

Министерство образования и науки  
Российской Федерации

**Сибирский государственный технологический  
университет**

**Р.З. Пен, Е.В. Алаудинова, А.А. Атаманов**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ,  
ЛЕСОХИМИЧЕСКИХ,  
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
И НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Красноярск  
2015

УДК 66.0.13; 691

**Пен Р.З., Алаудинова Е.В., Атаманов А.А.** Проектирование целлюлозно-бумажных, лесохимических, биотехнологических и нефтеперерабатывающих предприятий: Учебное пособие / Под общей редакцией Р.З. Пена. – Красноярск: Сибирский государственный технологический университет, 2015. – 240 с.

Приведены сведения об организации и общих принципах проектирования промышленных предприятий, основных строительных материалах, конструктивных элементах зданий, методах автоматизированного проектирования. Рассмотрены особенности проектирования химических предприятий, в том числе целлюлозно-бумажных, лесохимических, биотехнологических и нефтеперерабатывающих предприятий.

Предназначено для студентов всех форм обучения по профилям перечисленных предприятий.

ISBN

© Р.З. Пен, Е.В. Алаудинова, А.А. Атаманов  
© ФГБОУ ВО Сибирский государственный  
технологический университет, 2015

## Введение

Согласно энциклопедическому определению, проектированием является процесс создания *проекта*, который рассматривается в качестве прототипа, прообраза предполагаемого или возможного объекта, состояния. Наряду с традиционными видами (архитектурно-строительными, машиностроительными, технологическими и др.) начали складываться самостоятельные направления: проектирование человеко-машинных систем, трудовых процессов, организаций, экологическое, социальное, инженерно-психологическое, генетическое и др.

Выполнение проекта составляет *проектную деятельность*.

Проект обладает рядом свойственных ему характеристик, определив которые, можно точно сказать, *является ли* анализируемый вид деятельности проектной:

- временность; любой проект имеет четкие временные рамки (это не относится к его результатам); в случае, если таких рамок не имеется, деятельность называется операцией и может длиться сколь угодно долго;
- уникальность продуктов, услуг, результатов; в противном случае предприятие становится серийным производством;
- последовательная разработка; любой проект развивается во времени, проходя через определённые ранее этапы или шаги, но при этом составление спецификаций проекта строго ограничивается содержанием, установленным на этапе начала.

Несмотря на то, что конечный результат проектирования должен быть уникальным, проект обладает рядом общих с производством характеристик:

- выполняется людьми;
- ограничен доступностью ресурсов;
- планируется, исполняется и управляется.

В практике управления существуют так называемые SMART-критерии, которым должны соответствовать цели проектирования. SMART – это аббревиатура, образованная первыми

буквами английских слов: конкретный (specific); измеримый (measurable); достижимый (attainable); значимый (relevant); соотносимый с конкретным сроком (time-bounded).

Признаки того, что деятельность *не является* проектной:

- цель не отвечает критериям SMART (изначально не определена, не конкретна, не достижима и т. п.);
- ограничения деятельности изначально не определены или не достижимы (сроки, ресурсы, время, качество, допустимый уровень рисков и т. п.);
- результат не уникален (например, серийное производство).

В некоторых стандартах (например, ISO 21500) к проектам также не относят типовую, повторяющуюся деятельность, даже если она приводит к уникальным результатам.

*Проект производства* – это комплекс технической документации, необходимой для его сооружения. В проект входят пояснительные записки, инженерно-технические расчеты, чертежи, технологические регламенты, сведения о поставке сырья и удалении отходов производства, информация об организации труда, сметы на все производственные и культурно-бытовые сооружения проектируемого объекта.

Проектирование химических предприятий, как самостоятельная отрасль инженерного труда, относительно молода. До тридцатых годов прошлого века разработкой новых химических производств занимались инженеры в конторах заводов и конструкторских бюро исследовательских институтов. В дальнейшем развитие химической промышленности и увеличение объема проектных работ вызвало специализацию отдельных групп: технологов, строителей и т. д. Затем были созданы комплексы, куда вошли отраслевые научно-исследовательские, проектные и строительно-монтажные организации [1].

