



university

Тюменский  
индустриальный  
университет

# Моделирование и проектирование строительных технологий

## План лекции:

1. Методы моделирования строительных процессов и технологий;
2. Проектирование строительных технологий;
3. Гибкость строительных технологий.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

**Моделирование** является эффективным, а часто и единственным средством анализа.

**Задача моделирования** - дать количественное и качественное представление каждого элемента системы, обеспечить однозначность представления в проекте различных данных, параметров и характеристик.

Качественный и количественный анализ и изучение любого объекта предполагает создание модели объекта, позволяющей описать и предсказать его поведение, изменение параметров и характеристик в определенном диапазоне условий.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Различают две группы моделей: материальные модели и идеальные модели.

**Материальные модели** либо создаются самим исследователем, либо отбираются им в окружающем мире.

В материальном моделировании выделяют три основные группы методов:

- Аналоговое;
- Физическое;
- Пространственное моделирование.

Эти методы основываются на геометрическом подобии, сходстве физической природы процессов и явлений, на аналогии в математическом описании модели и объекта. Во всех случаях материальные модели — это материальное отражение исходного объекта.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

**Методы идеального моделирования** основываются на идеальной (мыслимой) связи между объектами и моделью.

Условно эти методы могут быть разделены на две группы:

- формализованное моделирование;
- неформализованное моделирование.

К методам **формализованного моделирования** в первую очередь относят математическое моделирование, когда математическая модель записывается в виде совокупности математических формул, выражений, равенств, неравенств и т.д., преобразования над которыми осуществляются на основе правил логики и математики. Классическим методом исследования математических моделей является аналитическое исследование и решение. Роль математического моделирования в научных исследованиях в практике человеческой деятельности трудно переоценить.

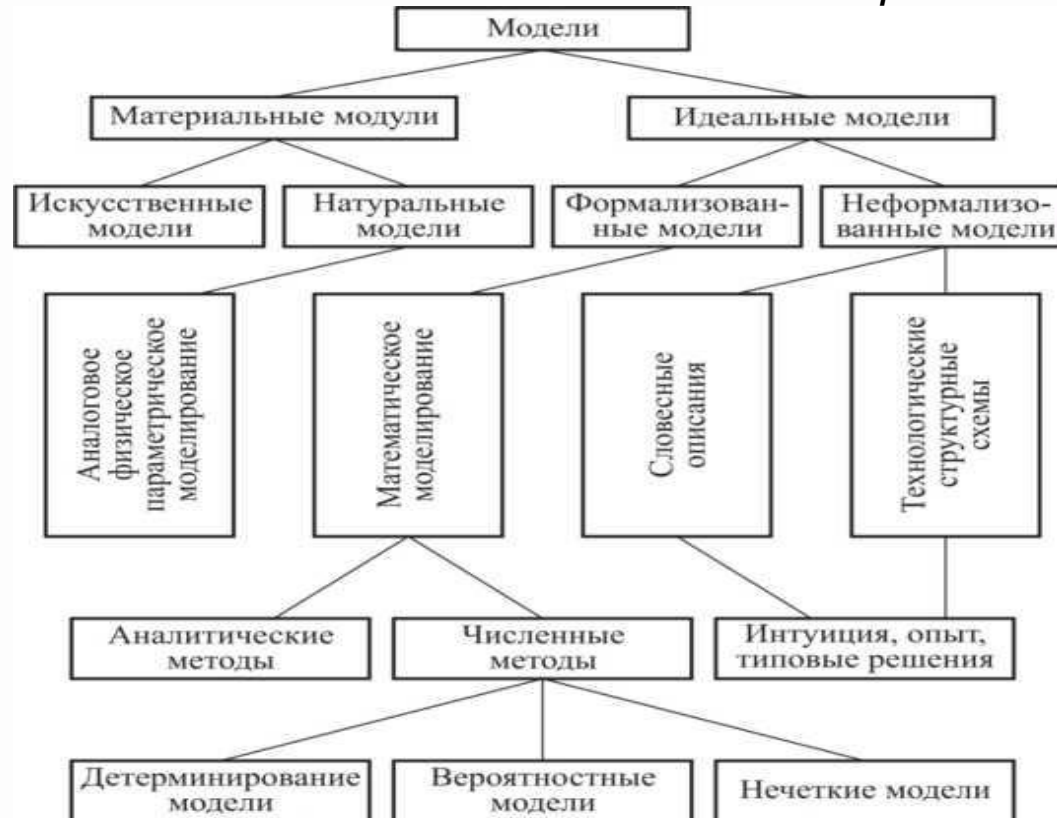
# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

В **неформализованном** моделировании, наряду с использованием формальных объектов (схем, описаний, алгоритмов, методик) важное место занимают субъективные факторы, зависящие от опыта, интуиции лица, занимающегося анализом и принимающим решения.

