3

**Информационные потоки**, присутствующие при проектировании (рис. 2.4 – 2.7):

$$I_1 = \{I_{11}, I_{12}, I_{13}, I_{14}\},$$

где  $I_{11}$  – множество данных о наличии функциональных элементов;  $I_{12}$  – множество данных о типах функциональных элементов;  $I_{13}$  – множество данных о взаимном расположении функциональных элементов;  $I_{14}$  – множество данных о наличии и типах соединительных элементов;  $I_{21}$  – предварительные основные размеры функциональных элементов аппарата;

$I_2$  – основные размеры и характеристики функциональных элементов аппарата, удовлетворяющие условиям технологического назначения аппарата;  $I_6$  – данные, подтверждающие невозможность удовлетворения условиям технологического назначения аппарата при его выбранной структуре;  $I_7 = \{РП_k\}$ ,  $k = 6$  – технологические расчёты процессов, протекающих в аппарате (тепловые, массообменные, гидродинамические);  $I_3 = \{РП_k\}$ ,  $k = 1, 2, 3, 4$ ;  $I_{31}$  – предварительные основные размеры функциональных элементов аппарата (не определённые ранее в  $I_{21}$ );  $I_{32}$  – основные размеры функциональных элементов аппарата, определяющие его прочность (такие как толщины элементов корпуса, размеры опор);  $I_{33}$  – уточнённые данные о взаимном расположении функциональных элементов, типоразмеры соединительных элементов;  $I_{34}$  – все размеры и другие характеристики всех элементов аппарата, в том числе не определённые ранее в  $I_{21}$ ,  $I_{31}$ ,  $I_{32}$ ,  $I_{33}$ , а также рабочие чертежи и другая документация;  $I_{35}$  – данные проверочного прочностного расчёта;  $I_4 = \{РП_k\}$ ,  $k = 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8$ ;  $I_5 = \{РП_k\}$ ,  $k = 9$ .

Динамические информационные потоки:  $Iz_1$  – изменения структуры аппарата (удаления, добавления, изменения типа или взаимного расположения функциональных элементов);  $Iz_2$  – изменения технологических параметров;  $Iz_3$  – изменения конструкции;  $Iz_4$  – изменения технологии изготовления.

### 2.3. Процедурная модель процесса проектирования технологического оборудования

Процедурная модель процесса проектирования FM [26] необходима для разработки на её основе управляющей программы АИС проектирования технологического оборудования.

Функцией процедурной модели является преобразование информационного потока, определённого техническим заданием ТЗ в информационный поток рабочего проекта РП:

$$FM : T3 \xrightarrow{M, M^g, M^t} RP,$$

где  $M$  – информационно-логическая модель проектируемого объекта;  $M^g$  – модели процессов, протекающих в аппарате;  $M^t$  – модель технологии изготовления технического объекта.

Процедурная модель  $FM$ , применённая к  $M$ ,  $M^g$  и  $M^t$ , должна позволить на основании технического задания ТЗ получить рабочую документацию РП.

Процедурную модель представим в виде системы выражений:

$$\begin{aligned} FM &= \langle F_1, F_2, F_3, F_4 \rangle; \\ F_1 &: Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup Iz_1 \xrightarrow{M^s} I_1; \\ F_2 &: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup Iz_2 \xrightarrow{M^g, M^p} (I_2 \cup I_7) \vee I_6; \\ F_3 &: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_2 \cup Iz_3 \xrightarrow{M^p, M^r} I_4 \cup I_3; \\ F_4 &: Q_1 \cup Q_4 \cup I_3 \cup Iz_4 \xrightarrow{M^t} I_5, \end{aligned}$$

где  $F_1$  – процедура определения структуры технологического оборудования;  $F_2$  – процедура выполнения технологических расчётов оборудования;  $F_3$  – процедура разработки конструкции оборудования;  $F_4$  – процедура разработки технологии изготовления оборудования;  $M^s$ ,  $M^p$ ,  $M^r$  – составляющие информационно-логической модели  $M$  проектируемого объекта.

Рассмотрим составляющие процедурной модели.

$F_1$  – процедура определения структуры оборудования, состоит из следующих составляющих:

$$\begin{aligned} F_1 &= \langle F_{11}, F_{12}, F_{13}, F_{14} \rangle; \\ F_{11} &: Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup Iz_1 \xrightarrow{M^s} I_{11}; \\ F_{12} &: Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup Iz_1 \xrightarrow{M^s} I_{12}; \\ F_{13} &: Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{12} \cup Iz_1 \xrightarrow{M^s} I_{13}; \\ F_{14} &: Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{13} \cup Iz_1 \xrightarrow{M^s} I_{14}, \end{aligned}$$

где  $F_{11}$  – процедура определения наличия функциональных элементов оборудования. Так как набор функциональных элементов, которые могут входить в технологический аппарат, известен, нужны правила, определяющие необходимость в наличии каждого из этих элементов. Такие правила могут быть достаточно простыми, так, например, если в ТЗ, в перечне функций оборудования имеется функция «нагреть», то, следовательно, в нём должно присутствовать теплообменное устройство, если других функций не требуется, то это может быть теплообменный аппарат. Так можно определить все основные элементы, входящие в технологический аппарат;  $F_{12}$  – процедура определения типа каждого из функциональных элементов. Здесь правила обычно не являются строго определёнными, основываются на накопленном в области проектирования опыте, на предпочтениях данного завода изготовителя, на особых требованиях заказчика, т.е. ТЗ. Например, известно, что для сыпучих рабочих сред предпочтительный тип днища – коническое, или для вязкой среды предпочтительно перемешивающее устройство с рамной мешалкой;  $F_{13}$  – процедура, выполняющая предварительную компоновку функциональных элементов. Например, определяется местоположение перемешивающего устройства относительно корпуса в ёмкостном аппарате: сверху, снизу или сбоку, или определяется расположение различных штуцеров и другие;  $F_{14}$  – процедура, определяющая наличие и типы соединительных элементов оборудования. Определяет типы, размеры и другие свойства соединительных элементов, таких, как сварные швы, фланцевые, шпоночные, муфтовые соединения и т.п.

$F_2$  – процедура выполнения технологических расчётов, состоит из следующих составляющих:

$$\begin{aligned} F_2 &= \langle F_{21}, F_{22} \rangle; \\ F_{21} &: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup Iz_2 \xrightarrow{M^p} I_{21}; \\ F_{22} &: L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup I_{21} \cup Iz_2 \xrightarrow{M^g} (I_2 \cup I_7) \vee I_6, \end{aligned}$$

где  $F_{21}$  – процедура, определяющая предварительно основные, необходимые для проведения технологических расчётов, размеры функциональных элементов оборудования. Основные размеры, необходимые для проведения материального, гидродинамического и теплового расчётов обычно предварительно задаются на основе различных рекомендаций;  $F_{22}$  – процедура, выполняющая материальный, тепловой и гидродинамический расчёты.

При проведении технологических расчётов уточняются основные размеры или изменяются так, чтобы обеспечивались заданные материальная нагрузка, гидродинамический и тепловой режимы в аппарате. При невозможности обеспе-

читать необходимые материальный, гидродинамический и тепловой режимы при выбранных параметрах оборудования, возможно изменение типов составляющих его элементов или типа оборудования.

$F_3$  – процедура разработки конструкции оборудования, состоит из следующих составляющих процедур:

$$F_3 = \langle F_{31}, F_{32}, F_{33}, F_{34}, F_{35} \rangle;$$

$$F_{31} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_3 \xrightarrow{M^p} I_{31};$$

$$F_{32} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{31} \cup I_3 \xrightarrow{M^p} I_{32};$$

$$F_{33} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{32} \cup I_3 \xrightarrow{M^r} I_{33};$$

$$F_{34} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{33} \cup I_3 \xrightarrow{M^p} I_{34};$$

$$F_{35} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{34} \cup I_3 \xrightarrow{M^p} I_{35},$$

где  $F_{31}$  – процедура, определяющая предварительно основные, не определенные ранее в  $F_2$ , размеры функциональных элементов оборудования (например, типоразмер опор, строповых устройств,  $Dy$  штуцеров);  $F_{32}$  – процедура, производящая предварительный прочностной расчёт (включает в себя упрощённый проектировочный расчёт для определения толщин элементов, нагруженных давлением, или определения толщин по общим рекомендациям);  $F_{33}$  – процедура, выполняющая уточненную компоновку (определяет точное позиционирование всех элементов относительно друг друга);  $F_{34}$  – процедура, определяющая не определенные ранее параметры элементов оборудования;  $F_{35}$  – процедура, производящая проверочный прочностной расчёт.

Проверочный расчёт на прочность включает в себя в общем случае следующие прочностные расчёты:

- проверочный расчёт на прочность и устойчивость от действия внутреннего и наружного избыточного давления для всех нагруженных элементов оборудования;
- расчёт достаточности укрепления отверстий от действия избыточного давления и внешних нагрузок на штуцера;
- проверочный расчёт фланцевых соединений оборудования от действия избыточного давления и внешних нагрузок;
- проверку прочности элементов, испытывающих опорные и строповые нагрузки;
- проверку прочности и устойчивости корпуса и опор от действия ветровых и сейсмических нагрузок;
- проверку усталостной прочности элементов, испытывающих циклические нагрузки;
- проверку виброустойчивости, жёсткости и прочности вращающихся элементов.

В зависимости от специфики работы конкретного аппарата перечень необходимых прочностных расчётов может изменяться.

По результатам проведенных прочностных расчётов возможен возврат к процедуре  $F_{34}$  и изменение размеров элементов.

$F_4$  – процедура, разрабатывающая технологию изготовления оборудования.

Входными данными для разработки технологии изготовления является конструкторская документация: сборочные чертежи аппарата и отдельных его узлов и чертежи всех деталей, на которых указаны все необходимые для изготовления и сборки размеры; виды сварки; материал и тип заготовки для деталей.

В таблице 2.1 обобщены описанные выше состав и функции процедурной модели.

Как было установлено выше, для выполнения функций, определённых процедурной моделью, необходимо иметь информационно-логи-ческую модель (ИЛМ) проектируемого технического объекта  $M$ ; модели процессов, протекающих в аппарате  $M^g$ ; модель технологии изготовления технического объекта  $M^t$ .

### 2.1. Процедурная модель процесса проектирования технологического оборудования

Процедура	Действие
$FM$	$FM : TЗ \xrightarrow{M, M^g, M^t} ПП$
$F_1$	$F_1 : Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_1 \xrightarrow{M^s} I_1$
$F_{11}$	$F_{11} : Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_1 \xrightarrow{M^s} I_{11}$
$F_{12}$	$F_{12} : Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup I_1 \xrightarrow{M^s} I_{12}$
$F_{13}$	$F_{13} : Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{12} \cup I_1 \xrightarrow{M^s} I_{13}$
$F_{14}$	$F_{14} : Fa \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_{13} \cup I_1 \xrightarrow{M^s} I_{14}$
$F_2$	$F_2 : L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_2 \xrightarrow{M^g, M^p} (I_2 \cup I_7) \vee I_6$

$F_{21}$	$F_{21} : L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_2 \xrightarrow{M^P} I_{21}$
$F_{22}$	$F_{22} : L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_4 \cup I_{11} \cup I_{21} \cup I_2 \xrightarrow{M^g} (I_2 \cup I_7) \vee I_6$
$F_3$	$F_3 : L \cup Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_1 \cup I_2 \cup I_3 \xrightarrow{M^P, M^r} I_4 \cup I_3$
$F_{31}$	$F_{31} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_3 \xrightarrow{M^P} I_{31}$
$F_{32}$	$F_{32} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{31} \cup I_3 \xrightarrow{M^P} I_{32}$
$F_{33}$	$F_{33} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{32} \cup I_3 \xrightarrow{M^r} I_{33}$
$F_{34}$	$F_{34} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{33} \cup I_3 \xrightarrow{M^P} I_{34}$
$F_{35}$	$F_{35} : Q_1 \cup Q_2 \cup Q_3 \cup Q_4 \cup I_2 \cup I_{34} \cup I_3 \xrightarrow{M^P} I_{35}$
$F_4$	$F_4 : Q_1 \cup Q_4 \cup I_3 \cup I_4 \xrightarrow{M^t} I_5$

### Вопросы для самопроверки

1. Основные части проекта технического объекта.
2. Требования, предъявляемые к техническим объектам.
3. Этапы проектирования технологического оборудования.
4. Виды связей элементов оборудования.
5. Информационные составляющие технического задания.
6. Информационные составляющие рабочего проекта.
7. Составляющие процедурной модели процесса проектирования технологического оборудования.
8. Составляющие информационно-логической модели технического объекта.

### 3. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Информационно-логическая модель технического объекта (ИЛМ) отражает его в виде совокупности элементов и связей между ними и позволяет генерировать возможные варианты его конструкции, удовлетворяющие исходным данным, определённым техническим заданием.

Информационно-логическое моделирование описывает строение технических объектов на разных уровнях представления: абстрактном, объектном и конкретном [4, 5].

Подход к формированию информационно-логических моделей представлен на рис. 3.1.

Множество структурных единиц объектного уровня формируется на основе системы структурных единиц абстрактного уровня. Множество структурных единиц конкретного уровня базируется на системе структурных единиц объектного уровня и отражает текущее информационное состояние её элементов.

В качестве основной формы представления знаний в ИЛМ выбрано представление знаний в виде продукций (правил). Это объясняется тем, что большинство требований нормативной документации и имеющийся опыт в области проектирования наиболее просто, точно и естественно формализовать в форме продукций. Другими формами представления знаний в ИЛМ являются математические выражения или их системы (расчётные методики).



Рис. 3.1. Подход к формированию информационно-логических моделей

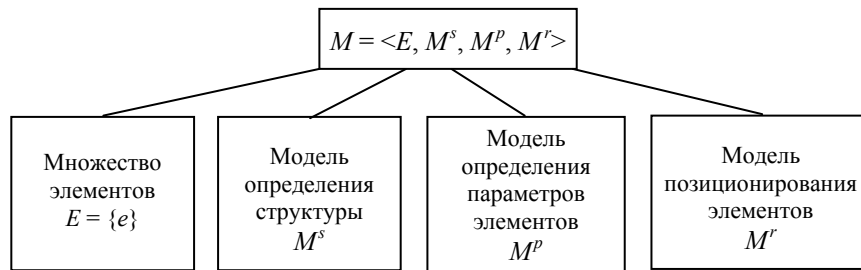


Рис. 3.2. Состав информационно-логической модели технического объекта

ИЛМ технического объекта на абстрактном уровне (рис. 3.2.) формально представим в виде

$$M = \langle E, M^s, M^p, M^r \rangle,$$

где  $E = \{e_i\}$  – множество элементов технического объекта;  $M^s$  – модель определения структуры технического объекта;  $M^p$  – модель определения параметров элементов технического объекта;  $M^r$  – модель позиционирования элементов технического объекта в пространстве.

Рассмотрим составляющие информационно-логической модели.

**Множество элементов технического объекта**  $E = \{e\}$  разделяется на следующие классы элементов:

- функциональные элементы  $E^b = \{e^b\}$ ;
- соединительные элементы  $E^s = \{e^s\}$ .

Каждый элемент представлен в виде

$$e = \langle P, Zn \rangle,$$

где  $P = \{p\}$  – множество свойств этого элемента (примерами свойств элементов являются: тип элемента, геометрические и технические характеристики, материал изготовления и др.; для сложных элементов важным свойством является его структура);  $Zn = \{zn\}$  – множество возможных значений свойств данного элемента.

**Модель структуры технического объекта** используется на уровне концептуального проектирования технического объекта, где основными задачами являются: определить из каких функциональных элементов будет состоять проектируемый объект; определить типы этих элементов, их количество и взаимное расположение и определить типы соединений между ними.

