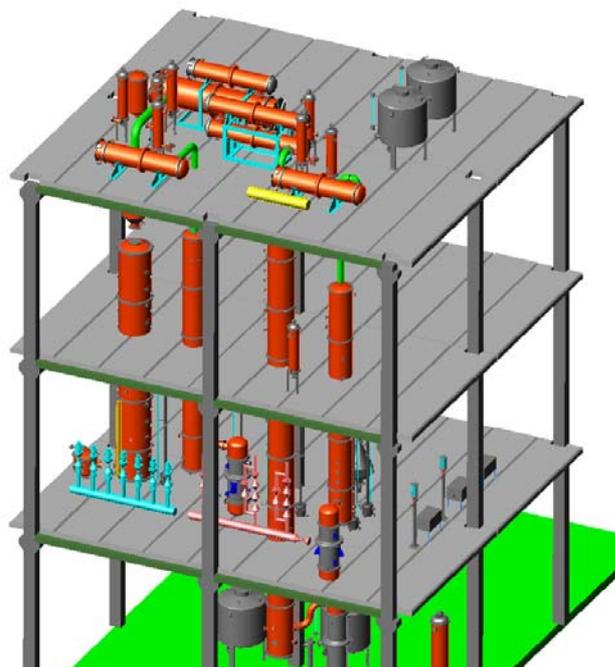


**Е.Н. МАЛЫГИН, С.Я. ЕГОРОВ,  
В.А. НЕМТИНОВ, М.С. ГРОМОВ**

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ КОМ-  
ПОНОВОК ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ**

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

**Е.Н. МАЛЫГИН, С.Я. ЕГОРОВ,  
В.А. НЕМТИНОВ, М.С. ГРОМОВ**

**ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И  
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ КОМПОНОВОК  
ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ**

Допущено учебно-методическим объединением по образованию  
в области химической технологии и биотехнологии  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений, обучающихся по специальности  
"Машины и аппараты химических производств"



---

Тамбов  
Издательство ТГТУ  
2006

ББК Н761.204.4я73  
УДК 66.023(075)  
М20

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор  
кафедры компьютерно-интегрированных систем  
в химической технологии РХТУ им. Д.И. Менделеева  
*Т.В. Савицкая*

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой компьютерного и математического  
моделирования ИМФИ ТГУ им. Г.Р. Державина  
*А.А. Арзамасцев*

**Малыгин, Е.Н.**

М20 Информационный анализ и автоматизированное проектирование трехмерных компоновок оборудования химико-технологических схем : учебное пособие / Е.Н. Малыгин, С.Я. Егоров, В.А. Немтинов, М.С. Громов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 128 с. – 100 экз. – ISBN 5-8265-0516-8.

Рассмотрены вопросы автоматизированного проектирования наиболее сложного и трудоемкого этапа проектирования химических производств – этапа определения рациональной компоновки производства, включающего в себя

определение конфигурации и размеров цеха, а также оптимального расположения в нем оборудования ХТС, трасс трубопроводов и трубопроводной арматуры.

Предназначено для подготовки специалистов по направлению 240800 при изучении дисциплины "Гибкие автоматизированные производственные системы в химической технологии", студентов высших учебных заведений, магистров и аспирантов по специальности 240801 "Машины и аппараты химических производств: компьютерная графика; конструирование машин и аппаратов; гибкие автоматизированные системы".

ББК Н761.204.4я73  
УДК 66.023(075)

**ISBN 5-8265-0516-8**

© Малыгин Е.Н., Егоров С.Я.,  
Немтинов В.А., Громов М.С., 2006  
© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2006

Учебное издание

МАЛЫГИН Евгений Николаевич,  
ЕГОРОВ Сергей Яковлевич,  
НЕМТИНОВ Владимир Алексеевич,  
ГРОМОВ Максим Сергеевич

## ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ КОМПОНОВОК ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Учебное пособие

Редактор Е.С. Мордасова

Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 18.10.2006

Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
7,42 уч.-изд. л. Тираж 100 экз. Заказ № 558

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ .....	6
1.1. Роль и место этапа компоновки оборудования в общей задаче проектирования химических производств .....	7
1.2. Монтажно-технологическая документация проекта .....	9
1.3. Факторы, влияющие на компоновку оборудования .....	17
1.3.1. Выбор типа конструкции цеха и влияние его на компоновку оборудования .....	18
1.3.2. Способы транспортировки веществ и их влияние на компоновку оборудования .....	21
1.3.3. Основные правила и требования, предъявляемые к компоновке оборудования .....	23
1.4. Современные системы автоматизированного проектирования компоновки оборудования .....	27
2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В МНОГОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ .....	30
2.1. Постановка задачи оптимальной компоновки оборудования химико-технологических схем .....	31
2.1.1. Математическая модель проектного решения задачи размещения оборудования ХТС .....	33
2.1.2. Методы и алгоритмы решения задач размещения .....	36
2.1.3. Алгоритм решения задачи размещения .....	38
2.2. Постановка задачи оптимальной трассировки трубопроводов химико-технологических схем .....	39
2.2.1. Математическая модель проектного решения задачи трассировки .....	39
2.2.2. Методы и алгоритмы трассировки трубопроводов .....	40
2.2.3. Алгоритм решения задачи трассировки трубопроводов .....	41
3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА .....	46
3.1. Постановка задачи оптимального размещения оборудования химико-технологических схем в цехах ангарного типа .....	46
3.1.1. Математическая модель задачи размещения оборудования ХТС в цехах ангарного типа .....	51
3.1.2. Алгоритм решения задачи размещения оборудования ХТС в цехах ангарного типа .....	53
3.2. Постановка задачи оптимальной трассировки трубопроводов химико-технологических схем .....	56
3.2.1. Математическая модель задачи трассировки трубопроводов ХТС в цехах ангарного типа .....	56
3.2.2. Алгоритм трассировки трубопроводов .....	61
4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ И ДЕТАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ТРУБОПРОВОДОВ .....	67
4.1. Постановка задачи оптимального выбора трубопроводной арматуры .....	70
4.2. Алгоритм решения задачи выбора трубопроводной арматуры .....	71
5. ИНФОРМАЦИОННО-ГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТРЕХМЕРНОЙ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ .....	77
5.1. Описание структуры системы компоновки оборудования химико-технологических схем .....	77
5.2. Примеры компоновки оборудования в многоэтажных .....	79

производственных помещениях и в цехах аграрного типа .....	
5.3. Пример детализации проекта трубопроводов .....	81
5.4. Пример выполнения лабораторной работы .....	83
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	88
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	93

## ВВЕДЕНИЕ

---

---

Одним из перспективных направлений повышения эффективности функционирования химических производств, в том числе производств с гибкой технологией (производства кино-фотоматериалов, лекарственных препаратов, красителей и добавок к материалам), является интенсификация использования средств вычислительной техники в процессе проектирования. В частности это касается этапа компоновки оборудования. Ряд отличительных особенностей производств данного класса: периодичность технологии, многостадийность и многоассортиментность производств, сложность химических реакций, широкое использование самотека материальных потоков, совмещенность наработки различных продуктов на одном технологическом оборудовании делают этот этап одним из самых трудоемких в процессе проектирования.

Выбор оптимальных объемно-планировочных решений по компоновке оборудования невозможен традиционными ручными методами. Повышение качества проектных работ с одновременным сокращением сроков проектирования возможно только на основе широкого использования современной вычислительной техники в процессе поиска оптимальных проектных решений, что в свою очередь невозможно без разработки моделей, методов и алгоритмов для решения соответствующих задач.

Кроме того, решение задач компоновки требует наличия обширной базы данных, содержащей справочную информацию о конструктивных решениях оборудования, используемого в производствах данного класса, а также информацию о типоразмерах труб и трубопроводной арматуре, что в свою очередь усложняет поиск оптимальных проектных решений.

В учебном пособии рассмотрены вопросы автоматизированного проектирования наиболее сложного и трудоемкого этапа проектирования химических производств – этапа определения рациональной компоновки производства, включающего в себя определение размеров цеха, а также оптимального расположения в нем оборудования ХТС и трасс трубопроводов. Овладение студентами основами автоматизированного проектирования химических объектов поможет им применить полученные знания в реальной работе на производстве.

# 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Проектирование химических производств – творческий, сложный, многообразный и трудоемкий процесс поиска оптимальных инженерно-технических решений в условиях неполной информации, представляющий собой взаимосвязанную совокупность нескольких организационных и инженерно-технических стадий [36].

Проектирование новых производств осуществляют на основе решений, принятых в утвержденных технико-экономических обоснованиях (ТЭО) или технико-экономических расчетах (ТЭР), в две организационные стадии: проект; рабочая документация или рабочие чертежи. Проектирование тиражируемых объектов выполняют, как правило, в одну стадию – рабочий проект.

Проектирование химических производств включает две взаимосвязанные инженерно-технические стадии: 1) технологическое или функциональное проектирование; 2) конструкционное или монтажно-техническое проектирование.

В проекте подробно разрабатывают основные технические решения, принятые в техническом задании (ТЗ) на проектирование, в ТЭО (ТЭР) и в технологическом регламенте (ТР). Для проектируемого производства определяют его технико-экономические показатели и его сметную стоимость. В результате создания проекта разрабатывают технологическую схему производства; выбирают и рассчитывают все виды оборудования; составляют калькуляцию себестоимости готовой продукции и сметы на строительство проектируемого объекта; разрабатывают проекты вспомогательных сооружений.

В рабочем проекте определяют окончательные формы и размеры оборудования; осуществляют объемно-планировочное решение производства; разрабатывают всю техническую документацию по которой ведется изготовление оборудования, монтаж и строительство объекта.

Основными задачами технологического или функционального проектирования химических производств являются: обоснование района строительства производства; разработка оптимальной технологической схемы; определение оптимальных технологических и конструкционных параметров аппаратов, а также выбор оптимальных технологических режимов, которые обеспечивают на спроектированном объекте выпуск заданного количества химических продуктов в соответствии со стандартами и технологическими условиями. Кроме того, на стадии технологического проектирования разрабатывают принципы автоматического управления отдельными процессами и производством в целом, а также методы аналитического контроля химико-технологических процессов.

Задачи технологического проектирования решают инженеры-технологи в основном при создании проекта.

Основные задачи конструкционного или монтажно-технического проектирования: выбор оптимального объемно-планировочного решения (компоновка) производства; выбор и разработка конструкций и чертежей технологического оборудования; оптимальное размещение оборудования в заданном объеме (или с его определением) производства; выбор конструкций и разработка трасс и чертежей технологических трубопроводов и инженерно-транспортных коммуникаций; разработка чертежей производственных и жилищно-хозяйственных зданий, а также составление монтажно-технологической документации, необходимой для строительства и пуска в эксплуатацию проектируемого объекта.

Компоновка, или объемно-планировочное решение производства – операция конструкционного проектирования химического производства, в результате которой определяют состав производственных помещений, их размеры и рациональное взаимное расположение, а также выполняют в определенном масштабе чертежи поэтажных планов и разрезов.

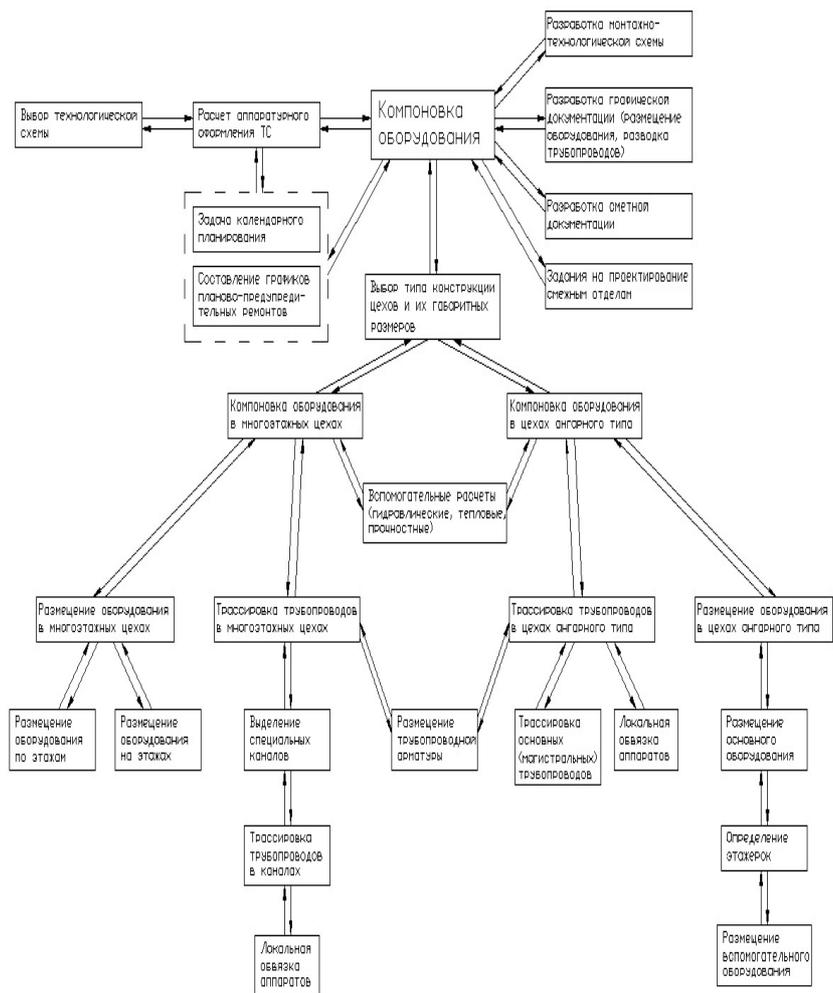
Важной операцией конструкционного проектирования является монтажная проработка производства, в результате которой решаются задачи размещения оборудования и трассировки внутрицеховых трубопроводов, создаются чертежи всех технологических трубопроводов и чертежи трубопроводной обвязки технологического оборудования проектируемого производства.

Задачи конструкционного проектирования решают инженеры различных специальностей (механики, конструкторы, строители, энергетики, электрики, сантехники, экономисты и др.) при активном творческом сотрудничестве с инженерами-технологами.

## 1.1. РОЛЬ И МЕСТО ЭТАПА КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ В ОБЩЕЙ ЗАДАЧЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Как было отмечено выше, задача нахождения оптимального варианта объемно-планировочных решений при проектировании производств является одной из наиболее трудоемких. Причем нахождение оптимального варианта предусматривает выбор наилучшего с точки зрения того или иного критерия отбора из всех допустимых, но на практике часто оказывается проблематичным найти хотя бы одно или несколько допустимых решений задачи в связи с множеством ограничений. Задачи компоновки технологического оборудования и трассировки технологических трубопроводов тесно связаны со многими задачами, входящими в общую цепочку проектирования производств (рис. 1.1).

Так, для задач компоновки технологического оборудования и трассировки трубопроводов исходными данными являются результаты решения задач синтеза технологической схемы и расчета аппаратурного оформления, полученные на предшествующих этапах.



**Рис. 1.1. Место этапа компоновки оборудования при проектировании химических производств**

Выходными данными после решения задачи компоновки являются габаритные размеры цехов, координаты расположения оборудования и конфигурация трубопроводов, конфигурация площадок обслуживания и этажей, а также расположение трубопроводной арматуры и контрольно-измерительных приборов. На основании этих данных разрабатывается монтажно-технологическая схема, электротехническая часть проекта, части водопровода и канализации, отопления и вентиляции, архитектурно-строительной части и др.

При решении задачи компоновки технологического оборудования необходимо обеспечить условия функционирования технологической схемы, что в основном сводится к обеспечению транспортировки материальных потоков, а также условия монтажа и обслуживания оборудования и трубопроводов. Это обстоятельство делает особенно важными для решения задачи компоновки технологического оборудования вспомогательные расчеты, такие как гидравлические, прочностные и тепловые.

Гидравлические расчеты необходимы для выбора способа транспорта или оценки возможности транспортировки материальных потоков заданным способом (самотек, перекачивание, насос), а также непосредственно для подбора насосов или компрессоров. Задача расчета технологических трубопроводов широко рассматривается в работах [36, 38, 45, 47].

Прочностные и тепловые расчеты необходимы для проверки трубопроводов на прочность при нагрузках от тепловых перепадов, подбора тепловой изоляции, определения тепловыделений в производственные помещения, подбора опор и крепежа для трубопроводов, расчета металлоконструкций под аппараты и т.д.

## 1.2. МОНТАЖНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПРОЕКТА

Монтажно-технологическая документация проекта включает в себя ряд текстовых и графических документов, разрабатываемых в процессе выполнения проекта.

Основными исходными данными для разработки монтажно-технологической части проекта являются:

- а) техническая записка;
- б) технологическая схема.

Выходные текстовые документы включают:

- а) спецификацию технологического оборудования по ГОСТ 21.110–95 [11];
- б) ведомость трубопроводов (ТП), с характеристикой по участкам по ГОСТ 21.401–88 [12];
- в) сводные спецификации ТП, арматуры и деталей ТП по ГОСТ 21.109–80 [23];
- г) монтажно-пояснительную записку (расчеты и пояснения);

д) сметную документацию.

В состав выходной графической документации входят:

- а) компоновочные чертежи производства;
- б) монтажно-технологическая схема (МТС);
- в) монтажные чертежи (МЧ);
- г) детализовочные чертежи;
- д) чертежи неметаллических трубопроводов;
- е) эскизы креплений трубопроводов;
- ж) установочные чертежи;
- з) заглавный лист.

**Техническая записка (ТЗ)** – служит основным источником сведений для проектирования монтажно-технологической документации.

В основных разделах ТЗ содержатся сведения:

- о способе получения целевого продукта;
- о размерах материальных и энергетических потоков;
- о физических и химических свойствах веществ;
- о характеристиках веществ по их токсичности, взрыво- и пожароопасности;
- об оптимальных параметрах технологического режима и методах их стабилизации.

На основе этих сведений и заданной производительности рассчитывают основное и вспомогательное оборудование. Результаты расчетов помещают в раздел "Расчет и выбор технологического оборудования".

Из расчета емкостного оборудования проектировщик узнает: объем аппарата; теплопередающую поверхность греющих элементов; тип и характеристику перемешивающих устройств. Если это существенно, приводится указание о желаемом соотношении между высотой (длиной) аппарата и его диаметром.

В расчете должны также содержаться сведения об агрессивности рабочей среды, о давлении и температуре в аппарате и греющем элементе.

Из расчета теплообменной аппаратуры получают: размеры теплопередающей поверхности; принятую схему теплообмена; конечные температуры и т.д. Например, для кожухотрубчатых теплообменников определяют: диаметр кожуха; диаметр, длину и количество трубок, их размещение; число ходов и давление в трубном и межтрубном пространстве; температуру стенок кожуха и трубок; рабочее положение аппарата и т.д.

Во всех случаях в ТЗ должна быть приведена характеристика веществ по их токсичности, взрыво- и пожароопасности [6].

**Технологическая схема (ТС)** является иллюстрацией к ТЗ и дает наглядное представление о новом процессе. Она служит основой для разработки системы контроля и автоматизации отдельных узлов и всего производства, а также главным техническим материалом для монтажной проработки.

Разработку и вычерчивание схемы целесообразно вести в указанной ниже последовательности.

1. Вычерчивается оборудование с основными внутренними устройствами (теплообменными трубками, барботажными тарелками и т.д.) [16 – 22].
2. На первый лист схемы наносятся все вводы и выходы, т.е. участки ТП, соединяющие оборудование с внешними коммуникациями.
3. Проводятся общецеховые газовые и жидкостные коллекторы.
4. Аппараты и машины соединяются линиями основных технологических потоков, одновременно расставляются вся необходимая арматура.
5. Совместно со специалистами по автоматике на схему наносятся все первичные элементы и исполнительные механизмы КИП (бобышки манометров термопар, диафрагмы расходомеров, ротаметры, регулирующие клапаны).
6. Изображаются все вспомогательные линии: дренажные, продувочные, загрузочные, от предохранительных клапанов и др.
7. Составляются экспликации оборудования и приборов контроля и автоматики.
8. Показываются условные обозначения, принятые в данной схеме.

При выполнении схемы рекомендуется все аппараты вычерчивать в масштабе 1:100. Нанести условные линии отметок этажей и при вычерчивании оборудования учесть его высотное взаимное расположение. Основные технологические потоки выделить жирными линиями. Высотные размеры, влияющие на технологический процесс (например, расстояния между выводами разделяемых жидкостей из флорентинского сосуда, высоту гидравлического затвора и т.п.) обязательно проставить на схеме. Внизу листа оставить 15 см под КИП.

При вычерчивании схемы необходимо также отобразить мероприятия, улучшающие условия труда, например, расположить распределительные гребенки и отдельные вентили, задвижки как можно ниже.

Для удобства чтения схемы газовые коллекторы рекомендуется изобразить в верхней, а жидкостные – в нижней её части.

На ТС должны быть проставлены позиции аппаратов и машин, условные проходы труб, позиции приборов контроля и автоматики, наименования и направления продуктовых потоков, марка основной трубопроводной арматуры по каталогу.

**Монтажно-технологическая схема (МТС)** должна отражать особенности технологического процесса трубопроводной обвязки оборудования. Эта схема разрабатывается для того, чтобы показать двустороннюю

связь основных и вспомогательных технологических узлов со схемой контроля и автоматики, показать все элементы, обеспечивающие бесперебойную работу производства и возможность применения промышленных методов монтажа, а также с целью облегчить чтение монтажных чертежей.

Исходными данными для разработки МТС являются: технологическая схема технического проекта; чертежи технологического оборудования и монтажной проработки.

В свою очередь МТС служит для: окончательного оформления монтажных чертежей; составления характеристики ТП по участкам; составления сводных спецификаций деталей ТП; составления задания для разработки проекта теплоизоляции.

МТС – является ключом к чтению монтажных чертежей.

Особенности выполнения МТС:

- Изображение аппаратов на МТС должно строго соответствовать их чертежам. В частности, должны быть показаны все штуцеры и люки независимо от того, используются ли они в данном производстве.
- Высотное расположение должно быть выполнено в принятом масштабе.
- Все трубопроводы должны изображаться в пределах тех отметок, на которых они находятся в действительности.
- Вся схема в целом плоскостная. Лишь вводы в цех можно изображать под углом 45°.
- Удобно сосредоточить все группы вводов на одном месте схемы (схеме вводов), сделав на каждом участке указание, к какому аппарату или к какой группе аппаратов направлен данный ТП.
- Схема коллекторов выполняется в виде отдельной части общей МТС и представляет собой вычерченное в условной аксонометрии изображение всех основных и промежуточных коллекторов и групп вводов. На этом же чертеже можно разместить и экспликацию продуктов.
- Порядок присоединения отдельных отводов к коллекторам (а также размещение первичных приборов и запорной арматуры на МТС) должен точно соответствовать компоновочным чертежам.

Последовательность выполнения МТС в основном сходна с последовательностью разработки ТС.

Выполнение схемы следует начать с вычерчивания схемы коллекторов (рис. 1.2). Сначала намечаются линии коллекторов, идущих от схемы вводов, а затем от возможных промежуточных коллекторов (например, объединяющих воздушки нескольких аппаратов). Все трубопроводы маркируют. Затем переходят к изображению отдельных аппаратов.

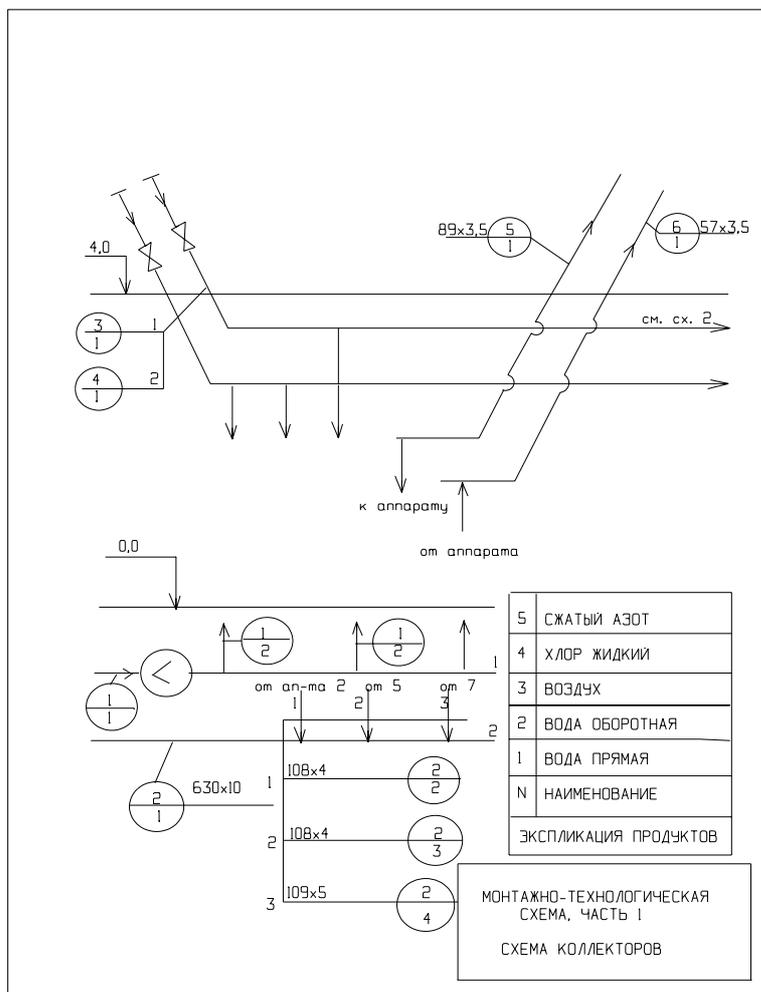


Рис 1.2. Фрагмент монтажно-

технологической схемы

Начертив первый технологический аппарат, показывают ТП, входящие в его обвязку, регулирующую и запорную арматуру, расходомеры, предохранительные клапаны и т.п. При этом изображение различных гребенок должно максимально совпадать с их конфигурацией на монтажных чертежах. Арматура и гребенки наносятся в пределах истинных отметок (по высоте).

Сделав обвязку 1-го аппарата, делают заготовки для маркировки участков ТП, отмечают стрелками направления потоков и лишь затем переходят к следующему аппарату.

После обвязки всех аппаратов приступают к маркировке. Маркируя каждый участок, необходимо тут же заполнять соответствующие столбцы журнала трубопроводов табл. 1.1.

Кроме участков ТП, на МТС должны быть обозначены размеры труб (наружный диаметр и толщина стенки для металлических труб, наружный и внутренний диаметр – для неметаллических), материал труб (кроме изготовленных из углеродистой стали), марка по каталогу и условный проход всей трубопроводной арматуры, условные обозначения таких деталей и устройств, как переходные патрубки, компенсаторы, смотровые фонари, бобышки и штуцеры для установки первичных приборов контроля и автоматики.

МТС – является ключом к чтению монтажных чертежей. Все трубопроводы на МТС маркируются. Существуют различные способы маркировки ТП. Один из них – две цифры заключенных в кружок: 1-я цифра – шифр продукта, транспортируемого по ТП; 2-я – порядковый номер участка ТП.

Начальным может служить участок, связанный с межцеховой эстакадой, или отходящий от аппарата, в котором образовался новый продукт.

**Журнал трубопроводов** содержит все сведения о ТП, которые не могут быть отражены на МТС и МЧ: категория ТП, рабочие параметры транспортируемых веществ, условия испытаний ТП, материал всех его деталей, включая материал фланцев, прокладок, крепежных изделий, отводов, а так же термоизоляции отдельных участков.

Испытания проводят на прочность и герметичность (графа – "Вид"). Возможные способы испытания: гидравлический и пневматический.

Испытание на прочность ТП проводят, как правило, гидравлическим способом. При испытании на герметичность в графе "Дополнительные указания" указывается время испытания и величина падения давления.

Вторая часть журнала содержит перечень изделий составляющий ТП, так называемая "Ведомость ТП" по ГОСТ 21.401.88 [12]. На основе журнала ТП составляются все заказные спецификации труб, арматуры и изделий.

**Сводные спецификации** составляются по ГОСТ 21.109–80 [23] и содержат: спецификации на трубы и детали ТП; спецификации на не стандартизированные детали ТП; сводные спецификации креплений ТП; сводные заказные спецификации на арматуру; спецификации материалов по тепловой изоляции.

**Сметная документация включает:** стоимость материалов деталей ТП в узле; стоимость монтажа деталей ТП в узле; стоимость арматуры и ее монтажа; затраты на дополнительные работы при монтаже и испытаниях ТП.

**Основные виды рабочих чертежей:**

**Заглавный лист** – включает в себя: перечень текстовой и графической информации; перечень справочной информации; чертежи общих комплектов оборудования (масштаб 1:400) с изображением вводов внешних сетей и примечания по всему проекту.

**Компоновочные чертежи (КЧ)** – это масштабное изображение архитектурно-строительных конструкций и расположение в плане всех аппаратов с указанием осевых линий фундаментов, контуров и расположение сооружений, зданий. Масштаб исполнения 1:50, 1:100, 1:200 или 1:400. На КЧ вертикальные оси обозначают заглавными буквами русского алфавита, заключенными в кружок, а горизонтальные – цифрами.

**Монтажные чертежи (МЧ)** – это масштабное изображение планов, продольных поперечных размеров с нанесенными на них оборудованием и ТП. МЧ разрабатываются на основе МТС и КЧ. Наиболее часто используется масштаб чертежей 1:100. Монтажные чертежи составляют  $\approx 60\%$  всего объема рабочих чертежей.

Исходные данные для МЧ: МТС; чертежи монтажной проработки; строительные чертежи; чертежи проекта отопления и вентиляции.

Последовательность выполнения МЧ следующая:

- Определяется количество планов и разрезов. Для первого и второго этажа чаще всего приходится делать 2 плана. Количество разрезов определяют из расчета, чтобы каждый аппарат попал хотя бы в один разрез.
- Тонкими линиями вычерчиваются заготовки планов и разрезов (заготовки – изображения строительных конструкций в масштабе 1:100). В них должны быть показаны все элементы, которые могут повлиять на прокладку труб: ригели, балки, ребра плит, связи, монорельсы, колонны, фундаменты под колонны. Кроме того, наносятся сечения воздухопроводов систем вентиляции. Показываются сечения коллекторов (на планах) и стояков (на разрезах).
- Указывают величину предварительного растяжения (сжатия) компенсаторов.
- Вычерчиваются проекции аппаратов и машин (тонкими линиями). Показывают так же контуры фундаментов на котором оно стоит.
- С чертежей монтажной проработки переносятся все обязательные и магистральные ТП. Порядок обратный: вначале локальные ТП, затем магистральные. Термоизоляция изображается отдельными оборванными участками.

- Наносятся условные обозначения креплений ТП.
- Проставляются все необходимые размеры: привязка оборудования и ТП к строительным осям; расстояние между осями, рядами; обозначение ТП и аппаратов; направление потоков и уклон труб, величину условного диаметра и материал труб; допустимые монтажные нагрузки на перекрытия и строительные конструкции.

**Детализированный чертеж (ДЧ)** – это изображение общего вида каждой линии ТП в аксонометрической проекции без масштаба для блоков, узлов и ТП. На общем виде линии ТП показывают:

- габаритные размеры линии, высотные отметки, привязки к строительным конструкциям, размеры для врезок, нумерацию элементов (или гнутых участков), номера узлов и их границы, положения штуцеров, арматуры, направление потока продукта;
- дают указания, к каким линиям или аппаратам подключаются линии;
- наносят схематично опоры и номера сварных стыков.

Кроме этого, на общем виде указывают габаритные размеры линии ТП, патрубков, арматуры и др. Дают наименование объекта, номер линии, блока, узла, рабочие параметры и специальные требования к испытаниям, номера монтажных чертежей, по которым производится детализировка данной линии ТП.

**Монтажно-поисковая записка (МПЗ)** состоит из трех частей: общие положения; монтаж оборудования; монтаж трубопроводов.

МПЗ содержит описание: способов и средства подвода оборудования к строительной площадке; порядок размещения оборудования перед монтажом; необходимые монтажные средства; последовательность монтажа отдельных видов оборудования; характеристики цеховых подъемно-транспортных механизмов и приспособлений.

Большинство из перечисленных выше графических и текстовых документов разрабатываются при монтажно-техническом проектировании в ходе решения задач размещения оборудования, прокладки трасс трубопроводов и детализации проекта трубопроводов, что еще раз подтверждает необходимость автоматизации поиска оптимальных проектных решений на этих этапах и автоматизации выдачи проектной документации при проектировании промышленных предприятий.

### 1.3. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КОМПОНОВКУ ОБОРУДОВАНИЯ

При монтажно-техническом проектировании производств необходимо учитывать комплекс факторов, которые в итоге формируют окончательный вариант компоновки оборудования и объемно-планировочных решений.