Проектирование производств химической и смежных с ней отраслей промышленности представляет собой сложный, многообразный и трудоемкий процесс, который необходимо рассматривать как совокупность целого ряда социально-организационных и инженерно-технических стадий. Такой системный подход к решению проектных задач обеспечивает высокий социально-экономический уровень функционирования промышленных объектов. Этот подход выработан в процессе развития проектного дела [2]

В предлагаемом учебном пособии приведены сведения об организации и общих принципах проектирования промышленных предприятий, основных строительных материалах, конструктивных элементах зданий, методах автоматизированного проектирования; рассмотрены особенности проектирования химических предприятий, в том числе целлюлозно-бумажных, лесохимических, биотехнологических и нефтеперерабатывающих предприятий. Оно предназначается для использования в учебном процессе подготовки бакалавров по следующим направлениям:

15.03.02 – Технологические машины и оборудование (профиль Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов);

18.03.01 – Химическая технология;

19.03.01 – Биотехнология;

24.04.06 – Химическая технология переработки древесины.

Профессиональные компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Проектирование предприятий»:

- способен участвовать в разработке технологических проектов в составе авторского коллектива;

- готов использовать современные системы автоматизированного проектирования;

- способен проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива;

- способен обеспечить выполнение правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и охраны труда.

## **Список литературы**

1. Беркман Б.Е. Основы технологического проектирования производств органического синтеза. М.: Химия, 1970. – 368 с.

2. Дворецкий С.И., Кормильцин Г.С., Калинин В.Ф. Основы проектирования химических производств: Учебное пособие. М.: Издательство «Машиностроение-1», 2005. – 280 с.

## Глава 1

# ОРГАНИЗАЦИЯ И ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

## 1.1 Задачи проектирования

Термин «проектирование» (от лат. *Projectus* – выступающий вперед, выдающийся) в широком смысле означает процесс создания проекта. Проект – это совокупность информации, адекватно отображающей предполагаемый объект, процесс и т. п. Таким образом, инженерным проектированием можно называть процесс создания проекта некоторого технологического или технического объекта. Структура инженерного проектирования приведена на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Структура инженерного проектирования

Создание проектов объектов техники (оборудование, машины, аппараты, агрегаты и т. д.) составляет одно из направлений инженерного проектирования – *техническое проектирование* (конструирование). Результат конструирования – конструкторский проект. Его разрабатывает инженер-конструктор.

Создание проектов объектов технологии (отдельные процессы, технологические стадии, линии) составляет другое направление инженерного проектирования – *технологическое проектирование*. Результат его – комплект технологической документации. Технологический проект разрабатывает инженер-технолог.

Создание проектов производств, имеющих целевую направленность на реализацию определенного технологического процесса (например, получение бумаги, продуктов лесохимии или биотехнологии) и наличие более или менее обширной инфраструктуры (т.е. совокупности систем производственных коммуникаций и систем обеспечения нормальных условий работы обслуживающего персонала) представляет собой самостоятельное направление инженерного проектирования – *функциональное технологическое проектирование*, или просто проектирование. Объекты, обладающие такими признаками, называют технологическими комплексами, или мегакомплексами. Функциональный проект разрабатывает инженер-технолог-проектировщик. Функциональный проект должен характеризовать технологический мегакомплекс в целом, а также его составные части, значения технологических характеристик, технологию и компоновку, системы коммуникаций и режимы функционирования, связанные между собой и с внешними объектами. Информация, заложенная в проект, обеспечивает доказательность, целесообразность, обоснованность и достоверность принятых решений. В общем случае решение должно быть научно обоснованным, технически реализуемым, экономически целесообразным и экологически безопасным.

Конструирование технических объектов должно быть основано на результатах технологического проектирования или согласовано с ними. Однако четко разграничить объекты конструирования и технологического проектирования не всегда удастся. Взаимозависимость конструирования и технологического проектирования особенно проявляется при функциональном проектировании. В этих объектах связь между составными частями (например, между



отдельными машинами, аппаратами и др. оборудованием, между этими объектами и окружающей средой) в значительной мере определяется характером физических, физико-химических и химических процессов, протекающих в технологическом оборудовании.