При помощи модели структуры  $M^s$  решаются следующие задачи:

- выделение из множества возможных функциональных элементов всего технологического оборудования  $E^b$  некоторого подмножества функциональных элементов  $E^b$ ,  $E^b \in E^b$ , принадлежащих конкретному проектируемому аппарату;
- определение типа для каждого элемента из  $E^b$ ;
- определение связей позиционирования  $S^p$  между элементами из  $E^b$ ;
- определение множества  $E^s$  соединительных элементов проектируемого технологического аппарата на основании определенных связей позиционирования  $S^p$  между элементами из  $E^b$ .

Модель структуры можно представить в виде

$$M^s = \langle E, Y^e, Y^t, Y^k, Y^s \rangle,$$

где  $Y^e$  – правила, определяющие наличие и количество функциональных элементов аппарата;  $Y^t$  – правила, определяющие тип каждого функционального элемента;  $Y^k$  – правила, определяющие предварительное расположение элементов друг относительно друга;  $Y^s$  – правила, определяющие типы соединительных элементов технического объекта.

**Модель параметров элементов технического объекта.** На уровне концептуального проектирования было определено, из каких функциональных элементов состоит проектируемый объект, типы этих элементов, их количество и взаимное расположение, т.е. его структура. На следующем этапе необходима конкретизация таких параметров элементов, как размеры (габаритные, присоединительные и другие), допускаемые отклонения размеров, шероховатость поверхностей, материал изготовления, прочностные и технологические характеристики.

Модель параметров элементов формально можно представить в виде

$$M^p = \langle E, Y^b, Y^{pp}, Y^{pe} \rangle,$$

где  $Y^b$  – правила и зависимости, определяющие общие параметры аппарата в целом;  $Y^{pp}$  – правила и зависимости, определяющие значения единичных параметров элементов;  $Y^{pe}$  – правила и зависимости, определяющие значения унитарных параметров элементов.

**Модель позиционирования.** После определения всех параметров элементов можно осуществить их сборку, т.е. однозначно определить позиции элементов относительно друг друга.

Любой твердотельный геометрический объект характеризуется кортежем

$$E^{3D} = (Os, L, Gr, S^p),$$

где  $Os = \{os\}$  – множество осей;  $L = \{l\}$  – множество ребер;  $Gr = \{gr\}$  – множество поверхностей (граней);  $S^p = \{s^p\}$  – множество сопряжений (связей позиционирования) между  $O$ ,  $L$  и  $Gr$ .

Причём, оси, грани и поверхности могут быть не только реальными, но и мнимыми, такими, как, например, ось вращения для цилиндрического тела, плоскость симметрии.

Могут быть следующие типы сопряжений  $S^p$ :

- параллельность (или совпадение) плоскостей или осей //;
- концентричность  $\odot$ ;
- пересечение под углом друг к другу (в том числе перпендикулярность)  $\angle$ ;

- касание  $O$ ;
- симметрия  $\parallel$ .

При позиционировании элементов в пространстве, во-первых, должны быть определены базовые геометрические параметры 3D модели, т.е. необходимо выделить подмножество  $Os^b$ ,  $Os^b \in Os$  базовых осей,  $L^b, L^b \in L$  базовых ребёр и  $Gr^b$ ,  $Gr^b \in Gr$  базовых поверхностей для каждого элемента.

Во-вторых, должны быть установлены сопряжения между базовыми геометрическими параметрами соединяемых элементов, которые в общем виде можно записать:

$$(e_i \cdot p_j^b) s_n^p [x] (e_k \cdot p_l^b),$$

где  $p_j^b$  – базовый геометрический параметр (ось, ребро или поверхность) элемента  $e_i$ ;  $s_n^p$  – тип сопряжения;  $[x]$  – параметр сопряжения, числовая величина. Например, при типе сопряжения  $//$  (параллельность),  $[x]$  определяет численное значение расстояния между параллельными осями или поверхностями.

Каждое сопряжение ограничивает одну или несколько степеней свободы элементов. Для технологического оборудования характерны в основном следующие типы соединений:

- неподвижные соединения (ограничены шесть степеней свободы), например, при сварке элементов друг с другом;
- соединение, позволяющее вращение вокруг одной из осей, например, соединение посредством подшипника;
- резьбовое соединение.

**Ограничения при позиционировании элементов:**

- 1) элементы не должны пересекаться;
- 2) количество сопряжений должно соответствовать ограниченным степеням свободы (не должно быть «лишних» сопряжений).

Формальное представление модели позиционирования

$$M^r = \langle E^{3D}, T^{SP}, Y^r \rangle,$$

где  $T^{SP}$  – реестр типов сопряжений между базовыми осями, рёбрами и гранями элементов;  $Y^r$  – правила, определяющие сопряжения между базовыми геометрическими параметрами элементов.

**Вопросы для самопроверки**

1. Состав информационно-логической модели технического объекта.
2. Составляющие модели структуры технического объекта.
3. Составляющие модели параметров технического объекта.
4. Типы сопряжений в модели позиционирования.

**4. ПРОДУКЦИОННО-ФРЕЙМОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ**

Для представления в памяти ЭВМ модели определения структуры и модели параметров используется продукционно-фреймовое представление элементов технического объекта и их свойств.

На абстрактном уровне продукционно-фреймовое представление технического объекта представлено в виде

$$FR = \langle FR^p, FR^s, S^{FR} \rangle,$$

где  $FR^p$  – множество фреймов, описывающих свойства элементов технического объекта;  $FR^s$  – множество фреймов, описывающих структуру сложных элементов технического объекта;  $S^{FR}$  – связи между фреймами.

На основании информационного анализа технических объектов предлагается каждый сложный элемент представлять двумя фреймами, описывающими его структуру и его свойства.

Общий вид фреймов, описывающих параметры элементов технического объекта, представлен табл. 4.1.

**4.1. Общий вид фреймов  $FR^p$**

$FRName\_FRType$			
$N$	$P$	$PR$	$Zn$
$j$	$e_i \cdot p_j$	$PR_{i,j} = \{Y\}$	$e_i \cdot p_j \cdot zn_{i,j}$

$FRName$  – имя фрейма, соответствует имени элемента  $e_i$ , параметры которого представляет;  $FRType$  – тип фрейма,  $FRType = \langle \text{«Параметр»} \rangle$ ;  $e_i \cdot p_j$  – обозначает конкретное свойство  $p_j$  элемента  $e_i$ ;  $PR_{i,j} = \langle Y, e_i \cdot p_j \cdot zn \rangle \vee f()$  – процедура, определяющая значение свойства  $e_i \cdot p_j$  в зависимости от исходных данных или других параметров, представляет собой набор правил  $Y \in \{Y^b, Y^{pp}, Y^{pe}\}$  и  $e_i \cdot p_j \cdot zn$  – значение, используемое по умолчанию или  $f()$  – ссылку на подсистему расчёта (прочностного, теплового и др.);  $e_i \cdot p_j \cdot zn_{i,j}$  – определённое в конкретном случае для проектируемого объекта значение параметра  $e_i \cdot p_j$ .

Общий вид фреймов, описывающих структуру сложных элементов технического объекта, представлен табл. 4.2. Каждый элемент, входящий в структуру объекта, описывается тремя слотами: наличие ( $p_1$ ), количество ( $p_2$ ), тип ( $p_3$ ). Значение каждого слота  $Zn_{i,j}$  находится с помощью процедур  $PR_{i,j}$ , где  $i$  – номер элемента;  $j$  – номер свойства,  $j = 1, 2, 3$ .

## 4.2. Общий вид фреймов FR<sup>s</sup>

FRName_FRType			
N	Имя слота	процедура	значение
i	$e_i.p_1$	$PR_{i,1} = \{Y\}$	$e_i.p_1.zn_{i,j}$
	$e_i.p_2$	$PR_{i,2} = \{Y\}$	$e_i.p_2.zn_{i,j}$
	$e_i.p_3$	$PR_{i,3} = \{Y\}$	$e_i.p_3.zn_{i,j}$

FRName – имя фрейма, соответствует имени сложного элемента  $e_i$ , структуру которого представляет; FRType – тип фрейма, FRType = «Структура»;  $e_i.p_j$  – свойство  $p_j$  элемента  $e_i$ ;  $PR_{i,j} = \langle Y, e_i.p_j.zn \rangle$  – процедура, позволяющая определить значение свойства  $e_i.p_j$  в зависимости от исходных данных или других параметров, представляет собой набор правил  $Y \in \{Y^e, Y^r, Y^k, Y^s\}$  и  $e_i.p_j.zn$  – значение, используемое по умолчанию;  $e_i.p_j.zn_{i,j}$  – определённое в конкретном случае для проектируемого объекта значение свойства  $e_i.p_j$ .

Структура связей между фреймами показана на рис. 4.1.

Фрейм «Элемент\_Структура» раскрывает значение слота «Структура» фрейма «Элемент\_Параметры», описывающего параметры сложного элемента. Элементы, являющиеся деталями или условно неделимые в рассматриваемой задаче, представлены одним фреймом «Элемент\_параметры».

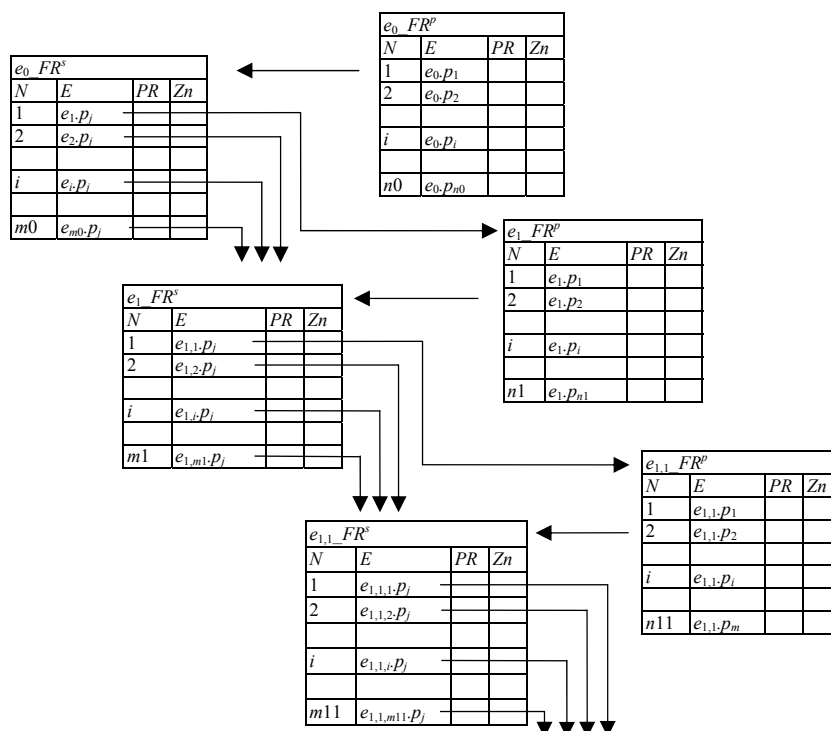


Рис. 4.1. Структура связей между фреймами

### Вопросы для самопроверки

1. Элементы производно-фреймового представления на абстрактном уровне.
2. Общий вид фреймов описывающих параметры элементов технического объекта.
3. Общий вид фреймов, описывающих структуру сложных элементов технического объекта.
4. Структура связей фреймов.

## 5. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЁМКОСТНОГО АППАРАТА

### 5.1. Описание элементов ёмкостных аппаратов

Собственно аппараты разделены по наиболее удобному для конструирования и расчёта их на прочность признаку на три характерных вида: ёмкостные, теплообменные и колонные.

К ёмкостным аппаратам принято относить все горизонтальные и вертикальные (при соотношении  $H/D \leq 5$ ) аппараты, в которых могут быть различные специальные внутренние устройства, а также наружные теплообменные рубашки.

Ёмкостное оборудование является наиболее распространённым в химической, пищевой и других смежных отраслях промышленности и служит для самых разнообразных целей. В ёмкостных аппаратах осуществляются такие процессы, как проведение различных химических реакций, нагрев/охлаждение, смешение, отстаивание, проведение других технологических превращений. Ёмкости также используются и для сбора, хранения и выдачи продукта.





По конструкции рубашки бывают:

- **неразъёмные** – применяются преимущественно в сварной и паяной аппаратуре (привариваются или припаиваются к корпусу аппарата);
- **отъёмные** рубашки рекомендуется применять в тех случаях, когда по условиям эксплуатации требуется периодическая чистка корпуса, закрытого рубашкой, или это вызывается какими-либо другими соображениями, например невозможностью приварки рубашек к корпусу (в чугунных аппаратах), необходимостью периодического осмотра корпуса и внутренней поверхности рубашек и др.

Факторы, влияющие на форму рубашки: тип обечайки, исполнение рубашки (неразъёмное, отъёмное); исполнение аппарата (горизонтальное, вертикальное); тип днища аппарата; способ изготовления аппарата; регулярная чистка (требуется, не требуется); режимные параметры (давление, температура среды в аппарате).

**Люки, лючки, бобышки, штуцера.** Присоединение трубной арматуры к аппарату, а также технологических трубопроводов для отвода различных жидких или газообразных продуктов производится с помощью штуцеров или вводных труб, которые могут быть разъёмными и неразъёмными. По условиям ремонтоспособности чаще применяются разъёмные соединения (фланцевые штуцера). Неразъёмные соединения (на сварке) применяются при блочной компоновке аппаратов в кожухе, заполненном тепловой изоляцией, где длительное время не требуется осмотра соединений.

Стальные фланцевые штуцера стандартизованы и представляют собой патрубки из труб с приваренными к ним фланцами или коваными заодно с фланцами. В зависимости от толщины стенок патрубки штуцеров бывают тонкостенные и толстостенные, что вызывается необходимостью укрепления отверстия в стенке аппарата патрубком с разной толщиной его стенки.

Присоединение фланцевых штуцеров к цилиндрическому корпусу, днищу или крышке производится с определённым вылетом, который зависит от  $R_u$ ,  $D_u$ , а также от толщины изоляции аппарата, если аппарат подлежит тепловой изоляции.

Основные факторы, влияющие на форму люков, лючков, бобышек, штуцеров: режимные параметры в аппарате, назначение штуцера, наличие теплоизоляции, место установки аппарата, способ изготовления аппарата.

**Опоры.** Для установки вертикальных аппаратов используются стойки разных конструкций (при установке аппарата на фундаменте) и лапы или опорные кольца (при необходимости установки аппарата между перекрытиями). Аппараты большой массы, или устанавливаемые на открытом воздухе, имеющие отношение высоты к диаметру более пяти обычно устанавливаются на юбочных опорах. Резервуары для хранения различных продуктов под атмосферным или небольшим давлением/разрежением часто устанавливаются непосредственно на плоском днище. В случаях резервуаров большого объёма (100 м<sup>3</sup> и более) рекомендуется применять анкерные болты для крепления стенки к фундаменту.

Горизонтальные аппараты устанавливаются преимущественно на двух, трёх или более седловых опорах типовых конструкций. Для предотвращения возникновения напряжений, вызванных температурным расширением обечайки корпуса, одну седловую опору делают неподвижной, а остальные подвижными. Седловые опоры могут быть выполнены из углеродистой стали и приварены к корпусу аппарата, а также могут быть и бетонными.

Иногда горизонтальные аппараты устанавливаются на стойках. При этом обечайка в месте присоединения опор укрепляется кольцом жёсткости.

В литых аппаратах опоры большей частью выполняются за одно целое с корпусом и днищем. Конструкция опор в этом случае может быть аналогичной.

Выбор типа опоры зависит от ряда условий: места установки аппарата (в помещении или на открытой площадке), соотношения высоты к диаметру аппарата, его массы, исполнение аппарата и др.

**Устройства для строповки.** Подъём и перемещение аппаратов при монтаже и демонтаже, осуществляются различными подъёмно-транспортными средствами. Для обеспечения надёжности и безопасности строповки аппаратов на них предусматриваются специальные устройства, за которые аппарат подвешивается к подъёмно-транспортному устройству. Подвешивание аппарата за штуцеры или какие-либо другие выступающие части обычно не допускается.