К таким факторам в первую очередь относятся условия функционирования схемы. Такими условиями могут быть требования перепада высот между отдельными единицами оборудования, особенности транспортировки материальных потоков, необходимые уклоны трубопроводов и самотеков для транспортировки жидких и

сыпучих материалов. Условия функционирования технологической схемы формируются, прежде всего, на основе технологического регламента данного производства и норм технологического проектирования для данного производства, а так же на основе экспертных данных институтов и предприятий занимающихся разработкой технологий данных производств.

Следующая группа факторов, влияющих на компоновочные решения, – это комплекс нормативной документации, которая разрабатывается головными институтами данной отрасли промышленности.

Комплекс нормативной документации служит для обеспечения безопасной и удобной работы людей на производстве, обслуживания ремонта и монтажа оборудования и трубопроводных систем, а также меры по охране окружающей среды от загрязнений.

При проектировании производств существенную роль играет выбор типа конструкции производственных помещений, который определяется спецификой размещаемых производств, их производительностью и экономической целесообразностью.

Большое значение для нахождения оптимального варианта компоновки оборудования и трассировки технологических трубопроводов имеют гидравлические, тепловые и прочностные расчеты. Проведение этих расчетов при комплексной оптимизации компоновки оборудования позволит подобрать оптимальные гидродинамические режимы транспортировки веществ, устройства для транспортировки, тепловую изоляцию и конструкции для установки оборудования, крепежа трубопроводов и вспомогательного оборудования.

### 1.3.1. ВЫБОР ТИПА КОНСТРУКЦИИ ЦЕХА И ВЛИЯНИЕ ЕГО НА КОМПОНОВКУ ОБОРУДОВАНИЯ

Для принятия компоновочных решений большую роль играет выбор конструкции помещений, так как это определяет дальнейший процесс моделирования. Размещение производств может осуществляться на открытых площадках, в многоэтажных зданиях и в зданиях ангарного типа [14, 24, 48].

С точки зрения автоматизации проектирования производств выбор конструкции цеха (ангарный цех, многоэтажный, размещение производств на открытых площадках) существенно влияет на способы решения данной задачи.

Проектирование производств на открытых площадках применяют в особых случаях [2], так как повышается износ оборудования, что вызвано систематическим попаданием на технологическое оборудование осадков, перепадами температур. При проектировании колонного оборудования необходим расчет на ветровую нагрузку и принятие мер для предотвращения опрокидывания оборудования. Ремонт и обслуживание технологического оборудования и трубопроводов также усложняются. Но такой способ иногда необходим, например, в случаях, когда невозможно обеспечить требования по безопасности производств в закрытом помещении.

При компоновке оборудования в многоэтажных производственных зданиях к строительной конструкции предъявляются следующие требования [14, 52]:

- иметь в плане форму прямоугольника;
- монтироваться из унифицированных железобетонных конструкций с шагом сетки колонн  $6 \times 6$  или  $9 \times 9$  м (рис. 1.4);
- высота этажей должна быть кратной 0.6 м, но не менее 3 м;
- ширина многоэтажного здания должна быть не менее 18 м;
- количество этажей определяется характером производства, а также зависит от плана застройки и может меняться;
- для монтажа и демонтажа оборудования в строительной конструкции должны быть предусмотрены постоянные или временные монтажные проемы.

Одним из недостатков применения многоэтажных цехов является экономическая неэффективность при проектировании производств малой мощности. Часто проектным организациям приходится сталкиваться с проблемой размещения производств в существующих помещениях, изначально проектируемых под производства других отраслей промышленности.

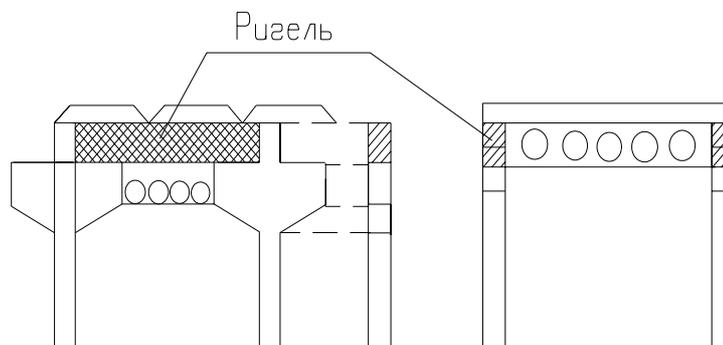


Рис. 1.4. Типовые элементы строительных конструкций

При проектировании производств в ангарных цехах отсутствует дискретность при размещении технологического оборудования, что с одной стороны, – увеличивает число возможных вариантов компоновки, а, следовательно, дает возможность найти более оптимальное решение при проектировании, но с другой стороны – требует использования новых, более сложных методов и алгоритмов нахождения оптимального решения зада-

чи. Появляются такие подзадачи как определение конфигураций этажерок, лестниц. Так как в ангарных цехах только небольшая часть трубопроводов проходит в специальных каналах, то появляется необходимость решать совместно задачи размещения технологического оборудования и трассировки технологических трубопроводов. При этом необходим учет возможности прохождения трубопроводов по стенам, под площадками обслуживания, под оборудованием и в ряде других мест, нахождение трасс в которых позволяет осуществить технологический процесс, выдержать все требования нормативной документации, а также обеспечить возможность обслуживания, монтажа и ремонта оборудования и трубопроводов.

Общая последовательность размещения оборудования в закрытом варианте следующая:

– в начале определяют этажность здания (решающие факторы – условия застройки и технология производства);

– затем в масштабе 1:100 изображаются планы каждого этажа, наносится сетка колонн и наружные контуры аппаратов. При этом в процессе компоновки обсуждаются различные варианты планов и определяется оптимальный вариант размещения.

Размещение оборудования начинается с выделения групп аппаратов, объединенных определенными признаками. Установив группу переходят к расстановке отдельных аппаратов.

Сгруппированное и размещенное оборудование вместе со строительными конструкциями образуют производственные отделения.

В общем случае различают три вида производственных помещений и отделений:

– основные производственные (аппаратурное отделение, компрессорное и насосное отделения, теплопункт, водо- и парокolleкторные отделения);

– вспомогательные производственные отделения (вентиляционные камеры, прицеховые электрические подстанции, распределительные пункты);

– обслуживающие отделения (прицеховые ремонтные мастерские, кладовые, бытовки, административные помещения).

С точки зрения пожароопасности [53] в зависимости от перерабатываемых веществ [6, 7, 8, 42] производственные помещения подразделяются на пять категорий: А, Б, В, Г, Д.

В зависимости от категории строительной конструкции цехов также имеют те или иные особенности. Например, на случай аварии для уменьшения разрушений, в помещениях А и Б перекрытия этажей должны иметь взрывные проемы. Помещения этих категорий лучше размещать у наружных стен.

## 1.2. Степень огнестойкости зданий химической промышленности

Категория здания	Допустимое число этажей	Степень огнестойкости
А	6	II
	1	IIIа
Б	6	III
	1	IIIа
В	8	I, II
	3	III
	2	IIIа
	1	IIIб
Г	10	I, II
	3	III
	6	IIIа
	1	IIIб
Д	10	I, II
	3	III
	6	IIIа
	1	IIIб

### 1.3.2. Способы транспортировки веществ и их влияние на компоновку оборудования

При проектировании производств одной из важнейших задач является обеспечение транспорта веществ между отдельными аппаратами технологической схемы. Выбор способа транспорта веществ и типа устройств зависят от физико-химических свойств и агрегатного состояния транспортируемой среды, от времени, за которое необходимо произвести транспортировку, от режима работы аппаратов (периодический, непрерывный), а также от экономической целесообразности. Большую роль при выборе способа транспортировки веществ играет обеспечение безопасности производства. Так, например, во взрывопожароопасных производственных поме-

шениях, всегда, когда возможно, транспорт обеспечивают самотеком. Насосное оборудование в таких производствах должно иметь электродвигатели с соответствующим исполнением, что значительно увеличивает его стоимость, в то время как самотечный способ транспорта не требует энергозатрат и является наиболее безопасным.

Газообразные вещества, такие как водяной пар, воздух и т.д., подаются из компрессорных установок, тепловых пунктов, котельных. Транспортировка осуществляется под действием избыточного давления, создаваемого компрессором или в коллекторах и котельных. Транспорт газообразных веществ может также осуществляться без искусственно создаваемого избыточного давления в результате разности плотностей транспортируемых веществ и окружающего воздуха (например вытяжка CO<sub>2</sub> при брожении). Особенности осуществления транспортировки газообразных и парообразных веществ заключаются в необходимости съема конденсата из трубопроводов, также в осуществлении мер безопасности для трубопроводов, работающих под высоким давлением и при транспортировке веществ с высокой температурой.

Жидкие вещества транспортируют самотеком, при помощи насосов или избыточного давления создаваемого в аппарате нагревом, вводом инертного газа или пара (передавливание). Выбор способа транспорта жидких веществ производится по нескольким параметрам, таким как свойства жидкости (вязкость, плотность, наличие твердых частиц, токсичность и т.д.); допустимость растворения в жидкости газов или паров, использующихся при передавливании; необходимое время транспорта и допустимая скорость жидкости в трубопроводе; экономическая целесообразность применения того или иного способа транспорта.

Часто приходится осуществлять транспортировку веществ, находящихся в твердом состоянии, а именно сыпучие материалы. Сырье, некоторые компоненты и конечный продукт часто представляет собой сыпучие материалы, гранулы, порошки и т.д. Транспортировку сыпучих материалов осуществляют гравитационным, пневматическим и гидравлическим способами. Выбор способа транспорта сыпучих материалов осуществляется исходя из его физико-химических свойств, допустимости контакта с жидкостями и газами, применяемыми для гидравлического и пневматического транспорта, допустимости ударов при гравитационном спуске материалов, а также исходя из экономической целесообразности.

### 1.3.3. Основные правила и требования, предъявляемые к компоновке оборудования

Приведенные ниже правила размещения оборудования отражают неформальный характер требований к размещению оборудования, вытекающих из особенностей технологии, правил техники безопасности, обслуживания оборудования и др. [36, 41, 45, 47, 56]. Для удобства они объединены в отдельные блоки правил.

#### **Группировка оборудования по отделениям**

- Однотипные аппараты одинакового производственного назначения (например, нитраторы, сульфураторы, выпарные и другие аппараты), выполняющие сходные технологические функции целесообразно объединить в специализированные агрегаты. Это обеспечивает взаимную заменяемость аппаратов и удобство их обслуживания (загрузка из одних мерников, однотипность контроля и обслуживания аппаратов работниками одинаковой квалификации).
- В одном помещении не следует объединять оборудование с различными по категориям выделениями. В противном случае приходится, например, насос, перекачивающий воду, но расположенный рядом с углеводородным насосом, снабжать более дорогим взрывобезопасным электродвигателем.
- Вибрирующее оборудование (компрессоры (особенно поршневые), вентиляторы, насосы, дробилки и другие машины, а также аппараты, в которые подается острый пар или большие потоки газа) объединяют и размещают на массивных фундаментах, тщательно изолируемых от соседних строительных конструкций.

#### **Общие требования к размещению оборудования**

- Обеспечить возможность монтажа и демонтажа оборудования в монтажные проемы или временные монтажные проемы в окнах.
- Аппараты должны быть снабжены обслуживающими площадками с тех сторон, откуда ведется обслуживание аппарата, в том числе для обслуживания штуцеров КиП и другой трубопроводной арматуры.
- Над всеми провисающими аппаратами должны быть размещены монорельсы, даже если в аппарате нет привода.
- Над штуцерами КиП, где вытаскиваются гильзы, пьезотрубки, повторители давления необходимо предусматривать закрытые монтажные проемы.
- Технологическое оборудование, создающее на рабочих местах вибрацию и шум, рекомендуется устанавливать на специальных фундаментах или амортизаторах.
- Аппараты с высоко расположенными люками, штуцерами, перемешивающими устройствами, крышками, обслуживание которых ведется со специальных площадок, должны размещаться так, чтобы их можно было использовать в качестве опор для этих площадок. Лестницы на площадки обслуживания должны устанавливаться под углом 45°.

– В качестве основных проходов и проездов в цехе целесообразно использовать перекрытия каналов, проходящих вдоль по цеху.

### **Правила компоновки, вытекающие из требований ремонта**

– Чистка составляет основную часть ремонтных работ. Теплопередающие поверхности чистят от накипи, шлака, смол; реакционные котлы от остатков переработанных веществ; ректификационные колонны, сборники, отстойники также подлежат периодической чистке. В процессе чистки приходится разбирать оборудование, открывать люки, извлекать трубы что требует соответствующей производственной площади.

Поэтому при компоновке необходимо предусмотреть достаточную рабочую площадь вокруг аппаратов, а также соответствующие подъемники нужной грузоподъемности (монорельсы с таями, кран-балки).

– Устранение неплотностей во фланцах, муфтах, сальниках движущихся частей машин, запорной и регулирующей арматуре, припуски из-за нарушения развальцовки трубок в трубных решетках, разрушение оболочек и стенок труб в следствие коррозии – все эти мелкие работы по ремонту проводят, как правило, на месте, что тоже требует места.

– Восстановление изоляционных и антикоррозионных покрытий (гуммирование, футеровка, окраска, термоизоляция) требует зачастую подвоза большого количества материалов, что заставляет выносить такие аппараты на край цеха и обеспечивать их удобными подъездными путями для автокранов и машин.

### **Влияние агрессивности среды на размещение оборудования**

– Емкостная аппаратура с агрессивными, токсичными и горючими жидкостями, расположенная в цехе должна иметь устройство для слива этих жидкостей в аварийную емкость (независимо от возможности откачки их насосом).

– Для аппаратов, из которых в процессе работы выделяются вредные пары, газы и пыль необходимо предусматривать изолированные помещения, со своим выходом наружу или выходом через тамбуры-шлюзы.

– Емкости и аппаратура с горючими или едкими жидкостями должна располагаться на поддонах или на глухой части перекрытия, ограниченной бортом высотой не менее 150 мм.

### **Условия, определяющие размещение оборудования по этажам цеха**

– На первом этаже обычно устанавливают сырьевые емкости, аппараты для растворения и подготовки сырья, здесь же располагается отделение упаковки готовых продуктов. Сырьевые емкости, как правило, тяжелые аппараты, и должны устанавливаться на фундаментах. Размещение таких аппаратов на верхних этажах требует увеличения прочности строительной конструкции и следовательно, ведет к ее удорожанию.

– На верхних этажах устанавливают, как правило, реакционную аппаратуру, размещая ее на междуэтажных перекрытиях или с провисанием через перекрытие.

– Часть аппаратов размещается непосредственно друг под другом, что вызвано характером транспортировки веществ между этими аппаратами (транспортировка твердых и пастообразных веществ).

– Кожухотрубчатые теплообменники длиной до 2 метров нельзя провешивать в перекрытии, так как штуцеры теплообменника попадают в перекрытие и доступ к ним затруднен.

– Все крупногабаритное тяжелое оборудование должно быть установлено как можно ниже. С этой целью иногда целесообразно менять самотечную систему подачи орошения на принудительную, размещая дефлегматоры на первом или втором этаже.

– Оборудование, нуждающееся в частом ремонте, чистке, регулировке также желательно размещать на 1–2 этаже.

### **Требования к размещению на этажах**

– Размещаемые аппараты должны образовывать вертикальные и горизонтальные ряды с одним или несколькими проходами.

– Не рекомендуется выдвигать аппараты из общего ряда так как это может помешать прокладке пучков труб, подвешиваемых под перекрытием (особенно на нулевой отметке).

– Расстояния между аппаратами должны быть не менее 1,5 м по фронту обслуживания; не менее 1 м между выступающими частями оборудования (с учетом лап, теплоизоляции и ограждающих бортиков), не менее 0,8 м от стен цеха (если нет обслуживания). Исключение составляют агрегаты: два насоса на одном фундаменте; аппарат и мерники; аппарат и теплообменник; колонна и куб.

– Необходимо предусматривать свободные площадки для узлов КиП и оборудования смежников (ОиВ, ВКТМ).

– Предусматривать проезды электропогрузчиков к аппаратам (ширина проезда – 2,1 м, высота 2,5...3 м, разворот 360°).

– Следить, чтобы эвакуационные проходы были бы прямолинейными и не загромождались оборудованием.

– Не забывать про тамбуры, отделяющие помещение с разными категориями.

– Машинные помещения, расположенные против дверей, должны находиться от них на расстоянии не менее 2 м.

– Через каждые 40...50 м (в длинном цехе) рекомендуется предусматривать монтажные площадки длиной 6...12 м, на которых впоследствии можно будет установить дополнительное оборудование.

– При установлении ширины проходов необходимо, с учетом действующих норм, создать возможность свободного маневрирования напольного и подвешенного транспорта в цехе.

- Предусмотреть площади для хранения сырья и промежуточных продуктов, деталей аппаратов (на время ремонта). Резервные площади предусматриваются при необходимости последующего увеличения мощности производства.
- Следует учитывать обвязку аппаратуры трубопроводами и установки КИП и средств автоматики. При большом числе реализующих клапанов и запорной арматуры с механическими приводами площадь, занимаемая обвязкой, иногда составляет 40...50 % общей площади производственного помещения.
- Аппараты, в которых осуществляется визуальный контроль качества продукции, предпочтительно устанавливать в зонах с естественной освещенностью достаточной для производства такого контроля.
- Закрытые монтажные проемы задавать во всех отделениях с размерами по максимальным габаритам аппаратов.
- При установке аппарата ориентировать его по расположению люка для осмотра.
- При установке колонной аппаратуры необходимо следить чтобы фланцы, люки осмотра, штуцеры не попадали в перекрытия. Если люки не обслуживаются с этажа, то надо предусматривать площадки для их обслуживания.
- Над барабанно-вакуумными фильтрами давать два монорельса по цапфам фильтра и предусматривать место для ремонта барабана.
- При установке аппаратов, работающих под давлением следует руководствоваться "Правилами устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением" [17]. Установка аппаратов должна исключать возможность их опрокидывания; должен быть обеспечен доступ ко всем частям аппарата; для удобства обслуживания, осмотра и ремонта должны быть установлены площадки и лестниц, которые не должны нарушать устойчивость аппарата.

Эти и множество других правил и требований, которые надо учесть в процессе компоновки оборудования, носят трудный формализуемый характер, что значительно затрудняет решение задачи размещения с использованием ЭВМ.

#### 1.4. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ

В настоящее время существует ряд программных средств предназначенных для автоматизации инженерного проектирования объектов химической промышленности [31 – 34]. Среди них можно выделить следующие системы: PDS (Integrath); PDMS (Cadcentre); CADPIPE (JEC Design Group); CADWORX (COADE); AutoPLANT (Rebis); PLANT-4D (CEA Technology).

**CADWORX** фирмы COADE и **CADPIPE** (разработка AEC Design Group) сложны в освоении и не могут быть адаптированы на российском рынке без вмешательства разработчиков. Тоже относится и к системе **PlantSpace** (Jacobus Technology), работающей на основе Microstation.

**PDS** и **PDMS** фирм Integrath и Cadcentre – мощное программное обеспечение, позволяющее проектировать с учетом не только стандартов, но и СНиП. Однако, сложная адаптация систем может растянуться на годы, не принося никакой отдачи. А высокая стоимость PDS и PDMS делает их в российских условиях практически некупаемыми.

Среди наиболее подходящих для российского пользователя остаются **AutoPLANT** (Rebis) и **PLANT-4D** (CEA Technology) – в общих чертах функциональные возможности этих систем схожи. Рассмотрим более подробно одну из них -PLANT-4D.

Разработчиком PLANT-4D является голландская компания CEA-Technology. Ее центральный офис находится в Роттердаме. Компания существует более 12 лет. В России и на территории стран бывшего СССР все права на распространение PLANT-4D принадлежат российской компании Consistent Software.

PLANT-4D полностью настроен для работы на русском языке: переведены меню, панели инструментов, командная строка, написаны учебные пособия (с учетом российской специфики). Кроме того, созданы техническая поддержка на русском и специализированный Internet-сайт (file://www.plant4d.ru).

Базы данных для PLANT-4D предусматривают работу по российским государственным, отраслевым и корпоративным стандартам. Эти базы составлены специалистами в области проектирования нефтеперерабатывающих, нефтехимических и химических производств, а также людьми, имеющими богатый опыт работы с системами автоматизированного проектирования и адаптации таких систем.

В России PLANT-4D используется на предприятиях нефтегазовой и химической, фармацевтической, металлургической промышленности, в топливно-энергетическом комплексе, а также в организациях, осуществляющих лицензирование технологических установок и систем.

Среди пользователей PLANT-4D такие именитые российские компании, как ЮКОС, "Норильский Никель", "Славнефть", СИДАНКО, МОСЭНЕРГО, КИНЕФ, Harris Group, БИГОР, Grasso International (GEA) и другие. Пользователями являются и небольшие фирмы, специализирующиеся в области проектирования.

В технологической линейке на основе PLANT-4D имеется широкий набор расчетных программ. Среди них:

**СТАРТ** – программа расчета прочности и жесткости разветвленных пространственных трубопроводов различного назначения при статическом нагружении. Алгоритмы программы СТАРТ соответствуют методикам и нормам расчета энергетических установок (согласно РД 10-249-98), тепловых сетей (согласно РД 10-400-01), нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (согласно РТМ 38.001-94), магистральных газо- и нефтепроводов (согласно СНИП 2.05.06-85).

СТАРТ имеет обязательный сертификат соответствия Госстроя РФ и рекомендации Госгортехнадзора.

**ГИДРОСИСТЕМА** – программа, созданная российскими разработчиками. Она позволяет осуществлять выбор диаметров разветвленных трубопроводов, перекачивающих жидкости или газы, определять пропускную способность системы или проводить поверочный гидравлический расчет.

**ПРЕДКЛАПАН** – расчет требуемого проходного сечения клапана; определение свойств продукта по заданному составу; подбор марки и числа клапанов, а также подбор пружины, груза или исполнения из базы данных; гидравлический расчет подводящего и отводящего трубопроводов и проверка допустимости гидравлических потерь; выпуск проектной документации (экспликация, спецификации), а также подробного протокола расчета – по редактируемому пользователем формам; проверка вариантов установки клапанов различных марок, поверочный расчет ранее установленных клапанов. Программа соответствует ГОСТ 12.2.085-82 и согласована с Госгортехнадзором России.

**ИЗОЛЯЦИЯ** – расчет теплоизоляции трубопроводов, арматуры и оборудования. Выбор материалов теплоизоляции; расчет толщины, объема и поверхности изоляции, выбор конструкции; расчет объемов работ и расходов основных и вспомогательных материалов; выпуск техномонтажной ведомости, ведомости объемов работ и ведомости потребности в материалах для стандартного и нестандартного оборудования, трубопроводов наземных и подземных, со спутниками и без них, арматуры.

**ПВ-БЕЗОПАСНОСТЬ** – расчет энергопотенциалов и категорий взрывоопасности технологических установок (ОПВБ). Расчет избыточного давления взрыва. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности (НПБ 105-95). Расчет радиусов разрушений. Нормативные показатели ПВО для 7000 веществ. Свидетельство Госгортехнадзора РФ № 02-35/255 от 16.09.99 г.

**CAESAR II** – единственный в мире инженерный инструмент, который осуществляет полный анализ системы трубопроводов, включающий статический и динамический расчет системы любого размера и сложности. Применение этого программного продукта в России ограничено отсутствием в нем соответствия отечественным нормативным документам и методикам, но он используется при обслуживании зарубежных контрактов и проектировании зарубежных объектов. Впрочем, для проектирования таких объектов рекомендуются также программные продукты, разработанные CEA и COADE для расчета сосудов и аппаратов по ASME, BS, UBC, ASCE, ANSI, TEMA, WRC, NBC, WRCB, WRC, DIN, CODAP, ESPACE, SCADES и др.

Так что для специалиста PLANT-4D и технологическая линейка на его основе являются инструментами, которые увеличивают производительность, сокращают число ошибок, позволяют повысить качество проектной документации, снимают бремя утомительных рутинных работ и позволяют уделить большее время поиску творческих инженерных решений.

Анализируя существующие системы мы видим, что автоматизированное решение различных задач, в том числе компоновки оборудования и трассировки трубопроводов, основано в большей мере на человеческом факторе – на способности человека создать, проанализировать и принять правильное проектное решение. Однако, для выбора единственного варианта, иногда надо проанализировать тысячи альтернативных вариантов, что невозможно без их автоматизированного синтеза и анализа.

Именно эти вопросы – *автоматизированный синтез* различных вариантов проектных решений компоновки оборудования, а также поиск среди них лучшего и являются предметом рассмотрения в последующих главах.

### Вопросы для самопроверки

1. Во сколько стадий проектируются новые производства. Назовите их.
2. Перечислите основные этапы монтажно-технического проектирования химических производств.
3. Какие текстовые и графические документы разрабатываются при проработке компоновочных решений производства?
4. В чем отличие технологической схемы от монтажно-технологической?
5. Почему монтажно-технологическую схему называют ключом к чтению монтажных чертежей?
6. Перечислите факторы, влияющие на компоновку оборудования.
7. От чего зависит этажность строительной конструкции?
8. Как определяется категоричность производственных помещений?

## 2. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В МНОГО- ЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

В проектной практике можно выделить следующие наиболее часто решаемые задачи, связанные с размещением оборудования ХТС в многоэтажных строительных конструкциях:

1. Задача совместного проектирования объемно-планировочных решений (ОПР) строительной части, размещения оборудования и трассировки ТП.
2. Задача пространственного размещения оборудования ХТС в заданном объеме цеха.
3. Задача размещения оборудования на этаже цеха.
4. Задача размещения нового оборудования относительно уже размещенного.
5. Задача трассировки технологических коммуникаций.

Задачи 2 – 4 возникают при реконструкции химических производств. Задача 5 – трассировки технологических коммуникаций – неразрывно связана с задачами 2 – 4. Задача 1 – является наиболее общим случаем и возникает при проектировании новых производств.

В качестве критериев оптимальности задач компоновки чаще всего берутся приведенные затраты на проектируемый объект, а также менее общие критерии: минимум общего объема занимаемого оборудованием, минимальная стоимость технологических связей и др. [25, 35 – 37].

При формировании критерия оптимальности задач компоновки целесообразнее всего включить в него те составляющие затрат на проектируемый объект, которые непосредственно зависят от расположения оборудования ХТС. Для задачи (1) такими составляющими являются: стоимость технологических линий связи между аппаратами ( $I_1$ ); стоимости средств транспортировки веществ по связям ( $I_2$ ); стоимость строительной конструкции, занятой под оборудование ( $I_3$ ), т.е.:

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (2.1)$$

Для задачи 2 критерий будет иметь вид

$$I = I_1 + I_2. \quad (2.2)$$

Для задачи 3:

$$I = I_1. \quad (2.3)$$

## 2.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Содержательная (словесная) постановка задачи 1 может быть сформулирована следующим образом: определить с учетом всех правил, требований и ограничений такое пространственное расположение оборудования ХТС с заданной структурой технологических связей и такие габариты производственного помещения, при которых затраты (1) на проектируемый объем были бы минимальными.

Сформулируем эту же задачу в терминах теории множеств. Введем предварительно ряд допущений и обозначений:

Допущения:

1) рассматривается прямоугольная система координат  $XYZO$  с метрикой пространства  $\rho$ , выбор которой обусловлен требованием трассировки трубопроводов по координатным осям

$$\rho(c', c'') = |X_{c'} - X_{c''}| + |Y_{c'} - Y_{c''}| + |Z_{c'} - Z_{c''}|,$$

где  $\rho(c', c'')$  – расстояние между двумя точками  $c'$  и  $c''$  пространства  $XYZO$ ;

2) предполагается, что строительная конструкция монтируется из типовых строительных элементов и имеет форму параллелепипеда в  $XYZO$ ;

3) размещаемые аппараты аппроксимируются параллелепипедами со сторонами  $a_i, b_i, c_i, i = \overline{1, N}$ ,  $N$  – число размещаемых аппаратов.

Обозначения:  $A_i = (X_i, Y_i, Z_i)$  – пространственное расположение  $i$ -го аппарата, где  $X_i, Y_i, Z_i$  – координаты центра основания параллелепипеда;  $T_j = (X_{j0}, Y_{j0}, Z_{j0}, X_{j1}, Y_{j1}, Z_{j1}, \dots, X_{jK_j}, Y_{jK_j}, Z_{jK_j})$  – пространственное расположение  $j$ -го трубопровода  $j = 1, 2, \dots, L$ , где  $L$  – число технологических связей между аппаратами,  $X_{j0}, Y_{j0}, Z_{j0}$  – координаты начала трассы,  $X_{jK_j}, Y_{jK_j}, Z_{jK_j}$  – координаты конца трассы,  $(X_{jM}, Y_{jM}, Z_{jM})$ ,

$M = \overline{1, K_j - 1}$ , – координаты точек изломов трассы,  $K_j$  – число прямоугольных фрагментов в трассе  $j$ ;

$A = \{A_i | i = \overline{1, N}\}$  – вариант размещения оборудования;  $T = \{T_j | j = \overline{1, L}\}$  – вариант трассировки трубопроводов;

$S = (X_c, Y_c, Z_c, H_c)$  – вариант строительной конструкции, где  $X_c, Y_c, Z_c$  – соответственно длина, ширина и высота цеха;  $H_c$  – шаг сетки колонн;  $h = (A, T, S)$  – вариант компоновки,  $h \in H \subset D$ , где  $H$  – множество допустимых вариантов компоновки;  $D$  – множество всех возможных вариантов компоновки

$$D = D_A \times D_T \times D_S;$$

$D_A, D_T, D_S$  – соответственно множества вариантов: размещения оборудования, трассировки трубопроводов и строительной конструкции:

$$D_A = \{D^{q1} | q1 = \overline{1, |n2|}\}, D_T = \{T^{q2} | q2 = \overline{1, |n2|}\}, D_S = \{S^{q3} | q3 = \overline{1, |n3|}\},$$

где  $|n1|, |n2|, |n3|$  – мощности множеств  $D_A, D_T, D_S$ ;  $m$  – модель проектного решения, выделяющая множество  $H$ ,  $m: D \rightarrow H$  или  $H = m(D)$ .

С учетом приведенных обозначений, задача компоновки оборудования формулируется как найти

$$h^* = \arg \min \{I(h) | h \in H | = m(D)\}. \quad (2.4)$$

В качестве целевой функции  $I(h)$  примем приведенные затраты, включающие капитальные и эксплуатационные затраты на трубопроводы, средства транспортировки и строительную конструкцию.

$$I = R_{\text{тн}} + E_{\text{н}}(I_1 + I_2 + I_3),$$

где  $R_{\text{тн}} = \mathcal{E}_{\text{н}} + A_{\text{т}} + m_{\text{т}}$  – эксплуатационные затраты на обслуживание трубопроводов и насосов;  $\mathcal{E}_{\text{н}}, A_{\text{т}}, P_{\text{т}}$  – годовые затраты соответственно на электроэнергию, амортизационные отчисления и ремонт [р./год];  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент окупаемости ( $E_{\text{н}} = 0,12$ );  $I_1, I_2, I_3$  – капитальные затраты на трубопроводы, средства транспортировки веществ по трубопроводам (насосы, компрессоры) и строительную конструкцию, р.

Для уменьшения размерности задачи, разобьем исходную задачу компоновки на две последовательно решаемые подзадачи меньшей размерности, имеющие самостоятельное значение в процессе проектирования.

Задачу проектирования оборудования с одновременным определением габаритов цеха:

$$\text{найти } h^{1*} = \arg \min \{I^1(h^1) \in H^1 = m^1(D_A \times D_S)\}. \quad (2.5)$$

Задачу трассировки технологических трубопроводов:

$$\text{найти } h^{2*} = \arg \min \{I^2(h^2) \in H^2 = m^2(D_T)\}, \quad (2.6)$$

где  $m^1; m^2; I^1; I^2; \Omega^1; \Omega^2; H^1; H^2$  – соответственно модели, критерии, алгоритмы и множества допустимых вариантов проектных решений задач размещения и трассировки.

### 2.1.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ХТС

1. Ограничения модели, вытекающие из конструктивных особенностей:

1.1. Ограничение на предельно допустимые размеры цеха

$$X_c^{\min} \leq X_c \leq X_c^{\max}, Y_c^{\min} \leq Y_c \leq Y_c^{\max}, Z_c^{\min} \leq Z_c \leq Z_c^{\max}. \quad (2.7)$$

1.2. Оборудование рассматриваемых производств размещается, как правило, внутри цеха:

$$K(A_i) \subset K(C_b), \quad i = \overline{1, N}, \quad b = \overline{1, B}. \quad (2.8)$$

где  $K$  – функция, позволяющая из параметров аппарата, аппроксимированного простейшими объемными фигурами, получать объемный контур аппарата.