Сочетание методов формализованного (математического) моделирования с опытом и интуицией специалиста, способного осуществить постановку реальной задачи, выбрать адекватную модель, оценить диапазон изменения параметров и показателей, определить ограничения, принять промежуточное или окончательное решение составляет сущность подхода к исследованию и проектированию технологического строительного процесса, повышения уровня гибкости строительных технологий.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

## Разновидности моделей и методов моделирования



# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Для реальных производственных процессов не представляется возможным построить аналитические модели и получить решения в виде четких аналитических формул и зависимостей.

Поэтому получили широкое распространение методы **имитационного** моделирования.

В зависимости от характера параметров, описывающих исследуемый объект, последний может быть описан детерминированными, вероятностными (стохастическими) или нечеткими (в условиях неопределенности) моделями.



# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

В настоящее время для формализации строительных процессов используются следующие методы моделирования:

- календарное и сетевое планирование;
- сети массового обслуживания;
- агрегативные модели;
- модели теории расписаний;
- сети Петри;
- фазно-блочный метод;
- графовые модели;
- структурные схемы и др.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Для последующего выбора и принятия строительных решений можно использовать следующие современные методы:

- морфологический анализ;
- динамическое программирование;
- дерево решений;
- матрицы;
- метод относительных оценок применимости;
- экспертные методы;
- нечеткие множества;
- и др.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

## Примеры применения некоторых методов при моделировании и проектировании строительных технологий

I. Для того чтобы формализовать строительный технологический процесс, составляющий основное содержание строительной системы, целесообразно воспользоваться аппаратом **моделирования сложных систем в виде агрегатов**.

Этот выбор обусловлен тем, что строительная система состоит из большого количества разнородных подсистем и элементов, имеющих собственные назначения и функции. Агрегат может служить унифицированной моделью как для каждого из них, так и для общей совокупности.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

В качестве предпосылок приняты следующие положения:

1. Любой элемент функционирует во времени, испытывая воздействия со стороны внешней среды и взаимодействуя как со средой, так и с другими элементами.

2. Элемент - агрегат имеет условный "вход", воспринимающий "входные сигналы", которыми могут служить поступающие для переработки материалы, изделия, полуфабрикаты, части зданий и сооружений, захватки, участки, после выполнения на них предыдущих процессов, информация и другие воздействия.

3. Элемент - агрегат способен выдавать выходные сигналы, связанные с окончанием работ с поступившими на вход материальными элементами или частями конструкции здания или сооружения.

4. Состояние элемента в данный момент времени определяется предыдущим состоянием и входными сигналами, поступившими в данный момент и ранее.

Как входные, так и выходные сигналы описываются количественными и качественными параметрами, изменяя которые в проектном диапазоне, можно получать варианты решений и выбирать те, которые в заданных условиях обладают наибольшей эффективностью.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

II. Применение аппарата **сетей Петри** позволяет производить описание систем с параллельным протеканием во времени взаимосвязанных между собой процессов, что характерно для строительного производства.

Построение моделей систем в виде сетей Петри связано со следующими действиями:

- моделируемый процесс представляется в виде множества событий и условий, определяющих эти события;
- устанавливается совокупность событий;
- технических процессов и операций, связанных с созданием готовой строительной продукции, и определяется множество условий, от которых зависит выполнение событий;
- событие может произойти только в случае выполнения всех условий, его определяющих, которые называются "доусловиями";
- после того, как данное событие наступило, будет обеспечено выполнение других условий, которые в свою очередь связаны со следующими событиями и называются "постусловиями".

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

В сетях Петри условия — это позиции, а события - переходы.

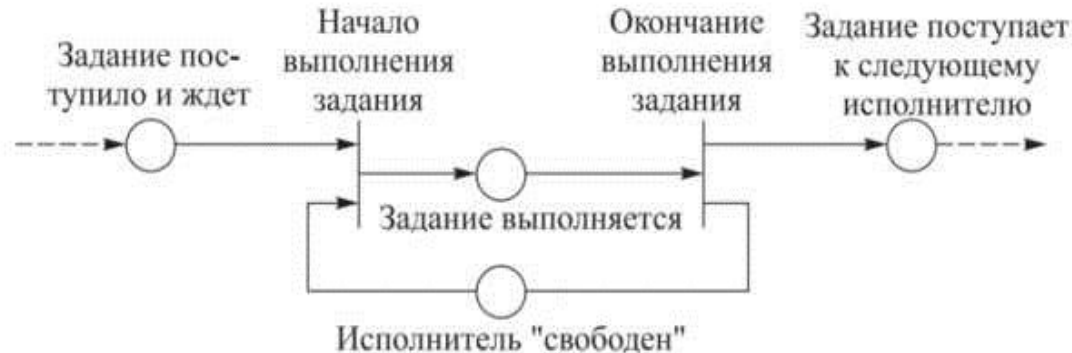
В таком виде сеть Петри выражает причинно-следственную связь между позициями и переходами.