Объектами проектирования и строительства промышленных предприятий могут быть: *новое строительство, расширение, реконструкция, техническое перевооружение действующих предприятий.*

К **новому строительству** относят создание новых предприятий и отдельных производств на новых земельных участках с целью создания новой производственной мощности. Если строительство предприятия намечают осуществлять очередями, то к новому строительству относят все очереди.

К **расширению** действующих предприятий относят строительство дополнительных производств на действующем предприятии, а также новых и расширение существующих цехов и объектов на территории действующих предприятий. Цель расширения предприятия – увеличение производительности, выпуск новых видов продукции и т. п. При этом задачей технологов-проектировщиков является поиск рациональных решений по размещению в действующей системе более производительного оборудования с кратковременной остановкой работающего производства.

К **реконструкции** действующих предприятий относят переустройство предприятия в целом или его отдельных производств, цехов, объектов основного, подсобного и обслуживающего назначения. Цель реконструкции – повышение технико-экономического уровня производства на основе новейших научных и инженерных достижений. Задачи реконструкции – увеличение производственной мощности, повышение качества и номенклатуры продукции, улучшение условий труда, уменьшение техногенной нагрузки на окружающую среду и т. п. При реконструкции предприятий осуществляют расширение отдельных зданий и сооружений, а в тех случаях, когда новое высокопроизводительное оборудование не может быть размещено в существующих зданиях, проектируют строительство новых зданий.

К **техническому перевооружению** действующих предприятий относят мероприятия, повышающие технико-экономический и экологический уровень не только отдельных производств, це-



хов и участков, но и общезаводского хозяйства, вспомогательных служб. В процессе технического перевооружения действующего предприятия проводят:

- модернизацию или замену морально устаревшего оборудования высокопроизводительным, большей мощности или улучшенной конструкции;
- модернизацию или внедрение новых средств механизации и автоматизации технологических процессов, автоматических систем управления, средств и систем контроля, современных средств управления производством;
- модернизацию действующих или строительство новых природоохранных объектов, систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха;
- присоединение действующих объектов к централизованным системам тепло-, электро-, газо-, водоснабжения и канализации;
- установку дополнительного оборудования, часто без расширения производственных площадей.

При проектировании новых промышленных предприятий решают три группы задач: *экономические, технические и организационные.*

**Экономическими задачами** проектирования являются: выявление целесообразного места размещения предприятия; установление и обоснование сырьевой базы, рынков сбыта, производственной программы, номенклатуры выпускаемой продукции; оценка возможности обеспечения предприятия материальными, энергетическими и трудовыми ресурсами; прогноз экономических показателей (капитальных вложений и их эффективности, себестоимости продукции, производительности труда и др.) с учетом необходимости создания инфраструктуры.

**Технические задачи** состоят в разработке технологических процессов изготовления продукции заданного качества; выборе и определении числа единиц технологического и транспортного оборудования; определении потребности в сырье, материалах, топливе, электроэнергии, рабочей силе; разработке систем освещения, отопления, вентиляции, водоснабжения, канализации; размещении технологического и транспортного оборудования в цехах и между ними; установлении размеров, типов, форм зданий и сооружений; разработке генерального плана предприятия, мероприятий по охра-

не окружающей природной среды, промышленной санитарии, охране труда, противопожарной безопасности и гражданской обороне объекта.

**Организационные задачи** включают в себя разработку организации строительства, структуры управления предприятием, рациональной организации труда и рабочих мест; установление форм отчетности и контроля.

## **1.2 Поэтапная организация проектирования**

Жизненный цикл объектов техники и технологии включает следующие крупные этапы: планирование развития науки и техники; составление заявок на разработку и освоение продукции; создание новых установок в процессе проведения научно-исследовательских, опытно-технологических и опытно-конструкторских работ; создание мощностей; освоение и производство продукции; эксплуатация объекта; совершенствование технологии, улучшение качества продукции; снятие объекта с эксплуатации. Поэтапная организация проектирования позволяет определять способы реализации и сроки выполнения конкретных работ, верно избрать стратегию проектирования.