1.3. Так как строительная конструкция монтируется из типовых элементов и имеет в плане форму прямоугольника (неполного прямоугольника), то размеры цеха должны быть кратны размеру строительного модуля:

$$\frac{G_{Xl}}{Cell} = \text{const}, \quad \frac{G_{Yl}}{Cell} = \text{const}, \quad \frac{G_{Zl}}{Cell} = \text{const}. \quad (2.9)$$

1.4. Непересечение аппаратов друг с другом:

$$K(A_{i_1}) \not\subset K(A_{i_2}), \quad i_1, i_2 = \overline{1, N}, \quad i_1 \neq i_2. \quad (2.10)$$

1.5. Не пересечение аппаратов со строительной конструкцией:

$$K(A_i) \not\subset (C_j^{\text{констр}}), \quad i = \overline{1, N}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (2.11)$$

где  $C_j^{\text{констр}}$  – параметры  $j$ -го конструкционного элемента (колонна, перекрытие ...),  $j$  – число элементов.

1.6. Тяжелое оборудование размещается, как правило, на нижних этажах:

$$K(A_j) \in K(C_k^{\text{нижн.}}), \quad j \in \overline{1, J_{\text{тяж}}}. \quad (2.12)$$

2. Технологические:

2.1. Размещение части оборудования по высоте (этажам):

$$z_i^{\min} \leq z_i \leq z_i^{\max}. \quad (2.13)$$

2.2. Однотипное оборудование целесообразно объединять в специализированные агрегаты, что повышает удобство их обслуживания и обеспечивает взаимозаменяемость аппаратов. Часть оборудования рекомендуется размещать в ряд:

$$z_{i1} = z_{i2}, (y_{i1} = y_{i2}) \vee (x_{i1} = x_{i2}), \quad \forall i_1, i_2 \in A^{\text{ряд}}. \quad (2.14)$$

2.3. Часть оборудования рекомендуется размещать в вертикальный сток:

$$x_{i1} = x_{i2}, y_{i1} = y_{i2}, \forall i_1, i_2 \in A^{\text{стояк}}. \quad (2.15)$$

2.4. Часть оборудования размещается изолированно от остального по условиям производства и технике безопасности, т.е. принадлежит группе изолированного оборудования:

$$K(A_j) \in K(C_k^{\text{изолир}}), \quad j \in \overline{1, J_{\text{изол}}}, \quad (2.16)$$

$C_k^{\text{изолир}}$  – область блока изолированного оборудования.

2.5. Для свободного маневрирования транспорта, применяемого на этажах, должны быть выделены зоны для движения транспортных устройств:

$$L_{C_j^{\text{трансп}}} \geq L_{\text{мин}}^{\text{трансп}}, \quad B_{C_j^{\text{трансп}}} \geq B_{\text{мин}}^{\text{трансп}}, \quad j \in \overline{1, J_{\text{трансп}}}, \quad (2.17)$$

где  $L$  и  $B$  – длина и ширина зоны движения.

2.6. Для ремонта и обслуживания оборудования необходимо предусмотреть зоны обслуживания:  $C_j^{\text{обслуж}}$ ,  $j \in \overline{1, J}$  – количество аппаратов.

2.7. Для последующих нужд необходимо предусмотреть зоны свободные от размещаемого оборудования:  $C_j^{\text{свободн}}$ ,  $j \in \overline{1, J_{\text{свободн}}}$  – количество зон.

2.8. Для проводки трубопроводов необходимо предусмотреть зоны под каналы:  $C_j^{\text{канал}}$ ,  $j \in \overline{1, J_{\text{канал}}}$  – количество зон под каналы.

2.9. Часть оборудования в связанных агрегатах не должна находиться более, чем на заданном расстоянии:

$$\rho(A_{j_1}, A_{j_2}) \leq \delta_{A_{j_1}, A_{j_2}}^{\text{макс}} \vee j_1, j_2 \subset A_k^{\text{агрегат}}. \quad (2.18)$$

3. *Транспортные (трубопроводные связи):*

3.1. Исходя из технологии и условий транспорта веществ, расстояние между аппаратами должно быть ограничено

$$\rho(c', c'') \leq \delta_{c', c''}^{\text{макс}}. \quad (2.19)$$

3.2. Скорость некоторых веществ в трубопроводах должна быть ограничена

$$\omega_j \leq \omega_{j \text{ доп}}. \quad (2.20)$$

3.3. Время транспорта в некоторых транспортных связях ограничено

$$\tau_{j \text{ мин}} \leq \tau_j \leq \tau_{j \text{ макс}}. \quad (2.21)$$

3.4. Секундный расход некоторых веществ ограничен

$$Q_{j \text{ мин}} \leq Q_j \leq Q_{j \text{ макс}}. \quad (2.22)$$

3.5. Часть аппаратов размещается друг под другом, что вызвано характером транспортировки веществ между этими аппаратами (твердых и пастообразных веществ):

$$x_{i1} = x_{i2}, y_{i1} = y_{i2}, \quad i_1, i_2 = \overline{1, N}, \quad i_1 \neq i_2. \quad (2.23)$$

3.6. Для соблюдения самотека материальных потоков необходимо создание разности высот между аппаратами:

$\Delta h_j \geq z_{jk_j} - z_{j0}$  – разность высот между начальной и конечной точкой трубопровода

$$\Delta P = g \rho_j \Delta h_j - \left( \sum_j \lambda_j \frac{L_j}{D_j} \frac{\rho_j \omega_j}{2} + \sum_j \xi_j \frac{\rho_j \omega_j^2}{2} \right), \quad (2.24)$$

где  $j$  – номер трубопровода,  $\Delta P = P_2 - P_1$  – разность давлений в аппарате-источнике и аппарате-приемнике.

3.7. Аппарат должен соответствовать выбранному виду транспортировки сырья и продуктов.

3.8. Насос должен быть пригоден для транспорта данного вещества.

3.9. Насос должен обеспечивать заданную производительность.

3.10. Для осуществления перекачивания давление в трубах должно быть достаточным для этого.

4. *Ограничения долговечности и прочности:*

4.1. Давление в трубопроводе не должно превышать допустимое

$$P_j \leq P_j^{\text{доп}}. \quad (2.25)$$

4.2. Срок службы трубопроводов должен быть не меньше заданного

$$\tau_j^{\text{служба}} \geq \tau_j^{\text{служба доп}}. \quad (2.26)$$

4.3. Плиты перекрытия и колонны должны выдерживать вес аппарата в наполненном состоянии.

#### 5. Тепловые

5.1. Температура на поверхности трубопровода с учетом изоляции или без не должна превышать допустимую

$$t_j \leq t_j^{\text{доп}}. \quad (2.27)$$

5.2. Толщина изоляции трубопровода должна быть не меньше допустимой

$$\delta_j \geq \delta_j^{\text{доп}}. \quad (2.28)$$

Кроме этих в модель задачи размещения включены условия: не пересечения аппаратов друг с другом, с элементами строительной конструкции и ряд других условий, регламентирующих порядок и правила компоновки оборудования [24, 45, 52].

### 2.1.2. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗМЕЩЕНИЯ

Рассматриваемая задача относится к классу экстремальных комбинаторных задач дискретного программирования и определена на множестве возможных перестановок размещаемого оборудования. В связи с большой размерностью таких задач в настоящее время не существует универсальных методов их решения. Все известные методы решения задач дискретного программирования можно разделить на точные и приближенные. К настоящему времени предложено несколько общих схем изложения точных методов дискретного программирования – это, в первую очередь, схема метода ветвей и границ, а также схема метода последовательного анализа вариантов, разработанная В.С. Михалевичем. Так, широко известный метод динамического программирования Беллмана, является частным случаем схемы Михалевича.

Другим направлением решения задач дискретного программирования является разработка и использование приближенных методов. Среди таких методов можно отметить "метод вектора спада", стохастической аппроксимации Ю.М. Ермольева, метод случайного поиска Л.А. Растригина и др.

Всю совокупность алгоритмов, используемых для решения практических задач размещения промышленных объектов, можно разделить на следующие основные группы:

1. Алгоритмы, основанные на использовании точных методов.
2. Конструктивные алгоритмы начального размещения.
3. Итерационные алгоритмы улучшения начального варианта размещения.
4. Алгоритмы, основанные на использовании методов случайного поиска.
5. Непрерывно – дискретные методы.
6. Алгоритмы нерегулярного размещения геометрических объектов.

К первой группе относится метод ветвей и границ для задачи квадратичного назначения.

Вторая и третья группы включают приближенные алгоритмы, в основном предназначенные для оптимизации размещения элементов в фиксированном наборе позиций. Характерной особенностью конструктивных алгоритмов является то, что они создают размещение. Тогда как итерационные алгоритмы предполагают задание начального варианта размещения.

Конструктивные алгоритмы – используют последовательный и параллельно последовательный процесс установки элементов в позиции при локальной оптимизации критерия качества размещения.

В итерационных алгоритмах производится перераспределение элементов или их групп с целью минимизации выбранного критерия.

Алгоритмы четвертой группы основаны на генерации вариантов размещения случайным образом. Принимая во внимание большое число ограничений в задаче размещения, трудно рассчитывать создать на основе метода случайного поиска эффективный алгоритм решения задачи, так как только для получения варианта размещения, удовлетворяющего системе ограничений задачи, может потребоваться просмотр очень большого числа вариантов.

Основной областью применения непрерывно-дискретных методов размещения являются конструкции, в которых позиции для установки заранее не фиксированы. Алгоритмы данной группы базируются на представлении размещаемых объектов в виде материальных точек, движущихся под действием сил.

Методы последней группы разработаны для случая размещения плоских геометрических объектов, когда множество позиций, пригодных для установки объектов, бесконечно. Сюда относится, в первую очередь, метод последовательно-одиночного размещения, а также метод, известный под названием метода адаптивного перебора или, в более поздней версии, метода сужающихся окрестностей.

### 2.1.3. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ

Алгоритм решения задачи размещения, реализованный в системе компоновки "КОБРА-3" [25], основан на комбинированном использовании алгоритма метода последовательного размещения МПР – (конструирование начального варианта) и метода вектора спада МВС (улучшение варианта). Решение задачи осуществляется в два этапа: – синтез варианта размещения ( $A^0$ ) с использованием МПР и его улучшение с помощью одного из алгоритмов МВС. При этом оказалось целесообразным декомпозировать задачу размещения на две: – размещение по этажам и размещение на этажах.

МПР включает такие последовательно выполняемые шаги:

- определение очередности размещения аппаратов;

- определение мест возможного размещения выбранного аппарата;
- определение оптимального по выбранному критерию места размещения.

Очередь размещения аппаратов формируется на основе критерия "важности", который вычисляется для каждого аппарата и зависит от его габарита, веса, стоимости технологических связей аппарата и наличия ограничений на размещение аппарата.

Выбор позиции для размещения очередного аппарата осуществляется в усеченной области, что позволяет повысить быстрдействие алгоритма.

Критерий назначения аппарата в позицию, учитывает связи этого аппарата как с уже размещенными, так и с аппаратами, которые еще не установлены (делается прогноз).

МВС опишем следующей последовательностью шагов:

1. Строится окрестность  $L_K(A^0)$  заданного радиуса  $K$  с центром в  $A^0$ .
2. Решается локальная задача

$$I(A^*) = \min \{I(A^i) \mid A^i \in L_K(A^0) \cap H^1\}.$$

3. Если  $I(A^*) = I(A^0)$ , то поиск решения заканчивается. В противном случае делается замена  $A^0$  на  $A^*$  и вновь выполняются п. 1 и п. 2.

## 2.2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

$$\text{Найти} \quad T^* = \arg \min \{I^2(T) \mid T \in H^2 = m^2(D^2)\} \quad (2.29)$$

ГДЕ  $D^2$  – МНОЖЕСТВО ВАРИАНТОВ ТРАССИРОВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОММУНИКАЦИЙ;  $H^2$  – МНОЖЕСТВО ДОПУСТИМЫХ ВАРИАНТОВ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ;  $I^2$  – КРИТЕРИЙ;

$I^2 = R_{TH} + E_n(I_1 + I_2)$ ,  $I_1$  – СТОИМОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ,  $I_2$  – СТОИМОСТЬ НАСОСОВ.

$T = \{T_j \mid T_j = \{(X_{jn}, Y_{jn}, Z_{jn}), n = \overline{0, K_j}, j = \overline{1, L}\}$  – ВАРИАНТ ТРАССИРОВКИ.

### 2.2.1. Математическая модель проектного решения задачи трассировки

Обозначим через  $m$ -номер условия и объединим все трассы, для которых должно быть выполнено условие  $m$ , в множество  $M^m$ .

**УСЛОВИЕ 1.** ПРОКЛАДКА ТРУБОПРОВОДОВ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ В ОРТОГОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ, ПАРАЛЛЕЛЬНО КООРДИНАТНЫМ ОСЯМ:

$$\begin{cases} (X_{jn+1} - X_{jn}) (Y_{in+1} - Y_{in}) = 0; \\ (X_{jn+1} - X_{ij}) (Z_{jn+1} - Z_{jn}) = 0; \\ (Y_{in+1} - Y_{jn}) (Z_{jn+1} - Z_{jn}) = 0; \quad \forall n \in \{0, 1, \dots, j-1\}, j \in M^m. \end{cases} \quad (2.30)$$

**УСЛОВИЕ 2.** ТРУБОПРОВОДЫ ПРОКЛАДЫВАЮТСЯ НА ОПРЕДЕЛЕННЫХ УРОВНЯХ.

Обозначим  $\rho$  – номер этажа. Выделим уровень  $[U_{\rho^*}^y, U_{\rho^*}^y]$  – для прокладки ТП вдоль оси  $Oy$ ;  $[U_{\rho^*}^x, U_{\rho^*}^x]$  – вдоль оси  $Ox$ . Тогда, для любой точки излома (поворота ТП)  $(X_{jn}, Y_{jn}, Z_{jn})$ ,  $n = 1, 2, \dots, k_{j-1}$   $j$ -ой трассы  $j \in M^2$ , существует такой этаж  $\rho$ , что

$$Z_{jn} \in [U_{\rho^*}^x, U_{\rho^*}^x] \cup [U_{\rho^*}^y, U_{\rho^*}^y], \quad (2.31)$$

т.е. любая точка излома трассы ТП находится в одном из уровней, выделенных для прокладки ТП.

**Условие 3.** Скорость потока в ТП должна быть в пределах рекомендуемых границ:

$$\omega_j^H \leq \omega_j \leq \omega_j^B, \quad \forall j \in M^3, \quad (2.32)$$

где  $\omega_j = \frac{Q_j}{0,785d_j^2}$ ;  $\omega_j^H$  – нижний предел;  $\omega_j^B$  – верхний предел;  $Q_j$  – расход;  $\omega_j$  – скорость.

**УСЛОВИЕ 4.** ИСКЛЮЧЕНИЕ ЗАСТОЙНЫХ ЗОН ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ. ЭТО ОЗНАЧАЕТ, ЧТО ТРАССЫ ТП НЕ ДОЛЖНЫ ИМЕТЬ ЛОКАЛЬНЫХ МИНИМУМОВ.

Пусть  $n_1, n_2, n_3 \in \{0, 1, \dots, j\}$  – точки поворота трассы  $j$ .

Причем  $n_1 > n_2 > n_3$ , тогда не должны одновременно выполняться условия:

$$Z_{jn_1} - Z_{jn_2} > 0 \wedge Z_{jn_3} - Z_{jn} > 0 \quad \forall j \in M^4. \quad (2.33)$$

**Условие 5.** Для газов – аналогично.

**УСЛОВИЕ 6.** МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НАСОСА ДОЛЖНА БЫТЬ ДОСТАТОЧНОЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЕЩЕСТВ ПО ТП И Т.Д.

Кроме перечисленных в модель задачи трассировки включены и такие очевидные условия как: не пересечение трасс ТП с аппаратами и строительными конструкциями; условия раскладки ТП внутри каналов (например: прокладывать ТП внутри канала не более чем в два ряда); условия взаимного расположения ТП с агрессивными веществами и др.

## 2.2.2. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Все методы трассировки можно разделить на две группы:

*топографические* – в этих методах приоритет отдается метрическому аспекту задачи, который предполагает учет конструктивных размеров аппаратов, соединений и пространства трассировки.

*графотеоретические* – методы трассировки, основанные на топологическом аспекте задач, который связан с выбором допустимого пространственного расположения отдельных технологических соединений при ограничении на число пересечений, число уровней и т.д.

Наиболее известными алгоритмами трассировки соединений являются следующие:

- волновой алгоритм и его модификации;
- алгоритмы трассировки по магистралям;
- лучевые;
- эвристические алгоритмы.

Волновые алгоритмы позволяют получать решения оптимальные по ряду показателей, но требуют больших затрат машинного времени. Причем, для генерирования волны используется 90 % времени.

Лучевые алгоритмы очень эффективны для выполнения трассировки несложной конфигурации. Обладают высоким быстродействием, но зачастую не могут реализовать соединения.

Эвристические алгоритмы основаны на учете специфической особенности задачи и зачастую дают хорошие решения за короткое время.

Использование алгоритмов трассировки по магистралям приводит к сокращению числа рассматриваемых вариантов и как следствие этого эти алгоритмы обладают большим быстродействием.

В структуре соединений ТП можно выделить два вида соединений ТП: простое – связывающее только два аппарата; и разветвленное – связывающее три и более аппаратов, один из которых, как правило, – источник, а остальные – стоки или наоборот.

## 2.2.3. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ

В математическое обеспечение системы компоновки включены следующие алгоритмы трассировки: двух-лучевой – для реализации соединений простых связей и алгоритм построения кратчайшего связывающего дерева (КСД) – для разветвленного ТП. Оба алгоритма ориентированы на представление пространства трассировки в виде системы ортогональных каналов, внутри которых осуществляется прокладка трасс трубопроводов.

Формирование каналов осуществляется в соответствии с правилами трассировки ТП. Вдоль цеха – продольные каналы (под ригелями на отметке от 2,5 до 4 м), поперек цеха – поперечные каналы (в зоне ригелей от 4 до 5,5 м). Емкость (размеры) каждого канала определяются в зависимости от плана расположения оборудования, зон ремонта и т.д.

Таким образом область трассировки можно представить в виде ортогонального графа  $Q = (v, u)$ , вершины которого  $v = \{v_i | i = 1, 2, \dots, k_p\}$  соответствуют пересечениям каналов, а ребра  $u = \{u_j | j = 1, 2, \dots, t\}$  участкам каналов.

**Рассмотрим работу алгоритмов при трассировке.**

### *Двух-лучевой алгоритм трассировки*

1. Определяется взаимное расположение аппаратов, которые надо соединять. Если аппараты размещены на разных этажах по условиям 1 – 4, определяется этаж, где будут проходить горизонтальные составляющие трассы.

2. В зависимости от взаимного расположения аппаратов, выбираются по два направления от каждого аппарата, по которым будут распространяться лучи.

3. Осуществляется построение трассы от штуцера аппарата до ближайшего канала.

4. С шагом, равным расстоянию между каналами, осуществляется распространение лучей в соответствии с выбранными направлениями.

5. Распространение лучей заканчивается, если встретятся два разноименных луча.

6. В случае возникновения препятствия распространения луча в выбранном направлении прекращается и делается попытка продвижения в другом направлении.

Рассмотрим пример прокладки трассы трубопровода для соединения аппаратов *A* и *B*. На рис. 2.1 показан план этажа цеха с системой взаимно-перпендикулярных каналов, которые изображены пунктирными линиями. X-места входов и выходов трасс трубопроводов в канал. Символом  – обозначены колонны. Обозначим направление движения лучей как 1() , 2() , 3() , 4() . Тогда с учетом взаимного расположения аппаратов,



местами возможного входа трассы трубопровода в канал будут точки  $A_1$  и  $A_2$  для аппарата  $A$  и точки  $B_3B_4$  для аппарата  $B$ .

От каждого аппарата будем распространять два луча:

$A^1$  – от точки  $A_1$  ВПРАВО и  $A^2$  – от точки  $A_2$  ВВЕРХ;

$b^1$  – от точки  $B_3$  влево и  $b^2$  – от  $B_4$  вниз.

Если аппарат  $B$  будет левее  $A$ , то путевые координаты вправо и влево надо поменять местами. Одновременно будем распространять все четыре луча до встречи двух разноименных лучей в точке  $V_*$ , либо до блокирования всех лучей. Продвижение лучей по каналу будем осуществлять с шагом соответствующим расстоянию между каналами.

Для реализации соединения воспользуемся матрицей пересечения каналов

$$P_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если каналы } i \text{ и } j \text{ не пересекаются;} \\ 1, & \text{если каналы } i \text{ и } j \text{ пересекаются.} \end{cases}$$

где  $P_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если каналы } i \text{ и } j \text{ не пересекаются;} \\ 1, & \text{если каналы } i \text{ и } j \text{ пересекаются.} \end{cases}$

Распределение лучей закончится, когда после очередного шага будет выполнено одно из условий:  $P_{r(a^1)r(b^2)} = 1$  или  $P_{r(a^2)r(b^1)} = 1$ , где  $r(a^1)$ ,  $r(a^2)$ ,  $r(b^2)$ ,  $r(b^1)$  – соответственно номера каналов, в которых находятся лучи  $a^1b^1$ ,  $a^2$ ,  $b^2$ . Рассмотрим несколько частных случаев:

1. Аппараты  $A$  и  $B$  размещены в одном продольном ряду. Для соединения аппаратов в этом случае достаточно выполнить условия  $r(a^1) = r(b^2)$  или  $r(a^2) = r(b^1)$ , т.е. трассировка заканчивается как только лучи попадают в один и тот же канал.

2. Аппараты  $A$  и  $B$  размещены в одном поперечном ряду (по ширине цеха).

В этом случае должно выполняться условие:

$$r(a^2) = r(b^2) \quad \text{или} \quad r(a^1) = r(b^1).$$

3. Аппараты  $A$  и  $B$  размещены в одной строительной клетке.

Для этого случая допускается прямое соединение аппаратов, без выхода в канал.

Как правило, получается два варианта трассировки. Выбор лучшего варианта осуществляется по критерию минимальной длины трассы. Если длина трасс одинакова, то предпочтение отдается трассе с меньшим числом поворотов.

*Алгоритм прокладки трасс для разветвленных ТП.*

Решение задачи выполняется в два этапа:

На первом этапе с использованием алгоритма Краскала производится построение КСД-дерева Прима.

На втором этапе для каждого ребра дерева Прима формируется множество реализующих его вариантов  $S$ -ребер (под  $S$ -ребром понимается цепь ребер в ортогональном графе  $Q$ , имеющая началом и концом две вершины  $V_i, V_j$ ), покрывающих минимальное дерево Штейнера и выбираем  $S$ -ребро, обеспечивающее min суммарную длину дерева Штейнера. Этот процесс повторяется для всех разветвленных ТП.

*Алгоритм построения КСД.*

1. Для заданного подмножества вершин  $k^t$ , на которых надо построить КСД вычисляется расстояние между всеми вершинами и заносится в матрицу  $D = \|d_{ij}\|_{k^t \times k^t}$ .

2. Определяется ребро с минимальным весом.

3. Определяется следующее ребро. При этом новое ребро не должно совпадать с уже выбранным.

Процесс повторяется до построения  $(k^t - 1)$ -го ребра.

Полученный список ребер и является искомым деревом Прима с минимальным весом. Проиллюстрируем сказанное на примере (рис. 2.2).

Пусть надо построить СС на 3-х вершинах  $V_{11}, V_{25}, V_{32}$ . Для простоты расстояние между двумя смежными вершинами возьмем равным 1.

1. Вычисляем расстояние между вершинами:

$$d(V_{11}, V_{25}) = 5; d(V_{11}, V_{32}) = 3; d(V_{25}, V_{32}) = 4.$$

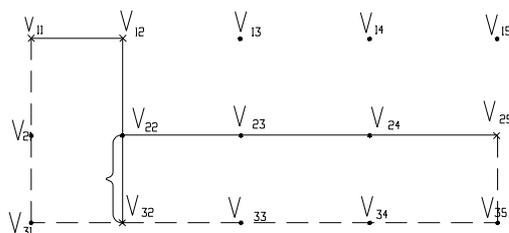
2. Определяем ребра КСД.

1)  $V_{11} - V_{32}$  2)  $V_{32} - V_{25}$

3. Формируем два варианта  $S$ -ребер для каждого из ребер  $V_{11} - V_{32}$  и  $V_{32} - V_{25}$  по каналам прямоугольной зоны, внутри которой лежат вершины. Это варианты:

$V_{11}, V_{21}, V_{31}, V_{32}$  и  $V_{11}, V_{12}, V_{22}, V_{32}$  для ребра  $V_{11} - V_{32}$ .

$V_{32}, V_{22}, V_{23}, V_{25}$  и  $V_{32}, V_{33}, V_{34}, V_{35}, V_{25}$  для ребра  $V_{32} - V_{25}$ .



**Рис. 2.2. Пример построения кратчайшей связывающей сети в ортогональном графе**

4. Каждое  $S$ -ребро моделируем в матрице  $P$ , увеличивая на единицу значение  $P_{ij}$ , если хоть один вариант  $S$ -ребра проходит через вершину  $V_{ij}$ :

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

5. Окончательно выбираем те варианты  $S$ -ребер, которые проходят через вершину с максимальными значениями  $P_{ij}$ . В данном примере соответственно получаем  $S$ -ребра:

$V_{11}, V_{12}, V_{22}, V_{32}$  и  $V_{32}, V_{22}, V_{23}, V_{24}, V_{25}$ . Фрагмент  $V_{22}, V_{32}$  для этих ребер является общим, что позволяет уменьшить общую длину связывающей сети.

#### Вопросы для самопроверки

1. Какие задачи, связанные с компоновкой оборудования, чаще всего решаются на производстве?
2. Какие критерии используются при автоматизированном решении задач компоновки?
3. Как принятые допущения при постановке задачи отразятся на конечном решении?
4. Какие факторы определяют расположение оборудования по высотным отметкам?
5. Какие алгоритмы и почему наиболее приемлемы при автоматизированном решении задач компоновки в многоэтажных производственных помещениях?
6. Назовите основные алгоритмы, используемые при прокладке трасс технологических трубопроводов.
7. В каких зонах осуществляется прокладка трасс трубопроводов по этажам и на этажах цеха?
8. Какова роль человека при автоматизированном решении задач размещения оборудования и трассировки трубопроводов?

### 3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА

Наряду с проектированием производств в многоэтажных цехах, строящихся из типовых железобетонных конструкций, часто проектирование производств осуществляется в цехах ангарного (павильонного) типа. Проектирование в цехах ангарного типа имеет ряд преимуществ по сравнению с многоэтажными цехами. Наиболее важными из них являются отсутствие жесткой привязки высотных отметок расположения оборудования к высотным отметкам этажей цеха, меньшие сроки строительства цехов и возможность быстрой их реконструкции, монтаж оборудования на металлоконструкциях. Данные отличия дают проектировщикам возможность более гибкого варьирования высотного расположения оборудования для обеспечения оптимального режима транспортировки веществ, снижения затрат на трубопроводы и насосы, улучшения условий обслуживания оборудования и его монтажа. Нахождение оптимального варианта размещения технологического оборудования имеет существенное значение, так как влияет не только на стоимость проектируемого производства, но и на удобство работы людей и безопасность производства.

Для решения задачи размещения оборудования в цехах ангарного типа необходимо также проведение вспомогательных расчетов (гидравлических, тепловых и прочностных) с определением режима транспортировки, диаметров трубопроводов, времени транспортировки, необходимого избыточного давления в аппаратах для перекачивания и т.д. Эти расчеты особенно важны при проектировании малотоннажных многоассортиментных производств, так как в них на одной технологической схеме выпускается несколько продуктов и необходимо точно знать время загрузки сырья в аппараты, выгрузки готовой продукции, промежуточной транспортировки реакционной массы.

Решение данной задачи зависит от множества трудно формализуемых факторов, что существенно затрудняет автоматизацию поиска оптимального варианта размещения технологического оборудования.

### 3.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА

Для отбора наилучшего варианта размещения из множества допустимых необходимо принять критерий оптимальности. В данном случае целесообразно использовать критерий приведенных затрат, включающий в себя капитальные и эксплуатационные затраты:

$$S = SK E_{\text{н}} + SE, \quad (3.1)$$

где  $S$  – критерий оптимальности (приведенные затраты);  $SK$ ,  $SE$  – капитальные и эксплуатационные затраты;  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений.

*К капитальным затратам относятся:*

- стоимость монтажа оборудования;
- стоимость металлоконструкций;
- стоимость строительных конструкций цеха;
- стоимость транспортных трубопроводных сетей;
- стоимость устройств для транспортировки веществ (насосы, компрессорные установки);
- стоимость трубопроводной арматуры.

#### **Стоимость монтажа оборудования**

$$SK1 = \sum_{i=1}^I M_i, \quad (3.2)$$

где  $M_i$  – стоимость монтажа  $i$ -й единицы оборудования;  $I$  – общее число единиц размещаемого оборудования.

#### **Стоимость металлоконструкци.**

$$SK2 = \sum_{i=1}^I MK_i, \quad (3.3)$$

где  $MK_i$  – стоимость металлоконструкций для  $i$ -ой единицы оборудования.

#### **Стоимость строительных конструкций цеха**

$$SK3 = N_c Z_c + N_k Z_k; \quad (3.4)$$

$$N_c = 2(AC + BC); \quad (3.5)$$

$$N_k = AB, \quad (3.6)$$

где  $N_c$  – площадь стен ангарного цеха,  $\text{м}^2$ ;  $Z_c$  – затраты на строительство одного  $\text{м}^2$  стен цеха;  $N_k$  – площадь крыши ангарного цеха,  $\text{м}^2$ ;  $Z_k$  – затраты на строительство одного  $\text{м}^2$  крыши цеха;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – длина, ширина и высота ангарного цеха, м.

Если габариты цеха являются варьируемым параметром, то они представляют собой функцию от координат аппаратов:

$$A, B, C = f(X_i, Y_i, Z_i), \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad (3.7)$$

где  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $Z_i$  – координаты  $i$ -го аппарата.

#### **Стоимость технологических трубопроводов**

$$SK4 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I (R_{ij} \sum_{k=1}^K L_{ijk} C_{ijk}), \quad i \neq j, \quad (3.8)$$

где  $R$  – матрица размерностью  $[I \times I]$ ;  $L_{ijk}$  – длина  $k$ -ой связи между аппаратами  $i$  и  $j$ ;  $C_{ijk}$  – стоимость одного метра  $k$ -го трубопровода между аппаратами  $i$  и  $j$ ;  $K$  – общее число связей между аппаратами  $i$  и  $j$ .

Длина  $k$ -ого трубопровода между аппаратами  $i$  и  $j$  рассчитывается следующим образом:

$$L_{ijk} = |X_{ik} - X_{jk}| + |Y_{ik} - Y_{jk}| + |Z_{ik} - Z_{jk}|, \quad (3.9)$$

где  $X_{ik}$ ,  $Y_{ik}$ ,  $Z_{ik}$  – координаты штуцера аппарата  $i$  (источника);  $X_{jk}$ ,  $Y_{jk}$ ,  $Z_{jk}$  – координаты штуцера аппарата  $j$  (приемника).

*Затраты на устройства для транспортировки веществ.*

Затраты на транспортные средства представляют собой затраты на устройства, необходимые для обеспечения передачи материальных потоков из одного аппарата в другой за заданное время с заданным расходом.

Задача усложняется тем, что для каждого трубопровода при каждом варианте размещения необходимо проводить гидравлические расчеты для подбора способа транспорта (насос, самотек, перекачивание), сравнения затрат на тот или иной вид транспорта и выбор оптимального.

Затраты на транспортные устройства можно записать следующим образом:

$$SK5 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I (R_{ij} \sum_{k=1}^K \beta_{ijk} CT_{ijk}), \quad i \neq j, \quad (3.10)$$

где  $R_{ij}$  – коэффициент, принимает значение 0 если аппараты  $i$  и  $j$  не связаны трубопроводом, и 1 если аппараты  $i$  и  $j$  связаны трубопроводом;  $\beta_{ijk}$  – коэффициент, принимает значение 0 если для транспортировки через  $k$ -ю связь между аппаратами  $i$  и  $j$  не требуется установки какого-либо устройства (самотек), и 1 в обратном случае;  $CT_{ijk}$  – стоимость устройства, необходимого для транспортировки материальных потоков через  $k$ -ю связь между аппаратами  $i$  и  $j$ .

Стоимость устройств для транспортировки веществ – это функция, зависящая от геометрии аппаратов соединяемых  $k$ -ым трубопроводом, направления транспортировки материальных потоков, времени за которое необходимо произвести транспортировку, взаимного расположения аппаратов и от характеристик веществ и трубопровода.