Устройствами для строповки являются крюки, ушки, скобы и цапфы, называемые также монтажными штуцерами. Крюки и цапфы размещаются на боковых стенках, а ушки на верхних днищах или крышках аппарата. Крюки или цапфы устанавливаются по два на аппарате, количество ушков может достигать двух-трёх, а в отдельных случаях и четырёх на одном аппарате.

Установку строповых устройств на вертикальном аппарате рекомендуется производить как можно выше и обязательно выше центра тяжести аппарата. Подъём и перемещение горизонтальных аппаратов может осуществляться с помощью строповки их канатами или цепями, непосредственно охватывающими корпус. На выбор строповых устройств влияют следующие факторы: масса аппарата, внутренний диаметр аппарата; исполнение аппарата.

**Фланцевые соединения.** В технологических аппаратах для разъёмного соединения составных корпусов и отдельных частей применяются фланцевые соединения преимущественно круглой формы. На фланцах присоединяются к аппаратам трубы, арматура и т.д. Фланцевые соединения должны быть прочными, жёсткими, герметичными и доступными для сборки, разборки и осмотра. Фланцевые соединения стандартизованы для труб и трубной арматуры и отдельно для аппаратов.

В зависимости от типа соединения фланца с обечайкой фланцы различают на плоские приварные, приварные встык и свободные на приварном кольце.

Конструкция фланцевого соединения принимается в зависимости от рабочих параметров аппарата: плоские приварные фланцы – при  $p \leq 2,5$  МПа,  $t \leq 300$  °С и числе циклов нагружения за время эксплуатации до 2000; приварные встык фланцы – при  $p \geq 2,5$  МПа,  $t > 300$  °С и  $t \leq -40$  °С.

Соединение со свободными фланцами целесообразно применять для труб, работающих при высоких температурах, и при требовании независимой координации соединяемых частей по отверстиям для болтов и шпилек.

В зависимости от давления и требований к герметичности применяются следующие виды уплотнительных поверхностей для фланцев: плоские, шип-паз, выступ-впадина, под овальную или восьмигранную прокладку, под линзовую прокладку.

Во фланцевых соединениях при  $p \leq 4,0$  МПа и  $t \leq 300$  °С применяются болты, а при  $p > 4,0$  МПа и  $t > 300$  °С – шпильки. В соединениях при  $p > 6,4$  МПа под гайки шпилек устанавливают шайбы.

**Перемешивающие устройства.** Применяют барботажные и механические перемешивающие устройства; наиболее распространены последние.

Механическое перемешивающее устройство обычно состоит из привода, вертикального вала и мешалки. В состав привода входят мотор-редуктор, муфта (или муфты), промежуточный вал (или без него), стойка (или стойки), уплотнение, вал; может быть также и концевая опора вала.

Существует весьма много различных конструкций приводов, в которых большей частью применяются стандартные многооборотные электродвигатели и типовые механические редукторы для снижения числа оборотов вала перемешивающего устройства до требуемого по технологии.

Наибольшее распространение в химическом аппаратостроении получили выносные индивидуальные приводы со стандартными электродвигателями и типовыми редукторами, устанавливаемые на крышке или верхнем днище аппарата.

Ввод вала таких приводов в аппарат обычно должен быть уплотнён вследствие наличия избыточного давления или вакуума в аппарате. Уплотнение вала осуществляется различными способами, зависящими в основном от давления среды в аппарате, требуемой степени герметизации и других специфических условий, предъявляемых к тому или иному аппарату. Обычно применяются следующие виды уплотнений: сальниковые, торцовые, манжетные, гидрозатвор. Любое уплотнение вала в процессе эксплуатации не обеспечивает полную герметизацию указанного соединения и поэтому является «слабым» местом в такого рода приводах, особенно для аппаратов, в которых перерабатываются взрыво- пожароопасные и токсичные вещества. Отмеченных недостатков лишены так называемые герметические бессальниковые привода, например, со встроенным специальным электродвигателем, находящимся в среде аппарата, со специальным экранированным электродвигателем и др. Такие приводы в эксплуатационных условиях обычно более надежны, чем перечисленные выше, хотя им и присуще свои специфические недостатки.

Приводы обычно устанавливают на крышках аппаратов, иногда на балках или рамах, укрепленных на крыше. Если вал длинный, то на днище сосуда монтируется дополнительная опора. В современных конструкциях привод обычно осуществляется непосредственно от электродвигателя, через редуктор.

Если места на крышке сосуда или над ней недостаточно, либо недопустимо попадание смазки от редуктора и электродвигателя в перемешиваемую среду привод располагают под сосудом, что, однако, требует установки хорошего сальникового уплотнения.

Мешалки для ёмкостных аппаратов бывают следующих типов: трёхлопастные, винтовые, турбинные открытые, турбинные закрытые, шестилопастные, клетьевые, лопастные, шнековые, якорные, рамные, ленточные, зубчатые и другие специальные мешалки.

По частоте вращения мешалки разделяются на две группы:

1) быстроходные, применяемые для перемешивания жидких сред при турбулентном и переходном режимах течения (винтовые, турбинные, лопастные и др.); окружная скорость концов мешалки порядка 10 м/с; отношение  $D/d_m > 3$  ( $D$  и  $d_m$  – соответственно внутренний диаметр аппарата и диаметр мешалки);

2) тихоходные, применяемые при ламинарном течении жидкости в аппарате (якорные, рамные, ленточные и другие, для которых, как правило, окружная скорость порядка 1 м/с, а отношение  $D/d_m < 2$ ).

Стойки отливают из чугуна или сваривают из углеродистой стали. Они представляют собой цилиндры или усеченные конусы, снабженные верхним и нижним присоединительными фланцами. В обечайке стоек имеются вырезы для удобства монтажа и демонтажа.

Бывают следующие основные конструктивные схемы установки приводов: закрепление вала в двухопорной стойке, закрепление вала в одноопорной стойке, закрепление вала в пиноле привода, закрепление вала в жёсткой муфте. В тех случаях, когда подшипниковые опоры выходного вала привода рассчитаны на восприятие осевых и радиальных нагрузок, вал аппарата с перемешивающим устройством может быть соединен жёстко с валом привода, без установки дополнительных опор.

## 5.2. Информационный анализ конструкций ёмкостных аппаратов

Рассмотрим структуру конструкции ёмкостного аппарата. Структура конструкции аппарата, представленная в виде графа  $G = (E^b, E^s)$ , показана на рис. 5.2 [25]. Здесь отображены два уровня иерархии.

$E^b$  – множество вершин графа, представляющих собой множество функциональных элементов ёмкостного аппарата  $E^b = \{e^b\}$  на разных уровнях иерархии.

Функциональными элементами на верхнем уровне  $E^{b0} = \{e^{b0}\}$  являются:

$e_1^{b0}$  – корпус;  $e_2^{b0}$  – теплообменное устройство;  $e_3^{b0}$  – перемешивающее устройство;  $e_4^{b0}$  – опоры;  $e_5^{b0}$  – строповые устройства;  $e_6^{b0}$  – устройства ввода\вывода (штуцеры, люки, лючки, смотровые окна);  $e_7^{b0}$  – теплоизоляция;  $e_8^{b0}$  – футеровка;  $e_9^{b0}$  – устройство заземления;  $e_{10}^{b0}$  – устройства для крепления (кронштейны и т.д.).



Рис. 5.2. Представление структуры ёмкостного аппарата в виде графа  $G = (E^b, E^s)$

На следующем уровне иерархии функциональными элементами  $E^{b1} = \{e^{b1}\}$  при рассмотрении корпуса аппарата являются  $e_1^{b1}$  – обечайка;  $e_2^{b1}$  – первое днище1;  $e_3^{b1}$  – второе днище. При анализе перемешивающего устройства функциональные элементы  $E^{b3} = \{e^{b3}\}$  это:  $e_1^{b3}$  – вал;  $e_2^{b3}$  – стойка;  $e_3^{b3}$  – мешалка;  $e_4^{b3}$  – мотор-редуктор.

Каждый из этих элементов состоит, в свою очередь, из других, более низшего уровня иерархии элементов, которые также могут являться сложными объектами.

$E^s$  – множество рёбер графа, представляющее собой множество соединительных элементов ёмкостного аппарата:  $E^s = \{e^s\}$ :

$e_1^s$  – сварное соединение;  $e_2^s$  – фланцевое соединение;  $e_3^s$  – муфтовое соединение;  $e_4^s$  – шпоночное соединение;  $e_5^s$  – подшипники;  $e_6^s$  – крепления для теплоизоляции.

Представление структуры ёмкостного аппарата в виде графа позволяет наглядно показать, какие функциональные элементы входят в конструкцию аппарата, как они соединены между собой и при помощи каких соединительных элементов.

Для того чтобы показать не только составляющие элементы конструкции, но и их всевозможные варианты исполнения, пользуются отображением конструкции в виде И-ИЛИ дерева. Для удобства отображения рассмотрим часть конструкции ёмкостного аппарата в виде И-ИЛИ леса (рис. 5.3).

И-ИЛИ лес разрабатывается на основе анализа конструкций существующих аппаратов и обладает важным свойством: при помощи него можно получить новую типовую конструкцию.

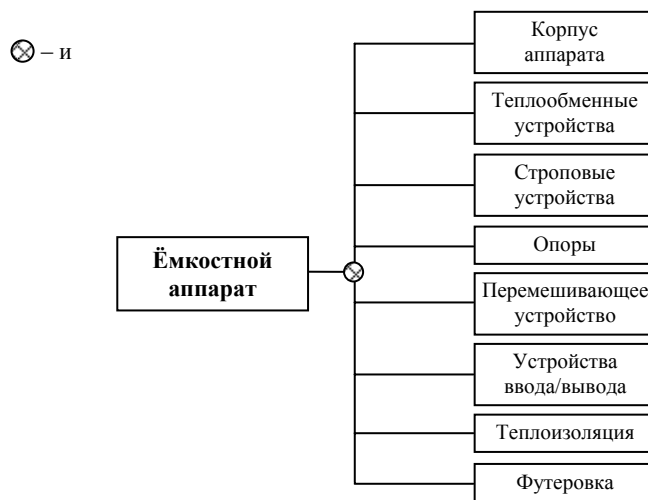


Рис. 5.3. Представление структуры ёмкостного аппарата в виде И-ИЛИ леса

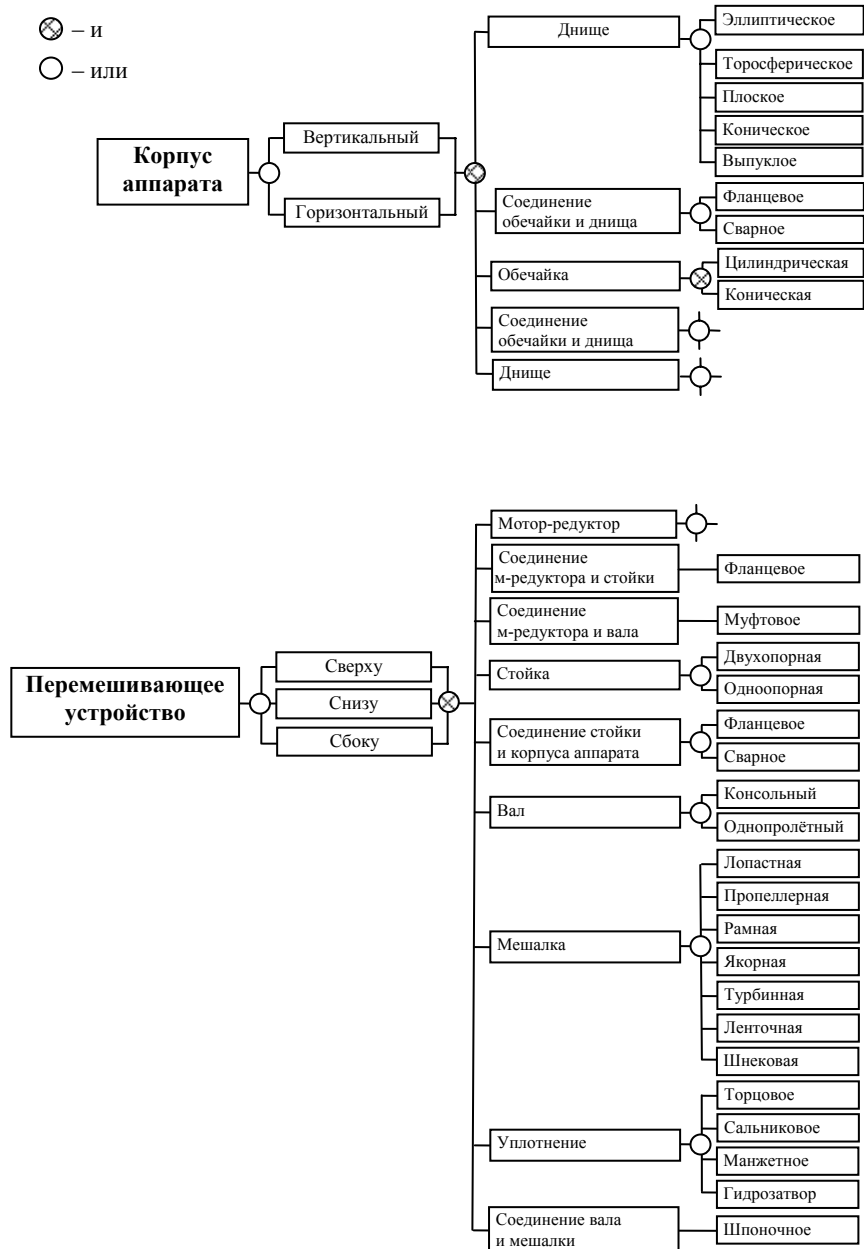


Рис. 5.3. Продолжение

### 5.3. Информационно-логическая модель ёмкостного аппарата

Во второй главе была предложена ИЛМ технического объекта на абстрактном уровне абстрагирования. Рассмотрим теперь составляющие ИЛМ на объектном уровне абстрагирования на примере ёмкостного аппарата. ИЛМ технического объекта на объектном уровне, в нашем случае, на примере ёмкостного аппарата предназначена для получения вариантов конкретных конструкций ёмкостных аппаратов, удовлетворяющих исходным данным текущей задачи проектирования. Конкретные конструкции получаются при присвоении свойствам структурных единиц объектного уровня определённых фиксированных значений (информационных состояний).

Рассмотрим составляющие ИЛМ ёмкостного аппарата на объектном уровне абстрагирования.