**Выявление потребности.** Проектирование начинается с зарождения идеи изменить сложившуюся ситуацию и выражается в выявлении потребности в таком изменении. Необходимость изменить сложившуюся ситуацию составляет основу намечаемой программы деятельности ведомственных учреждений и предприятий, в которой определяются ассортимент, объем выпуска продукции, уровни издержек производства, цен и т. п.

После обоснования необходимости и возможности изменений сложившейся ситуации переходят к следующему этапу проектирования.

**Постановка и формулирование цели проектирования.** Из постановки цели должно вытекать, что реализация проекта позволит изменить существующее положение и удовлетворить обнаруженную потребность. Однако одну и ту же потребность можно удовлетворить различными путями, и от того, как сформулирована задача проектирования, зависит направление дальнейших работ, их конечный результат.

Цель обычно определяется заказчиком. Однако необходимо учитывать, что формулировка цели проектирования практически всегда базируется на заинтересованности довольно узкого круга лиц и организаций. Решение узких задач дает малозначительный эффект и даже прямые убытки. Кроме того, чрезмерно конкретизированная задача нацеливает мысль разработчиков на определенный результат и направляет дальнейшее проектирование по единственному пути устранения количественных противоречий прототипа. Вследствие этого могут возникнуть только такие разработки, которые принципиально не изменят существующего положения. *Разработчики сознательно должны рассматривать проектную ситуацию шире, чем ее представляют заказчики.* Тогда дальнейший поиск сможет охватить наибольшее число возможных и кажущихся поначалу невозможными идей для разработки эффективного варианта решения.

Помните, что *конечной целью проектирования является не объект как таковой, а функция, которую он должен выполнять.* Таким образом, формулировка цели должна указывать на основное назначение проекта – его функцию, но не сводиться к указанию способов ее осуществления.

***Научно-информационное исследование проектной ситуации.*** На этом этапе собирают, анализируют и обрабатывают информацию о возможностях реализации цели проектирования. Информация может быть основана на имеющемся опыте и знаниях, а также на новых знаниях, полученных в результате дополнительных исследований. Информация, обладающая релевантностью, достоверностью и оперативностью, имеет для предприятия не меньшее значение, нежели материальные и трудовые ресурсы. Затраты на исследование проектной ситуации окупаются, поскольку тщательная проработка материала позволяет предотвратить убытки на последующих этапах проектирования (если выбранное направление неудачное) и компенсировать затраты за счет создания объекта с высокой эффективностью эксплуатации.

Исследование проектной ситуации направлено на возможно большее ее расширение, а также на расширение поиска эффективного решения. Это позволяет быстрее выявить новые идеи, а также может привести к изменению цели проектирования (например, к сужению формулировки цели, если она не оправдывает затраты на создание объекта) или даже к отказу от ее осуществ-

ления (если цель реализована ранее).

**Техническое задание на проектирование** объекта – это совокупность данных, которые должны послужить исходными для достижения поставленной цели на последующих этапах проектирования. Формулируют задание на основании требований заказчика к объекту и самостоятельно полученной информации. Формулировка технического задания должна быть более конкретной, чем формулировка цели. Техническое задание согласовывается с основным потребителем продукции, предприятием-разработчиком (если, оно не разрабатывает техническое задание) и предприятием-изготовителем (при наличии нескольких изготовителей – с головным изготовителем). В зависимости от вида и назначения продукции техническое задание согласовывают также с органами государственного надзора, министерствами и ведомствами, на которые возложены функции по охране природы и т. п. Техническое задание утверждает ведущее министерство. По отдельным видам продукции оно может быть утверждено заказчиком, тогда согласования с ним не требуется. Утверждение технического задания без учета результатов оценки технического уровня не допускается.

Разработчик должен с большой осмотрительностью подходить к составлению технического задания – исходного документа для проекта, за который предприятие несет финансовую и социальную ответственность. Недопустимо включать в техническое задание собственные идеи, не согласованные с руководством. Вместе с тем, осмысливая все этапы проектирования и соответствующие им этапы жизненного цикла проекта, разработчик вправе подвергнуть сомнению поставленную цель, пересмотреть ее или даже отказаться от выполнения проекта, если он видит, что это может причинить ущерб обществу или принести убытки на последующих, более капиталоемких этапах разработки проекта.