### **Стоимость трубопроводной арматуры:**

$$SK6 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I (R_{ij} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M CA_{ijkm}), \quad i \neq j, \quad (3.11)$$

где  $CA_{ijkm}$  – стоимость  $m$ -й единицы арматуры на  $k$ -й связи между аппаратами  $i$  и  $j$ .

### **Капитальные затраты:**

$$SK = SK1 + SK2 + SK3 + SK4 + SK5 + SK6. \quad (3.12)$$

Подставляя зависимости из уравнений (3.2) – (3.11) в уравнение (3.12) получим:

$$SK = \sum_{i=1}^I (M_i + MK) E_H + (N_c Z_c + N_k Z_k) E_H + \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I (R_{ij} \sum_{k=1}^K (L_{ijk} C_{ijk} + \beta_{ijk} CT_{ijk}) + \sum_{m=1}^M CA_{ijkm}) E_H. \quad (3.13)$$

К эксплуатационным затратам относятся:

- стоимость электроэнергии, затрачиваемой на транспортировку веществ;
- потери тепловой энергии от трубопроводов;
- затраты на ремонт оборудования.

Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на транспортировку веществ

$$SE1 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I (R_{ij} \sum_{k=1}^K \beta_{ijk} NT_{ijk} C_{ЭЭ} t_{\text{экспл}}), \quad (3.14)$$

где  $NT_{ijk}$  – мощность устройства для транспортировки веществ через  $k$ -ю связь между аппаратами  $i$  и  $j$ , кВт;

$C_{ЭЭ}$  – стоимость 1-го кВт·ч,  $\frac{\text{р.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ ;  $t_{\text{экспл}}$  – время эксплуатации устройства для транспортировки веществ через  $k$ -ю связь между аппаратами  $i$  и  $j$ , ч.

Потери тепловой энергии от трубопроводов.

$$SE2 = \sum_{i=1}^I \sum_{j=i}^I (R_{ij} \sum_{k=1}^K \alpha_{ijk} (Tn_{ijk} - T_{\text{ср}}) \Pi_{ijk} \text{СТЭ}), \quad (3.15)$$

где  $\Pi_{ijk}$  – площадь поверхности контакта  $k$ -го трубопровода с окружающей средой, м<sup>2</sup>;  $\alpha_{ijk}$  – общий коэффициент лучисто-конвективного теплообмена на нагретой поверхности,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ ; СТЭ – стоимость 1-го Вт тепловой энергии, р./Вт;  $Tn_{ijk}$  – температура поверхности  $k$ -го трубопровода между аппаратами  $i$  и  $j$ ;  $T_{\text{ср}}$  – температура окружающей среды.

$$\Pi_{ijk} = f(d_{ijk}, L_{ijk});$$

$$SE2 = f(d_{ijk}, L_{ijk}, Tn_{ijk}, T_{cp}).$$

Стоимость ремонта оборудования

$$SE3 = \sum_{i=1}^I (CKR_i KR_i + CTR_i TR_i), \quad (3.16)$$

где  $CKR_i$  – стоимость капитального ремонта  $i$ -й единицы оборудования;  $KR_i$  – число капитальных ремонтов  $i$ -й единицы оборудования за срок эксплуатации;  $CTR_i$  – стоимость текущего ремонта  $i$ -й единицы оборудования;  $TR_i$  – число текущих ремонтов  $i$ -й единицы оборудования за срок эксплуатации

Эксплуатационные затраты:

$$SE = SE1 + SE2 + SE3. \quad (3.17)$$

Подставляя зависимости из уравнений (3.14) – (3.16) в уравнение (3.17) получим:

$$SE = \sum_{i=1}^I (CKR_i KR_i + CTR_i TR_i) + \beta_{ijk} N T_{ijk} C \Delta t_{\text{экспл}} + \alpha_{ijk} (Tn_{ijk} - T_{cp}) P_{ijk} \text{ СГТ}. \quad (3.18)$$

Общий критерий (приведенные затраты):

$$S = E_n SK + SE = E_n (SK1 + SK2 + SK3 + SK4 + SK5 + SK6) + SE1 + SE2 + SE3. \quad (3.19)$$

### 3.1.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ХТС В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА

При размещении технологического оборудования необходимо учитывать ряд ограничений, продиктованных условиями функционирования ХТС, требованиями нормативных документов, возможностью и удобством монтажа и обслуживания оборудования.

Для формализации ограничений примем следующие допущения:

- принята прямоугольная система координат  $XYZO$ ;
- все объекты, участвующие в процессе размещения (аппараты, металлоконструкции, отрезки трубопроводов и т.д.) аппроксимируются параллелепипедами;
- габаритные размеры параллелепипедов включают зоны обслуживания аппаратов;
- объекты пересекаются, если пересекаются множества точек пространства, замкнутые в соответствующих параллелепипедах;
- аппараты могут перемещаться по трем координатам ( $X, Y, Z$ ) в принятой прямоугольной системе координат, и вращаться вокруг оси, параллельной оси  $OZ$ , проходящей через центр параллелепипеда на угол кратный  $90^\circ$  ( $90^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$ ).

С учетом принятых допущений и обозначений основные ограничения математической модели можно записать следующим образом:

При размещении объекты не должны пересекаться

Не пересечение аппаратов с аппаратами:

$$U_i \cap U_k = \emptyset, i = 1, 2, \dots, I; k = 1, 2, \dots, I; i \neq k. \quad (3.20)$$

Не пересечение аппаратов с остальными объектами:

$$U_i \cap V_j = \emptyset, i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, N. \quad (3.21)$$

Координаты аппаратов варьируются в заданном диапазоне

$$\begin{cases} X_i = [X_{i*}; X_i^*]; \\ Y_i = [Y_{i*}; Y_i^*]; \\ Z_i = [Z_{i*}; Z_i^*], \end{cases} \quad (3.22)$$

$i = 1, 2, \dots, I.$

Данное ограничение наиболее важно при размещении оборудования в помещениях с разной категорией по взрывопожарной и пожарной опасности.

Аппараты могут быть зафиксированы

$$X_i, Y_i, Z_i = \text{const}. \quad (3.23)$$

Габариты цеха варьируются в заданном диапазоне

$$\begin{cases} A_* \leq A \leq A^*; \\ B_* \leq B \leq B^*; \\ C_* \leq C \leq C^*. \end{cases} \quad (3.24)$$

**Зоны, в пределах которых не должно размещаться оборудование (проходы, входы, выходы из цеха и т.д.)**

$$U_i \cap H_z = \emptyset, \quad i=1, 2, \dots, I, \quad z=1, 2, \dots, Z. \quad (3.25)$$

**Расстояние между аппаратами не должно быть менее допустимого**

$$\rho(U_i, U_k) \geq [\rho 1]_{ik}, \quad i \neq k. \quad (3.26)$$

**Расстояние между аппаратами и строительными конструкциями не должно быть менее допустимого**

$$\rho(U_i, SK) \geq [\rho 2]_i, \quad i=1, 2, \dots, I. \quad (3.27)$$

**Расположение аппаратов должно обеспечивать транспорт веществ самотеком, если это задано в исходных данных.**

Если транспорт через  $k$ -й трубопровод из аппарата  $i$  в аппарат  $j$  необходимо обеспечить самотеком, то разность высот расположения аппаратов должна быть не меньше расчетной, при которой транспорт самотеком будет обеспечен.

$$Z_i - Z_j \geq \Delta Z p, \quad i=1, 2, \dots, I; \quad j=1, 2, \dots, I; \quad i \neq j. \quad (3.28)$$

Разность высот между аппаратами – это функция, зависящая от геометрии аппаратов соединяемых  $k$ -м трубопроводом, направления транспортировки материальных потоков, времени, за которое необходимо произвести транспортировку, взаимного расположения аппаратов и от характеристик веществ и трубопровода.

При решении задачи размещения технологического оборудования так же необходимо учитывать ряд ограничений продиктованных условиями удобства обслуживания и ремонта оборудования.

**Однотипное оборудование может быть выстроено в ряды**

$$Y_i = Y_j, \quad Z_i = Z_j, \quad i=1, 2, \dots, I_2; \quad j=1, 2, \dots, I_2. \quad (3.29)$$

Учитывая все вышеизложенное, постановка задачи размещения оборудования в цехах ангарного типа формулируется так:

найти такие  $X_i, Y_i, Z_i, \varphi_i, d_{ijk}, L_{ijk}$ , при которых  $S(X_i, Y_i, Z_i, \varphi_i, t_{ijk}, \rho_{ijk}, \mu_{ijk}, \Delta_{ijk}, d_{ijk}, L_{ijk}) \rightarrow \min$ , и выполняются ограничения математической модели (3.20 – 3.29).

### 3.1.2. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ХТС В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА

Алгоритмы решения задач размещения объектов можно разделить на следующие группы:

– Алгоритмы парных перестановок, которые отличаются числом одновременно переставляемых объектов или итерационные алгоритмы последовательного улучшения размещения. Такие алгоритмы эффективны при размещении однотипного оборудования, когда задачу можно свести к задаче размещения на плоскости, а также при небольшом числе переставляемых объектов.

– Алгоритмы физической аналогии, основанные на представлении размещаемых объектов в виде системы материальных точек, движущихся под действием сил. В этих алгоритмах для поиска оптимума используется метод градиента, по которому материальная система побуждается к движению, в направлении, обратном направлению, в котором происходит наискорейшее увеличение приведенных затрат на размещаемый объект. К данному типу алгоритмов относятся алгоритмы, использующие силовые функции. При реализации алгоритмов между размещаемыми вершинами вводятся притягивающие силы, пропорциональные числу соединений и расстоянию между ними, и после решения соответствующей системы нелинейных дифференциальных уравнений определяются координаты размещаемых вершин, при которых система находится в равновесии.

– Алгоритмы поочередного изменения параметров, к которым относится алгоритм покоординатного спуска. Результат и скорость решения задачи существенно зависят от начального приближения, что вызывает необходимость эвристически решать задачу предварительного размещения. Алгоритмы данной группы могут применяться для решения задач размещения разногабаритных объектов в пространстве. Но для нахождения глобального оптимума необходимо применять дополнительные алгоритмы изменения начального приближения.

– Алгоритмы упорядоченного перебора, использующие метод дискретного программирования. К числу этих методов принадлежит метод ветвей и границ. При поиске оптимального варианта размещения оборудова-

ния происходит последовательная перестановка объектов на различные позиции. Используя метод ветвей и границ, отсекают неперспективные варианты решения задачи. Применение таких алгоритмов требует выделения возможных местоположений объектов, что усложняет процесс подготовки исходных данных, особенно при большом различии габаритов аппаратов.

– Алгоритмы последовательного размещения элементов характеризуются тем, что элементы размещаются последовательно и после того, как некоторые элементы уже размещены, в дальнейшем исследуются только еще неразмещенные элементы и свободные позиции. Для каждого исследуемого элемента в исследуемой позиции рассчитывается значение критерия и для размещения на определенном шаге выполнения алгоритма выбирается такой элемент и такая позиция, которые соответствуют оптимальному значению критерия.

Задача поиска оптимального решения размещения объектов относится к комбинаторному типу, в основе решения таких задач лежат процедуры порождения элементов конечного множества, указанного в условии задачи, проверка их соответствия заданным условиям и выделение, перечисление или подсчет количества элементов них. Когда число вариантов решения велико, поиск среди них оптимального простым перебором затруднителен, а в ряде случаев практически невозможен. Большое распространение получили комбинаторные алгоритмы, основанные на организации элементов анализируемого множества в виде дерева или графов.

Так как при размещении оборудования в цехах ангарного типа отсутствует дискретность по координатам, то проблематично применение алгоритмов, требующих выявлять заранее возможные местоположения аппаратов. Для нахождения оптимального варианта размещения оборудования может быть применен метод, основанный на алгоритме покоординатного спуска. Блок-схема решения задачи размещения оборудования в цехах ангарного типа данным методом представлена на рис. 3.1. Суть метода заключается в последовательном перемещении каждой единицы оборудования в пространстве последовательно по трем координатам в положительном и отрицательном направлении. В случае если при перемещении оборудования значение критерия ухудшилось, то происходит возврат. Возврат также происходит, если при перемещении объектов нарушается хотя бы одно из наложенных ограничений. Перемещение оборудования производится на величину шага, который дробится в случае, если при перемещении каждой единицы оборудования во всех направлениях не происходит улучшения. Последовательность перемещения оборудования определяется количеством трубопроводов каждой единицы оборудования. Первым размещается аппарат, имеющий наибольшее количество связей. Оптимизация заканчивается в случае, когда при шаге меньшем или равном минимальному не происходит улучшения критерия. Результат размещения технологического оборудования с применением данного алгоритма существенно зависит от начального расположения оборудования.

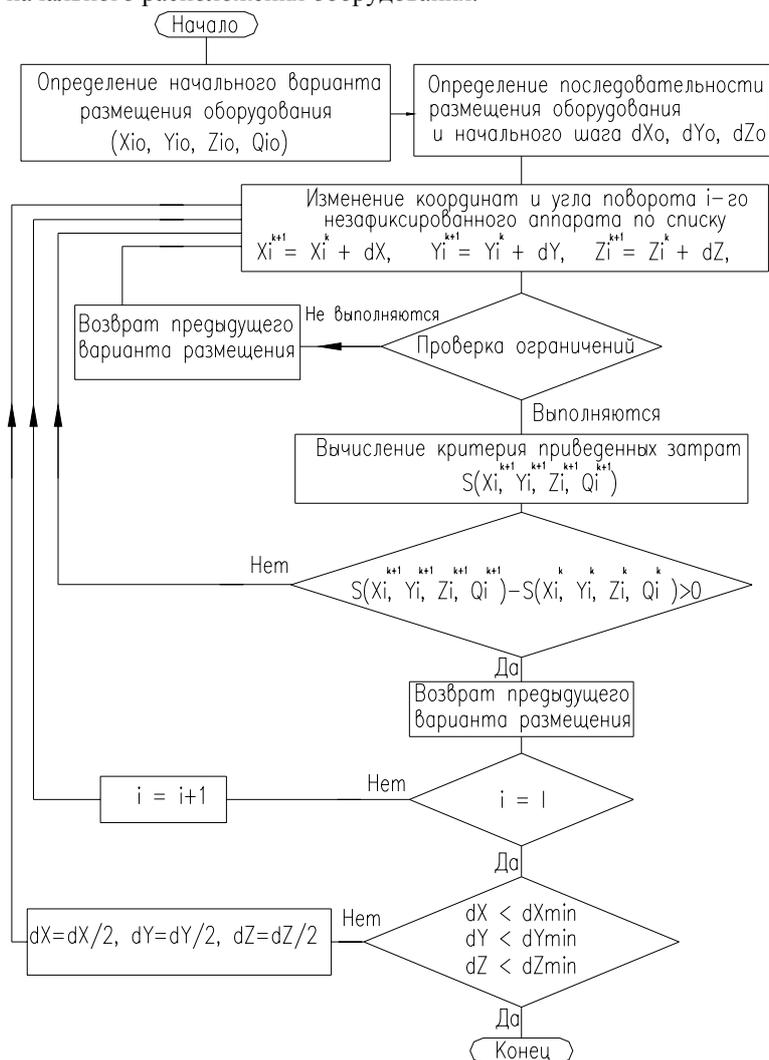


РИС. 3.1. БЛОК-СХЕМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА МЕТОДОМ ПОКООРДИНАТНОГО СПУСКА

Рассмотренная выше постановка задачи размещения технологического оборудования в цехах ангарного типа и алгоритм поиска оптимального решения реализованы в информационно-графической системе компоновки технологического оборудования [28], которая подробно описана в главе 5.

### 3.2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Проектирование компоновки ХТС является сложным процессом, предусматривающим решение задач размещения оборудования и трассировки трубопроводов. Соединение оборудования технологическими трубопроводами – один из ключевых этапов. От правильного решения этой задачи в значительной степени зависят затраты на проектируемый объект.

Исходными данными для задачи трассировки являются: физико-химические данные о транспортируемых продуктах (плотность, вязкость, процентное содержание твердых частиц и др.); данные с этапа расчета аппаратного оформления ХТС (число аппаратов, габариты оборудования, структура связей между аппаратами); а также данные, полученные в результате решения задачи размещения (габариты цеха, координаты размещения оборудования в цехе и строительных конструкций).

Словесная постановка задачи трассировки технологических трубопроводов формулируется так: найти, с учетом всех правил, требований и ограничений, такое пространственное расположение технологических трубопроводов, при которых приведенные затраты на проектируемый объект минимальны.

#### 3.2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ ХТС В ЦЕХАХ АНГАРНОГО ТИПА

Для описания процесса трассировки введем ряд допущений:

- Рассматривается прямоугольная система координат  $XYZO$ .
- Все объекты, участвующие в процессе трассировки аппроксимируются параллелепипедами. Отрезки трубопровода – цилиндрами.
- Объекты пересекаются, если пересекаются соответствующие параллелепипеды или цилиндры.

Обозначения:

Структуру связей между аппаратами зададим в виде матрицы связей:

$$SV = \{1...NA, 1...NA, 1...FS\},$$

где  $NA$  – число аппаратов ХТС;  $FS$  – общее количество физико-химические свойств.

$SV_{ij1}$  – признак наличия технологической связи между  $i$ -м и  $j$ -м аппаратами.

$SV_{ij1} = 1$  – при наличии технологической связи между  $i$ -м и  $j$ -м аппаратами, иначе  $SV_{ij1} = 0$ .

$SV_{ij2}$  – стоимость 1-го метра трубопровода между  $i$ -м и  $j$ -м аппаратами.

$SV_{ij3}$  – признак, определяющий способ транспортировки веществ по связям.  $SV_{ij3} = 1$  – самотек,  $SV_{ij3} = 2$  – передавливание,  $SV_{ij3} = 3$  – транспортировка насосом.

$SV_{ij4}$  – признак, различающий разветвленный трубопровод от неразветвленного.  $SV_{ij4} = 0$  – если неразветвленный трубопровод, иначе  $SV_{ij4} = n$ , где  $n$  – номер разветвленного трубопровода.

$SV_{ijk}$  – физико-химические свойства вещества,  $k = 5...FS$ .

$TRAS_j = \left\{ \sum_i^{NF} (xnt_{ji}, ynt_{ji}, znt_{ji}, xkt_{ji}, ykt_{ji}, zkt_{ji}, d_{ji}) \right\}$  – пространственное расположение  $j$ -ой трассы  
 $j = 1...NT$  – число технологических связей:

$(xnt_{ji}, ynt_{ji}, znt_{ji}, xkt_{ji}, ykt_{ji}, zkt_{ji}, d_{ji})$  –  $i$ -ый фрагмент  $i = 1...NF$ ,  $NF$  – число фрагментов в  $j$ -ой трассе;

$xnt_{ji}, ynt_{ji}, znt_{ji}$  – координаты начала  $i$ -го фрагмента трассы  $j$ -го трубопровода;

$xkt_{ji}, ykt_{ji}, zkt_{ji}$  – координаты конца  $i$ -го фрагмента трассы  $j$ -го трубопровода;

$d_{ji}$  – диаметр трубопровода, при этом фрагменты  $i$  и  $I + 1$  одной трассы удовлетворяют условию:

$$\begin{cases} xkt_{ji} = xnt_{ji} + 1; \\ ykt_{ji} = ynt_{ji} + 1; \\ zkt_{ji} = znt_{ji} + 1. \end{cases} \quad (3.30)$$

$APP_i = (xa_i, ya_i, za_i, gxa_i, gya_i, gza_i)$  – пространственное расположение  $i$ -го аппарата,  $i = 1 \dots NA$  – число аппаратов, где  $xa_i, ya_i, za_i$  – координаты точки пересечения диагоналей параллелепипеда;  $gxa_i, gya_i, gza_i$  – габариты параллелепипеда.

Под строительными конструкциями будем понимать совокупность колонн, перекрытий, металлоконструкций, фундаментов и опор.

$KON_i = (xk_i, yk_i, zk_i, gxk_i, gyk_i, gzk_i)$  – пространственное расположение  $i$ -ой конструкции,  $i = 1 \dots NK$  – число конструкций, где  $xk_i, yk_i, zk_i$  – координаты точки пересечения диагоналей параллелепипеда описывающего  $i$ -ю единицу строительных конструкций;  $gxk_i, gyk_i, gzk_i$  – габариты параллелепипеда.

По условиям производства должны быть предусмотрены зоны, запретные для прокладки трубопроводов (например, зоны для щитов КИП, монтажные проемы, проходы людей и др.).

$ZZ_i = (xz_i, yz_i, zz_i, gxz_i, gyz_i, gzz_i)$  – пространственное расположение  $i$ -ой запретной зоны для прокладки трубопровода,  $i = 1 \dots NZ$  – число запретных зон, где  $xz_i, yz_i, zz_i$  – координаты точки пересечения диагоналей параллелепипеда.

$gxz_i, gyz_i, gzz_i$  – габариты параллелепипеда.

– Пространственное размещение оборудования

$$APP = \{APP_i | i = 1 \dots NA\} .$$

– Пространственное размещение запретных зон

$$ZZ = \{ZZ_i | i = 1 \dots NZ\} .$$

– Пространственное размещение конструкций

$$KON = \{KON_i | i = 1 \dots NK\} .$$

– Пространственный вариант трассировки трубопровода

$$TRAS = \{TRAS_i | i = 1 \dots NT\} .$$

Для выбора оптимального варианта трассировки из всех допустимых необходимо принять критерий оптимальности.

В качестве критерия оптимальности задачи трассировки чаще всего используются приведенные затраты. Можно выделить следующие составляющие определяющие экономическую эффективность полученного проекта: это стоимости трубопроводов, насосов, изоляции, компенсаторов и опор, так же надо учесть стоимость электроэнергии, затраты на амортизацию и ремонт. Все эти составляющие зависят от длины и количества поворотов трубопровода, а в нашем случае от количества фрагментов трассы и суммарной длины этих фрагментов.

Т.е. критерий оптимальности можно записать следующим образом:

$$OPT(TRAS) = E_{\text{экс}}(TRAS) + E_{\text{н}} E_{\text{кап}}(TRAS) , \quad (3.31)$$

где  $E_{\text{экс}}(TRAS) = \mathcal{E}(TRAS) + A(TRAS) + P(TRAS)$  – эксплуатационные затраты;  $\mathcal{E}(TRAS)$  – стоимость электроэнергии на транспорт продуктов;  $A(TRAS)$ ,  $P(TRAS)$  – соответственно затраты на амортизацию и ремонт трубопроводов;

$$E_{\text{кап}}(TRAS) = T(TRAS) + H(TRAS) + И(TRAS) + K(TRAS) + O(TRAS) + M(TRAS)$$

– капитальные затраты;  $T(TRAS)$ ,  $H(TRAS)$ ,  $И(TRAS)$ ,  $K(TRAS)$ ,  $O(TRAS)$ ,  $M(TRAS)$  – соответственно стоимость трубопроводов, насосов, изоляции, компенсаторов, опор и монтажа при некотором варианте трассировки трубопровода;  $E_{\text{н}}$  – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений.

Ограничения.

С учетом введенных обозначений установим основные ограничения математической модели, которые должны быть выполнены при трассировке.

*Прокладка трубопроводов осуществляется в ортогональной метрике параллельно стенам цеха:*

$$\begin{cases} (xnt_{ji} - xkt_{ji})(ynt_{ji} - ykt_{ji}) = 0; \\ (xnt_{ji} - xkt_{ji})(znt_{ji} - zkt_{ji}) = 0; \\ (ynt_{ji} - ykt_{ji})(znt_{ji} - zkt_{ji}) = 0, \end{cases} \quad (3.32)$$

где  $i = 1 \dots NF$  ;  $j = 1 \dots NT$  .

*Трассы трубопроводов должны прокладываться в пределах цеха:*

$$\begin{cases} xnt_{ji}, xkt_{ji} \in [xch_*, xch^*]; \\ ynt_{ji}, ykt_{ji} \in [ych_*, ych^*]; \\ znt_{ji}, zkt_{ji} \in [zch_*, zch^*], \end{cases} \quad (3.33)$$

где  $i = 1 \dots NF$  ;  $j = 1 \dots NT$  ,  $xch_*$  ,  $xch^*$  ,  $ych_*$  ,  $ych^*$  ,  $zch_*$  ,  $zch^*$  – нижние и верхние пределы размеров цеха по соответствующим координатам.

*Скорость потока в трубопроводе должна быть в пределах рекомендуемых границ:*

$$\omega_j^H \leq \omega_j \leq \omega_j^B; \quad (3.34)$$

$$\omega_j = \frac{Q_j}{0,785 d_j^2}; \quad j = 1 \dots NT,$$

где  $\omega_j$  – скорость потока в  $j$ -м трубопроводе;  $\omega_j^H, \omega_j^B$  – рекомендуемые нижняя и верхняя границы скорости потока, м/с в  $j$ -м трубопроводе;  $Q_j$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/с.

*Минимальное расстояние между участками трасс должно быть не менее допустимого*

$$R(TRAS_i, TRAS_j) \geq [R_T] \quad j = i+1 \dots NF, \quad i = 1 \dots NF, \quad (3.35)$$

где  $R(TRAS_i, TRAS_j)$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м трубопроводом;  $R_T$  – допустимое расстояние между трубопроводами.

*Минимальное расстояние между участками трасс и аппаратами должно быть не менее допустимого*

$$R(APP_i, TRAS_j) \geq [R_a], \quad i = 1 \dots NA, \quad j = 1 \dots NF, \quad (3.36)$$

где  $R(APP_i, TRAS_j)$  – расстояние между  $i$ -м аппаратом и  $j$ -м трубопроводом;  $R_a$  – допустимое расстояние между трубопроводом и аппаратом.

*Минимальное расстояние между участками трасс и конструкциями должно быть не менее допустимого*

$$R(KON_i, TRAS_j) \geq [R_K] \quad i = 1 \dots NK, \quad j = 1 \dots NF, \quad (3.37)$$

где  $R(KON_i, TRAS_j)$  – расстояние между  $i$ -ой конструкцией и  $j$ -ым трубопроводом;  $R_K$  – допустимое расстояние между трубопроводом и конструкцией.

*Геометрической разности высот должно быть достаточно при данной конфигурации трубопровода для обеспечения самотека.*

При этом должны соблюдаться временные пределы на транспортировку вещества. Тогда

$$\Delta Z \geq \sum h = h_1 + h_2 = \lambda \frac{L\omega^2}{2dg} + \sum \xi \frac{\omega^2}{2g}, \quad (3.38)$$

где  $\Delta Z$  – геометрическая разность высот;  $\rho$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $L$  – длина трубопровода, м;  $d$  – диаметр трубопровода, м;  $\omega$  – скорость течения жидкости в трубопроводе, м/с;  $\xi$  – коэффициент потерь напора от местных сопротивлений.

*Трассы не должны пересекаться друг с другом.*

$$TRASS_i \cap TRASS_j = \emptyset \quad i = 1 \dots NF, \quad j = 1 \dots NF. \quad (3.39)$$

Трассы не должны пересекаться с аппаратами.

$$TRASS_i \cap APP_m = \emptyset \quad i = 1 \dots NF, \quad m = 1 \dots NA. \quad (3.40)$$

Трассы не должны пересекаться со строительными конструкциями.

$$TRASS_i \cap KON_k = \emptyset \quad i = 1 \dots NF, \quad k = 1 \dots NK. \quad (3.41)$$

Трассы не должны проходить в зонах обслуживания оборудования.

$$TRASS_i \cap ZZ_c = \emptyset \quad i = 1 \dots NF, \quad c = 1 \dots NZ. \quad (3.42)$$

Исходя из всего изложенного, можно сформулировать задачу трассировки технологических трубопроводов следующим образом: найти такой вариант трассировки трубопроводов  $(xnt_{ji}, ynt_{ji}, znt_{ji}, xkt_{ji}, ykt_{ji}, zkt_{ji})$   $i = 1 \dots NF, j = 1 \dots NT$ , при котором выполняются условия (3.32) – (3.42) и критерий (3.31) достигает минимума.

### 3.2.2. АЛГОРИТМ ТРАССИРОВКИ ТРУБОПРОВОДОВ

Система транспортировки материальных потоков в ХТС состоит из двух основных типов трубопроводов: простого (соединяющего только два аппарата) и разветвленного (соединяющего более двух аппаратов). Таким образом, алгоритм трассировки ТТ должен работать как с простыми, так и с разветвленными трубопроводами.

Так как критерий оптимальности зависит от пространственного варианта трассировки трубопроводов, т.е. от длины и количества поворотов, то на этапе проведения трасс будем искать вариант трассы с наименьшими этими показателями.

На кафедре АПТО ТГТУ разработан алгоритм, позволяющий проводить как разветвленные, так и простые трубопроводы, с нахождением минимальных показателей длины и количества поворотов. Алгоритм основывается на проведение сначала самой "простой" трассы, а потом ее усложнение. Под "простой" трассой будем понимать самую рациональную трассу, т.е. с наименьшей длиной и минимальным количеством поворотов. В нашем случае самой рациональной трассой будет трасса, состоящая из максимум трех фрагментов, каждый фрагмент параллелен одной из осей  $OX, OY, OZ$ . Можно получить 6 вариантов проведения такой трассы. Если одна из этих трасс удовлетворяет всем условиям, то лучше мы уже не найдем. Для каждой такой трассы просчитываются три коэффициента. Коэффициент  $K_r$ , который равен числу пересечений трассы с другими объектами; если равен 0, то трасса считается проведенной. Коэффициент рациональности  $K_r$ , равный произведению длины на количество поворотов трассы; чем меньше это значение, тем лучше.

Получение простой трассы происходит следующим образом: определяем вектор направления, соединяющий начальную и конечную точки, потом вектор раскладывается по трем составляющим параллельным осям координат. Получаем 6 вариантов разложения или 6 простых трасс.

В случае канальной трассировки определяется маршрут: источник – канал, прохождение в канале, канал – приемник. В этом случае получаем несколько векторов направлений, процесс разложения на составляющие происходит для каждого из векторов.

Рассмотрим теперь трассировку разветвленных трубопроводов. Для разветвленного трубопровода вектор направления строится не до источника, а до ближайшей точки уже проведенной трассы, если таковой нет, то строится вектор направления до ближайшего приемника группы, которой принадлежит эта трасса. Обход препятствий осуществляется по средством обхода параллелепипеда с одной из четырех сторон.

Алгоритм трассировки неразветвленных трубопроводов включает в себя 4 этапа: определение расположения области трассировки в виде каналов; определение порядка проведения трасс трубопроводов; непосредственное решение задачи трассировки трубопроводов; оптимизация проведенных трасс.

Рассмотрим сущность основных операций каждого из этапов алгоритма. На первом этапе определяется пространственное расположение каналов (рис. 3.2 – 3.3).

*Словесное описание:*

Пользователь определяет высоту, на которой будут располагаться каналы, его ширину и ориентацию (продольный; поперечный).

Проводится сечение через каждую высотную отметку. Теперь в зависимости от ориентации делим получившийся в сечении прямоугольник на ширину канала (для продольного на длину).



Рис. 3.2. Блок схема определения расположения каналов

На втором этапе определяется порядок прокладки трасс трубопроводов. Для количественной оценки очередности трассировки трубопроводов будем использовать эвристический коэффициент конкуренции:

$$R_k = aK_i + bB_i + cD_i, \quad (3.43)$$

где  $K$  – коэффициент перекрытия каждой линии трубопровода;  $B$  – балл трубопровода;  $D$  – средний внешний диаметр трубопровода;  $a, b, c$  – коэффициенты.

Коэффициент  $K$  характеризует насыщенность пространства, в котором прокладывается  $i$ -й трубопровод, другими трубопроводами. Если  $i$ -й трубопровод трассируется в зоне прокладки многочисленных линий трубопроводов, коэффициент для него максимален, и этот трубопровод должен прокладываться раньше других.

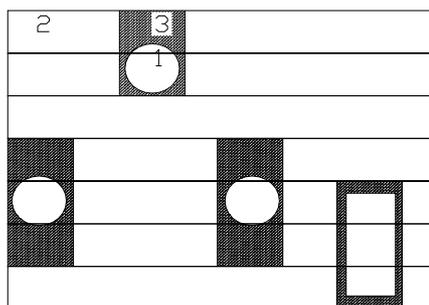


Рис. 3.3. Высотная отметка:  
1 – аппарат; 2 – канал; 3 – непригодная часть канала

Другой фактор, влияющий на очередность трассировки, – это группа и категория трубопровода, которые определяют условия и степень опасности их эксплуатации. Каждому трубопроводу можно поставить в соответствие оценку – балл трубопровода  $B$ . Если трубопровод опасен при эксплуатации и имеет большой балл  $B$ , то необходимо его трассировать таким образом, чтобы он был как можно короче, и имел меньше поворотов и обходов. Это позволит уменьшить опасность при его эксплуатации. Поэтому такие трубопроводы нужно трассировать в первую очередь.