#### 5.3.1. Множество элементов ёмкостного аппарата

Множество элементов ёмкостного аппарата  $E = E^b \cup E^s$  представлено в табл. 5.1 и 5.2

##### 5.1. Функциональные элементы ёмкостного аппарата $E^b = \{e^b\}$

Обозначение	Наименование
$e_1^b$	корпус
$e_{11}^b$	обечайка
$e_{12}^b$	днище горизонтальное
$e_{13}^b$	днище верхнее

$e_{14}^b$	днище нижнее
$e_2^b$	теплообменное устройство
$e_{21}^b$	обечайка рубашки
$e_{22}^b$	днище рубашки
$e_{23}^b$	сопряжение обечайки рубашки с обечайкой корпуса
$e_{24}^b$	сопряжение днища рубашки с днищем корпуса
$e_{25}^b$	труба змеевика
$e_{26}^b$	каркас змеевика или барботера
$e_{27}^b$	канал
$e_{28}^b$	анкерная труба
$e_{29}^b$	труба барботера
$e_3^b$	перемешивающее устройство
$e_{31}^b$	мешалка
$e_{32}^b$	вал
$e_{33}^b$	стойка
$e_{34}^b$	мотор-редуктор
$e_4^b$	опора (стандартные)
$e_5^b$	строповые устройства (стандартные)
$e_6^b$	устройства ввода\вывода (штуцеры, люки, лючки, смотровые окна)
$e_{61}^b$	патрубок
$e_{62}^b$	накладное кольцо
$e_7^b$	теплоизоляция
$e_{71}^b$	облицовка
$e_{72}^b$	наполнитель
$e_{73}^b$	бруски
$e_8^b$	футеровка
$e_9^b$	устройство заземления
$e_{10}^b$	устройства для крепления (кронштейны и т.д.)
$e_{11}^b$	зумпф

## 5.2. Соединительные элементы ёмкостного аппарата: $E^s = \{e^s\}$

Обозначение	Наименование
$e_1^s$	сварное соединение
$e_{11}^s$	разделка кромок
$e_{12}^s$	шов
$e_2^s$	фланцевое соединение
$e_{21}^s$	фланец
$e_{22}^s$	ответный фланец
$e_{23}^s$	заглушка
$e_{24}^s$	крышка люка в сборе
$e_4^s$	болтовое соединение
$e_{25}^s$	прокладка
$e_1^s$	сварное соединение (с патрубком)

$e_3^s$	муфтовое соединение
$e_{31}^s$	муфта
$e_{32}^s$	шпонка
$e_{33}^s$	посадочная поверхность вала под муфту
$e_{34}^s$	шпоночная канавка
$e_4^s$	болтовое соединение
$e_{41}^s$	болт
$e_{42}^s$	шпилька
$e_{43}^s$	гайка
$e_{44}^s$	шайба
$e_{45}^s$	отверстие
$e_5^s$	подшипниковое соединение
$e_{51}^s$	подшипник
$e_{52}^s$	посадочная поверхность вала
$e_{53}^s$	корпус подшипника
$e_4^s$	болтовое соединение (корпуса подшипника со стойкой)
$e_6^s$	крепления для теплоизоляции
$e_{61}^s$	скоба
$e_{62}^s$	сварка
$e_7^s$	резьбовое соединение
$e_{71}^s$	резьба
$e_{72}^s$	накидная гайка

Каждый элемент множества имеет свои параметры (свойства). При присвоении свойствам элементов фиксированных значений можно получить вариант конструкции аппарата на конкретном уровне. Для определения наличия, количества, значений параметров элементов и их взаимного расположения для конкретного аппарата предложены модели структуры ёмкостного аппарата, параметров элементов и позиционирования на объектном уровне.

### 5.3.2. Модель структуры ёмкостного аппарата

Модель структуры ёмкостного аппарата содержит правила  $Y^e$ ,  $Y^t$ ,  $Y^k$ ,  $Y^s$ , некоторые из которых представлены в табл. 5.3, 5.4. Представленные правила получены на основе анализа опыта специалистов в области конструирования ёмкостных аппаратов, нормативной документации, технической литературы.

### 5.3. Правила $Y^e$ , позволяющие определить наличие и количество элементов аппарата

№	Если	то
1.	Перемешать $\in \{fa\}$	Перемешивающее устройство. Наличие = Присутствует
2.	Нагреть $\in \{fa\}$ <b>И</b> $t_k > t_{\text{окр. среды}}$	Теплообменное устройство. Наличие = Присутствует
3.	Нагреть $\in \{fa\}$ <b>И</b> $\tau < \tau_{\text{еств}}$	Теплообменное устройство. Наличие = Присутствует
4.	Охладить $\in \{fa\}$ <b>И</b> $t_k < t_{\text{окр. среды}}$	Теплообменное устройство. Наличие = Присутствует
5.	Охладить $\in \{fa\}$ <b>И</b> $\tau < \tau_{\text{еств}}$	Теплообменное устройство. Наличие = Присутствует
6.	Корпус.Ориентация = Вертикальный <b>И</b> Нижнее_днище.Тип = Плоское	Опоры.Наличие = Отсутствуют
7.	Приём $i$ -го вещества $\in \{fa\}$	Штуцер_приём $i$ .Наличие =

	$i = 1 \dots n, n - \text{число веществ}$	Присутствует, $i = 1 \dots n$
8.	Выдача $j$ -го вещества $\in \{fa\}$ $j = 1 \dots m, m - \text{число веществ}$	Штуцер_выдача $j$ .Наличие = Присутствует, $j = 1 \dots m$
9.	Датчик $i$ .Наличие = Присутствует	Штуцер_датчик $i$ . Наличие = Присутствует
10.	Отбор_проб $\in \{fa\}$	Штуцер_отбор $i$ . Наличие = Присутствует
11.	Давление_в_корпусе. Значение=Атмосферное	Штуцер_воздушка_корпуса. Наличие = Присутствует
12.	Теплообменное устройство. Тип $\neq$ Змеевик <b>И</b> Теплообменное устройство. Тип $\neq$ Рубашка_каналы	Штуцер_воздушка_теплооб- менник. Наличие = Присутствует
13.	Давление_в_корпусе. Значение=Атмосферное	Штуцер_перелив. Наличие = Присутствует
14.	Автоматическая промывка $\in \{fa\}$	Штуцер_моющая_головка. Наличие = Присутствует
15.	Перемешивающее устройство. Тип=Мобильная_мешалка	Штуцер_под_мешалку. Наличие = Присутствует

#### 5.4. Правила $Y'$ , позволяющие определить тип каждого элемента

№	Если	то
1.	Сбор $\in \{fa\}$ <b>И/ИЛИ</b> Хранение $\in \{fa\}$ <b>И</b> Корпус.Объём = 5 – 100 м <sup>3</sup> <b>И</b> Аппарат.Высота = Ограниченная_величина	Корпус.Ориентация = Горизонтальный
2.	$P_{\text{расч}} < -0,07$ МПа	Обечайка.Тип = С_рёбрами
3.	Корпус.Ориентация = Вертикальный <b>И</b> Среда.Состояние = Сыпучий_материал	Днище_нижнее.Тип = Коническое
4.	Корпус.Ориентация = Вертикальный <b>И</b> Среда.Состояние = Вязкая_суспензия_ (дрожжи, зерно с водой) <b>И</b> Выгрузка.Тип = Самотёк	Днище_нижнее.Тип = Коническое
5.	Корпус.Ориентация = Вертикальный <b>И</b> Теплообм_устр.Тип $\in$ {Каналы, С_анкерными_трубами, С_отбортовками, Пуклеванное} <b>И</b> Теплообм_устр.Расположение = На_днище	Днище_нижнее.Тип = Коническое
6.	хранение $\in \{fa\}$ <b>И/ИЛИ</b> сбор $\in \{fa\}$ <b>И</b> Корпус.Объём $\geq 30$ м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление в корпусе.Значение = Атмосферное <b>ИЛИ</b> Небольшое_ (-0,002 ... + 0,005 МПа)	Днище_нижнее.Тип = Плоское
7.	Корпус.Диаметр $\geq 1,0$ м <sup>3</sup> <b>И</b> Корпус. Диаметр $\leq 3,5$ м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе. Значение = Атмосферное <b>И</b> Корпус.Объём $< 30$ м <sup>3</sup>	Днище_нижнее.Тип = Плосковыпуклое
8.	Корпус.Диаметр $> 1,0$ м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе.Значение $<$ = 0,7 МПа	Днище_нижнее.Тип = Торосферическое_тип_А
9.	Корпус.Диаметр $> 1,0$ м <sup>3</sup>	Днище_нижнее.тип =



	<b>И</b> Давление_в_корпусе.Значение > = 0,7 МПа <b>ИЛИ</b> Вакуум	Торосферическое_тип_C
10.	Корпус.Ориентация = Горизонтальный <b>И</b> Корпус.Диаметр > 1,0 м <sup>3</sup> и < 3,5 м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе.Значение = Атмосферное <b>ИЛИ</b> Небольшое_ (-0,002 ... + 0,005 МПа)	Днище.Тип = Плосковыпуклое
11.	Корпус.Ориентация = Горизонтальный	Опоры.Тип = Седловые
12.	Корпус.Ориентация = Вертикальльный <b>И</b> Способ_установки = Между_этажами <b>ИЛИ</b> На_раме	Опоры.Тип = Лапы
13.	Корпус.Ориентация = Вертикальльный <b>И</b> Способ_установки = На_фундаменте	Опоры.Тип = Стойки
14.	Корпус.Ориентация = Вертикальльный <b>И</b> Место_установки = На_улице <b>И</b> H/D > 3	Опоры.Тип = Юбка
15.	Корпус.Ориентация = Вертикальльный <b>И</b> Аппарат.Масса = Большая	Опоры.Тип = Юбка
16.	Перемешивание.Интенсивность = Небольшая_(медленное перемешивание) <b>И</b> Рабочая_среда.Взаимодействие_с_воздухом = Нет <b>И</b> Рабочая_среда.Вязкость < 0,2 кг/(м · с)	Перемешивающее_устройство. Тип = Барботер
17.	Перемешивание.Эффективность = Небольшая_(диспергирование грубое) <b>И</b> Рабочая_среда.Взаимодействие_с_воздухом = Нет <b>И</b> Рабочая_среда.Вязкость < 0,2 кг/(м · с)	Перемешивающее_устройство. Тип = Барботер
18.	Перемешивание.Эффективность = небольшая (диспергирование грубое) <b>И</b> Рабочая_Среда.Смешение_с_водой = Допускается <b>И</b> Рабочая_среда.Вязкость < = 0,2 кг/(м · с) <b>И</b> Нагрев ∈ {fa}	Перемешивающее_устройство. Тип = Барботер <b>И</b> Теплоноситель. Тип = Острый_пар
19.	Рабочая_среда.Вязкость < 0,01 кг/(м · с) <b>И</b> Рабочая_среда.Твёрдая фаза. Плотность = Небольшая <b>И</b> Рабочая_среда.Твёрдая фаза < 5 %	Механическая_мешалка. Тип = Лопастная
20.	Рабочая_среда.Вязкость < 0,06 кг/(м · с) <b>И</b> Перемешивание.Интенсивность = Высокая <b>И</b> Рабочая_среда.Твёрдая_фаза < 10 %	Механическая_мешалка. Тип =Пропеллерная
21.	Рабочая среда.Вязкость < 1,0 кг/(м · с) <b>И</b> Перемешивание.Интенсивность = Высокая <b>И</b> Рабочая среда. Твёрдая фаза < 60 %	Механическая мешалка. Тип = Турбинная_открытая
22.	Рабочая среда.Вязкость < 5,0	Механическая мешалка.

	кг/(м · с) <b>И</b> Перемешивание. Интенсивность = Высокая <b>И</b> Рабочая среда. Твёрдая фаза < 60 %	Тип = Турбинная_закрытая
23.	Рабочая_среда. Вязкость < 0,01 кг/(м · с) <b>И</b> Рабочая_среда. Твёрдая фаза. Плотность = Небольшая <b>И</b> Рабочая_среда. Твёрдая фаза < 5 % <b>И</b> Рабочая_среда. Склонность_к_налипанию_осадка = Есть	Механическая_ мешалка. Тип = Рамная
24.	Рабочая_среда. Вязкость = Очень_большая <b>ИЛИ</b> Рабочая_среда = Пастообразный_материал	Механическая_ мешалка. Тип = Ленточная
25.	Рабочая_среда = Газ + жидкость	Механическая_ мешалка. Тип = Клетьевая
26.	Корпус. Объём = 1...50 м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе. Значение < 0,6 МПа <b>И</b> Вал. Тип = Консольный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Отсутствует	Стойка. Тип = 1 <b>И</b> Стойка. Исполнение = 1 (по ОСТ 26-01-109-85)
27.	Корпус. Объём = 1...50 м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе. Значение < 1,6 МПа <b>И</b> Вал. Тип = Консольный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Отсутствует	Стойка. Тип = 1 <b>И</b> Стойка. Исполнение = 2 (по ОСТ 26-01-109-85)
28.	Корпус. Объём = 1...50 м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе. Значение < 0,6 МПа <b>И</b> Вал. Тип = Однопролётный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Отсутствует	Стойка. Тип = 1 <b>И</b> Стойка. Исполнение = 3 (по ОСТ 26-01-109-85)
29.	Корпус. Объём = 1..50 м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе. Значение < 1,6 МПа <b>И</b> Вал. Тип = Однопролётный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Отсутствует	Стойка. Тип = 1 <b>И</b> Стойка. Исполнение = 4 (по ОСТ 26-01-109-85)
30.	Корпус. Объём = 0,25...2 м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе. Значение < 1,6 МПа <b>И</b> Вал. Тип = Консольный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Отсутствует	Стойка. Тип = 2 <b>И</b> Стойка. Исполнение = 1 (по ОСТ 26-01-109-85)
31.	Корпус. Объём = 0,25...2 м <sup>3</sup> <b>И</b> Давление_в_корпусе. Значение < 0,6 МПа <b>И</b> Вал. Тип = Консольный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Отсутствует	Стойка. Тип = 2 <b>И</b> Стойка. Исполнение = 2 (по ОСТ 26-01-109-85)
32.	Вал. Тип = Консольный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Есть	Стойка. Тип = 4 или 5 (по ОСТ 26-01-109-85)

33.	Вал.Тип = Однопролётный <b>И</b> Эмалированное_покрытие = Есть	Стойка.Тип = 3 (по ОСТ 26-01-109-85)
34.	Давление_в_корпусе.Значение < 4 МПа <b>И</b> Вал.Частота_вращения < 350 об/мин <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 3_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Уплотнение.Тип = Сальниковое
35.	Давление_в_корпусе. Значение = Атмосферное <b>И</b> Температура < +120 °С	Уплотнение.Тип = Манжетное

### 5.3.3. Модель параметров элементов ёмкостного аппарата

Модель параметров элементов ёмкостного аппарата содержит правила и зависимости  $Y^b$ ,  $Y^{pp}$ ,  $Y^{pe}$ , некоторые из которых представлены в табл. 5.5.

### 5.5. Правила $Y^b$ , определяющие общие параметры аппарата

№	Если	то
1.	Давление > 0,07МПа <b>И</b> Температура = Независимо <b>И</b> Среда.Характер $\in$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 1
2.	Давление > 0,07МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 2,5 МПа <b>И</b> Температура > +400 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 2
3.	Давление > 2,5 МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 5 МПа <b>И</b> Температура > +200 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 2
4.	Давление > 4 МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 5 МПа <b>И</b> Температура < -40 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 2
5.	Давление > 5 МПа <b>И</b> Температура = Независимо <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 2
6.	Давление > 0,07МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 1,6 МПа <b>И</b> Температура < -20 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 3
7.	Давление > 0,07МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 1,6 МПа <b>И</b> Температура > +200 <b>И</b> Температура $\leq$ +400	Аппарат.Группа = 3

	<b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	
8.	Давление > 1,6МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 2,5 МПа <b>И</b> Температура $\leq$ +400 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 3
9.	Давление > 2,5МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 4 МПа <b>И</b> Температура $\leq$ +200 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 3
10.	Давление > 4 МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 5 МПа <b>И</b> Температура > -40 <b>И</b> Температура $\leq$ +200 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 3
11.	Давление > 0,07 МПа <b>И</b> Давление $\leq$ 1,6 МПа <b>И</b> Температура > -20 <b>И</b> Температура $\leq$ +200 <b>И</b> Среда.Характер $\notin$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 4
12.	Давление $\leq$ 0,07 МПа <b>И</b> Температура = Независимо <b>И</b> Среда.Характер $\in$ {Взрывоопасная, Пожароопасная, 1_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 2_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007, 3_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 5а
13.	Давление $\leq$ 0,07 МПа <b>И</b> Температура = Независимо <b>И</b> Среда.Характер $\in$ {Взрывобезопасная, Пожаробезопасная, 4_класс_опасности_по_ГОСТ_12.1.007}	Аппарат.Группа = 5б

#### **5.3.4. Модель позиционирования элементов ёмкостного аппарата в пространстве**

Модель позиционирования представляет собой ограничения расположение и взаимосвязь базовых геометрических параметров элементов (оси, рёбра, поверхности).