**Генерирование идей и формулирование задачи.** Необходимо выработать некоторое минимальное количество идей, чтобы вероятность нахождения действительно эффективной идеи увеличивалась. Так, для освоения наиболее удачного способа производства химического продукта требуется более 500 предложений. Примеров для биотехнологических объектов в литературе нет, что указывает на актуальность применения стратегии проектирования для объектов микробного синтеза.

Условием повышения качества проектирования является ор-

ганизация непрерывного поиска идей для создания научно-технического задела – «банка идей». Поэтому не следует отбрасывать идеи, которые кажутся неприемлемыми для разработки, они могут оказаться перспективными.

**Инженерный анализ.** Это ключевой этап в проектировании, так как именно здесь в основном осуществляется принятие проектного решения, предлагаются и рассматриваются способы осуществления отобранных идей, осуществляют эксперименты на макетных или модельных установках.

Инженерный анализ включает три взаимосогласованных стадии: выработку концепции и их отсев, анализ и эксперимент. После того как концепция объекта выбрана, проводят анализ научной обоснованности и технической реализуемости. Часто в результате анализа оказывается, что требуется изменить концепцию или сформулировать новую идею; новая концепция также подвергается анализу. Таким образом, осуществляется непрерывный процесс перехода от анализа к выработке концепции и обратно, пока концепция не начнет приобретать реальное содержание.

На следующей стадии инженерного анализа эксперимента проектируемые процесс и продукция испытываются для проверки правильности выбранной концепции и проведенного анализа на соответствие техническому заданию в условиях, максимально приближенных к заданным.

**Инженерное решение и разработка комплекта технической документации.** На этом этапе разработчики должны подготовить документацию, убедить заказчика в правильности выбранной идеи и разработанной концепции, в необходимости дальнейшей разработки и освоения объекта. Для окончательного принятия решения в ряде случаев требуется дополнительная информация, иногда необходимы даже дополнительные эксперименты.

После принятия инженерного решения начинают разработку комплекта технической, технологической и проектно-сметной документации. Документы могут быть в графическом или текстовом виде на бумажных и электронных носителях. Инженер, подписавший соответствующий документ, несет за него моральную, профессиональную, должностную, а в некоторых случаях и юридическую ответственность.

По отдельным видам продукции ведущие министерства в установленном порядке проводят экспертизу документации, по ре-



зультатам которой составляют экспертное заключение. На его основании вносят изменения, дополнения в документацию при доработке проекта.

**Производство.** Этап освоения продукции, т. е. оснащение технологического процесса, подготовка к выпуску продукции. Это обуславливает необходимость разработки директивной документации для решения инженерно-технических, планово-экономических, организационных задач и требует непосредственных контактов разработчиков с персоналом предприятия.

В функции разработчиков входят также контроль за освоением и производством продукции, т. е. за реализацией решений, предусмотренных технической и технологической документацией; своевременное выявление и устранение недостатков проекта и технологического процесса. Объектами *авторского надзора* являются объект или его составные части; сырье и материалы; технологический процесс; метрологическое обеспечение и т. п. Группа авторского надзора проводит анализ соблюдения изготовителем требований технической документации и анализ выявленных дефектов. Решает вопросы улучшения технологического процесса, снижения расхода сырья, энергии. Оперативно вносит изменения в техническую документацию. Этот этап предполагает изготовление продукции и испытания объекта (приемо-сдаточные, периодические и квалификационные), а также исследовательскую корректировку документов по результатам испытаний.

**Распределение продукции.** Назначение этапа заключается в организации контактов между сферами производства и потребления; в управлении этими контактами с целью установления и поддержания равновесия между производством и потреблением, т. е. сбытом и спросом. На практике имеют место случаи накопления нереализованной продукции или возникновение дефицита. Это является следствием неправильного прогнозирования спроса на третьем этапе проектирования.