Третий фактор, который оказывает большое влияние на очередность трассировки, – это внешний диаметр  $i$ -го трубопровода  $D$ . Прокладка трубопроводов с большим условным внешним диаметром по мере расходования ресурса каналов становится затруднительной, так как увеличивается число поворотов трассы и число обходов препятствий. Трассировка трубопроводов выполняется в порядке убывания величины коэффициента конкуренции. Блок схема трассировки трубопроводов показана на рис. 3.4.

*Словесное описание.*

Для каждого соединения формируется вектор направления. Если трассировка осуществляется без каналов, то вектор с координатами начала – штуцер аппарата источника, конец – штуцер аппарата приемника, при канальной трассировке – формируются несколько векторов направления, от штуцера аппарата источника до канала, внутри канала, от канала до штуцера аппарата приемника. Если трубопровод разветвлен, то вектор формируется до ближайшей точки разветвленной трассы, если ее еще нет, то до ближайшего аппарата, входящего в состав разветвленного трубопровода.



**Рис. 3.4. Блок-схема трассировки трубопроводов**

Вектор направления раскладывается на составляющие по осям. Получаем 6 вариантов самых простых трасс. Каждый вариант запоминается.

Берется первый вариант с наименьшим количеством пересечений с другими объектами. Вычисляем, какие объекты трасса пересекает, и обходим их. Получаем дополнительно некоторое число вариантов за счет нескольких вариантов обхода объектов. Варианты запоминаем. Повторяем до тех пор, пока количество пересечений больше 0.

Если количество пересечений с другими объектами равно 0, то трасса считается законченной. Сначала она оптимизируется (уменьшение количества поворотов), затем для нее просчитывается критерий оптимальности.

Самая первая трасса считается эталоном. Все последующие сравниваются с ней и в зависимости от значения отпадают или занимают ее место.

Алгоритм прекращает свою работу после перебора всех связей и оптимизации трассировки каждой из них.

**Вопросы для самопроверки**

1. В чем отличие компоновки оборудования в цехах ангарного типа от многоэтажных конструкций?
2. Какие критерии используются при определении мест установки отдельных аппаратов?
3. Сформулируйте словесно постановку задачи компоновки в цехах ангарного типа.
4. Какие допущения использованы при формализации задачи и как это отражается на конечном решении?
5. Какие алгоритмы трассировки вы знаете?
6. Как реализуются ограничения модели в системе?

## 4. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ВЫБОР ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ И ДЕТАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА ТРУБОПРОВОДОВ

В данной главе рассматриваются вопросы, связанные с детализацией проекта трубопроводных сетей полученного при решении задач размещения оборудования и трассировки технологических трубопроводов, как в многоэтажных производственных помещениях, так и в цехах ангарного типа.

Под термином "трубопроводная арматура" понимается устройство [3], устанавливаемое на трубопроводах, агрегатах, сосудах и предназначенное для управления (отключения, распределения, регулирования, сброса, смешивания, фазоразделения) потоками рабочих сред (жидкой, газообразной, газожидкостной, порошкообразной, суспензии и т.п.) путем изменения площади проходного сечения. Основными параметрами арматуры являются: условный проход  $D_y$  (согласно ГОСТ 28338–89) и условное давление  $P_y$  (согласно ГОСТ 26349–84).

По функциональному назначению арматуру разделяют на: запорную, регулируемую, распределительно-смесительную, предохранительную, защитную и фазоразделительную; а по конструктивным типам различают: задвижки, клапаны, краны, затворы.

В связи с большим разнообразием выпускаемых промышленностью типов промышленной трубопроводной арматуры, характеризующихся одинаковыми основными параметрами, возникает необходимость выбора такой арматуры, которая бы отвечала множеству требований  $R$ . В табл. 4.1 приведены элементы этого множества для запорной и регулирующей трубопроводной арматуры.

Ниже рассматривается методика автоматизированного выбора арматуры, характеризующейся одинаковыми основными потребительскими параметрами  $D_y$  и  $P_y$ , включающая два основных этапа.

На первом этапе выбора для заданных  $D_y^{zad}$  и  $P_y^{zad}$  формируется подмножество типов арматуры, выпускаемых промышленностью  $T^{zad} \subset T$ , где  $T$  – множество всех типов промышленной трубопроводной арматуры. Формирование  $T^{zad}$  осуществляется с использованием базы данных типов арматуры, ее фрагмент приведен в табл. 4.2.

На втором этапе выбора арматуры среди подмножества типов  $T^{zad}$  нужно выбрать такой тип, который бы удовлетворял некоторому подмножеству потребительских требований (показателей)  $R^{zad} \subset R$ .

Вследствие большого количества критериев оценки, используемых при выборе арматуры, решение рассматриваемой задачи на основании математических критериев оптимальности до настоящего момента практически не проводилось.

### 4.1. Потребительско-эксплуатационные показатели промышленной трубопроводной арматуры

№	Запорная арматура	№	Регулирующая арматура
1	Герметичность затвора (высокая)	1	Герметичность затвора (высокая)
2	Гидравлическое сопротивление (низкое)	2	Пропускная способность (высокая)
3	Масса (небольшая)	3	Масса (небольшая)
4	Строительная длина (небольшая)	4	Строительная длина (небольшая)
5	Герметичность к внешней среде (высокая)	5	Герметичность к внешней среде (высокая)
6	Частое срабатывание (открывание – закрывание)	6	Частое срабатывание (открывание – закрывание)
7	Двухпозиционное регулирование	7	Двухпозиционное регулирование
8	Дросселирование	8	Аналоговое регулирование
9	Регулирование	9	Суженный проход
10	Суженный проход	10	Равнопроходность арматуры и трубопровода
11	Равнопроходность арматуры и трубопровода	11	Быстродействие (скорость выполнения команды): пневматическое электрическое гидравлическое
12	Быстродействие (небольшое число оборотов)		
13	Высокое давление		
14	Вакуум		

15	Перекрытие потока при высоком перепаде давления	12	Высокое давление
16	Перекрытие потока при низком перепаде давления	13	Перекрытие потока при высоком перепаде давления:
17	Малошумность		пневматическое с мембранно-исполнительными механизмами

Продолжение табл. 4.1

№	Запорная арматура	№	Регулирующая арматура
18	Кавитация и мгновенное парообразование		пневматическое поршневые
19	Пульпа		электрическое
20	Абразивные шламы		гидравлическое
21	Коррозионные среды	14	Малошумность
22	Высокие температуры	15	Кавитация и мгновенное парообразование
23	Низкие температуры	16	Пульпа
24	Приводное усилие (небольшое)	17	Абразивные шламы
25	Ремонтопригодность	18	Коррозионные среды
26	Стоимость установки (низкая)	19	Высокие температуры
27	Стоимость обслуживания (низкая)	20	Низкие температуры
		21	Приводное усилие (небольшое)
		22	Ремонтопригодность
		23	Стоимость установки (низкая)
		24	Стоимость обслуживания (низкая)

#### 4.2. Фрагмент базы данных типов арматуры, выпускаемой промышленностью

Условный проход, $D_y$	Условное давление, $P_y$	Типы арматуры
...	...	...
15	10	краны
		клапаны
		предохранительные клапаны
		регулирующие клапаны
		здвижки

Продолжение табл. 4.2

Условный проход, $D_y$	Условное давление, $P_y$	Типы арматуры
15	16	краны
		клапаны
		обратные клапаны
		предохранительные клапаны
		регулирующие клапаны
		конденсатоотводчики
...	...	...
200	64	краны

		клапаны
		обратные клапаны
		регулирующие клапаны
		здвижки
200	80	краны
...	...	...
1000	25	обратные затворы
		регулирующие клапаны
		здвижки
		затворы
1000	64	здвижки
...	...	...
2400	2.5	затворы

#### 4.1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ВЫБОРА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Математически задачу выбора арматуры можно сформулировать следующим образом: для заданного функционального назначения, основных потребительских параметрах  $D_y^{zad}$ ,  $P_y^{zad}$  и эксплуатационных показателей  $R^{zad} \subset R$  найти такой тип арматуры, для которого справедливо следующее:

$$t_{opt} = \arg \min_{t \in T^{zad}} F(t), \quad (4.1)$$

при условии, что с позиций используемых эксплуатационных показателей (см. табл. 1) применение  $t$ -го типа арматуры возможно:

$$o_r(t) \neq 0, \quad r \in R^{zad}, \quad t \in T^{zad}, \quad (4.2)$$

где  $o_r(t)$  – количественная оценка  $r$ -го показателя для  $t$ -го типа арматуры.

Наиболее прогрессивным методом решения этой задачи, по нашему мнению, является применение экспертных систем.

#### 4.2. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

В связи с тем, что рассматриваемая задача относится к классу многокритериальных задач, необходимо решить вопрос о выборе методов нормализации множества критериев и их ранжирования; а также метода многокритериального выбора [3, 30, 40]. В данной работе критерий оптимальности  $F(t)$  представляет собой сумму взвешенных относительных потерь критериев: стоимости арматуры с учетом привода и некоторого подмножества потребительских требований  $R^{zad} \subset R$ , задаваемого лицом, принимающим решение (ЛПР).

В этом случае критерий  $F$  можно записать как

$$F(t) = \sum_{i=1}^{R^{zad}+1} \rho_i \omega_i(t), \quad (4.3)$$

где  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i, \dots, \rho_{R^{zad}+1}$  – весовые коэффициенты.

$$\rho = \{\rho_i\} = \{\rho_i : \rho_i > 0 \quad i=1, \dots, R^{zad}+1, \sum_{i=1}^{R^{zad}+1} \rho_i = 1\}, \quad (4.4)$$

где  $\rho_i \omega_i(t)$  – взвешенные потери по  $i$ -му критерию;  $\omega_i(t) = \omega_i(F_i(t))$ ,  $i=1, \dots, R^{zad}+1$ ,  $t \in T^{zad}$  – монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели  $F_i(t)$ ,  $i=1, \dots, R^{zad}$ ,  $t \in T^{zad}$  к безразмерному виду.  $F_1(t)$  – экономический критерий, включающий в себя стоимость арматуры с учетом привода;  $F_i(t)$ ,  $i=2, R^{zad}+1$  –

оценка потребительско-эксплуатационных показателей. Причем для функции цели  $F_1(t)$  находится минимум, а для остальных – максимум.

$$\omega_1(t) = \frac{F_1(t) - F_{10}}{F_{1(\max)} - F_{10}}, \quad t \in T^{zad}; \quad (4.5)$$

$$\omega_i(t) = \frac{F_{i0} - F_i(t)}{F_{i0} - F_{i(\min)}}, \quad t \in T^{zad}, \quad i = \overline{2, R^{zad} + 1}, \quad (4.6)$$

где  $F_{1(\max)}$  – наибольшее значение минимизируемой функции  $F_1(t)$ ,  $t \in T^{zad}$  на множестве допустимых альтернатив  $T^{zad}$ ,  $F_{i(\min)}$ ,  $i = \overline{2, R^{zad} + 1}$  – наименьшее значение максимизируемых функций  $F_i(t)$ ,  $t \in T^{zad}$  на множестве допустимых альтернатив  $T^{zad}$ ,  $F_{i0}$ ,  $i = \overline{1, R^{zad} + 1}$  – оптимальные значения функций цели. Значения  $\omega_i(t)$ ,  $i = \overline{1, R^{zad} + 1}$ ,  $t \in T^{zad}$  лежат в пределах от 0 до 1.

Как и при решении других многокритериальных задач в данном случае необходимо найти такую компромиссную альтернативу  $t \in T^{zad}$ , которая может не являться оптимальной ни для одной функции цели  $F_i(t)$ , но оказываться приемлемой для интегрального критерия  $F(t)$ . Компромиссное решение в классическом варианте предполагает равенство минимально возможных взвешенных потерь  $\rho_i \omega_i(t) = k_{0(\min)}$ ,  $i = \overline{1, R^{zad} + 1}$ . Так как в данной работе при поиске оптимального решения используется метод полного перебора, то достижение равенства взвешенных потерь  $\rho_i \omega_i(t)$  является необязательным. Для выбора единственного решения в задаче принятия сложного решения требуется задать весовые коэффициенты  $\rho_i$ ,  $i = \overline{1, R^{zad} + 1}$ , удовлетворяющие соотношению (4.3) и отражающие относительную важность всех функций цели. Наиболее эффективными подходами к определению этого предпочтения являются методы ранжирования и приписывания баллов [39] (последний применен в данной работе).

Для определения количественных оценок потребительско-эксплуатационных показателей арматуры предложено оценивать каждый показатель по пятибалльной системе в соответствии с его значимостью для конкретного типа арматуры. Эти оценки приведены в табл. 4.3.

В соответствии с принятой шкалой оценок показателей различных типов на основе данных о сравнительной их применяемости [3] все типы арматуры, выпускаемые промышленностью, были оценены по каждому показателю. В табл. 4.4 приведен фрагмент базы данных оценок потребительско-эксплуатационных показателей для отдельных типов арматуры.

#### 4.3. Оценки потребительско-эксплуатационных показателей типов арматуры

№ п/п	Оценка показателя	Значение показателя по пятибалльной системе
1	Применение предпочтительно	5
2	Применение рекомендуется	4
3	Применение допустимо	3
4	Применение не рекомендуется	2
5	Требуется применение специальных конструктивных исполнений	1
6	Применение не допускается	0

#### 4.4. Фрагмент базы данных оценок потребительско-эксплуатационных показателей типов арматуры

Наименование показателя	Назначение арматуры	Тип арматуры	Оценка показателя- $\omega_i$
...	...	...	...
Герметичность затвора (высокая)	Запорная	Задвижки с выдвижным шпинделем шибберные	4
		Задвижки с невыдвижным шпинделем шланговые	5
		Клапаны запорные сальниковые с наружной резьбой проходные	5
		Клапаны обратные поверхностные	2
		...	...

	Регулирующая	Клапаны отсечные проходные	4
		Задвижки шланговые	5
		Клапаны регулирующие сальниковые поворотные	2
...	...	...	...
Масса (небольшая)	Запорная	Задвижки с выдвижным шпинделем клиновые двухдисковые	0

Продолжение табл. 4.4

Наименование показателя	Назначение арматуры	Тип арматуры	Оценка показателя- $o_r$
Масса (небольшая)	Запорная	Задвижки с выдвижным шпинделем шиберные	3
		Клапаны запорные бессальниковые диафрагмовые	4
		Клапаны обратные безударные	5
		...	...
	Регулирующая	Клапаны регулирующие сальниковые поворотные	5
		Клапаны регулирующие бессальниковые сильфонные трехходовые	2
...	...	...	...
Высокое давление	Запорная	Клапаны запорные сальниковые с внутренней резьбой угловые	5
		Клапаны запорные сальниковые с внутренней резьбой прямооточные	2
		Краны пробковые конические сальниковые с подъемом пробки	0
		Краны шаровые проходные	4
		Клапаны обратные подъемные	4
		...	...
	Регулирующая	Клапаны отсечные сальниковые угловые	4
		Клапаны отсечные сальниковые прямооточные	2
		Задвижки шланговые	0
		Клапаны регулирующие бессальниковые сильфонные трехходовые	0
		...	...
...	...	...	...

Алгоритм решения задачи (4.1) – (4.6) сводится к формированию множества типов арматуры заданного функционального назначения, отвечающих основным потребительским параметрам  $D_y^{zad}$ ,  $P_y^{zad}$  и эксплуатационным показателям  $R^{zad} \subset R$ , для которых выполняется условие (2). Далее, используя метод полного перебора, выбирается такой тип  $t_{opt}$ , для которого величина критерия  $F(t)$  имеет минимальное значение.

Проиллюстрируем методику автоматизированного выбора трубопроводной арматуры на следующем примере. При транспортировке продуктов из одного аппарата в другой необходимо установить запорную арматуру на трубопровод следующих параметров  $D_y^{zad} = 200$  мм и  $P_y^{zad} = 6$  кгс/см<sup>2</sup>. При выборе следует учитывать следующие потребительские показатели: высокую герметичность затвора, низкое гидравлическое сопротивление, небольшое приводное усилие.

На первом этапе выбора определяем множество типов арматуры, выпускаемых промышленностью с параметрами  $D_y^{zad} = 200$  мм и  $P_y^{zad} = 6$  кгс/см<sup>2</sup>. Это: краны, клапаны, предохранительные клапаны и задвижки.

Для каждого из используемых критериев: высокая герметичность затвора, низкое гидравлическое сопротивление, небольшое приводное усилие зададим равные веса  $\rho_i = 0,33$ ,  $i = \overline{1,3}$ . Далее формируем множество типов арматуры, которые могут быть использованы в данном трубопроводе. В конечном итоге оптимальным с позиций принятых критериев оказался: Кран шаровой запорный фланцевый ВНИЛ 491825 (см. рис. 4.1).

### Вопросы для самопроверки

1. Что означает термин – трубопроводная арматура?
2. По каким признакам производится классификация трубопроводной арматуры?
3. В чем сложность выбора трубопроводной арматуры?
4. Назовите основные потребительско-эксплуатационные показатели промышленной трубопроводной арматуры.

Как осуществляется ранжирование разных критериев при автоматизированном выборе арматуры?

## 5. ИНФОРМАЦИОННО-ГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТРЕХМЕРНОЙ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

### 5.1. ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Для автоматизации процесса компоновки оборудования и решения ряда оптимизационных задач была создана информационно-графическая система [28, 29], выполняющая следующие функции:

- выбор оборудования из базы данных (БД);
- выбор конструкции цеха (многоэтажный, ангарный);
- задание связей оборудования;
- ручное размещение оборудования;
- автоматизированное размещение оборудования;
- ручная трассировка трубопроводов;
- автоматизированная трассировка трубопроводов;
- создание пространственной модели размещенного оборудования и трубопроводов;
- автоматическое создание пространственной модели цеха и металлоконструкций;
- сохранение проекта в БД и возможность его последующего редактирования;
- добавление оборудования в БД пользователем.

Для ручного и автоматизированного размещения оборудования и трассировки технологических трубопроводов в системе были реализованы математические модели, рассмотренные в главах 2 и 3.

Схема проектирования в информационно-графической системе представлена на рис. 5.1.

Для удобства выбора оборудования и создания проектов была создана база данных, которую можно разделить на две части: первая – база оборудования, вторая – база проектов.

База оборудования (рис. 5.2) представляет собой файлы плоских и объемных чертежей оборудования, файлы описания оборудования, файлы таблиц типоразмеров оборудования и таблицы штуцеров с формулами для расчета координат штуцеров оборудования в зависимости от типоразмеров.

База проектов представляет собой комплекс таблиц, связанных между собой и хранящих информацию о пользователях и их проектах, защищенных индивидуальным паролем. Проект представляет собой комплекс таблиц, хранящих информацию о выбранных аппаратах и их

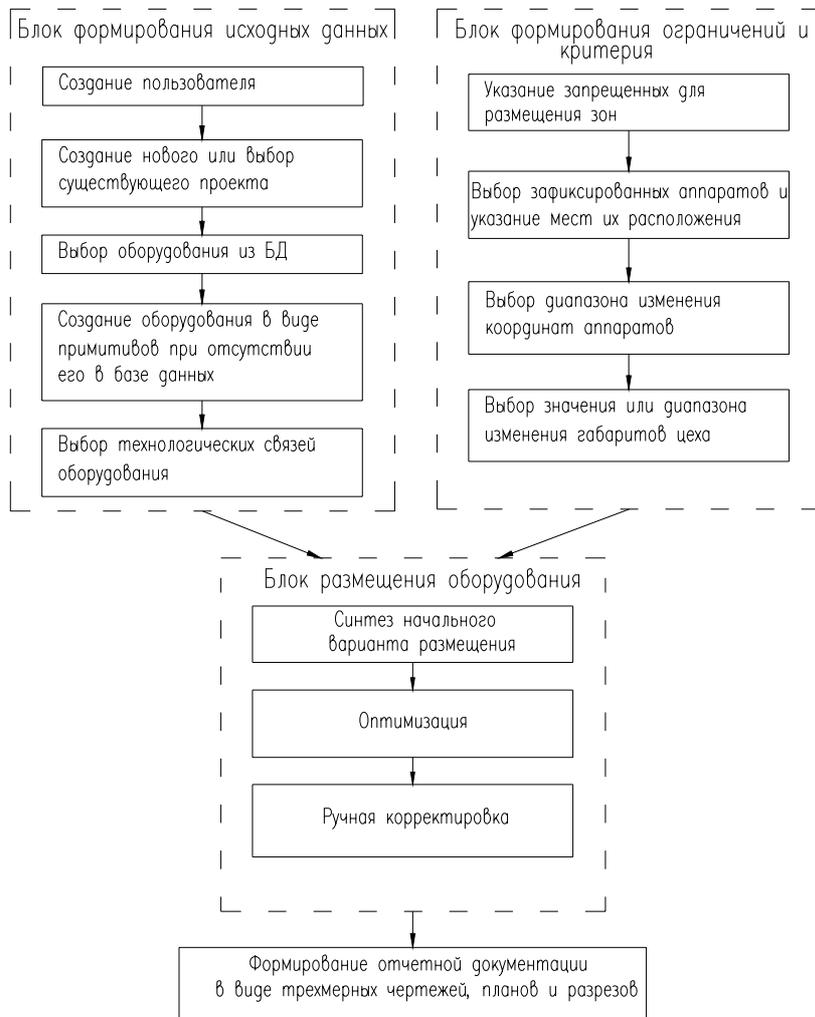


Рис. 5.1. Схема проектирования в информационно-графической системе компоновки оборудования

связях. Так же база данных хранит информацию об оборудовании, созданном пользователем в виде геометрических примитивов (параллелепипед, цилиндр), габариты и штуцера которых определяет пользователь. Оборудование в базу данных добавляет администратор с помощью специального модуля. Пользователь лишь выбирает оборудование из базы данных и указывает связи между оборудованием.

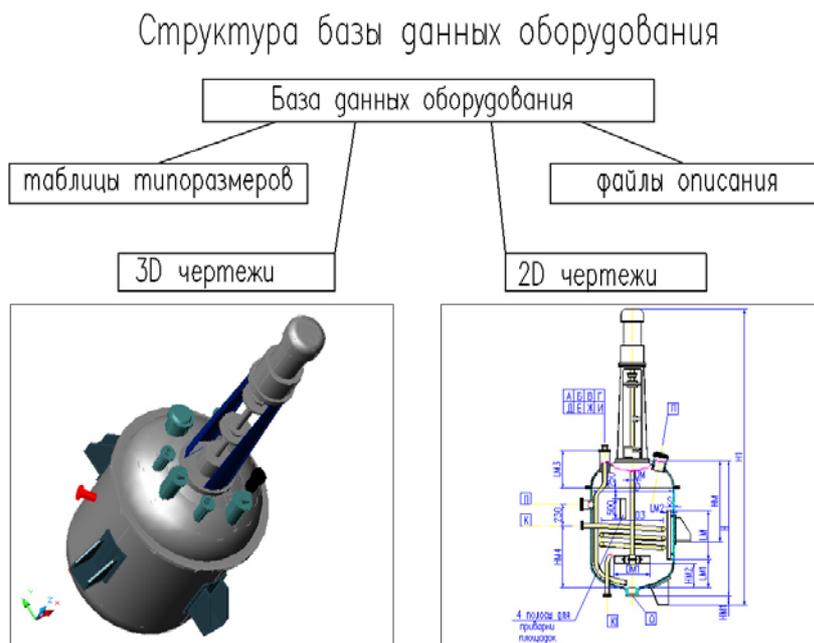


Рис. 5.2. Структура базы данных оборудования

**СИСТЕМА РЕАЛИЗОВАНА В BORLAND DELPHI 5.0 И ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ И ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ:**

- СИСТЕМНАЯ СРЕДА: WINDOWS 9X, NT, 2000, XP;
- PENTIUM-100; 32 МБ ОЗУ; 100 МБ СВОБОДНОГО МЕСТА НА ЖЕСТКОМ ДИСКЕ;
- ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ: INTERNET EXPLORER 5.5; BDE 5, VOLOVIEW 2, AUTODESK WHIP.

## 5.2. ПРИМЕРЫ КОМПОНОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ В МНОГОЭТАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ И В ЦЕХАХ АГРАРНОГО ТИПА

С помощью данной системы были получены варианты компоновок ряда производств. На рис. 5.3 представлен вариант компоновки оборудования в многоэтажном цехе, а на рис. 5.4 представлен вариант компоновки оборудования в ангарном цехе.

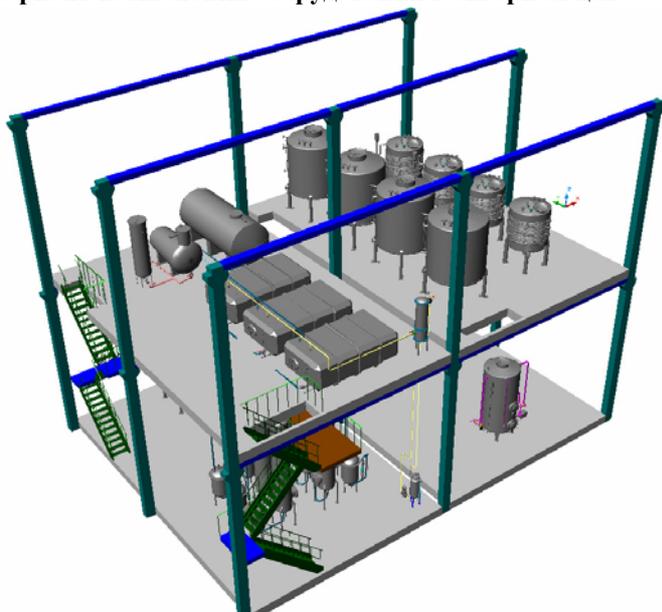


Рис. 5.3. Трехмерная модель компоновки оборудования в многоэтажном цехе

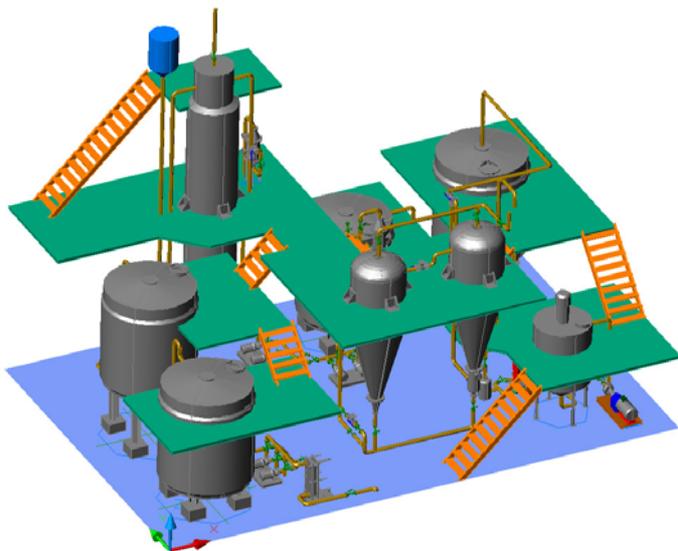


Рис. 5.4. Трехмерная модель компоновки оборудования в ангарном цехе

### **5.3. ПРИМЕР ДЕТАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА ТРУБОПРОВОДОВ**

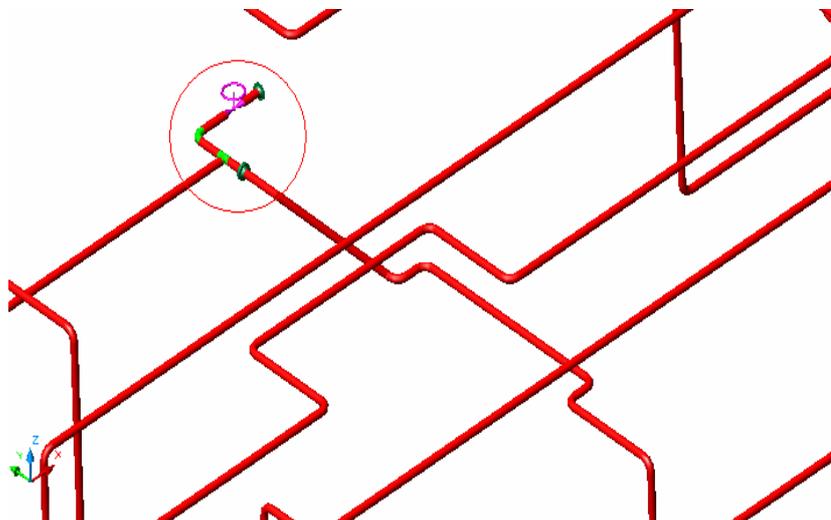
Программное обеспечение системы позволяет легко создавать трехмерную модель как простого, так и разветвленного трубопровода.

Построение возможно как вручную, последовательной пристыковкой элементов трубопровода, так и с помощью загрузки уже существующего файла, созданного с помощью системы рис. 5.5.

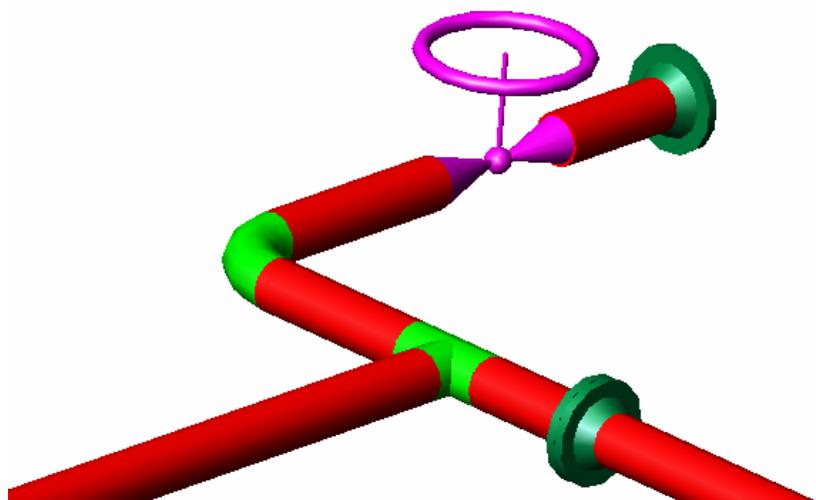
При ручном построении размещение первого компонента трубопровода осуществляется вводом координат вручную или путем прямого выбора точки вставки на экране. При приближении курсора к уже существующему

компоненту, система с помощью специального знака сама подскажет место куда этот компонент можно подсоединить.

При автоматическом размещении трубы и отводы располагаются вдоль осевых линии трубопроводов, полученных при решении задачи трассировки. В дальнейшем с помощью функций системы производится детализация каждого участка трубопровода (рис. 5.6) и составляются спецификации по участкам (рис. 5.7).



**Рис. 5.5. Фрагмент сети трубопроводов полученной при трассировке трубопроводов**



**Рис. 5.6. Пример детализации компонентов трубопровода**

## Спецификация на участок трубопровода

Участок трубопровода	Трасса	Рабочие условия		Категория трубопровода	Давление (кгс/см <sup>2</sup> )		Продолжительность испытаний	Указание по волю
		вакуум МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	температура, град С		на прочность гидравлич.	герметичность пневматич.		
Наименование продукта	вода							
Конец участка	детищоб мексикс 1	40	25		10		5 ч	

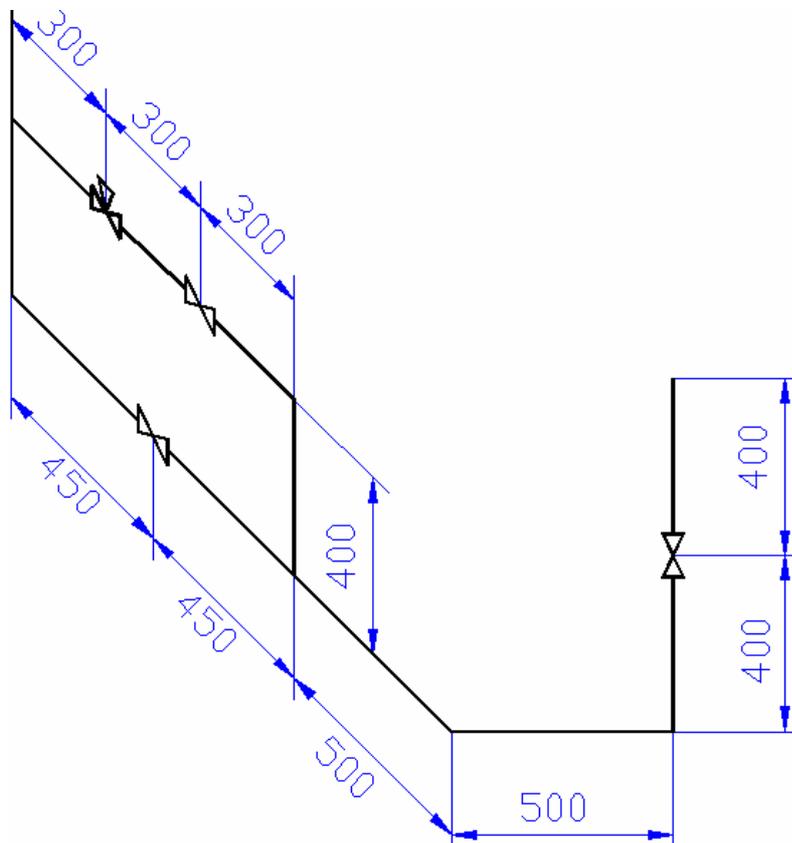
Наименование	Материал	Ед. изм.	Количество
Фланец приварной встык ГОСТ 12821-80 1-100-16	сталь 20	шт.	3
Отвод ГОСТ 17375-83 90 108x4	сталь 20	шт.	1
Клапан запорный 24нж21ст	сталь 20	шт.	1

**Рис. 5.7. Спецификация на участок трубопровода  
5.4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ  
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

**Задание:** Построить 3D модель участка трубопровода, чертеж которого показан на рис. 5.8.

Ход выполнения задания:

1. Из чертежа видно, что отводы 90° на этом участке будут расположены в точках: (0, 0, 0), (500, 0, 0), (0, 500, 400), (0, 1400, 0); тройники в точках: (0, 500, 0), (0, 1400, 400); клиновые задвижки: (500, 0, 400), (0, 950, 0), (0, 800, 400); трехходовой клапан: (0, 1100, 400) (см. рис. 5.9).