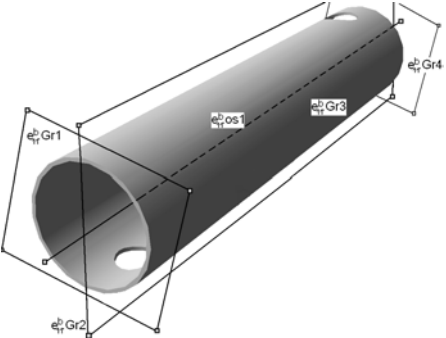
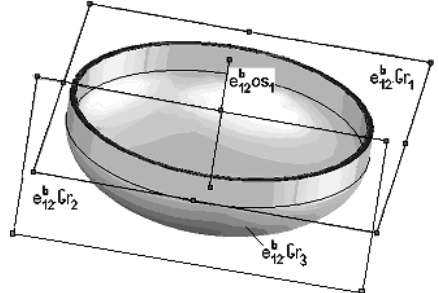
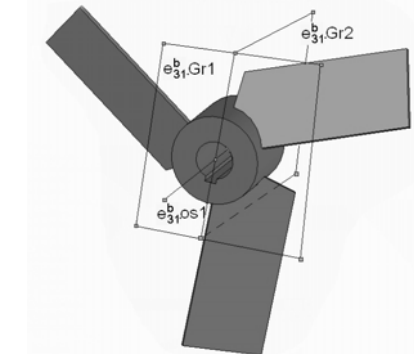
Так как модель позиционирования разработана на объектном уровне, базовые геометрические параметры определяются для каждого класса функциональных и соединительных элементов ёмкостного аппарата независимо от таких параметров, как тип элемента, его геометрические размеры, материал изготовления и др. На конкретном уровне абстрагирования, при фиксированном информационном состоянии элемента, каждый элемент наследует базовые геометрические параметры, определенные для соответствующего класса элементов на объектном уровне.

Разработанные примеры позиционирования типовых сборочных единиц также выполнены на объектном уровне, и, следовательно, универсальны по отношению к текущим значениям других параметров сопрягаемых элементов.

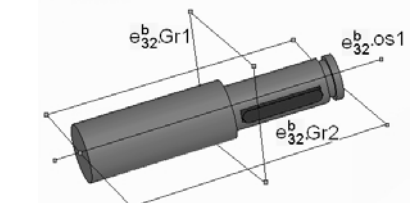
В табл. 5.6 приведены примеры определения базовых геометрических параметров для основных классов функциональных и соединительных элементов ёмкостного аппарата.

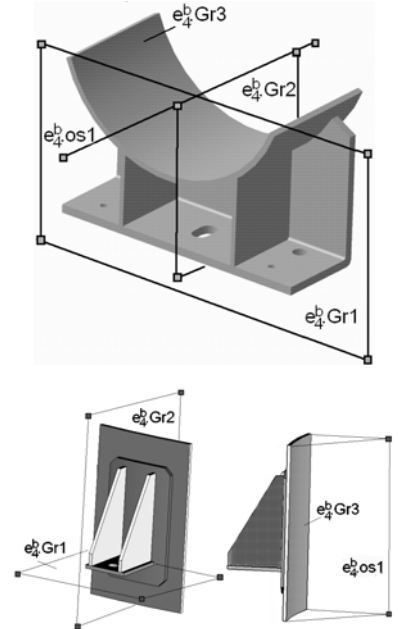
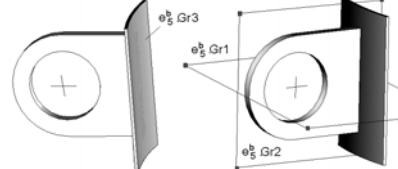
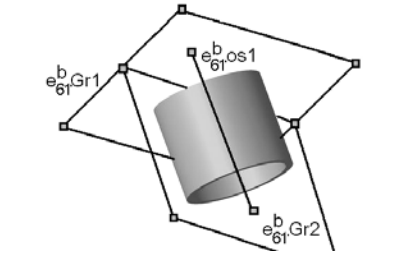
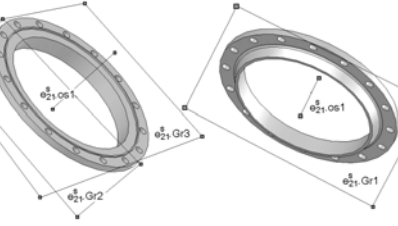
Примеры позиционирования основных типовых сборочных единиц представлены в табл. 5.7.

**5.6. Примеры определения базовых геометрических параметров элементов**

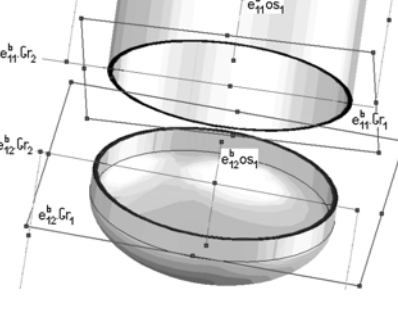
Обозначение и наименование класса элементов	3D-модель	Базовые геометрические параметры
$e_{11}^b$ обечайка		$e_{11}^b .Os1$ $e_{11}^b .Gr1$ $e_{11}^b .Gr2$ $e_{11}^b .Gr3$ $e_{11}^b .Gr4$
$e_{12}^b$ днище		$e_{12}^b .Os1$ $e_{12}^b .Gr1$ $e_{12}^b .Gr2$ $e_{12}^b .Gr3$
$e_{31}^b$ мешалка		$e_{31}^b .Os1$ $e_{31}^b .Gr1$ $e_{31}^b .Gr2$

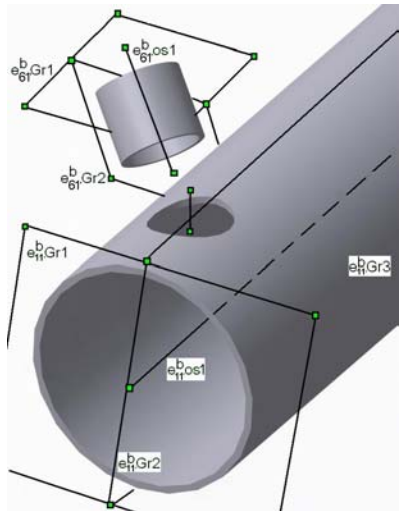
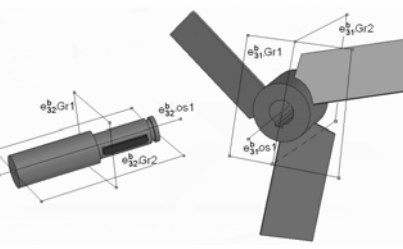
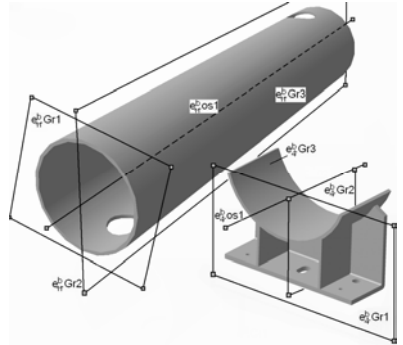
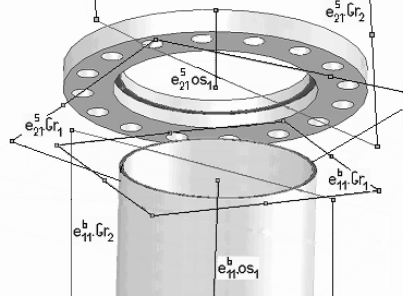
*Продолжение табл. 5.6*

Обозначение и наименование класса элементов	3D-модель	Базовые геометрические параметры
$e_{32}^b$ вал		$e_{32}^b .Os1$ $e_{32}^b .Gr1$ $e_{32}^b .Gr2$

$e_4^b$ опора		$e_4^b .Os1$ $e_4^b .Gr1$ $e_4^b .Gr2$ $e_4^b .Gr3$
$e_5^b$ строповые устройства		$e_5^b .Gr1$ $e_5^b .Gr2$ $e_5^b .Gr3$
$e_{61}^b$ патрубков		$e_{61}^b .Os1$ $e_{61}^b .Gr1$ $e_{61}^b .Gr2$
Соединительные элементы		
$e_{21}^s$ фланец		$e_{21}^s .Os1$ $e_{21}^s .Gr1$ $e_{21}^s .Gr2$ $e_{21}^s .Gr3$

### 5.7. Примеры определения сопряжений при позиционировании элементов

Сборка	3D-модель	Сопряжения
$e_{11}^b + e_{12}^b (e_1^s)$ Обечайка + днище (сварное соединение)		$e_{11}^b .Gr1 // e_{12}^b .Gr1$ $e_{11}^b .os1 \odot e_{12}^b .Os1$ $e_{11}^b .Gr2 // e_{12}^b .Gr2$

Сборка	3D-модель	Сопряжения
$e_{11}^b + e_{61}^b (e_1^s)$ Обечайка + патрубок (сварное соединение)		$e_{11}^b \cdot Gr1 // [x] e_{61}^b \cdot Os1$ $e_{11}^b \cdot Os1 \angle [x] e_{61}^b \cdot Os1$ $e_{11}^b \cdot Gr2 \angle [x] e_{61}^b \cdot Gr2$ [x] – параметр сопряжения, числовая величина
$e_{31}^b + e_{32}^b$ мешалка +вал (шпоночное соединение)		$e_{31}^b \cdot Gr1 // e_{32}^b \cdot Gr1$ $e_{31}^b \cdot Os1 \odot e_{32}^b \cdot Os1$ $e_{31}^b \cdot Gr2 // e_{32}^b \cdot Gr2$
$e_{11}^b + e_4^b (e_1^s)$ Обечайка + опора (сварное соединение)		$e_{11}^b \cdot Gr1 // [x] e_4^b \cdot Gr1$ $e_{11}^b \cdot Gr2 // e_4^b \cdot Gr2$ $e_{11}^b \cdot Gr3 // e_4^b \cdot Gr3$
$e_{11}^b + e_{21}^s (e_1^s)$ Обечайка + фланец (сварное соединение)		$e_{11}^b \cdot Gr1 // e_{21}^s \cdot Gr1$ $e_{11}^b \cdot Os1 \odot e_{21}^s \cdot Os1$ $e_{11}^b \cdot Gr2 // e_{21}^s \cdot Gr2$

Представленные в табл. 5.7 соотношения для определения взаимного расположения элементов разработаны на объектном уровне для элементов технологического оборудования и не зависят от таких параметров элементов, как их типы и геометрические размеры.

Для представления в памяти ЭВМ модели структуры ёмкостного аппарата и модели параметров ёмкостного аппарата разработано производственно-фреймовое представление информации на объектном уровне.

#### 5.4. Производственно-фреймовое представление информации о ёмкостном аппарате

Производственно-фреймовое представление структуры и параметров элементов на объектном уровне абстрагирования, представленное на примере ёмкостного аппарата, разработано на основе принципов, изложенных во второй главе.

### 5.4.1. Продукционно-фреймовое представление модели структуры ёмкостного аппарата

Продукционно-фреймовое представление модели структуры ёмкостного аппарата содержит множество фреймов  $FR^s$ , описывающих структуру сложных элементов ёмкостного аппарата и множество  $S^{FR}$  связей между фреймами.

Каждому сложному элементу ёмкостного аппарата соответствует фрейм с одноименным названием, слотами этого фрейма являются составляющие его элементы. Значения слотов определяют наличие, тип, количество элементов.

Каждому слоту ставится в соответствие процедура, представляющая собой набор правил, позволяющих определить значение слота.

Примеры фреймов, описывающих структуру аппарата и его элементов представлены в табл. 5.8.

**5.8. Фрейм «Аппарат\_Структура»**

№	Имя слота	Процедура
1.	Корпус.Наличие	$PR_{1,1} = \{Y\}$
	Корпус.Количество	$PR_{1,2} = \{Y\}$
	Корпус.Тип	$PR_{1,3} = \{Y\}$
2.	Перемешивающее_устройство.Наличие	$PR_{2,1} = \{Y\}$
	Перемешивающее_устройство.Количество	$PR_{2,2} = \{Y\}$
	Перемешивающее_устройство.Тип	$PR_{2,3} = \{Y\}$
3.	Теплообменное_устройство.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Теплообменное_устройство.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Теплообменное_устройство.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
4.	Опоры.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Опоры.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Опоры.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
5.	Строповые_устройства.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Строповые_устройства.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Строповые_устройства.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
6.	Устройства_ввода/вывода.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Устройства_ввода/вывода.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Устройства_ввода/вывода.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
7.	Теплоизоляция.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Теплоизоляция.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Теплоизоляция.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
8.	Футеровка.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Футеровка.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Футеровка.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
9.	Устройство_заземления.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Устройство_заземления.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Устройство_заземления.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
10.	Другие_устройства.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Другие_устройства.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Другие_устройства.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
11.	Соединение_корпус_+_перемешивающее_устройство.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Соединение_корпус_+_перемешивающее_устройство.Количество	$PR_{3,2} = \{Y\}$
	Соединение_корпус_+_перемешивающее_устройство.Тип	$PR_{3,3} = \{Y\}$
12.	Соединение_корпус_+_теплообменное_устройство.Наличие	$PR_{3,1} = \{Y\}$
	Соединение_корпус_+_теплообменное_устройство.	$PR_{3,2} = \{Y\}$



	Количество	
	Соединение_корпус_+_теплообменное_устройство. Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}
13.	Соединение_корпус_+_опоры.Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_корпус_+_опоры.Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_корпус_+_опоры.Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}
14.	Соединение_корпус_+_строповые_устройства. Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_корпус_+_строповые_устройства. Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_корпус_+_строповые_устройства. Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}
15.	Соединение_корпус_+_устройства_ввода/вывода. Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_корпус_+_устройства_ввода/вывода. Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_корпус_+_устройства_ввода/вывода. Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}
16.	Соединение_теплообменное_устройство_+_устройства_ввода/вывода.Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_теплообменное_устройство_+_устройства_ввода/вывода.Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_теплообменное_устройство_+_устройства_ввода/вывода.Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}

#### 5.9. Фрейм «Корпус\_Структура»

№	Имя слота	Процедура
1.	Обечайка.Наличие	PR <sub>1,1</sub> = {Y}
	Обечайка.Количество	PR <sub>1,2</sub> = {Y}
	Обечайка.Тип	PR <sub>1,3</sub> = {Y}
2.	Днище.Наличие	PR <sub>2,1</sub> = {Y}
	Днище.Количество	PR <sub>2,2</sub> = {Y}
	Днище.Тип	PR <sub>2,3</sub> = {Y}
3.	Соединение_обечайка_+_днище.Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_обечайка_+_днище.Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_обечайка_+_днище.Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}

#### 5.10. Фрейм «Перемешивающее устройство\_Структура»

№	Имя слота	Процедура
1.	Мотор-редуктор.Наличие	PR <sub>1,1</sub> = {Y}
	Мотор-редуктор.Количество	PR <sub>1,2</sub> = {Y}
	Мотор-редуктор.Тип	PR <sub>1,3</sub> = {Y}
2.	Вал.Наличие	PR <sub>2,1</sub> = {Y}
	Вал.Количество	PR <sub>2,2</sub> = {Y}
	Вал.Тип	PR <sub>2,3</sub> = {Y}
3.	Мешалка.Наличие	PR <sub>2,1</sub> = {Y}
	Мешалка.Количество	PR <sub>2,2</sub> = {Y}
	Мешалка.Тип	PR <sub>2,3</sub> = {Y}
4.	Стойка.Наличие	PR <sub>2,1</sub> = {Y}
	Стойка.Количество	PR <sub>2,2</sub> = {Y}
	Стойка.Тип	PR <sub>2,3</sub> = {Y}
5.	Соединение_мотор-редуктор_+_вал.Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_мотор-редуктор_+_вал.Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_мотор-редуктор_+_вал.Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}
6.	Соединение_мешалка_+_вал.Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_мешалка_+_вал.Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_мешалка_+_вал.Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}
7.	Соединение_стойка_+_вал.Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}
	Соединение_стойка_+_вал.Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
	Соединение_стойка_+_вал.Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}
8.	Соединение_мотор-редуктор_+_стойка.Наличие	PR <sub>3,1</sub> = {Y}

Соединение мотор-редуктор + стойка.Количество	PR <sub>3,2</sub> = {Y}
Соединение мотор-редуктор + стойка.Тип	PR <sub>3,3</sub> = {Y}

Фреймы «Элемент\_Структура» отображают структуру сборочных элементов. Остальные свойства сборочных элементов и свойства простых элементов (деталей) отображаются фреймами «Элемент\_Параметры».