**Эксплуатация объекта.** Данные об эксплуатации технологического объекта служат основанием для принятия решения об усовершенствовании технологии, ее интенсификации либо о прекращении выпуска продукции. Так, цикл процесса проектирования (разработки, изготовления и эксплуатации) технологического объекта замыкается, а вместе с этим завершается существование конкретного объекта. Таким образом, проектирование современ-

ного промышленного предприятия – многоступенчатый итеративный процесс (рис. 1.2).

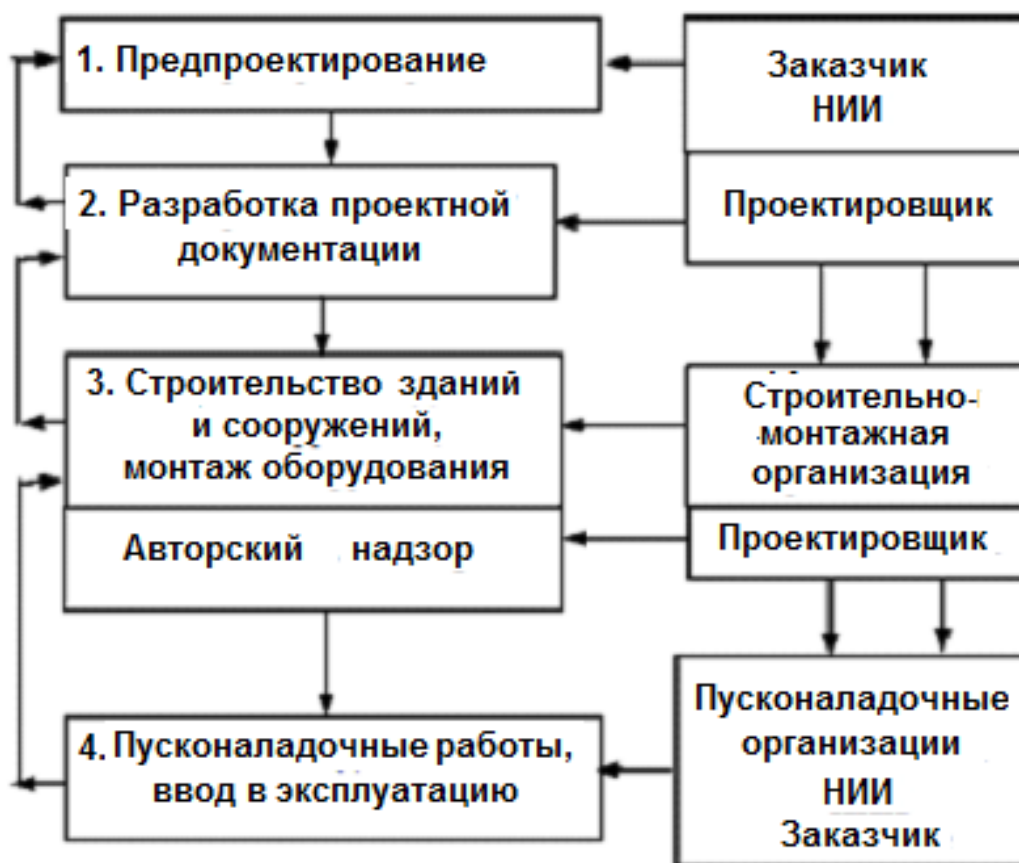


Рисунок 1.2 – Схема принятия решений в процессе проектирования и создания промышленного объекта

### 1.3 Основные стратегии процесса проектирования

Для современного проектирования характерны дефицит времени и ограниченность в средствах, поэтому общая стратегия проектирования должна быть направлена на уменьшение «циклическости» и увеличение «линейности» процесса проектирования.

Разновидность циклической стратегии – **стратегия случайного поиска**, характеризующаяся полным отсутствием какого-либо плана. Выйти из порочного круга помогает применение различных неформализованных методов, таких, как мозговая атака. В основе мозговой атаки лежит следующая предпосылка: контрольные механизмы сознания, боязнь критики, опасение вторгнуться в чужую область или выдвинуть «смешную» идею препятствуют проявлению подсознательных возможностей. Это можно преодолеть, если