**Рис. 5.8**

Перед работой в настройках AutoTrace включим для удобства "компас" и установим фиксатор угла поворота на 90°.

Делаем вид "юго-запад" (*просмотр/3D виды/юго-запад*).

1. Разместим отвод  $90^\circ$ .  $R = Du$  в точке  $(0, 0, 0)$ , выбрав его в панели "Приварные компоненты":

– сначала можно разместить компонент в любой точке, задав нужное положение присоединительных поверхностей с помощью компаса (рис. 5.10).

– далее выделяем отвод, щелкаем левой кнопкой мыши на среднюю точку отвода и перемещаем в точку  $(0, 0, 0)$ .

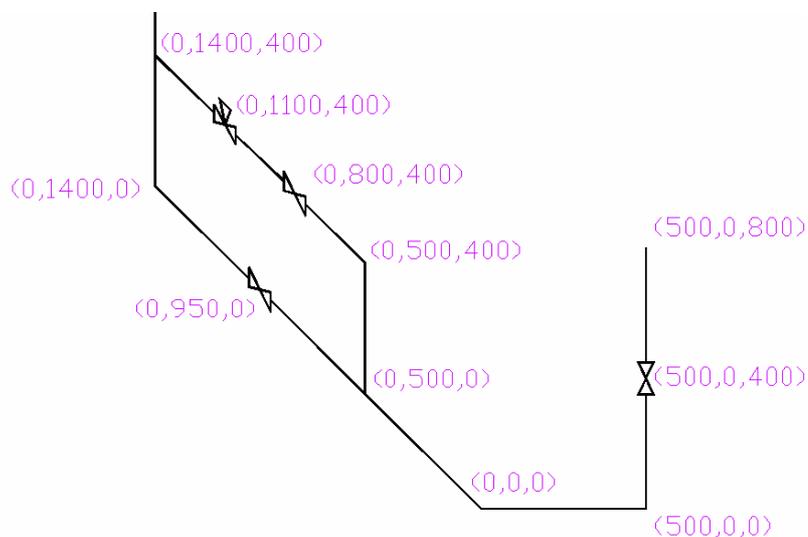


Рис. 5.9

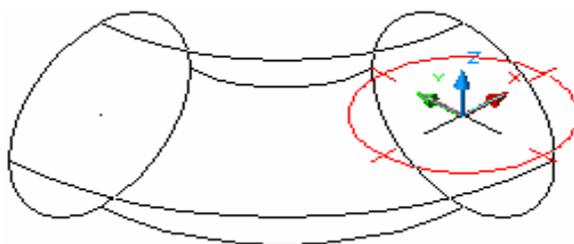


Рис. 5.10

2. Размещаем трубу длиной 300 мм вдоль оси  $ou$ , выбрав ее в "приварных компонентах", указав точку присоединения и длину. То же самое и вдоль оси  $ox$  (рис. 5.11).

3. Размещаем отвод в точке  $(500, 0, 0)$ , указав точку присоединения к трубе и повернув его в нужное положение.

4. Пристыковываем трубу к последнему отводу длиной 185.

5. Присоединяем к трубе клиновую задвижку и задаем необходимое положение в пространстве (если с помощью компаса не удалось придать нужное положение в пространстве, то можно использовать команду Auto-Cad **rotate3d**).

6. Присоединяем трубу к клапану и указываем конечную точку в командной строке: 500, 0, 800 (см. рис. 5.12).

7. Пристыковываем тройник к трубе, идущей вдоль оси  $ou$ .

8. Проводим трубу вдоль оси  $ou$  длиной 235.

9. Присоединяем клапан к трубе и задаем направление.

10. Продолжаем вести трубопровод вдоль оси  $ou$ , присоединив трубу длиной 235 и далее к ней отвод  $R = Du$  (см. рис. 5.13).

11. Добавляем трубу длиной 220 от тройника вдоль оси  $oz$ .

12. Размещаем отвод (если не получилось компасом повернуть в нужную сторону, то воспользуйтесь командой **rotate3d**).

13. Добавляем трубу длиной 85.

14. Размещаем клапан.

15. Присоединяем трубу длиной 10.

16. Размещаем трехходовой клапан.

17. Присоединяем трубу длиной 45.

18. Выбираем в панели тройник равнопроходной, правой кнопкой мыши выбираем точку присоединения, принадлежащую ответвлению и присоединяем трубе.

19. Соединяем отвод и тройник трубой.

Окончательно получаем изображение, показанное на рис. 5.14.

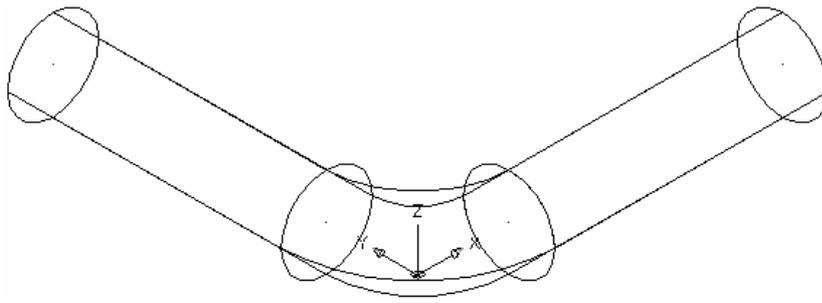


Рис. 5.11

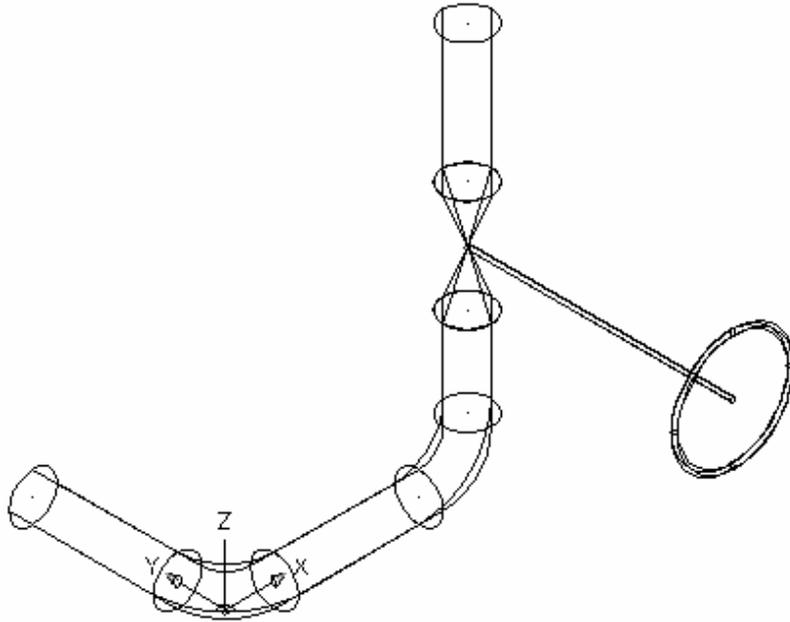


Рис. 5.12

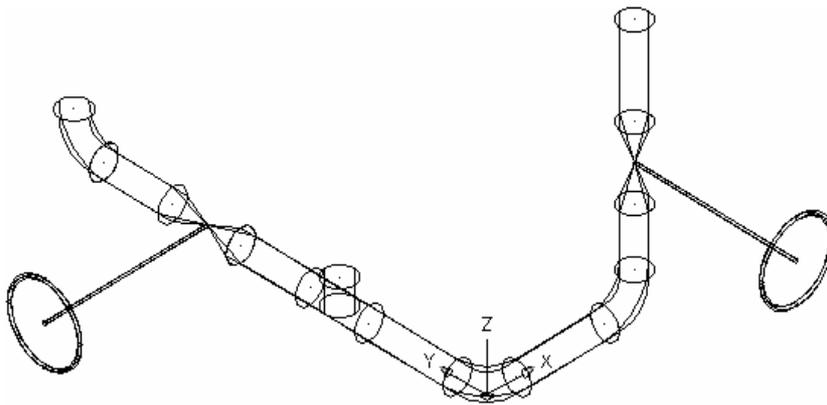
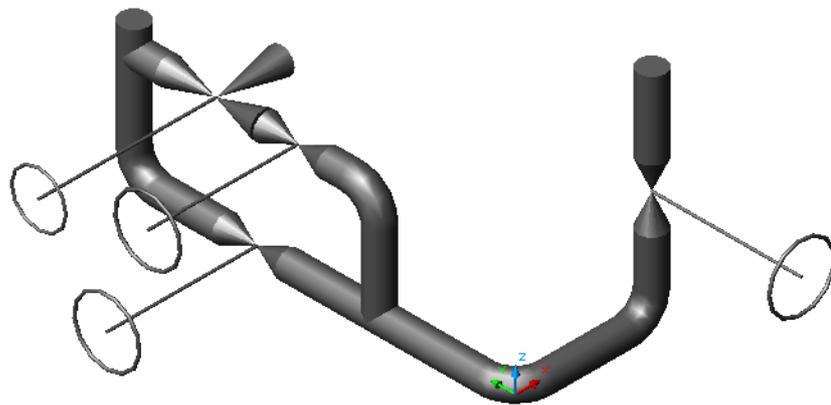


Рис. 5.13



**Рис. 5.14. 3D модель участка трубопровода**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

---

В данной работе на основе анализа процесса проектирования химических предприятий предложен подход к автоматизированному решению ряда задач, имеющих место на этапе проектирования компоновки оборудования химико-технологических схем. Были поставлены и решены следующие задачи:

- размещение оборудования в многоэтажных производственных помещениях;
- трассировка трубопроводов в многоэтажных производственных помещениях;
- размещение оборудования в цехах ангарного типа;
- трассировка трубопроводов в цехах ангарного типа;
- выбор трубопроводной арматуры.

Разработаны математические постановки, модели и алгоритмы решения задач размещения оборудования и трассировки технологических трубопроводов в многоэтажных производственных помещениях и цехах ангарного типа.

Предложена оригинальная методика выбора трубопроводной арматуры по ряду потребительских факторов.

Разработано соответствующее математическое и алгоритмическое обеспечение системы трехмерной компоновки оборудования ХТС, позволяющей решать перечисленные выше задачи с одновременной выдачей соответствующей проектной документации.

Использование системы автоматизированного проектирования компоновки оборудования позволит проектировщикам, студентам и аспирантам в более короткие сроки получать оптимальные проектные решения по соответствующим задачам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

---

1. Айзерман, М.А. Выбор вариантов. Основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров. – М. : Наука, 1990. – 227 с.
2. Альперт, Л.З. Основы проектирования химических установок / Л.З. Альперт. – М., 1989.
3. **АРМАТУРА-2000. НОМЕНКЛАТУРНЫЙ КАТАЛОГ-СПРАВОЧНИК ПО ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЕ, ВЫПУСКАЕМОЙ В СНГ.** – М. : ОАО "МОСЦКБА", 2000. – 658 С.
4. Ватанабэ, М. Проектирование СБИС / М. Ватанабэ, К. Асада, К. Кани, Т. Оцуки ; под ред. Л.В. Поспелова. – М. : Мир, 1988.
5. Внутренние санитарно-технические устройства : справочник проектировщика в трех частях. Отопление. – М. : Стройиздат, 1990. – Ч. 1.
6. ГОСТ 12.1.007–76. Класс опасности веществ.
7. ГОСТ 12.1.044–91. Взрыво-пожароопасность веществ.
8. ГОСТ 12.1.005–88. Класс опасности вредных веществ.
9. ГОСТ 15180–86. Прокладки плоские эластичные. Основные параметры и размеры.
10. ГОСТ 21.101–97. СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации : введ. в действие Постановлением Госстроя РФ от 29.12.1997 № 18-75.
11. ГОСТ 21.110–95. СПДС. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов : введ. в действие Постановлением Минстроя РФ от 05.06.1995 № 18-55.
12. ГОСТ 21.401–88. СПДС. Технология производства. Основные требования к рабочим чертежам : утв. Постановлением Госстроя СССР от 28.12.1987 № 308.
13. ГОСТ 2.317–69. Чертежи специальных технологических трубопроводов.
14. ГОСТ 23838–89. Здания предприятий. Параметры : утв. Постановлением Госстроя СССР от 11.01.1989 № 3.
15. ГОСТ 2.411–72. ЕСКД. Правила выполнения чертежей труб, трубопроводов и трубопроводных систем.
16. ГОСТ 2.782–68. Обозначения условные графические. Насосы и двигатели гидравлические и пневматические.
17. ГОСТ 2.788–74. Обозначения условные графические. Аппараты выпарные.
18. ГОСТ 2.790–74. Обозначения условные графические. Аппараты колонные.
19. ГОСТ 2.792–74. Обозначения условные графические. Аппараты сушильные.
20. ГОСТ 2.795–80. Обозначения условные графические. Центрифуги.
21. ГОСТ 12815–80. Фланцы арматуры, соединительных частей и трубопроводов на Ру от 0,1 до 20,0 МПа (от 1 до 200 кгс/см<sup>2</sup>). Типы. Присоединительные размеры и размеры уплотнительных поверхностей.
22. ГОСТ 2.789–74. Обозначения условные графические. Аппараты теплообменные.

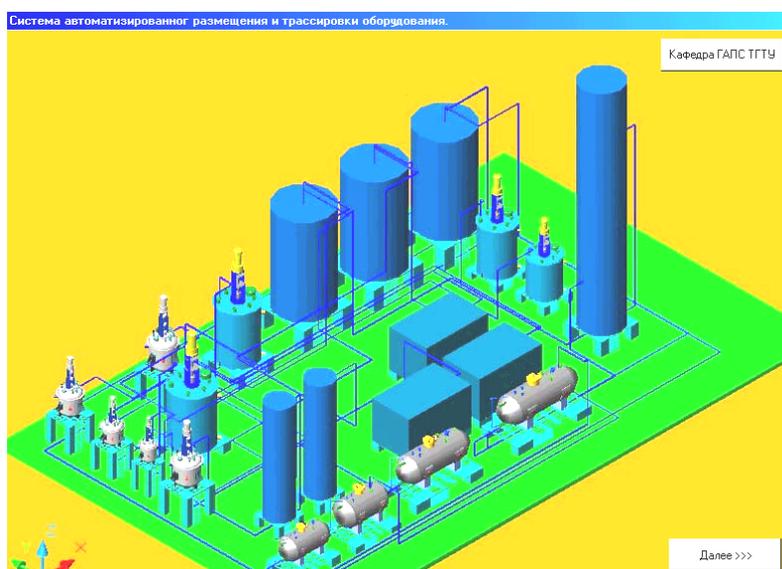
23. ГОСТ 21.109–80. Сводные спецификации трубопроводов, арматуры и деталей трубопроводов.
24. Гринберг, Я.И. Проектирование химических производств / Я.И. Гринберг. – М., 1970.
25. Егоров, С.Я. Математическое моделирование и оптимизация процесса компоновки оборудования химико-технологических схем при проектировании многоассортиментных химических производств / С.Я. Егоров // Дисс.-канд. техн. наук. – Тамбов: ТИХМ, 1987.
26. Егоров, С.Я. Автоматизация компоновки оборудования в цехах ангарного типа. Ч. 1. Размещение технологического оборудования / С.Я. Егоров, В.А. Немтинов, М.С. Громов // Химическая промышленность. – 2003. – № 8. – С. 21 – 28.
27. Егоров, С.Я. Автоматизация компоновки оборудования в цехах ангарного типа. Ч. 2. Трассировка технологических трубопроводов / С.Я. Егоров, В.А. Немтинов, М.С. Громов // Химическая промышленность. – 2003. – № 8. – С. 21 – 28.
28. Автоматизация компоновки оборудования в цехах ангарного типа. Ч. 3. Информационно-графическая система трехмерной компоновки оборудования. Ч. 4 / С.Я. Егоров, В.А. Немтинов, М.С. Громов, С.П. Майоров // Химическая промышленность. – 2003. – № 8. – С. 25 – 28.
29. Егоров, С.Я. Система автоматизированного размещения оборудования и трассировки трубопроводов в цехах ангарного типа. Ч. 4. Детализация проекта трубопроводов / С.Я. Егоров, В.А. Немтинов, А.Н. Ефименко // Химическая промышленность. – 2004. – № 3. – С. 30 – 36.
30. Интегральные показатели качества металлургических технологий / С.П. Ефименко, Е.Х. Шахпзов, И.М. Рожков, Б.Л. Каширин // Известия вузов. Черная металлургия. 1993. – № 7. – С. 68 – 72.
31. Журнал CADmaster. – № 1. – 2001. – С. 30 – 36.
32. Журнал CADmaster. – № 3. – 2002. – С. 32 – 37.
33. Журнал CADmaster. – № 3. – 2003. – С. 30 – 35.
34. Журнал CADmaster. – № 1. – 2004. – С. 75 – 77.
35. Зайцев, И.Д. Теория и практика автоматизированного проектирования химических производств / И.Д. Зайцев. – Киев, 1981. – 307 с.
36. Кафаров, В.В. Проектирование и расчет оптимальных систем технологических трубопроводов / В.В. Кафаров, В.П. Мешалкин. – М., 1991.
37. Мешалкин, В.П. Экспертные системы в химической технологии / В.П. Мешалкин. М. : Химия, 1995.
38. Миркин, А.З. Трубопроводные системы : справочник / А.З. Миркин, В.В. Усиныш. – М., 1991.
39. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волохович. – М. : Наука, 1982. – 286 с.
40. Многовариантный типологический подход в задачах обучения и обработки данных / Е.П. Фетинина, Т.В. Кораблина, Л.И. Криволапова и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 2000. – № 4. – С. 57 – 60.
41. Мухленов, В.П. Автоматизация проектирования трубопроводных систем / В.П. Мухленов. – М. : Химия, 1986. – 102 с.
42. НПБ 105-95. Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности : введ. в действие приказом ГУГПС МВД РФ от 31.10.1995 № 32.
43. НТП-10-12977. Нормы технологического проектирования предприятий ликеро-водочной промышленности. – М. : Гипропищепром-2, 2000.
44. НТП-10-12977. Нормы технологического проектирования предприятий ликеро-водочной промышленности. – М. : Гипропищепром-2, 2000.
45. ПБ 03-108-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов : утв. постановлением Госгортехнадзора России № 11 от 02.03.95.
46. ПБ 03-108-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. – М. : НПО ОБТ, 1997.
47. ПБ 03-75-94. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды : утв. постановлением Госгортехнадзора России № 45 от 18.07.94.
48. Проектирование цехов химических заводов / под ред. П.Е. Устрашкина. – М., 1964.
49. Системы автоматизированного проектирования в радиоэлектронике; под ред. И.П. Норенкова. – М. : Радио и связь, 1986.
50. СНиП 42-01-2002. Газоснабжение. Газораспределительные системы : приняты Постановлением Госстроя РФ от 23.12.2002 № 163.
51. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы : утв. Постановлением Госстроя СССР от 30.03.1985 № 30.
52. СНиП 31-03–2001. Производственные здания : приняты Постановлением Госстроя РФ от 19.03.2001 № 20.
53. СНиП 21-01–97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. (Приняты постановлением минстроя рф от 13.02.1997 № 18-7 (вместе с "изменением № 2" от 19.07.2002).

54. СНиП II-Г 14–62. Технологические стальные трубопроводы с условным давлением до 100 кг/м<sup>2</sup> включительно. Нормы проектирования.

55. Тимошук, В.С. Методы решения задач размещения и компоновки промышленных объектов при автоматизированном проектировании / В.С. Тимошук. – М. : ЦНИИ Электроника, 1978.

56. Трепенников, Р.И. Проектирование цехов химических заводов / Р.И. Трепенников. – М., 1984. – 200 с.  
ПРИЛОЖЕНИЕ

## Руководство пользователя



Система предназначена для размещения оборудования и трассировки трубопроводов в многоэтажных цехах и цехах ангарного типа.

Система состоит из двух модулей:

1) модуль пользователя (для создания проектов);

2) модуль администратора (для обслуживания БД).

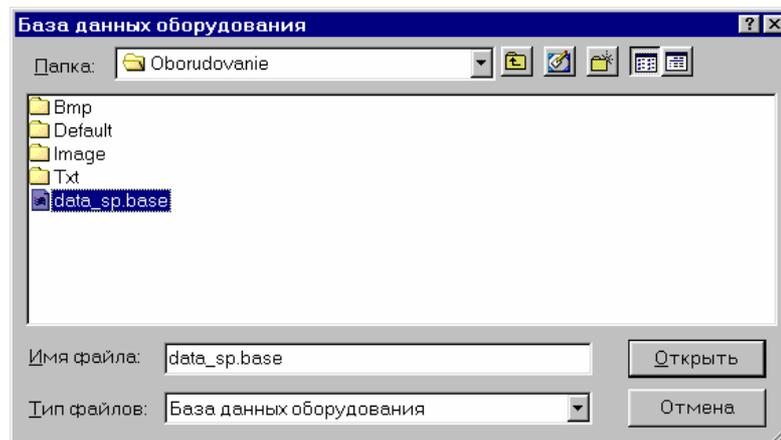
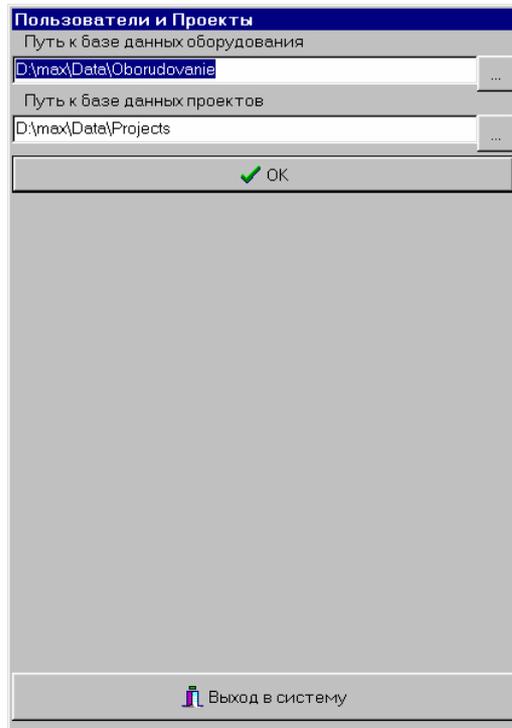
Работа модуля пользователя построена следующим образом:

- создание пользователя;
- создание проекта;
- выбор оборудования из БД;
- выбор технологических связей;
- ручное или автоматизированное размещение оборудования;
- настройка критерия оптимизации;
- выбор ограничений;
- начальная расстановка оборудования;
- запуск алгоритма оптимизации;
- ручная или автоматизированная трассировка трубопроводов.

Получение отчетной документации в виде трехмерных чертежей в формате DXF (AutoCAD).

Рассмотрим подробнее вышеперечисленные этапы работы с системой:

*Выбор пути к базе данных оборудования:*



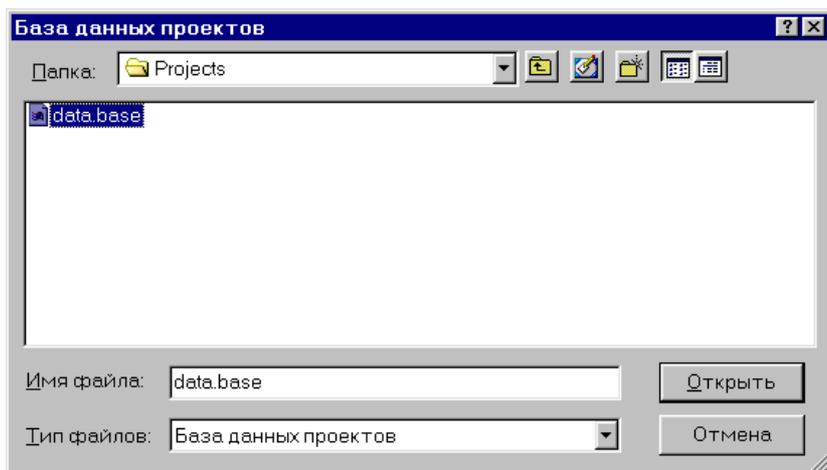
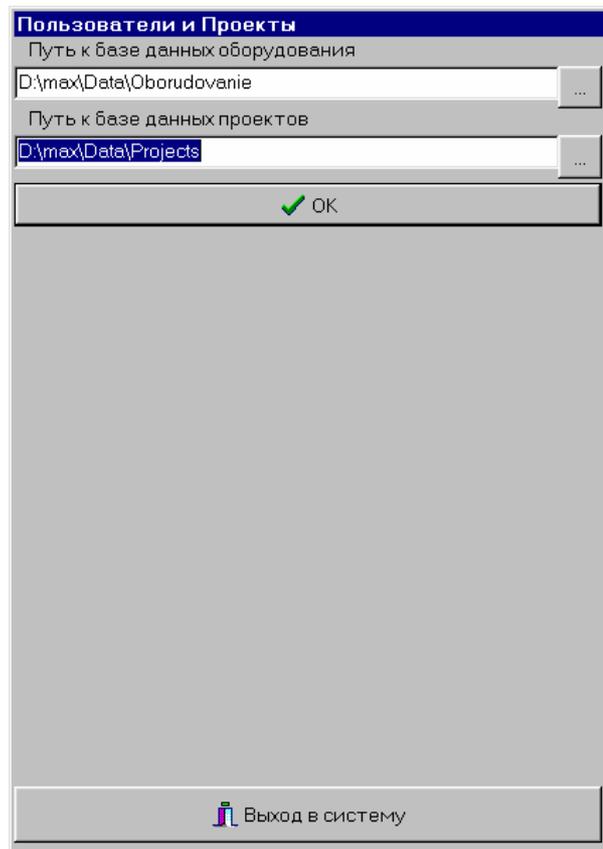
Для работы системы необходимо указать базу данных. База данных разделяется на базу оборудования и базу проектов.

База данных оборудования хранит каталоги оборудования, а так же уникальное оборудование пользователей, чертежи и файлы описания оборудования.

База оборудования находится в отдельном каталоге. Файл, который необходимо указать для начала работы: data\_sp.base . Так же в этом каталоге должны быть каталоги:

- \Bmp\
- \Image\
- \Txt\
- \Default\

*Выбор пути к базе данных проектов:*



База данных проектов хранит информацию о пользователях, проектах пользователей со всеми сохраненными в базе данных настройками. База данных проектов находится в отдельном каталоге. Файл, который необходимо указать для начала работы: data.base.

После выбора базы данных оборудования и проектов нажать кнопку:



*Выбор пользователя и ввод пароля:*

**Новый пользователь**

Пользователь: User

Пароль: ###

Подтверждение пароля: ###

OK Cancel

**Пользователи и Проекты**

Путь к базе данных оборудования: D:\max\Data\Oborudovanie

Путь к базе данных проектов: D:\max\Data\Projects

OK

Поиск: \_\_\_\_\_

Пользователь
Громов Максим Сергеевич
Майоров Сергей Петрович

Пароль: \*\*\*\*\*

Новый Удалить Изменить

Вход

Выход в систему

Новый

создать нового пользователя

Удалить

удалить пользователя

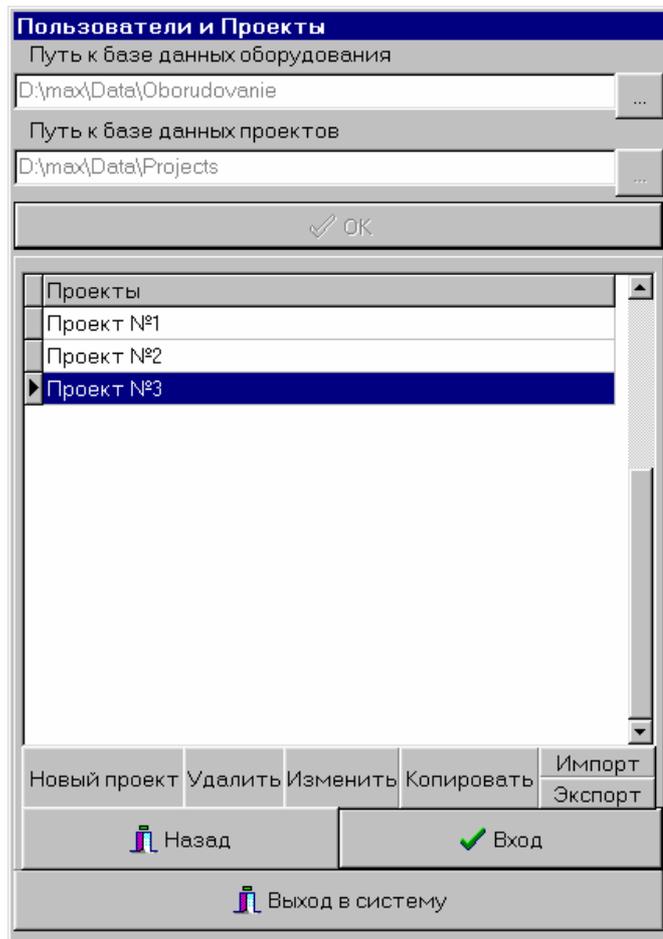
Изменить

изменить имя пользователя

Для работы в данной системе необходимо зарегистрировать пользователя с индивидуальным паролем. Проекты и индивидуальное оборудование, внесенное пользователем, недоступны другим пользователям. Удалить пользователя из системы или изменить имя может только он сам или администратор, так как удаление и изменение требуют пароля.

После выбора пользователя и ввода пароля необходимо нажать кнопку "Вход" для перехода к выбору проекта.

*Выбор проекта (создание, удаление, редактирование, копирование, импорт, экспорт):*



Каждый пользователь имеет индивидуальные проекты, доступ к которым имеет только он сам. Для дальнейшей работы необходимо выбрать проект из списка, создать новый или импортировать проект из файла.

Если необходимо создать резервную копию проекта, то нужно указать проект из списка и нажав на кнопку “Копировать” указать название копии проекта. Можно изменить название проекта или удалить проект.

Новый проект

создать новый проект

Удалить

удалить активный проект

Изменить

изменить название активного проекта

Копировать

сделать резервную копию активного проекта

Импорт

импорт проекта из файла

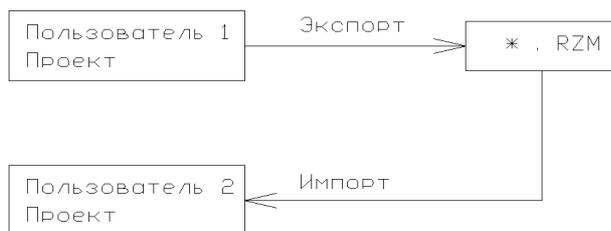
Экспорт

экспорт проекта в файл

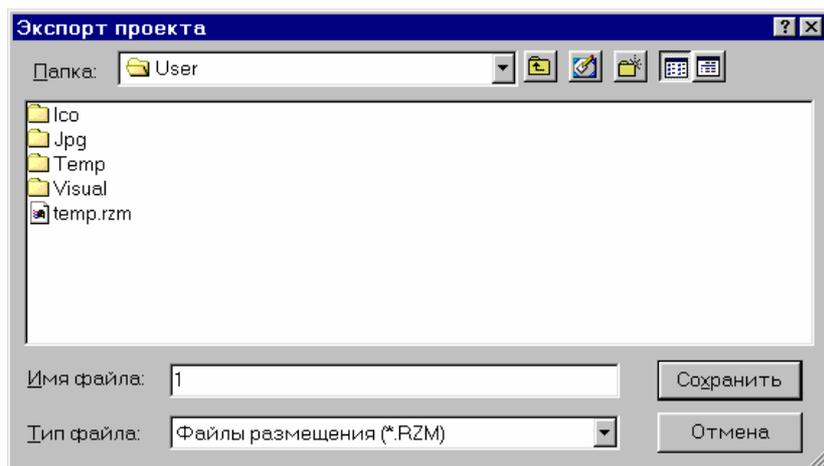
*Обмен проектами.*

Для обмена проектами между пользователями реализована возможность импорта/экспорта проектов. Импорт и экспорт проектов производится с помощью текстового файла с расширением (\*.RZM).