#### 5.4.2. Продукционно-фреймовое представление модели параметров элементов ёмкостного аппарата

Продукционно-фреймовое представление модели определения параметров содержит множество фреймов FR<sup>p</sup>, описывающих параметры элементов ёмкостного аппарата. Каждому элементу ёмкостного аппарата соответствует фрейм с одноименным названием, слотами которого являются его параметры. На конкретном уровне абстрагирования, при решении текущей задачи проектирования, значения слотов определяют текущее информационное состояние параметров элементов.

На рис. 5.4 представлен фрагмент продукционно-фреймового представления элементов ёмкостного аппарата.

Процедура, определяющая значение слота может состоять из набора правил и зависимостей или являться подсистемой, выполняющей какой-либо завершённый этап проектирования. Примерами могут служить подсистемы гидродинамического расчёта, тепловых расчётов, механических расчётов. Ниже рассмотрена подсистема механических расчётов технологического оборудования.

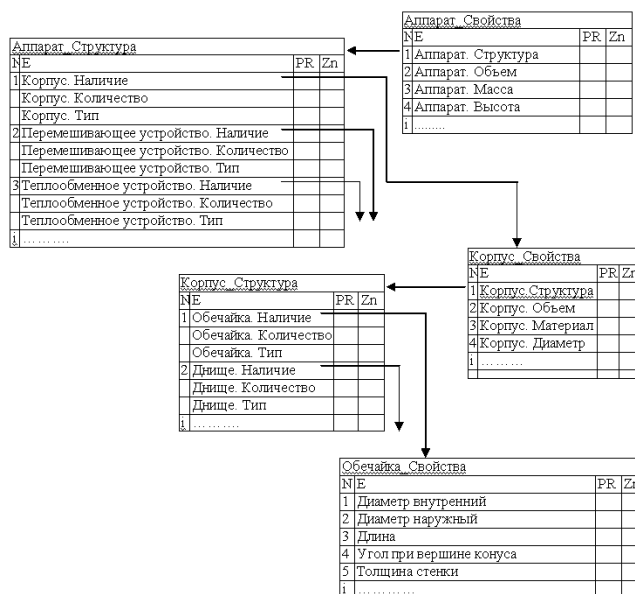


Рис. 5.4. Фрагмент продукционно-фреймового представления элементов ёмкостного аппарата

#### 5.5. Подсистема механических расчётов

Одним из важнейших условий при проектировании ёмкостного оборудования является его способность воспринимать нагрузки, обусловленные параметрами проводимого в нем технологического процесса и условиями его взаимодействия с внешней средой. Способность сохранять прочность, жёсткость, устойчивость под влиянием различных нагрузок определяется, как правило, такими параметрами нагруженных элементов, как толщины стенок обечайки и днищ, диаметры резьбы болта, толщина тарелки фланца, диаметр вала перемешивающего устройства, другие геометрические параметры, а также механические характеристики материала изготовления.

Такие параметры принято определять при помощи механических расчётов, которые являются одной из обязательных составляющих проекта технологического оборудования. Они представляют собой систему, основой которой служат стандарты, руководящие и др. документы, в которых представлены методики расчёта отдельных элементов и сборочных единиц.

Модуль механических расчётов информационной системы автоматизированного проектирования технологического оборудования должен самостоятельно по исходным данным определить для каких элементов проектируемого аппарата какие расчёты необходимо провести. Структура двухуровневой системы механических расчётов технологического оборудования представлена на рис. 5.5.

Функциями модулей нижнего уровня является проведение расчёта определённого элемента оборудования в соответствии с заданной методикой. Функции управляющей программы:

- на основании множества исходных данных определить, какие элементы необходимо рассчитать;
- какие расчёты для этих элементов необходимо провести;
- определить последовательность проведения расчётов;
- вызвать соответствующие модули нижнего уровня, передать в них необходимые исходные данные и принять результаты работы.

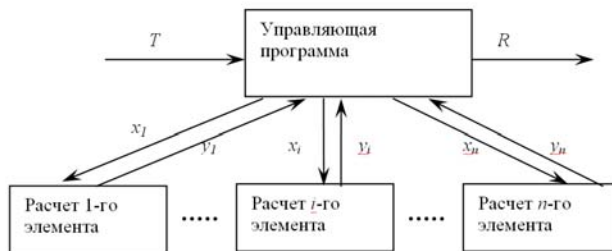


Рис. 5.5. Структура системы механических расчётов

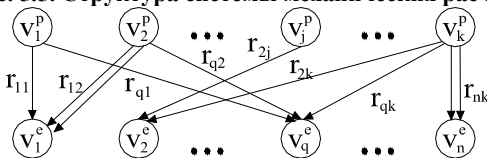


Рис. 5.6. Представление системы прочностных расчётов

Система прочностных расчётов технологического оборудования (рис. 5.6) представлена при помощи двудольного графа

$$G = (V, R),$$

где  $V = (V^p, V^e)$  – множество вершин графа:  $V^p = \{v_i^p\}$  – множество вершин, представляющих собой нагрузки, действующие на аппарат,  $V^e = \{v_i^e\}$  – множество вершин, представляющих собой элементы ёмкостного аппарата;  $R = \{r\}$  – множество рёбер, указывающих, на какие элементы воздействуют те или иные нагрузки.

Рёбра графа имеют окраску. Окраска рёбер указывает, обеспечение каких критериев работоспособности для каждого из элементов необходимо. По сути, эти рёбра и определяют необходимые прочностные расчёты.

Под термином «нагрузка» здесь подразумевается какое-либо одно воздействие на аппарат (например, внутреннее давление в корпусе) или совокупность совместно действующих нагрузок (например, воздействие на штуцер комплекса внешних усилий от присоединенного трубопровода).

### 5.11. Граф системы прочностных расчётов ёмкостного оборудования

$$G_o = (V_o, R_o), (V_o = (V_o^p, V_o^e))$$

$V_o^p =$	$V_{o\_1}^p$	внутреннее давление в корпусе
	$V_{o\_2}^p$	разрежение в корпусе
	$V_{o\_3}^p$	внутреннее давление в рубашке
	$V_{o\_4}^p$	внутреннее давление в змеевике
	$V_{o\_5}^p$	вес
	$V_{o\_6}^p$	ветровая нагрузка
$V_o^p =$	$V_{o\_7}^p$	сейсмическая нагрузка
	$V_{o\_8}^p$	внешний изгибающий момент
	$V_{o\_9}^p$	внешняя осевая сила
	$V_{o\_10}^p$	локальные нагрузки от присоединяемых трубопроводов
	$V_{o\_11}^p$	крутящий момент
$V_o^e =$	$V_{o\_1}^e$	обечайка корпуса

	$V_{o\_2}^e$	днище 1 корпуса
	$V_{o\_3}^e$	днище 2 корпуса
	$V_{o\_4}^e$	обечайка рубашки
	$V_{o\_5}^e$	днище рубашки
	$V_{o\_6}^e$	соединение рубашки с корпусом
	$V_{o\_7}^e$	каналы
	$V_{o\_8}^e$	обечайка в месте присоединения опор и между ними
	$V_{o\_9}^e$	днище в месте присоединения опор
	$V_{o\_10}^e$	обечайка в месте присоединения строповых устройств
	$V_{o\_11}^e$	днище в месте присоединения строповых устройств
	$V_{o\_12}^e$	обечайка рубашки в месте присоединения опор
	$V_o^e =$	$V_{o\_13}^e$
$V_{o\_14}^e$		обечайка рубашки в месте присоединения строповых устройств
$V_{o\_15}^e$		днище рубашки в месте присоединения строповых устройств
$V_{o\_16}^e$		фланцевые соединения
$V_{o\_17}^e$		юбочная опора
$V_{o\_18}^e$		места присоединения штуцеров
$V_{o\_19}^e$		другие места приложения локальных нагрузок
$V_{o\_20}^e$		вал перемешивающего устройства

### 5.12. Множество возможных значений окраски рёбер

$C^r =$	$C_{-1}^r$	прочность
	$C_{-2}^r$	устойчивость
	$C_{-3}^r$	герметичность
	$C_{-4}^r$	жесткость
	$C_{-5}^r$	виброустойчивость
	$C_{-6}^r$	циклическая прочность

Матрица смежности окрашенного графа  $G_o$ , представленная в табл. 5.13, показывает, какие нагрузки действуют на элементы и критерии работоспособности, которые необходимо обеспечить. Обработывая матрицу смежности, управляющая

программа определяет, какие элементы необходимо рассчитать и какие расчёты для этих элементов необходимо провести.

### 5.13. Матрица смежности окрашенного графа $G_0$

	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$	$V_{o-1}^p$
$V_{o-1}^e$	1	1, 2	1, 2	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-2}^e$	1	1, 2	1, 2	0	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-3}^e$	1	1, 2	1, 2	0	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-4}^e$	0	0	1	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-5}^e$	0	0	1	0	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-6}^e$	0	0	1	0	0	0	1, 2	0	1	0	0
$V_{o-7}^e$	1	1	1	1	0	0	1, 2	0	0	0	0
$V_{o-8}^e$	1	1, 2	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-9}^e$	1	1, 2	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-10}^e$	0	0	0	0	1, 2	0	0	0	0	0	0
$V_{o-11}^e$	0	0	0	0	1, 2	0	0	0	0	0	0
$V_{o-12}^e$	0	0	1	0	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-13}^e$	0	0	1	0	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-14}^e$	0	0	0	0	0	0	1, 2	0	0	0	0
$V_{o-15}^e$	0	0	0	0	0	0	1, 2	0	0	0	0
$V_{o-16}^e$	1, 3, 4	1, 3, 4	1, 3, 4	1, 3, 4	0	1, 3, 4	1, 3, 4	1, 3, 4	1, 3, 4	1, 3, 4	0
$V_{o-17}^e$	0	0	0	0	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	1, 2	0	0
$V_{o-18}^e$	1	1, 2	1	0	0	0	1, 2	0	0	1, 2	0
$V_{o-19}^e$	1	1, 2	1	0	0	0	1, 2	0	0	1, 2	0
$V_{o-20}^e$	0	0	0	0	0	0	1, 2	0	0	0	1, 4, 5, 6

### 5.6. Способы представления структуры изделия в реляционной базе данных

Основными элементами информационного пространства машиностроительного предприятия являются изделия (детали, сборочные единицы, стандартные, покупные), материалы, из которых изготавливаются изделия и подразделения. ER – диаграмма этих элементов представлена рис. 5.7.

В таблице «Изделия\_и\_материалы» находятся как записи изделий (сборочные единицы, детали, стандартные изделия, покупные), так и записи о материалах, из которых эти изделия изготавливаются, в том числе и вспомогательные материалы (материалы на сварку, термообработку и другие). Объединение изделий и материалов в одной таблице позволяет для них иметь уникальный ID, что облегчает дальнейшее использование данных в задачах складского учёта, расчёта себестоимости и другие так как, например, в документах прихода не различаются изделия и материалы.

Далее таблица «Изделия\_и\_материалы» разбивается на таблицы «Изделия» и «Материалы», которые и содержат основную информацию. Поле «Способ\_ввода\_размера\_заготовки» в таблице «Материалы» определяет дальнейший интерфейс при вводе размера заготовки для детали. Например, заготовка из круга определяется длиной, заготовка из листа – длиной и шириной. Существуют следующие способы ввода: длина, длина-ширина, длина-ширина-высота, площадь, объём, масса, штуки.

Таблица «Маршруты\_изготовления» содержит для каждой детали или сборочной единицы наименование маршрутов с весовыми коэффициентами предпочтения, например, если маршрут используется по умолчанию, то его весовой коэффициент предпочтения равен единице, для остальных маршрутов может быть ноль.



Рис. 5.7. ER диаграмма основных элементов информационного пространства предприятия

Таблица «Позиции маршрутов» для каждого маршрута задает перечень подразделений, через которые проходит деталь или сборочная единица.

Таблица «Заготовки\_детали» для каждой детали задаёт несколько возможных заготовок и их размеры.

**Классический способ представления спецификации.** ER-модель базы данных, когда для каждой сборочной единицы составляется своя спецификация состоит из таблицы изделий и таблицы спецификаций (рис. 5.8). Таблица изделий содержит сборочные единицы и детали, как покупные, так и изготавливаемые на предприятии. В таблице спецификаций поле «ID\_изделия\_родителя» представляет изделие, для которого составлена спецификация (куда входит изделие потомок), «количество» – определяет число входящих изделий.

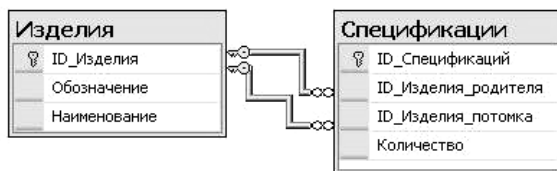


Рис. 5.8. ER-модель классической базы спецификаций

**Групповая спецификация.** Если номенклатура типоразмеров изделий, выпускаемых предприятием большая, и изделия сгруппированы по типам, причем изделия каждого типа имеют множество одинаковых деталей, то с целью уменьшения объёма информации составляется групповая спецификация. В групповой спецификации имеется список деталей и сборочных единиц, входящих во все изделия группы (постоянные детали), и список деталей и сборочных единиц, входящих в отдельное изделие группы (переменные детали). Например, если в группу входит 10 изделий, каждое из которых содержит 100 деталей, причем 90 деталей входят во все изделия, то общее количество записей – 190. При составлении спецификации на каждое изделие общее количество записей в этом случае – 1000.

ER-модель базы данных для групповой спецификации представлена на рис. 5.9. Здесь таблица «Групповые спецификации» содержит типы изделий, например, Насос НПЦ-32, Редуктор МРВ-2. Таблица «Изделия спецификаций» содержит конкретные изделия, входящие в группу, заданную полем «ID\_Групповой\_спецификации». Для насоса НПЦ-32 – это исполнения НПЦ.00.000, НПЦ.00.000-01, НПЦ.00.000-02, НПЦ.00.000-03 и т.д. Таблица «Содержание спецификации» содержит перечень деталей и сборочных единиц, из которых состоят изделия из таблицы «Изделия спецификаций». Если поле «ID\_Изделия\_родителя» не определено или ноль, то деталь постоянная, в противном случае деталь принадлежит изделию, заданному этим полем.

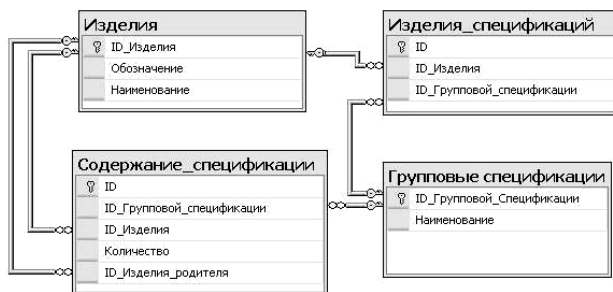


Рис. 5.9. ER-модель базы данных групповых спецификаций

**Групповая спецификация с полем принадлежности.** Рассмотренный способ составления групповой спецификации эффективен тогда, когда число изделий группы небольшое. Если, например, число изделий группы 100 и каждое изделие состоит из 100 деталей, и 90 деталей постоянных, то общее число записей групповой спецификации 1090. Между тем, оставшиеся переменные детали могут встречаться в нескольких изделиях. Например, для группы изделий, имеющих конструкторское обозначение 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.50, 700.200.01, 700.200.02, ..., 700.200.50, групповая спецификация может иметь следующий вид (табл. 5.14).