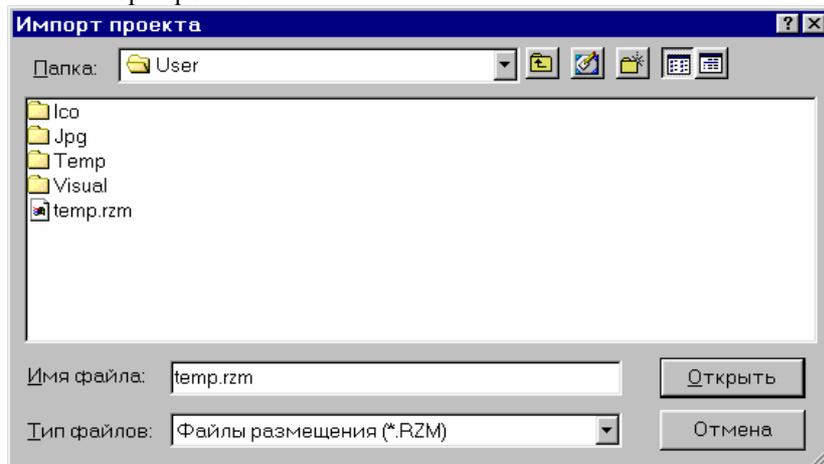
Схема импорта/экспорта проектов.



Экспорт проекта:

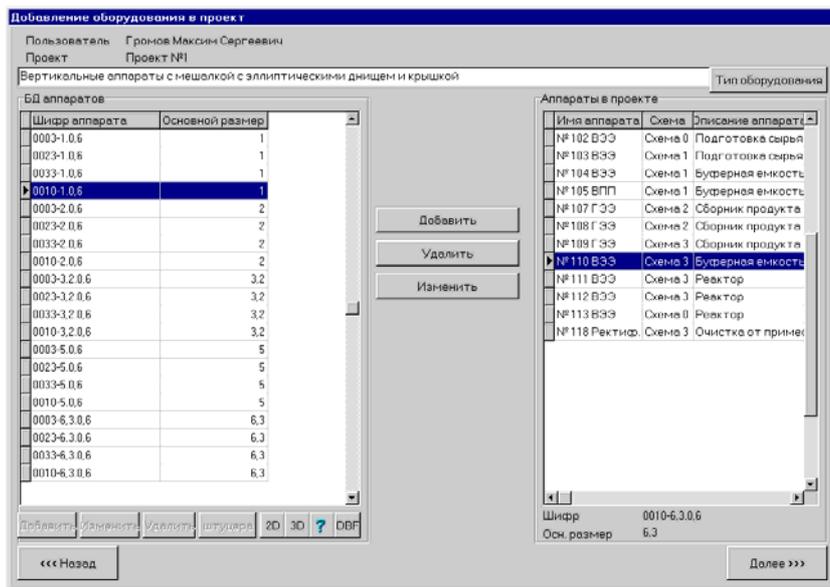


Импорт проекта:



Если проект выбран, то для дальнейшей работы необходимо нажать кнопку "Вход".

Создание проекта (добавление, удаление, редактирование оборудования в проекте):

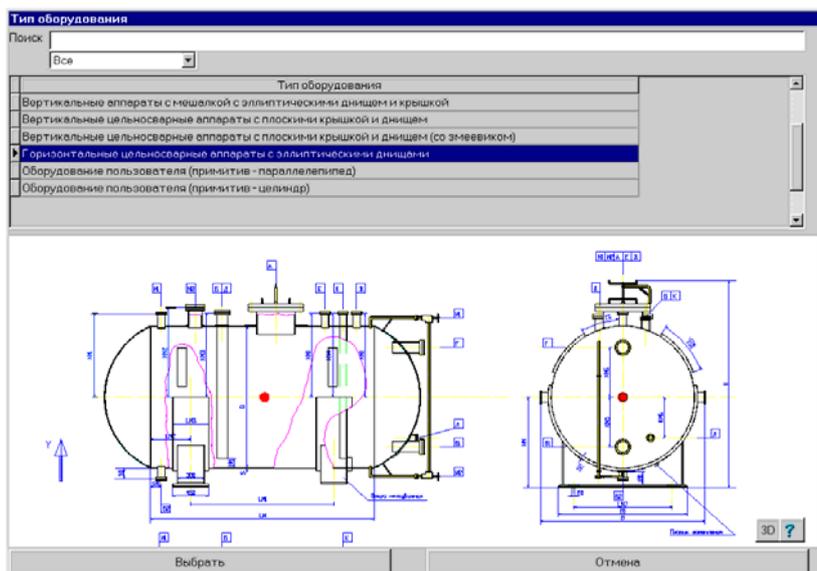


На данном этапе необходимо выбрать оборудование из БД в проект. В левой части экрана показан список оборудования выбранного типа имеющегося в базе данных. В правой части экрана показан список оборудования внесенного в проект пользователем (сначала он пустой). Оборудование можно добавить в проект: кнопка **Добавить**. Удалить из проекта: кнопка **Удалить**. Изменить наименование, принадлежность к схеме, описание: кнопка **Изменить**.

Просмотр двумерных чертежей оборудования и трехмерных чертежей осуществляется нажатием кнопок **2D** и **3D**, описания оборудования **?**.

Список каталогов оборудования находится на отдельной форме, которая активизируется при нажатии на кнопку **Тип оборудования**.

Каталоги оборудования (БД):



В форме "Тип оборудования" выбираются каталоги оборудования и оборудование пользователя (примитивы).

Каталожное оборудование – это группы оборудования, имеющие одну и ту же конструкцию, но отличающиеся по размерам.

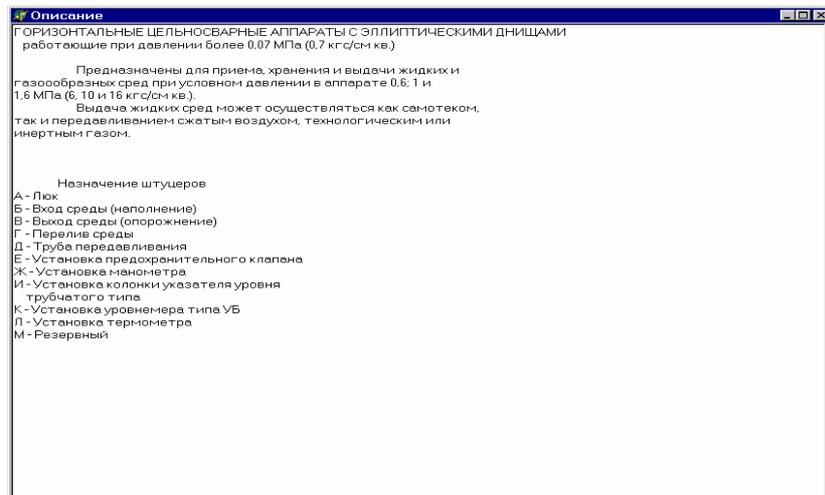
При выборе каталогов оборудования отображается чертеж, так же можно просмотреть трехмерный чертеж

**3D** и описание оборудования **?**.

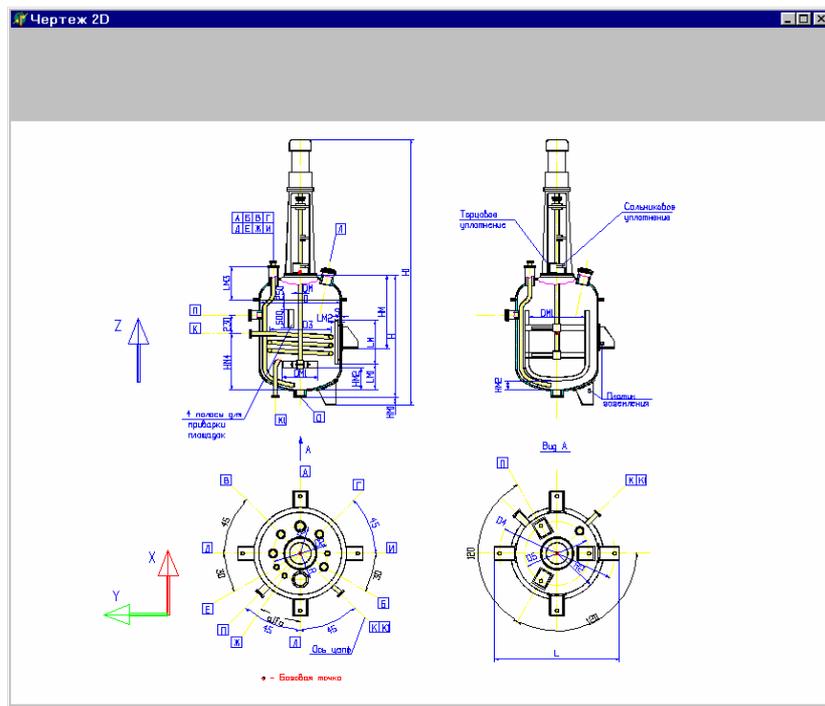
В верхней части формы находится полоса для быстрого поиска оборудования.

Вспомогательные формы:

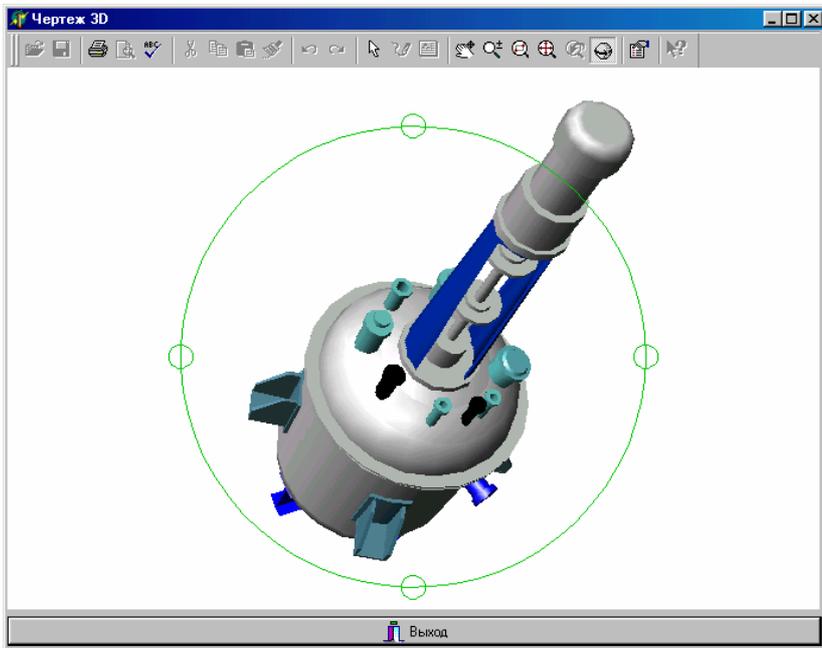
а) Описание выбранного в каталоге типа оборудования:



б) 2D чертеж выбранного оборудования:



в) 3D чертеж выбранного оборудования:



г) Просмотр базы данных выбранного типа оборудования:

Просмотр базы данных оборудования.

W	KOД	SH	FR	D	D2	D3	D5	DM	DM2	H	H1	hM	hM1	hM2	hM3	LM	LM1	LM2	LM3	R	R1	R3	ALFA	S	Dx	L	P2	VN
1	0003-1.0.6	1000	660	0	920	50	360	24	1515	3240	920	215	390	0	0	0	0	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1	
2	0023-1.0.6	1000	660	0	920	50	360	24	1515	3240	920	215	390	0	0	900	250	100	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1
3	0033-1.0.6	1000	660	740	920	50	360	24	1515	3240	920	215	390	700	300	0	0	0	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1
4	0010-1.0.6	1000	660	0	920	50	800	24	1515	3195	920	215	100	0	0	0	0	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1	
5	0003-2.0.6	1400	940	0	1260	50	400	24	1615	3290	1110	165	370	0	0	0	0	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2	
6	0023-2.0.6	1400	940	0	1260	50	400	24	1615	3430	1110	165	370	0	0	800	350	140	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2
7	0033-2.0.6	1400	940	1060	1260	50	400	24	1615	3290	1110	165	370	890	430	0	0	0	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2
8	0010-2.0.6	1400	940	0	1260	50	1060	24	1615	3245	1110	165	170	0	0	0	0	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2	
9	0003-3.2.0.6	1600	1050	0	1410	65	450	35	1915	4145	1255	215	450	0	0	0	0	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2	
10	0023-3.2.0.6	1600	1050	0	1410	66	450	35	1915	4235	1255	215	450	0	0	1000	400	160	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2
11	0033-3.2.0.6	1600	1050	1220	1410	65	450	35	1915	4145	1255	215	450	1030	510	0	0	0	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2
12	0010-3.2.0.6	1600	1050	0	1410	65	1320	35	1915	4440	1255	215	140	0	0	0	0	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2	
13	0003-5.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2295	4555	1305	245	430	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5	
14	0023-5.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2295	4745	1305	245	430	0	0	1250	450	180	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5
15	0033-5.0.6	1800	1200	1380	1610	65	630	35	2295	4555	1305	245	430	1080	590	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5
16	0010-5.0.6	1800	1200	0	1610	65	1500	35	2295	4850	1305	245	150	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5	
17	0003-6.3.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2845	5295	1480	245	540	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3	
18	0023-6.3.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2845	5295	1480	245	540	0	0	1800	450	180	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3
19	0033-6.3.0.6	1800	1200	1380	1610	65	630	35	2845	5295	1480	245	540	1080	590	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3
20	0010-6.3.0.6	1800	1200	0	1610	65	1500	35	2845	5450	1480	245	150	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3	

Оборудование пользователя:

Добавление оборудования в проект

Пользователь: Громов Максим Сергеевич  
 Проект: Проект №1

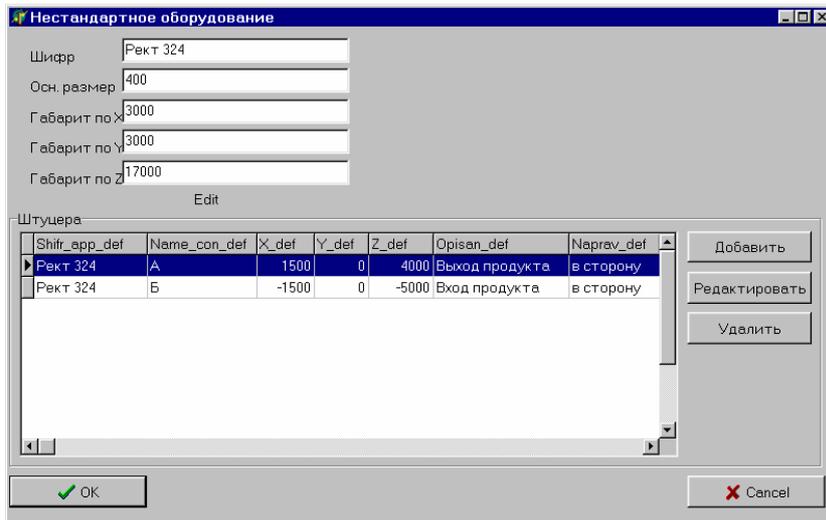
Оборудование пользователя (примитив - цилиндр) Тип оборудования

Шифр аппарата	Основной размер
Рект 3456	50
Рект 324	400
Бочка	30

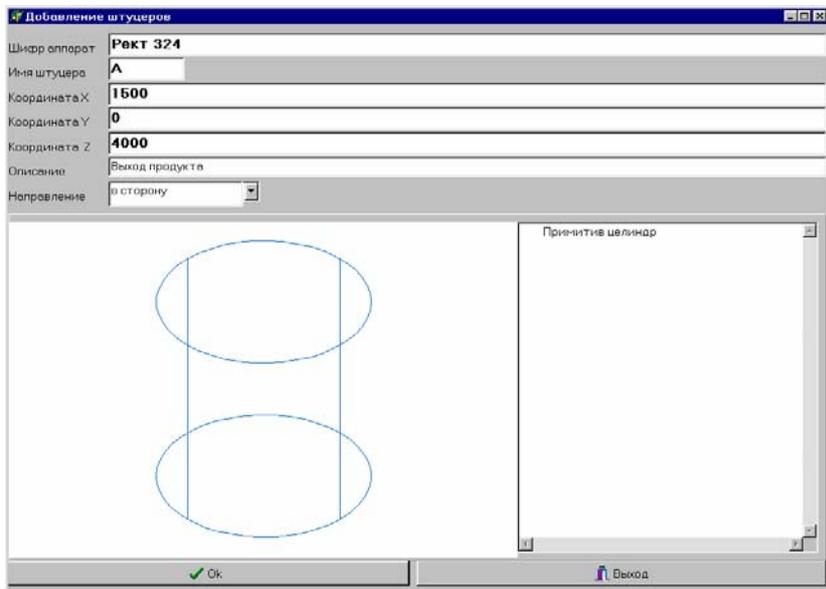
Имя аппарата	Схема	Описание аппарата
№ 102 ВЭЭ	Схема 0	Подготовка сырья
№ 103 ВЭЭ	Схема 1	Подготовка сырья
№ 104 ВЭЭ	Схема 1	Буферная емкость
№ 105 ВПП	Схема 1	Буферная емкость
№ 107 ГЭЭ	Схема 2	Сборник продукта
№ 108 ГЭЭ	Схема 2	Сборник продукта
№ 109 ГЭЭ	Схема 3	Сборник продукта
№ 110 ВЭЭ	Схема 3	Буферная емкость
№ 111 ВЭЭ	Схема 3	Реактор
№ 112 ВЭЭ	Схема 3	Реактор
№ 113 ВЭЭ	Схема 0	Реактор
№ 118 Рективд.	Схема 3	Очистка от приме...

Шифр: 0033-1.0.6  
 Осн. размер: 1

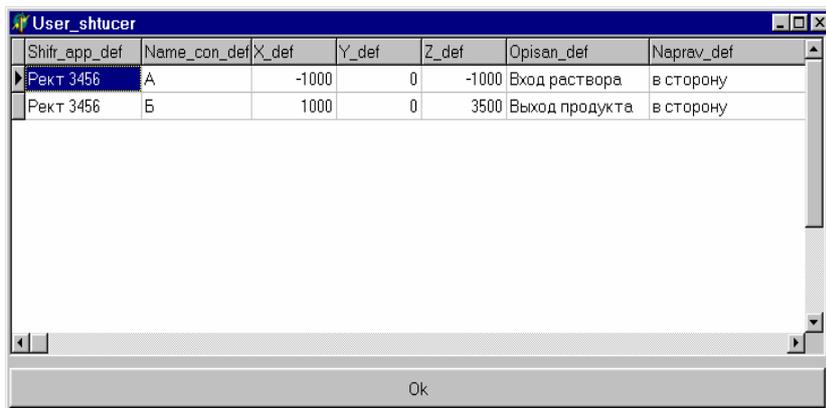
Добавляется при отсутствии в БД нужного пользователю оборудования в виде примитивов (параллелепипед, цилиндр). Вводятся габариты, шифр, точкой вставки является центр фигуры.



Пользователь сам добавляет, редактирует или удаляет штуцера. Координаты штуцеров задаются в локальной системе координат относительно центра фигуры:



Просмотр штуцеров:



Наложение технологических связей аппаратов:

Аппарат №1	Штуцер	Приоритет	Вид транспорта	Имя группы	Штуцер	Аппарат №2
№118 Ректиф. колонна	Б	50	Насос	-	А	№103 ВЭЭ
№104 ВЭЭ	О	21	Не важно	-	А	№105 ВПП
№102 ВЭЭ	А	454	Не важно	-	Б	№107 ГЭЭ
№105 ВПП	О	56	Не важно	-	Б	№108 ГЭЭ
№105 ВПП	П	56	Не важно	1	Б	№109 ГЭЭ
№112 ВЭЭ	О	100	Не важно	-	Б	№109 ГЭЭ
№107 ГЭЭ	В1	45	Не важно	-	А	№111 ВЭЭ
№105 ВПП	О	78	Передавливание	-	А	№111 ВЭЭ
№107 ГЭЭ	Г	50	Не важно	-	А	№118 Ректиф. колонна

В форме "Связи" отображаются технологические связи оборудования. Здесь же находятся кнопки добавления, удаления и редактирования связей.

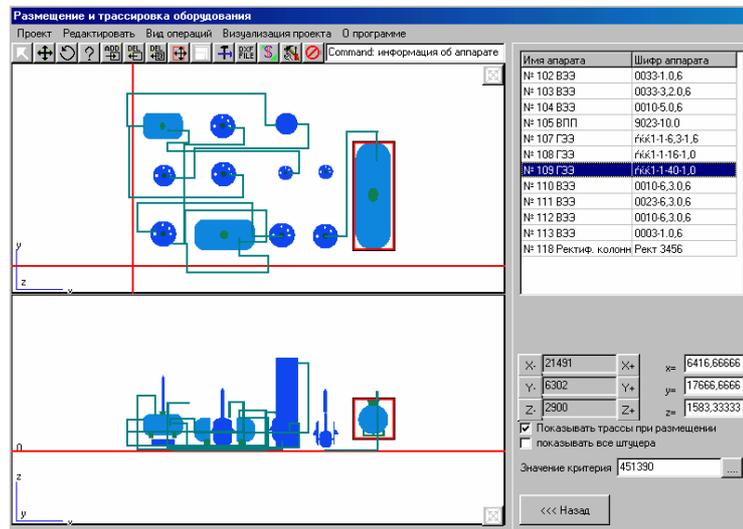
Добавление новой технологической связи:

Для добавления новой технологической связи необходимо указать аппарат-источник, штуцер-источник, аппарат-приемник, штуцер-приемник, стоимость 1 м трубопровода, условный диаметр трубопровода, тип транспорта (насос, передавливание, самотек), тип связи.

Выбор типа конструкции цеха:

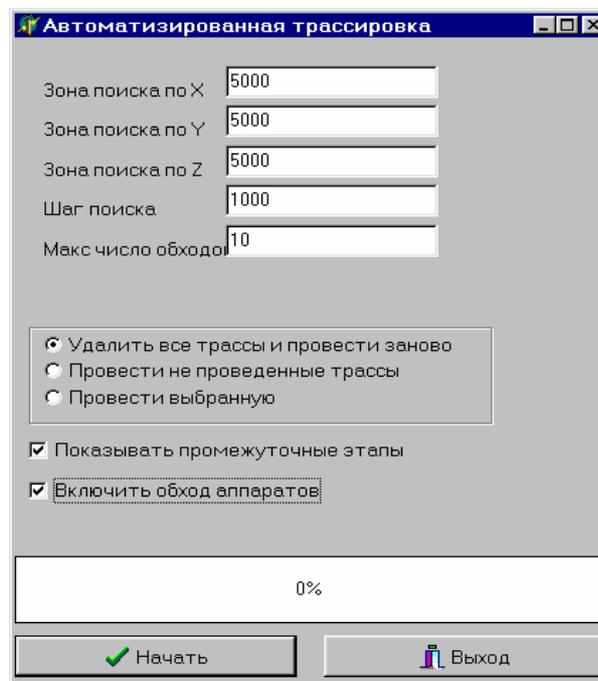
В системе реализована возможность размещения оборудования в цехах ангарного типа и в многоэтажных цехах.

### Размещение оборудования



Данная форма предназначена для размещения оборудования и трассировки трубопроводов. Она имеет главное меню, панель инструментов, рабочие окна для графического отображения оборудования, список оборудования, список технологических связей.

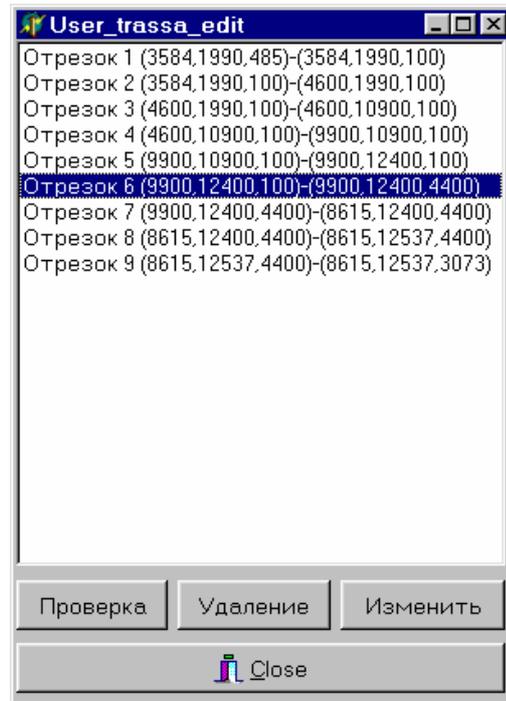
#### *Автоматизированная трассировка трубопроводов*



Данная форма вызывается нажатием кнопки "автоматизированная трассировка" в выпадающем меню. Она служит для настройки и запуска алгоритма автоматизированной трассировки трубопроводов. Пользователь имеет возможность выбора способа трассировки:

- удалить все трассы и провести заново;
- провести не проведенные трассы;
- провести выбранную трассу;
- показывать промежуточные перестановки или нет;
- включить обход препятствий.

Так же реализована возможность ручной корректировки и проверки целостности трасс. Для этого необходимо вызвать форму нажатием кнопки "Информация о трассе" в выпадающем меню. Форма имеет вид:



Трасса разбивается на участки и возможно редактирование каждого участка в отдельности. Для этого необходимо выбрать из списка соответствующий участок трубопровода и нажать на кнопку "Изменить". При этом вызывается форма для редактирования отрезков трасс:



*Панель инструментов:*

Для настройки критерия оптимизации, ввода ограничений, выбора типа конструкции цеха, а также для ручного размещения оборудования и ручной трассировки трубопроводов используется панель инструментов:

- Отмена всех команд



- Двигать аппарат



- Поворот аппарата



- Добавить связь



- Удалить связь



- Удалить все связи



- Двигать схему



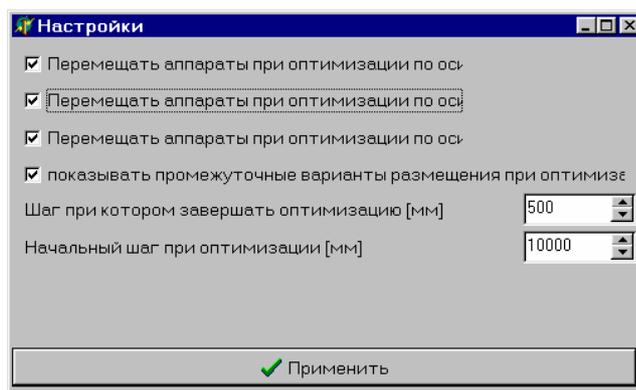
- Информация об аппарате



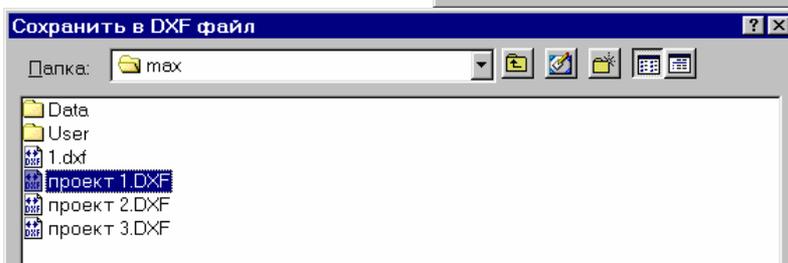
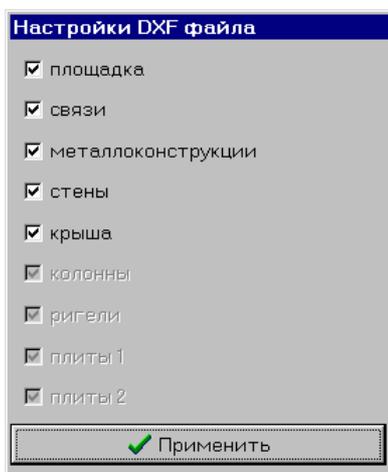
- Масштаб



- Настройки алгоритма размещения



- Создать DXF файл



- Настройка критерия размещения



**Настройки критерия для размещения**

Общие параметры | Трубопроводы | **Транспортировка** | Строительные конструкции | Металлоконструкции

Коэффициент значимости данного компонента в общем критерии [ от 0 до 1 ]

<input checked="" type="checkbox"/> Трубопроводы	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Транспортировка	<input type="text" value="0.94"/>	<input type="text" value="0.94"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Строительные конструкции	<input type="text" value="0.61"/>	<input type="text" value="0.61"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Металлоконструкции	<input type="text" value="0.87"/>	<input type="text" value="0.87"/>

Значение критерия

Трубопроводы	<input type="text" value="13753"/>
Транспортировка	<input type="text" value="84600"/>
Строительные конструкции	<input type="text" value="193652"/>
Металлоконструкции	<input type="text" value="26252"/>
Общий критерий	<input type="text" value="318257"/>

Критерий представляет собой стоимость трубопроводов, устройств для транспортировки веществ, стоимость элементов конструкции цеха, металлоконструкций.

Пользователь может отключать или включать в состав критерия нужные ему составляющие, а также вводить коэффициент значимости любой составляющей:

- Выбор типа конструкции цеха



**Настройки цеха**

Ангарный цех  
 **Этажный цех**

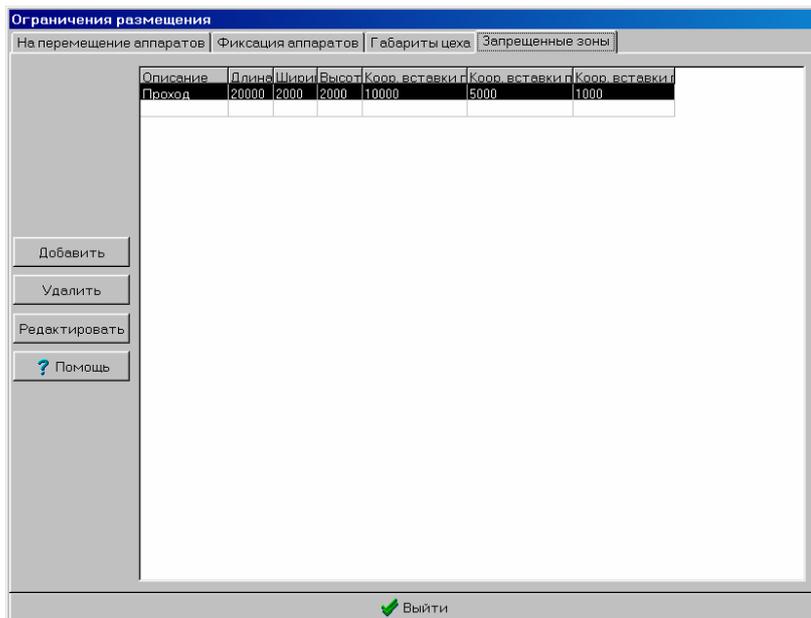
Размеры цеха

Длина (в 6-ти метровых единицах)	<input type="text" value="6"/>
Ширина (в 6-ти метровых единицах)	<input type="text" value="4"/>
Высота (в 6-ти метровых единицах)	<input type="text" value="3"/>

Пользователь может в течение работы менять тип конструкции цеха и его параметры:

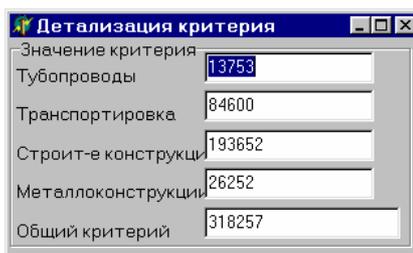
- Ограничения





При размещении накладываются ограничения на перемещение оборудования (диапазон), фиксация, запрещенные для размещения оборудования зоны, ограничения на габариты цеха. Непересечение аппаратов и других объектов проверяется автоматически.

- Детализация критерия оптимизации

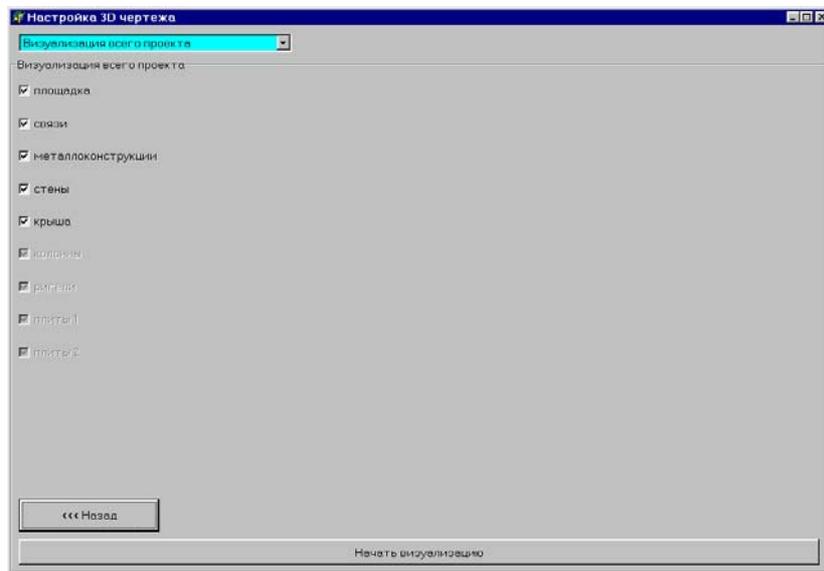


- Растянуть проекцию на весь экран



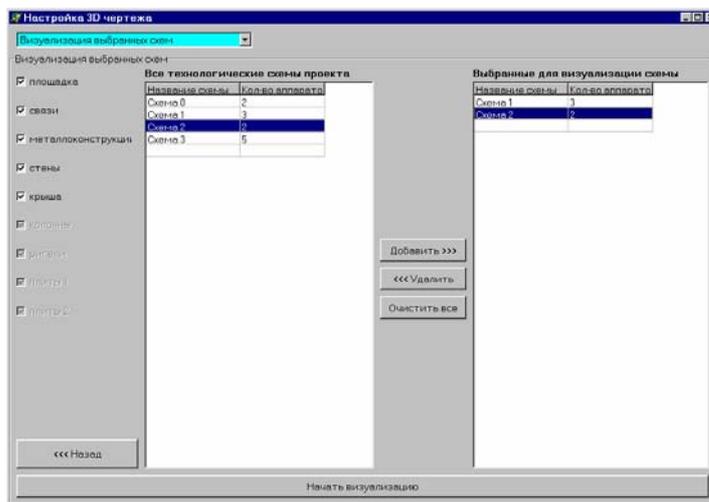
*Создание 3D чертежа проекта:*

Для создания 3D чертежа необходимо выбрать объекты, которые будут включены в него. Визуализация всего проекта.



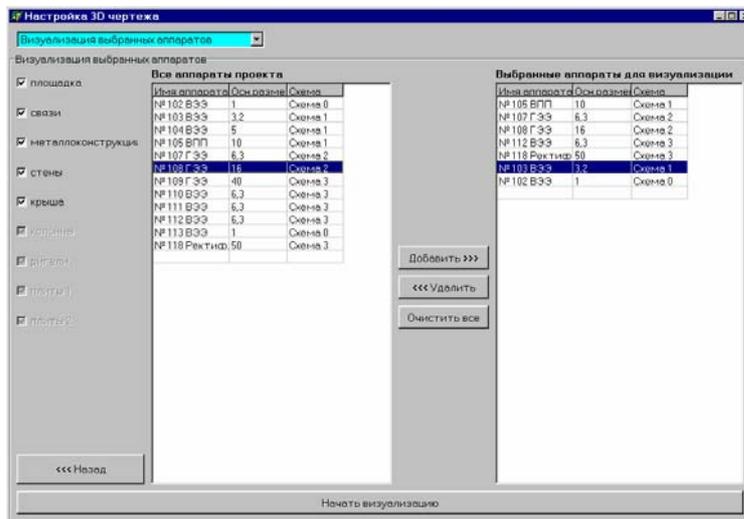
В этом режиме все аппараты проекта будут отображаться в 3D чертеже. Трубопроводы, металлоконструкции и строительные конструкции цеха могут быть исключены из 3D чертежа пользователем.

### Визуализация выбранных схем.



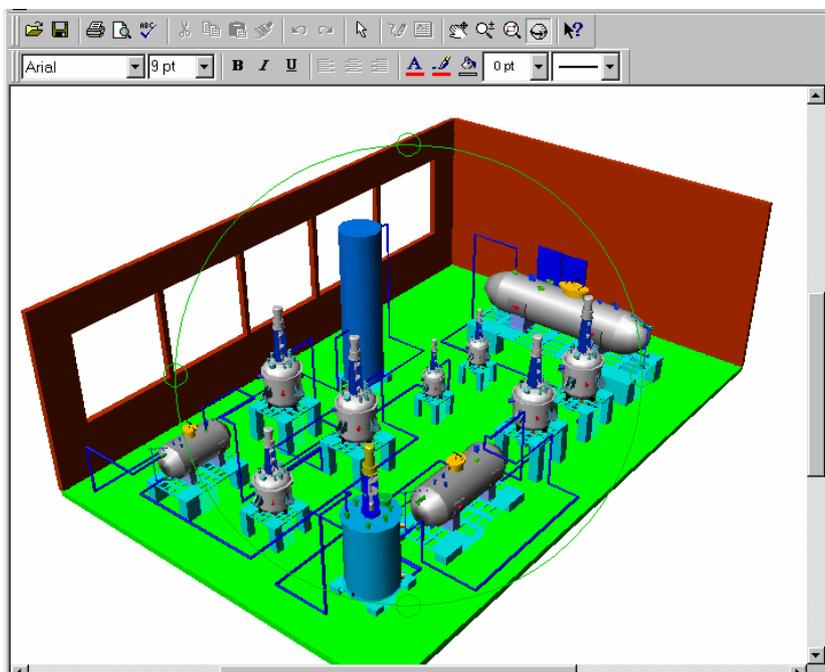
В данном режиме отображаться в 3D чертеже будут аппараты, принадлежащие к схемам, выбранным пользователем из списка схем. Трубопроводы, металлоконструкции и строительные конструкции цеха могут быть исключены из 3D чертежа пользователем.

### Визуализация выбранных аппаратов.



В данном режиме отображаться в 3D чертеже будут аппараты, выбранные пользователем из списка аппаратов. Трубопроводы, металлоконструкции и строительные конструкции цеха могут быть исключены из 3D чертежа пользователем.

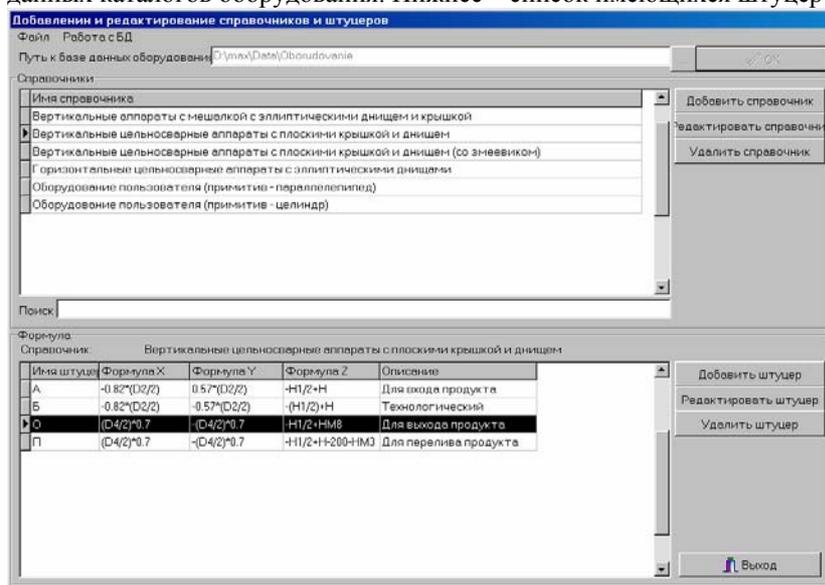
### 3D чертеж проекта:



## Модуль администратора

Модуль администратора предназначен для обслуживания базы данных оборудования, а именно для добавления, редактирования и удаления каталогов оборудования, а также добавления, удаления и редактирования штуцеров оборудования.

Главное рабочее окно представляет собой форму с двумя окнами. Верхнее – список имеющихся в базе данных каталогов оборудования. Нижнее – список имеющихся штуцеров активного справочника оборудования.



Кнопки:

Переход в форму добавления нового справочника оборудования

Добавить справочник

Переход в форму редактирования активного справочника оборудования

Редактировать справочник

Удалить справочник оборудования

Удалить справочник

Переход в форму добавления нового штуцера активного справочника оборудования

Добавить штуцер

Переход в форму редактирования активного штуцера активного справочника оборудования

Редактировать штуцер

Удалить активный штуцер активного справочника оборудования

Удалить штуцер

Добавление, редактирование, удаление справочников

**Добавление справочников оборудования**

Имя справочника: Вертикальные аппараты с мешалкой с эллиптическими днищем и крыш

Файл справочника (DBF)	Wee1.DBF	Посмотреть
Файл DWF чертежа	Wee1.dwf	Посмотреть
Файл DXF чертежа (3D)	wee1_3D.dxf	Посмотреть
Файл с описанием (TXT)	Wee1.txt	Посмотреть

Формулы расчета габаритов Edit

Габарит по X: □

Габарит по Y: L

Габарит по Z: H1

Признак справочника: Стандартный Каталожное оборуд-е

Имя блока 3D: WEE1

Примитив	XOY_1	WEE1_XOY.bmp	XOZ_1	WEE1_XOZ.bmp
	XOY_2	WEE1_XOY.bmp	XOZ_2	WEE1_XOZ.bmp

Габарит 3D блока по X: 1342

Габарит 3D блока по Y: 1342

Габарит 3D блока по Z: 3240

В данной форме происходит добавление и редактирование справочников оборудования в базе данных. Для того чтобы добавить новый справочник оборудования необходимо иметь:

- DBF таблицу с геометрическими размерами оборудования. В таблице поля – наименование геометрического размера (например, D1), каждая строка – единица оборудования. Причем в одном добавляемом справочнике должно быть только однотипное оборудование, каждая единица которого имеет одну и ту же конструкцию, и отличаются значением геометрических параметров;
- файл двумерного чертежа для данного оборудования, созданного в системе AutoCAD и сохраненного в формате (dwf);
- файл трехмерного чертежа для данного оборудования созданного в системе AutoCAD и сохраненного в формате (dxf);
- файл описания данного типа оборудования в формате (txt).

Четыре файла в формате (bmp) с упрощенным изображением добавляемого оборудования в плоскостях XOY (вид сверху) и XOZ (вид спереди), один из которых при начальном положении оборудования и при повороте его на 180°, а другой при повороте оборудования на 90° и на 270° вокруг вертикальной оси.

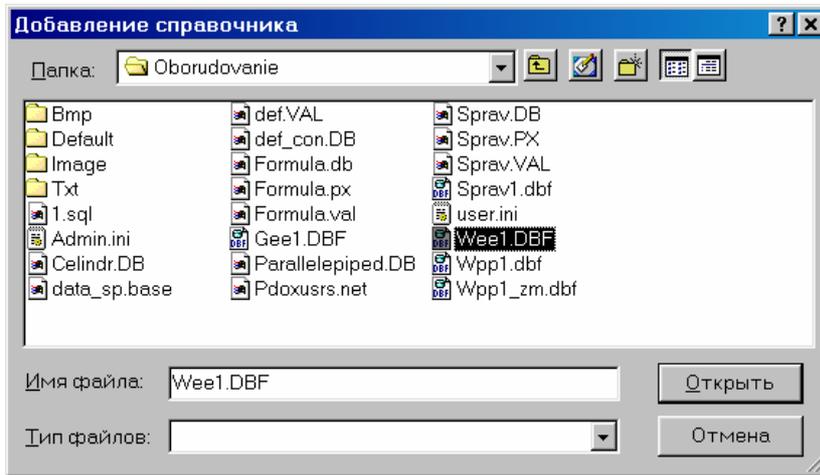
Перед непосредственным добавлением справочника оборудования необходимо внести в базовый чертеж его трехмерный чертеж как блок, а имя блока указать при добавлении справочника в соответствующем окне. Так же необходимо указать реальные габаритные размеры созданного блока.

В полях формул для расчета габаритов необходимо указать, какие арифметические операции должен произвести компьютер, чтобы вычислить габариты выбранного из таблицы dbf оборудования.

Для указания dbf таблицы необходимо нажать на кнопку



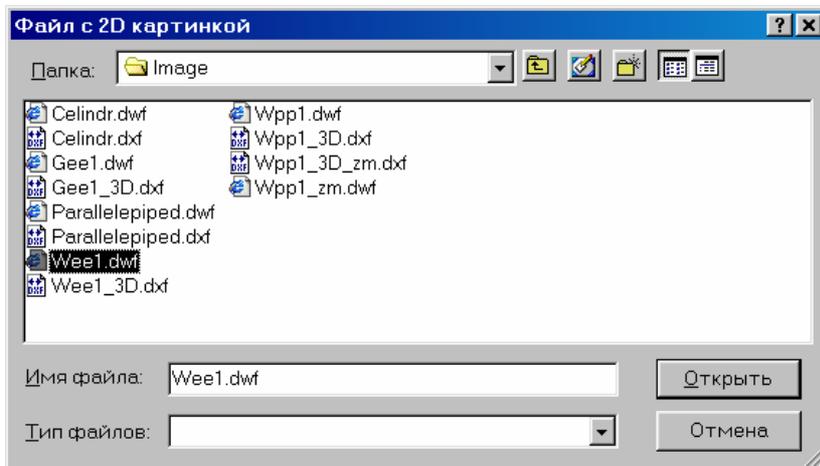
после чего выбрать файл (\*.dbf)



Для указания dwf чертежа необходимо нажать на кнопку



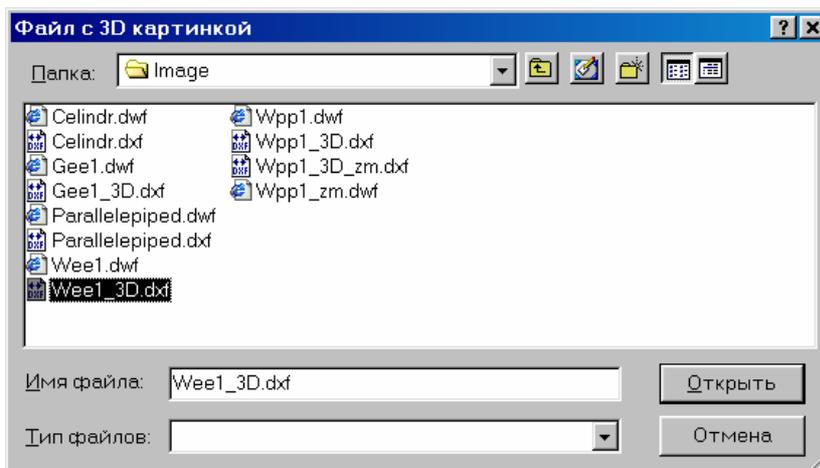
после чего выбрать файл (\*.dwf)



Для указания dxf чертежа необходимо нажать на кнопку



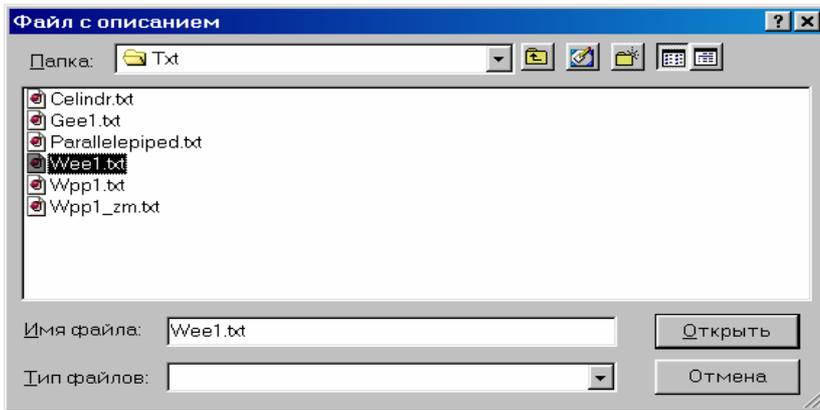
после чего выбрать файл (\*.dxf)



Для указания txt файла описания необходимо нажать на кнопку



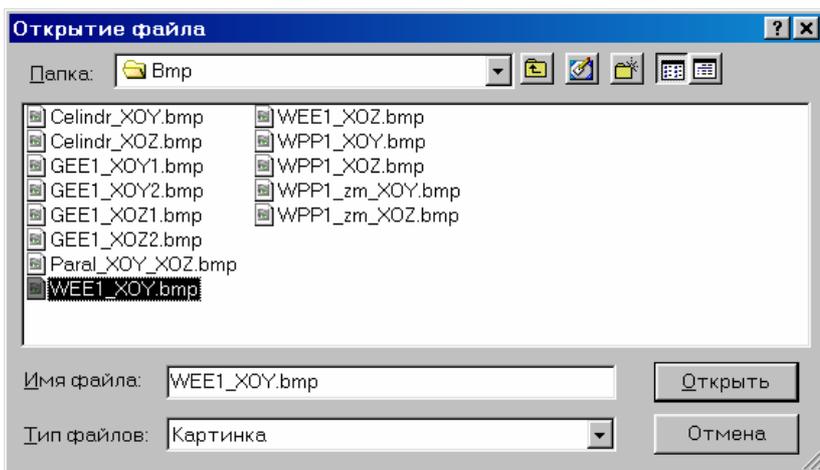
после чего выбрать файл (\*.txt)



Для указания bmp файла необходимо нажать на кнопку



после чего выбрать файл (\*.bmp)



Для просмотра выбранных файлов напротив каждой из вышеперечисленных кнопок стоит кнопка

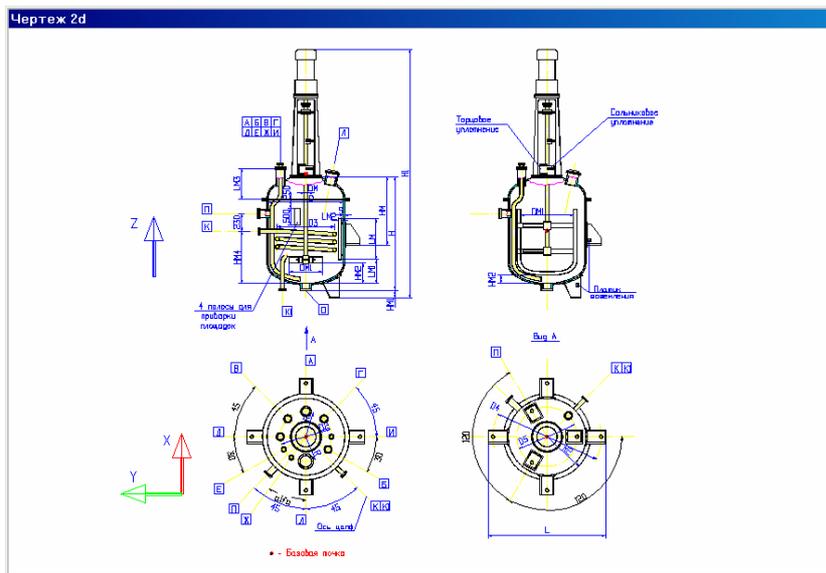


При нажатии на эту кнопку появится соответствующее вспомогательное окно:

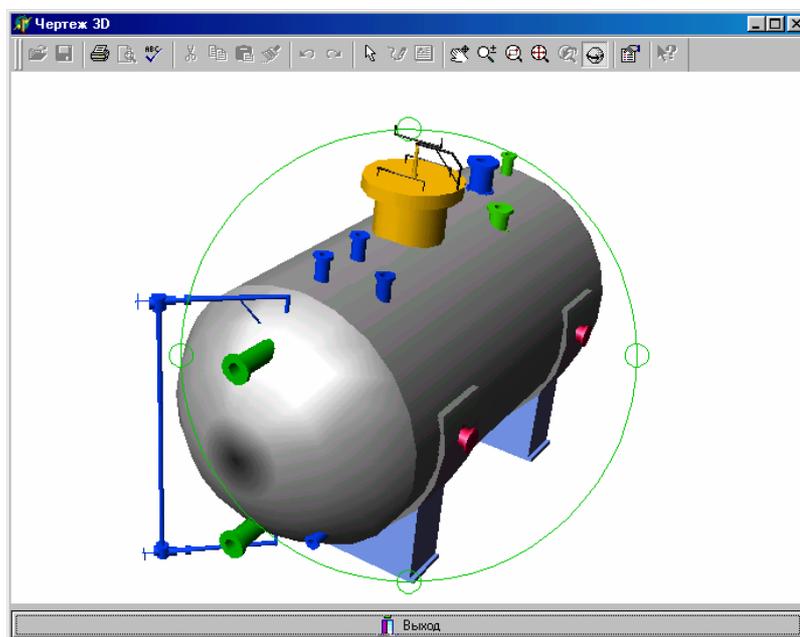
Окно для просмотра файлов dbf

Просмотр базы данных																														
№	КОД	SHIFR	D	D2	D3	D5	DM	DM1	DM2	H1	HM	HM1	HM2	HM4	L1	LM	LM1	LM2	LM3	R	R1	R3	ALFA	S	D4	L	R2	VN		
1	0003	-1.0.6	1000	660	0	920	50	360	24	1515	3240	920	215	390	0	0	0	0	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1		
2	0023	-1.0.6	1000	660	0	920	50	360	24	1515	3240	920	215	390	0	0	900	250	100	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1	
3	0033	-1.0.6	1000	660	740	920	50	360	24	1515	3240	920	215	390	700	300	0	0	0	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1	
4	0010	-1.0.6	1000	660	0	920	50	800	24	1515	3195	920	215	100	0	0	0	0	0	450	320	330	402	45	6	1298	1342	591	1	
5	0003	-2.0.6	1400	940	0	1260	50	400	24	1615	3290	1110	165	370	0	0	0	0	0	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2	
6	0023	-2.0.6	1400	940	0	1260	50	400	24	1615	3430	1110	165	370	0	0	800	350	140	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2	
7	0033	-2.0.6	1400	940	1060	1260	50	400	24	1615	3290	1110	165	370	890	430	0	0	0	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2	
8	0010	-2.0.6	1400	940	0	1260	50	1060	24	1615	3245	1110	165	170	0	0	0	0	0	520	400	450	572	40	6	1698	1742	791	2	
9	0003	-3.2.0.6	1600	1050	0	1410	65	450	35	1915	4145	1255	215	450	0	0	0	0	0	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2	
10	0023	-3.2.0.6	1600	1050	0	1410	66	450	35	1915	4235	1255	215	450	0	0	1000	400	160	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2	
11	0033	-3.2.0.6	1600	1050	1220	1410	65	450	35	1915	4145	1255	215	450	1030	510	0	0	0	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2	
12	0010	-3.2.0.6	1600	1050	0	1410	65	1320	35	1915	4440	1255	215	140	0	0	0	0	0	565	425	500	645	40	6	1922	2002	901	3.2	
13	0003	-5.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2295	4555	1305	245	430	0	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5	
14	0023	-5.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2295	4745	1305	245	430	0	0	1250	450	180	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5	
15	0033	-5.0.6	1800	1200	1380	1610	65	630	35	2295	4555	1305	245	430	1080	590	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5	
16	0010	-5.0.6	1800	1200	0	1610	65	1500	35	2295	4850	1305	245	150	0	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	5	
17	0003	-6.3.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2845	5295	1480	245	540	0	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3	
18	0023	-6.3.0.6	1800	1200	0	1610	65	630	35	2845	5295	1480	245	540	0	0	0	1800	450	180	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3
19	0033	-6.3.0.6	1800	1200	1380	1610	65	630	35	2845	5295	1480	245	540	1080	590	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3	
20	0010	-6.3.0.6	1800	1200	0	1610	65	1500	35	2845	5450	1480	245	150	0	0	0	0	0	600	540	580	725	40	8	2220	2300	1030	6.3	

Окно для просмотра файлов dwf



Окно для просмотра файлов dxf



Окно для просмотра файлов txt

Описание
<b>ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СТАЛЬНЫЕ СВАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПЕРЕМЕШИВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ С ЭЛЛИПТИЧЕСКИМ ДНИЩЕМ И СЪЕМНОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРЫШКОЙ</b>
Вертикальные аппараты с перемешивающими устройствами предназначены для проведения различных технологических процессов в жидких однофазных и многофазных средах динамической вязкостью не более 50 Пз (5 Па·с), плотностью до 2000 кг/м куб.
Рабочая среда в корпусе аппарата – нейтральная, агрессивная, пожароопасная, взрывоопасная или токсичная жидкость, эмульсия, газожидкостная смесь или суспензия массовой концентрацией твердой фазы не более 30%.
В рубашке и змеевике – водопроводная или оборотная вода, рассол, конденсат, насыщенный водяной пар или высокотемпературный органический теплоноситель температурой от -30 до +250 град. С.
<b>Назначение штуцеров</b>
А - Для входа продукта
Б - Технологический
В - Технологический
Г - Для предохранительного клапана
Д - Для трубы передавливания
Е - Резервный
Ж - Для манометра
И - Для термометра
К, К1 - Для входа и выхода теплоносителя
О - Для выхода продукта
П - Для перелива продукта

Добавление, удаление, редактирование штуцеров аппаратов

**Добавление штуцеров**

Имя справочника: **Вертикальные цельносварные аппараты с плоскими крышкой и днищем**

Имя штуцера: **A**

Формула X:  **$0.82 \cdot (D2/2)$**

Формула Y:  **$0.57 \cdot (D2/2)$**

Формула Z:  **$-H1/2+H$**

Описание: **Для входа продукта**

Направление: **вверх**

**ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ЦЕЛЬНОСВАРНЫЕ АППАРАТЫ С ПЛОСКИМИ КРЫШКОЙ И ДНИЩЕМ**

Вертикальные аппараты с перемешивающими устройствами предназначены для проведения различных технологических процессов в жидких, газообразных и многофазных средах динамической вязкостью не более 2000 кг/м куб.

Рабочая среда в корпусе аппарата - нейтральная, взрывобезопасная или токсичная жидкость, эмульсия, газ, суспензия массовой концентрацией твердой фазы не более 10%.

В рубашке и змеевике - водопроводная или общепромышленная вода.

В рубашке и змеевике - водопроводная или общепромышленная вода или насыщенный водяной пар или высокотемпературный пар с температурой от -30 до +250 град. С.

Назначение штуцеров

- А - Для входа продукта
- Б - Технологический
- В - Технологический
- Г - Для предохранительного клапана
- Д - Для трубы переделывания
- Е - Резервный
- Ж - Для манометра

Ok      Выход

Для добавления штуцеров оборудования необходимо сделать активным нужный справочник в главном окне, затем нажать на кнопку



После чего появится форма добавления штуцеров, в которой необходимо ввести название штуцера, формулы для расчетов координат штуцера относительно центра параллелепипеда, описанного вокруг аппарата, описание штуцера и его направление.

#### *Получение отчетной документации*

Для получения отчетной документации в виде чертежей планов размещения оборудования реализована возможность передавать результаты размещения оборудования в формат DXF (текстовый формат чертежей AutoCAD). Результаты размещения, сохраненные в этом формате, можно просматривать и редактировать непосредственно из среды AutoCAD и выводить на печать как в изометрии, так и в плане и в разрезах.







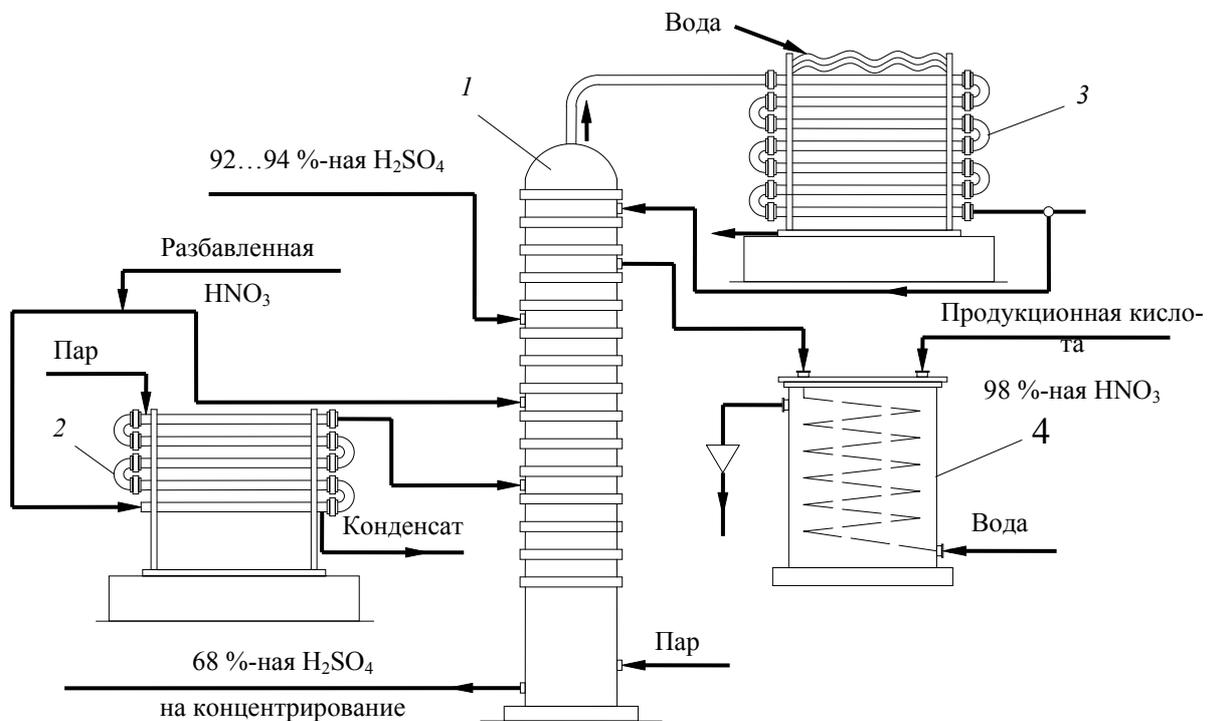


Рис. 6.8. Схема концентрирования разбавленной азотной кислоты в присутствии серной кислоты:  
 1 – концентрационная колонна; 2 – испаритель разбавленной азотной кислоты; 3 – холодильник-конденсатор;  
 4 – холодильник концентрированной азотной кислоты

Система автоматического выбора арматуры - [Поиск регулирующей арматуры]

Файл Поиск Помощь

Выбор диаметра: 200  
 Выбор давления: 6  
 Выбор среды: жидкая и газообразная среда, природный газ

Укажите учитываемые параметры:

<input type="checkbox"/> Герметичность затвора	<input type="checkbox"/> Перекрытие потока при высоком перепаде давления
<input checked="" type="checkbox"/> Гидравлическое сопротивление	<input type="checkbox"/> Перекрытие потока при низком перепаде давления
<input type="checkbox"/> Масса (небольшая)	<input type="checkbox"/> Малозумность
<input type="checkbox"/> Строительная длина	<input type="checkbox"/> Кавитация и мгновенное парообразование
<input type="checkbox"/> Герметичность к внешней среде	<input type="checkbox"/> Пульпа
<input type="checkbox"/> Частое срабатывание	<input type="checkbox"/> Абразивные шламы
<input type="checkbox"/> Двухпозиционное регулирование	<input type="checkbox"/> Коррозионные среды
<input type="checkbox"/> Дросселирование	<input type="checkbox"/> Высокие температуры
<input type="checkbox"/> Регулирование	<input type="checkbox"/> Низкие температуры
<input type="checkbox"/> Суженный проход	<input checked="" type="checkbox"/> Приводное усилие (небольшое)
<input type="checkbox"/> Равнопроходность арматуры	<input checked="" type="checkbox"/> Цена (небольшая)
<input type="checkbox"/> Быстродействие	<input type="checkbox"/> Ремонтпригодность
<input type="checkbox"/> Высокое давление	<input type="checkbox"/> Стоимость установки (низкая)
<input type="checkbox"/> Вакуум	<input type="checkbox"/> Стоимость обслуживания (низкая)

Поиск

Наименование (обозначение) изделия	Ду	Среда	$P_u$ , кг/см <sup>2</sup>	T, С <sup>0</sup>	Присоединение к трубопроводу	Привод	Габаритные размеры	Масса	Изготови- тель
Кран шаровой запорный фланцевый ВНИЛ 491825	200	пульпа	6,3	+80	фланцевое	Ручной, пневмо- привод	L=70	30/55	80



Рис. 4.1. Пример выбора промышленной трубопроводной арматуры