### 5.14. Групповая спецификация

Обозначение	Наименование	Количество
Постоянные детали		
700.400.01	Шестерня	2
700.500.00	Хвостовик	1
...	...	...
Переменные детали		
Детали, входящие в изделия 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.10		
700.300.01	Крышка	1
700.310.01	Прокладка	2
...	...	...
Детали, входящие в изделия 700.100.11, 700.100.12, ..., 700.100.20		
700.300.02	Крышка	1
700.310.02	Прокладка	2
...	...	...

В автоматизированной системе подготовки конструкторской документации предлагается в стандартную спецификацию добавить новую графу, которая будет определять принадлежность детали к тому или иному изделию. Запись в эту графу производится по следующим правилам.

Сначала каждой лексеме обозначения изделия даются имена. Например Z1, Z2 и т.д. Тогда обозначения изделий 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.50 записываются как Z1.Z2.Z3. Соответственно запись «0 < Z3 < 11 и Z2 = 100» обозначает изделия, у которых второе поле обозначения – 100, а третье больше нуля и меньше 11, т.е. изделия 700.100.01, 700.100.02, ..., 700.100.10. Запись «Z3 = 11 или Z3 = 15» обозначает изделия 700.100.11, 700.100.15, 700.200.11, 700.200.15. Таким образом, спецификация, представленная выше, примет вид (табл. 5.15).

### 5.15. Групповая спецификация с графой принадлежности

Обозначение	Наименование	Количество	Принадлежность
700.400.01	Шестерня	2	Постоянная
700.500.00	Хвостовик	1	Постоянная
...	...	...	...
700.300.01	Крышка	1	0 < Z3 < 11 и Z2 = 100
700.310.01	Прокладка	2	0 < Z3 < 11 и Z2 = 100
...	...	...	...
700.300.02	Крышка	1	10 < Z3 < 21 и Z2 = 100
700.310.02	Прокладка	2	10 < Z3 < 21 и Z2 = 100
...	...	...	...

На первый взгляд, составление спецификации в таком виде может показаться трудоёмким, однако эта спецификация не предназначена для ручного ввода. Ввод поля принадлежности в автоматизированной системе при наличии операции копирования или ввода по шаблону осуществляется нажатием всего одной клавиши. ER-модель базы данных в этом случае принимает вид, представленный на рис. 5.10.

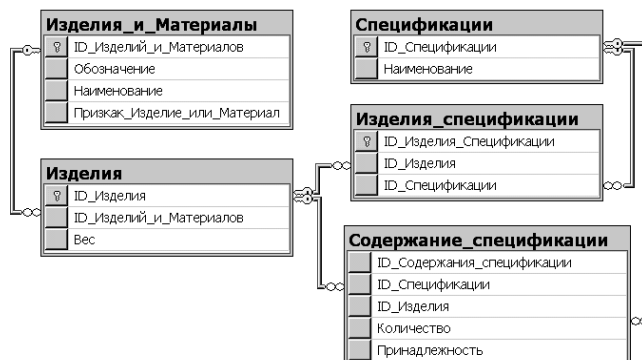


Рис. 5.10. ER-диаграмма спецификации с полем принадлежности

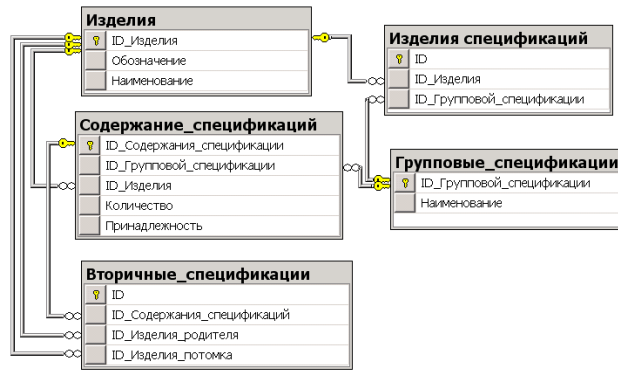


Рис. 5.11. ER-диаграмма групповой спецификации с полем принадлежности и вторичной спецификацией

Спецификация изделия в АСУП используется в алгоритмах разузлования при нормировании материалов, планировании работы цехов и т.д. Недостатком предложенного способа задания спецификации является необходимость обрабатывать текстовую строку поля принадлежности, что, несомненно, увеличит время работы алгоритма разузлования. Для больших изделий (с числом деталей несколько тысяч) можно использовать дополнительно таблицу «Вторичные спецификации» (рис. 5.11).

Записи этой таблицы создаются программно из таблиц «Содержание спецификаций» и «Изделия спецификаций» при вводе (удалении, редактировании) записей в таблицу «Содержание спецификаций». Таблица «Вторичные спецификации» содержит ID\_Изделия\_родителя и алгоритм разузлования может быть применен к ней. Поле ID\_Содержание\_спецификаций позволяет поддерживать таблицу «Вторичные спецификации» через таблицу «Содержание спецификаций».

**Спецификации с взаимозаменяемыми деталями.** В конструкции изделия достаточно часто на одну позицию спецификации закладывается несколько взаимозаменяемых деталей, которые могут влиять и на другие позиции дерева изделий. Обозначение изделия при этом не изменяется, а выбор конкретной детали при выполнении заказа для таких позиций может осуществляться диспетчерскими службами предприятия на основании имеющегося задела, остатков на складе (например, покупных комплектующих) и др. При этом условия взаимодействия таких переменных позиций задаются конструктором. На рисунке 5.12 представлено дерево изделия, в котором  $A_{jk}^i$  – деталь или сборочная единица  $i$ -й спецификации  $j$ -й позиции;  $k$  – номер варианта детали для позиций с взаимозаменяемыми деталями. Условия взаимозаменяемости следующие: если  $A_{41}^0$ , то  $A_{31}^1$  и  $A_{11}^2$ ;

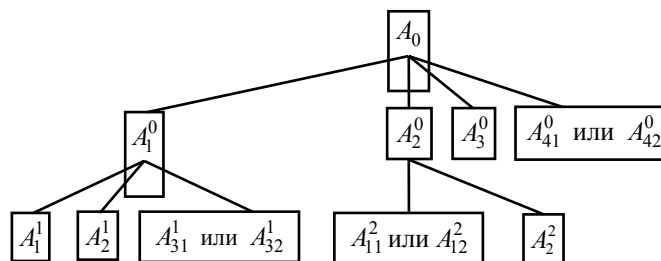


Рис. 5.12. Дерево изделия с взаимозаменяемыми деталями

если  $A_{42}^0$ , то  $A_{32}^1$  и  $A_{12}^2$ . Другие варианты исключены. Здесь сначала задаются детали верхнего уровня, но не исключается и вариант, когда сначала задаются детали нижнего уровня  $A_{11}^1$  и  $A_{21}^2$  или  $A_{12}^1$  и  $A_{22}^2$  и по ним выбираются  $A_{41}^0$  или  $A_{42}^0$ .

Для представления и обработки (разузлования) подобных спецификаций может быть использована структура, представленная на рис. 5.13.

В таблице «Содержание спецификаций» поле «Признак вариативности» принимает значение 0, если позиция спецификации не имеет взаимозаменяемых деталей, и 1 в противном случае. Если поле «Признак вариативности» имеет значение 0, то поле «ID\_Изделия» однозначно определяет позицию спецификации. Если поле «Признак вариативности» имеет значение 1, то поле «ID\_Изделия» не определено или определяет изделие, используемое по умолчанию.

Таблица «Варианты позиций» для одной позиции спецификации определяет несколько возможных значений. Выбор одного значения осуществляется с помощью поля «Условия применения», которое содержит логическое выражение, определяющее применение конкретного изделия. Например, для позиции  $A_3^1$  (рис. 5.12) могут использоваться  $A_{31}^1$  или  $A_{32}^1$ , причем  $A_{31}^1$  используется, когда в позиции  $A_4^0$  используется  $A_{41}^0$ . В этом случае в таблице «Варианты позиций» для позиции  $A_3^1$  будет две записи.



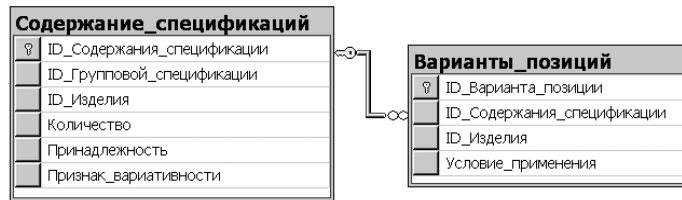


Рис. 5.13. ER-диаграмма спецификаций с взаимозаменяемыми деталями  
Вопросы для самопроверки

1. Основные элементы ёмкостных аппаратов.
2. Представление структуры ёмкостного аппарата в виде графа.
3. Представление структуры ёмкостного аппарата в виде И-ИЛИИ леса.
4. Основные элементы информационно-логической модели ёмкостного аппарата.
5. Модели параметров элементов ёмкостного аппарата.
6. Модель позиционирования элементов ёмкостного аппарата.
7. Подсистема механических расчётов ёмкостного аппарата.
8. Способы представления структуры изделия в реляционной базе данных.

## 6. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

### 6.1. Структура системы

Автоматизированная информационная интеллектуальная система (АИИС) для проектирования технологического оборудования базируется на процедурной модели процесса проектирования и информационно-логической модели проектируемого объекта и реализует следующие интеллектуальные функции:

- определение на основании данных технического задания структуры проектируемого объекта;
- определение параметров элементов проектируемого объекта;
- создание сборочных чертежей на основе автоматического позиционирования элементов в пространстве.

Базовые компоненты АИИС: математическое обеспечение, программное обеспечение, информационное обеспечение и информационные базы представлены на рис. 6.1.

Структура программного обеспечения и информационных баз АИИС представлена на рис. 6.2. Программное обеспечение системы состоит из управляющей программы, реализующей процедурную модель (FM), представленную в разделе 2, отдельных исполнительных модулей, выполняющих конкретные задачи проектирования и необходимых при проектировании баз данных и баз знаний.

Управляющая программа в автоматизированном режиме вызывает модуль, выполняющий определенный этап проектирования. Лицо, принимающее решения (ЛПР), которыми являются конструктор и технолог имеет возможность корректировки результатов работы системы на различных этапах проектирования.

Обмен данными между модулями осуществляется при помощи информационных баз, включающих в себя базы данных свойств веществ и конструкционных материалов, стандартных элементов, 3D параметрических элементов и 2D параметрических чертежей, результаты работы отдельных модулей (база проекта) и базу правил (в представленной работе правила и зависимости  $Y^e, Y^t, Y^k, Y^s, Y^b, Y^{pp}, Y^{pe}, Y^r$ , описанные в разделе 3).



Рис. 6.1. Базовые компоненты АИИС для проектирования технологического оборудования



**Рис. 6.2. Структура программного и информационного обеспечения автоматизированной информационной интеллектуальной системы для проектирования технологического оборудования**

База данных системы автоматизированного проектирования емкостного оборудования  $BD = \{BV, BM, BSi\}$  содержит:

$BV$  – база веществ, представляет собой двойку  $BV = \{BVN, BVS\}$ , где  $BVN$  – множество наименований веществ;  $BVS$  – множество их свойств.

$BVS = \{BVS_1, BVS_2, BVS_3\}$ , где  $BVS_1$  – химические свойства веществ, например, химический состав, коррозионная активность, взаимодействие с водой, воздухом и др.;  $BVS_2$  – физические свойства (агрегатное состояние, плотность, вязкость и др.);  $BVS_3$  – другие свойства, например, такие как склонность к налипанию осадка.

$BM$  – база конструкционных материалов.  $BM = \{BMN, BMS, BMP, BMPS\}$ , где  $BMN$  – множество наименований конструкционных материалов;

$BMS = \{BMS_1, BMS_2, BMS_3\}$  – множество свойств конструкционных материалов, где  $BMS_1$  – множество химических свойств материалов;  $BMS_2$  – множество физических свойств;  $BMS_3$  – механические характеристики.

$BMP$  – множество состояний поставки для каждого из  $BMN$ .

$BMPS$  – множество свойств для каждого  $BMP$ .  $BMPS = \{BMPS_1, BMPS_2, BMPS_3\}$ , где  $BMPS_1$  – геометрические характеристики материала (толщина, ширина и длина листа, размеры поковки, шероховатость поверхности и др.);  $BMPS_2$  – механические характеристики материала;  $BMPS_3$  – состояние материала (термообработанное, нормализованное, нагартованное, травленое и др.).

$BSi$  – база стандартных изделий  $BSi = \{RBSi, TBSi, GBSi\}$  включает:  $RBSi$  – реляционную базу стандартных изделий;  $TBSi$  – текстовые документы (паспорт, инструкции по технике безопасности);  $GBSi$  – графическую информацию, включая 3D модели стандартных элементов технологического оборудования.

Методологическая основа реляционной базы стандартных изделий ( $RBSi$ ) характеризуется выражением «Объект-свойство-значение».  $RBSi$  представляет собой двойку:  $RBSi = \{Si, S\}$ , где  $Si$  – единицы стандартных изделий;  $S = \{S_1, S_2, S_3\}$  – свойства (характеристики) стандартных изделий;  $S_1 = \{s_1\}$  – общие свойства (наименование, тип, типоразмер);  $S_2 = \{s_2\}$  – технические характеристики (мощность, число оборотов мотор-редуктора, грузоподъемность подшипника, допустимая нагрузка на опору),  $S_3 = \{s_3\}$  – конструкционные параметры (геометрические размеры, материал)

## 6.2. Элементы автоматизированной информационной интеллектуальной системы для проектирования технологического оборудования

Ниже представлено описание некоторых элементов АИИС РИК-ХИМ, разрабатываемой в Тамбовском государственном техническом университете на кафедре «Автоматизированное проектирование технологического оборудования».

Разработаны следующие элементы АИИС проектирования технологического оборудования:

- прототипы экспертных систем: определения структуры ёмкостного аппарата, выбора типа и исполнения стойки и типа уплотнительного устройства привода ёмкостного аппарата;

- база параметрических 3D моделей элементов технологического оборудования.

- программы и электронные книги механических расчетов элементов технологического оборудования и программа гидромеханического расчёта вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами, выполненные в соответствии с действующей нормативной документацией;

- база типоразмеров стандартных изделий, включающая: крепёжные изделия, подшипники качения, фланцы для сосудов и аппаратов, прокладки для фланцев сосудов и аппаратов, фланцы для трубопроводов, рубашки сосудов и аппаратов, обечайки и днища ёмкостных аппаратов, мешалки ёмкостных аппаратов, опорные и строповые элементы, уплотнения валов аппаратов с перемешивающими устройствами, соединительные устройства валов аппаратов с перемешивающими устройствами, стойки вертикальных приводов аппаратов с перемешивающими устройствами;

- база свойств материалов.

**Прототипы экспертных систем.** Разработаны прототипы экспертных систем: экспертная система определения структуры ёмкостного аппарата, экспертная система выбора типа и исполнения стойки и типа уплотнительного устройства привода ёмкостного аппарата. Прототипы экспертных систем основаны на правилах вида IF/THEN, содержащихся в модели структуры и модели параметров ёмкостного аппарата, приведенных в главе 3.

Экспертные системы созданы на базе оболочки Exsys CORVID и в дальнейшем генерируются в HTML страницы.

**Программа расчёта валов перемешивающих устройств** [22]. Программа предназначена для расчёта на виброустойчивость, жёсткость, прочность и усталостную прочность вертикальных валов перемешивающих устройств, применяемых в аппаратах по ГОСТ 20680–75 или вертикальных жёстких валов перемешивающих устройств горизонтальных аппаратов. Расчёт производится в соответствии с РД РТМ 26-01-72–82 «Валы вертикальные ёмкостных аппаратов с перемешивающими устройствами. Методы расчёта» для гибких и жёстких консольных и однопролетных валов постоянного и переменного сечения, установленных по центру или эксцентрично относительно оси аппарата, с учётом или без учёта гидродинамической силы.

Основными результатами расчёта являются:

- значение диаметра поперечного сечения валов постоянного сечения, удовлетворяющего условию виброустойчивости;
- проверка выполнения условий виброустойчивости, жёсткости и прочности для валов постоянного и переменного сечения;
- построение эпюр динамических отклонений оси вала;
- построение эпюр изгибающих и крутящих моментов вдоль оси вала;
- построение эпюр эквивалентных напряжений в сечении вала вдоль его оси.

**Программа расчёта фланцев** [23]. Основные функции программы:

- расчёт фланцевых соединений по РД 26-15–88 «Расчёт фланцевых соединений ёмкостных стальных аппаратов»;
- проектирование нестандартных фланцев;
- оптимизация размеров нестандартных фланцев.

В соответствии с РД 26-15–88 для плоских приварных, приварных встык и свободных фланцев в программе реализованы расчёты на прочность болтов и втулки фланца, расчёт прокладки и расчёт фланцевого соединения на герметичность.

Оптимизация размеров нестандартных фланцев осуществляется по критерию металлоёмкости. При этом должны соблюдаться необходимые условия прочности и герметичности фланцевого соединения.

Совместно с расчётным модулем предлагается база данных содержащая: необходимые для расчёта физико-механические характеристики сталей, используемые для изготовления элементов фланцев (предел прочности, коэффициент линейного расширения, предел текучести и модуль продольной упругости); типоразмеры фланцев по ГОСТ и ОСТ; типоразмеры крепежных элементов, используемых во фланцевых соединениях аппаратов; 3D модели плоских приварных, приварных встык и свободных фланцев с плоской уплотнительной поверхностью, поверхностями шип-паз и выступ-впадина.

**Электронные книги в формате MSAD.** В настоящее время в виде электронных книг представлены следующие методы расчёта элементов технологического оборудования [27]:

1. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность (ГОСТ 14249–89).
2. Сосуды с рубашками. Нормы и методы расчёта на прочность. ГОСТ 25867–83 (СТ СЭВ 3650–82).
3. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность и герметичность фланцевых соединений (РД 26-15–88).
4. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность укрепления отверстия (ГОСТ 24755–89).
5. Сосуды и аппараты эмалированные. Нормы и методы расчёта на прочность. ОСТ 26-01-949–80.
6. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. ГОСТ 26202–84 (СТ СЭВ 2574–80).
7. Сосуды и аппараты стальные. Нормы и методы расчёта на прочность при малоцикловых нагрузках (ГОСТ 25859–83).
8. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчёта на прочность ГОСТ 24757–81 (СТ СЭВ1645–79).
9. Сосуды и аппараты. Определение расчётных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых и сейсмических воздействий (ГОСТ 24756–81).
10. Сосуды и аппараты из титана. Нормы и методы расчёта на прочность РД 24.200.17–90.
11. Расчёт валов вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами (РДРТМ 26-01-72–82).
12. Сосуды и аппараты. Чугунные нормы и методы расчёта на прочность ГОСТ 26159-84–90.
13. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность элементов теплообменных аппаратов (РД 26-14–88).
14. Механический расчёт элементов аппаратов барабанного типа.
15. Гидродинамический и тепловой расчёт вертикальных аппаратов с перемешивающими устройствами (РД 26-01-90–85).
16. Технологический расчёт насадочной ректификационной колонны непрерывного действия для разделения бинарных смесей в плёночном гидродинамическом режиме работы.
17. Технологический расчёт теплообменной аппаратуры.

**База свойств материалов.** Разработана база физико-механических свойств металлов и химических веществ, позволяющая получать следующие сведения о металлах: допускаемое напряжение, модуль продольной упругости, коэффициент сопротивления, коэффициент теплопроводности, удельная теплоёмкость, коррозионная стойкость в различных средах и другие свойства.

**База типоразмеров стандартных изделий** содержит чертежи и значения геометрических и эксплуатационных характеристик следующих основных элементов технологического оборудования: крепёжные элементы, подшипники качения и скольжения, фланцы, опоры, перемешивающие устройства, тарелки ректификационных аппаратов и другие элементы, на которые имеется ГОСТ или ОСТ.

**База параметрических 3D моделей элементов.** Разработана база параметрических моделей элементов ёмкостных аппаратов. База, выполненная в системе проектирования «КОМПАС», предназначена для создания моделей сборок различных типовых аппаратов.

База моделей состоит из двух частей:

- база параметрических 3D моделей элементов;
- база чертежей с обозначениями параметров соответствующих моделей элементов.

В базу включены модели следующих типов элементов: обечайки (конические и цилиндрические); днища (сферические, конические, плоские, эллиптические); опоры вертикальных аппаратов (опоры-лапы, опоры-стойки); опоры горизонтальных аппаратов; опоры колонных аппаратов; строповые устройства; фланцы (плоские приварные, приварные встык, под прокладку восьмиугольного сечения); прокладки; муфты; стойки перемешивающих устройств; перемешивающие устройства.

#### **Вопросы для самопроверки**

1. Базовые компоненты АИИС для проектирования технологического оборудования.
2. Структура программного и информационного обеспечения АИИС для проектирования технологического оборудования.
3. База данных системы автоматизированного проектирования ёмкостного оборудования.
4. Элементы системы автоматизированного проектирования технологического оборудования.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В учебном пособии рассмотрены следующие элементы математического и программного обеспечения интеллектуальных информационных систем проектирования технологического оборудования:

- процедурная модель процесса проектирования технологического оборудования, описывающая процесс проектирования от получения исходных данных до выдачи рабочей документации;
- информационно-логическая модель технического объекта на абстрактном уровне и на объектном;
- информационно-логическая модель ёмкостного аппарата, описывающая его элементы, связи между параметрами элементов, включая и взаимное расположение элементов в пространстве, позволяющая генерировать законченный вариант конструкции аппарата;
- продукционно-фреймовое представление на абстрактном уровне и на объектном уровне (на примере ёмкостного аппарата), позволяющее представить информационно-логическую модель технического объекта в памяти ЭВМ;
- способы представления структуры изделия в реляционной базе данных;
- программное обеспечение интеллектуальной информационной системы проектирования технологического оборудования.

Изложенный материал предназначен для студентов и проектировщиков, занимающихся разработкой информационных систем проектирования технологического оборудования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амиров, Ю.Д. Основы конструирования: творчество–стандартизация–экономика : справочное пособие / Ю.Д. Амиров. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 392 с.
2. Ахремчик, О.Л. Эвристические приемы проектирования локальных систем автоматизации : монография / О.Л. Ахремчик. – Тверь : ТГТУ, 2006. – 160 с.
3. Балабуев, П.В. Глобальная информатизация – прорыв информационных (компьютерных) технологий / П.В. Балабуев // Информационные технологии в наукоемком машиностроении. – Киев : Техника, 2001. – С. 64 – 83.
4. Волкова, Г.Д. Проектирование прикладных автоматизированных систем в машиностроении : учебное пособие / Г.Д. Волкова, О.В. Новосёлова, Е.Г. Семячкова. – М. : МГТУ «Станкин», 2002. – 162 с.
5. Волкова, Г.Д. Развитие теоретических основ концептуального моделирования как основы представления проектно-конструкторских знаний / Г.Д. Волкова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 5 (11). – С. 21 – 26.
6. Гаврилова, Т.А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т.А. Гаврилова, К.Р. Червинская. – М. : Радио и связь, 1992. – 199 с.
7. Гладков, Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
8. Гордеев, Л.С. Интегрированная экспертная система для организации многоассортиментных химических производств / Л.С. Гордеев, М.А. Козлова, В.В. Макаров // Теоретические основы химической технологии. – 1998. – Т. 32. – № 3. – С. 322 – 332.
9. ГОСТ 23501.101–87 – Системы автоматизированного проектирования. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 1987.
10. Евгеньев, Г.Б. Объектно-ориентированный анализ и проектирование в машиностроении / Г.Б. Евгеньев // Информационные технологии. – 2003. – № 7. – С. 2 – 7.
11. Зыков, А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. – М. : Наука, 1987. – 384 с.
12. Иноземцев, А.Н. Применение экспертных систем в задачах классификации машиностроительных деталей / А.Н. Иноземцев, Д.И. Троицкий, Н.П. Шишкова, М.В. Новикова // Информационные технологии. – 2002. – № 6. – С. 36 – 39.
13. Кафаров, В.В. Анализ и синтез ХТС / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин. – М. : Химия, 1991. – 370 с.
14. Кафаров, В.В. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств: Методология проектирования и теория разработки оптимальных технологических схем / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин, В.Л. Перов. – М. : Химия, 1979. – 320 с.
15. Кафаров, В.В. Основы автоматизированного проектирования химических производств / В.В. Кафаров, В.Н. Ветохин. – М. : Наука, 1987. – 624 с.
16. Колчин, А.Ф. Управление жизненным циклом продукции / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников и [и др.]. – М. : Анахарсис, 2002. – 304 с.
17. Курейчик, В.М. Эволюционные алгоритмы: генетическое программирование. Обзор / В.М. Курейчик, С.И. Родзин // Известия РАН. ТИСУ. – 2002. – № 1. – С. 127 – 137.
18. Лацинский, А.А. Основы конструирования и расчёта химической аппаратуры : справочник / А.А. Лацинский, А.Р. Толчинский. – М. : МАШГИЗ, 1970 – 752 с.
19. Малыгин, Е.Н. Методология определения аппаратурного оформления многоассортиментных химических производств / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, Е.Н. Туголуков // Химическая промышленность. – 2004. – № 3. – С. 148 – 156.
20. Малыгин, Е.Н. Проектирование гибких производственных систем в химической промышленности / Е.Н. Малыгин, С.В. Мищенко // Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1987. – Т. 32. – № 3. – С. 293 – 300.
21. Малыгин, Е.Н. Система автоматизированного расчёта и конструирования химического оборудования / Е.Н. Малыгин, С.В. Карпушкин, М.Н. Краснянский, В.Г. Мокрозуб // Информационные технологии. – 2000. – № 12. – С. 19 – 21, 4-я стр. обложки.
22. Мариковская, М.П. Расчёт валов вертикальных ёмкостных аппаратов с перемешивающими устройствами (Программа зарегистрирована в отраслевом фонде алгоритмов и программ № 7418) / М.П. Мариковская, В.Г. Мокрозуб, В.Е. Красильников. – М. : ВНИИЦ, 2007. – № 50200700035.
23. Мариковская, М.П. Расчёт фланцевых соединений ёмкостных стальных аппаратов (Программа зарегистрирована в отраслевом фонде алгоритмов и программ № 6895) / М.П. Мариковская, В.Е. Красильников, В.Г. Мокрозуб. – М. : ВНИИЦ, 2006. – № 50200601654.
24. Мешалкин, В.П. Экспертные системы в химической технологии. Основы теории, опыт разработки и применения / В.П. Мешалкин. – М. : Химия, 1995. – 368 с.
25. Мокрозуб, В.Г. Разработка информационной системы автоматизированного проектирования технологических объектов на примере ёмкостного аппарата / В.Г. Мокрозуб, М.П. Мариковская, В.Е. Красильников // Вестник Тамбовского университета. – 2006. – № 3. – Т. 11. – С. 314 – 316.
26. Мокрозуб, В.Г. Методологические основы построения автоматизированной информационной системы проектирования технологического оборудования / В.Г. Мокрозуб, М.П. Мариковская, В.Е. Красильников // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 1.2 (27). – С. 259 – 262.
27. Мокрозуб, В.Г. Механические расчёты элементов химического оборудования (Программа зарегистрирована в отраслевом фонде алгоритмов и программ № 91250) / В.Г. Мокрозуб. – М. : ВНИИЦ, 2007. – № 50200702125.

28. Мокрозуб, В.Г. Интеллектуальная автоматизированная система проектирования химического оборудования / В.Г. Мокрозуб, М.П. Мариковская, В.Е. Красильников // Системы управления и информационные технологии. – 2007. – № 4.2 (30). – С. 264 – 267.
29. Норенков И.П., Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков. – М. : МГТУ им. Баумана, 2006. – 448 с.
30. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоёмких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М. : МГТУ им. Баумана, 2002. – 320 с.
31. Основы конструирования и расчёта химико-технологического и природоохранного оборудования : справочник / под ред. А.С. Тимонина. – М. : Мир, 2002. – Т.3. – 968 с.
32. ОСТ 26-291–94. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1994.
33. Островский, Т.М. Оптимизация химико-технологических процессов. Теория и практика / Т.М. Островский, Т.А. Бережинский. – М. : Химия, 1984. – 240 с.
34. Павлов, В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях / В.В. Павлов ; отв. ред. Ю.М. Соломенцев; Институт конструкторско-технологической информатики РАН. – М. : Наука, 2006. – 307 с.
35. Петров, В.Н. Информационные системы / В.Н. Петров. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.
36. Половинкин, А.И. Автоматизация поискового конструирования (искусственный интеллект в машинном проектировании) / А.И. Половинкин, Н.К. Бобков, Г.Я. Буш. – М. : Радио и связь, 1981. – 83 с.
37. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества / А.И. Половинкин. – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
38. Соломенцев, Ю.М. Автоматизированное проектирование и производство в машиностроении / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, А.Ф. Прохоров [и др.] ; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева, В.Г. Митрофанова. – М. : Машиностроение, 1986. – 256 с.
39. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, Л.В. Рыбаков. – М. : Наука, 2003. – 292 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ПУТИ ИХ РАЗВИТИЯ .....	4
<b>Вопросы для самопроверки</b> .....	8
2. ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	8
<b>2.1. Методология проектирования технологического         оборудования</b> .....	8
<b>2.2. Информационный анализ конструкции и процесса         проектирования технологического оборудования</b> .....	12
<b>2.3. Процедурная модель процесса проектирования         технологического оборудования</b> .....	17
<b>Вопросы для самопроверки</b> .....	21
3. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА .....	22
<b>Вопросы для самопроверки</b> .....	25
4. ПРОДУКЦИОННО-ФРЕЙМОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЪЕКТЕ .....	25
<b>Вопросы для самопроверки</b> .....	27
5. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЁМКОСТНОГО АППАРАТА .....	28
<b>5.1. Описание элементов ёмкостных аппаратов</b> .....	28
<b>5.2. Информационный анализ конструкции ёмкостных         аппаратов</b> .....	34
<b>5.3. Информационно-логическая модель ёмкостного         аппарата</b> .....	37
5.3.1. Множество элементов ёмкостного аппарата .....	37
5.3.2. Модель структуры ёмкостного аппарата .....	40
5.3.3. Модель параметров элементов ёмкостного аппарата .....	45
5.3.4. Модель позиционирования элементов ёмкостного аппарата в пространстве .....	48
<b>5.4. Продукционно-фреймовое представление информации         о ёмкостном аппарате</b> .....	53
5.4.1. Продукционно-фреймовое представление модели структуры ёмкостного аппарата .....	53
5.4.2. Продукционно-фреймовое представление модели параметров элементов ёмкостного аппарата .....	57
<b>5.5. Подсистема механических расчётов</b> .....	58
<b>5.6. Способы представления структуры изделия         в реляционной базе данных</b> .....	63
<b>Вопросы для самопроверки</b> .....	69
6. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	69

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	
<b>6.1. Структура системы .....</b>	<b>69</b>
<b>6.2. Элементы автоматизированной информационной интеллектуальной системы для проектирования технологического оборудования .....</b>	<b>71</b>
<b>Вопросы для самопроверки .....</b>	<b>74</b>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	75
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	76