При этом возможны два пути исследования этой сети:

- Первый путь - исследование логической взаимосвязи событий без учета моментов времени реализаций событий в системе (их отсутствие или игнорирование). Такое исследование предпочтительно с точки зрения анализа сетей на возможность или невозможность некоторой ситуации (достижимость), наличия в системе переходов, которые никогда не срабатывают и являются как бы лишними и могут быть исключены (живость), ограниченности позиций с точки зрения емкости накопителей (безопасность) и др.
- Второй путь - исследование процессов с учетом реального времени их протекания и построения временных диаграмм функционирования сети Петри. Такой подход позволяет выйти на оценку сроков, времени простоев, совмещений, и в конечном счете на календарный график и расчет конечных показателей эффективности процесса.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Рассмотрим задачу моделирования простого процесса, включающего взаимодействие двух объектов, выступающих как «исполнитель- задание», «экскаватор - автосамосвал», «монтажный кранк-онструктивный элемент», «исполнитель-захватка», «бригада-объект».



*Рис. Типовой модуль «задание-исполнитель» технологического процесса*

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Учитывая, что само по себе действие, операция или процесс неотделимо от их исполнителей, приведенную модель можно считать типовым модулем в построении моделей технологических процессов различного уровня и сложности.

Сети Петри являются удобным аппаратом моделирования параллельных процессов, т. е. процессов, протекающих в системе одновременно и зачастую независимо друг от друга.

В ординарных (простых) сетях Петри не моделируется ход времени, они имеют преимущественно качественный характер. Для моделирования строительных процессов этого недостаточно, так как параметр времени здесь является одной из основных характеристик. Немаловажное значение имеют и такие понятия, как взаимозависимость и синхронизация, обусловленные требованиями технологических, организационных и ресурсных связей.



# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Поэтому вызывают интерес многочисленные расширения сетей Петри, т.е. приемы, позволяющие на основе общего формального аппарата учесть многие свойства реальных систем. Одним из таких расширений являются **временные сети событий (ВСС)**, которые позволяют производить привязку моделируемого процесса к оси времени.

Моделирование реальной системы (технологического процесса) в виде ВСС, включает четыре этапа, характерных для всех численных экспериментов с математическими моделями:

- структуризация;
- формализация и алгоритмизация;
- программирование модели;
- митационные эксперименты с моделью на ЭВМ.

**Задачи упорядочивания** возникают там, где существует возможность выбора той или иной очередности выполнения процессов, работ, заказов. Методы и процедуры их решения составляют основу теории **расписаний**.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

В соответствии с основными положениями поточного метода производства строительных работ, предусматривающего расчленение производственного процесса на потоки, а создаваемой конструкции на равные или неравные по объему участки-захватки, различают:

- частный поток - последовательное выполнение одного или нескольких простых процессов на различных захватках;
- комплексный поток - совокупность частных потоков, объединенных общей продукцией и определяемых видом строительной работы;
- объектный поток - совокупность комплексных потоков, продукцией которых служит законченный объект;
- межобъектный поток - взаимосвязь объектных потоков, обеспечивающих возведение нескольких объектов или выполнение годовой программы строительной организации.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Таким образом, строительный технологический процесс формализуется следующей схемой:

возводимая конструкция  $\{K\}$  разбита на  $n$  участков-захваток, на которых необходимо осуществить технологический процесс-поток  $\{P\}$ , расчлененный на  $m$  составляющих процессов с последующим формированием из них потоков разного типа.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Рассмотрим данную схему с несколько иных позиций.

Представим процесс строительства здания (сооружения) или возведения конструкции как *дискретный производственный процесс*, т.е. когда строительная продукция (захватки) создается в фиксированные моменты времени. Иными словами, процесс непрерывен, а выход продукции - дискретен.

Тогда формирование структуры строительной технологии сводится к задаче упорядочивания отдельных модулей.

**Модуль** — это фрагмент производственного строительного процесса возведения объекта, формализующий взаимосвязь во времени и пространстве элементов конструкции, операций технологического процесса и технических средств, способный многократно повторяться и существовать как автономно, так и объединяться с другими модулями.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Тогда каждая из захваток  $n_j$  ( $j= 1, 2, \dots, J$ ) может быть рассмотрена как отдельная деталь (модуль-конструкция), последовательно проходящая ряд потоков (модулей-процессов)  $m_i$  ( $i= 1, 2, \dots, I$ ), которые могут быть рассмотрены как узлы обработки.

При этом каждый **следующий  $i$ -тый** поток может выполняться на  $j$ -той захватке только после того, как на ней был закончен  $i - 1$  -й поток.

Через  $t_{ij}$  будем обозначать момент поступления  **$j$ -той** захватки на  **$i$ -тый** поток.

Последовательность моментов  $t_j$  поступления захваток на фиксированный поток может иметь как детерминированный, так и вероятностный характер. В первом случае момент  $t_j$  строго определяется закономерностями выполнения операции на данной захватке. В большинстве расчетов параметров потока обычно исходят из этого случая.

Во втором приходится считаться со случайными колебаниями величины  $t_j$ . Эти колебания связаны с реальными условиями строительного объекта (перебои в поставках материалов, погодные условия, квалификация рабочих и др.).

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

При детерминированной последовательности:

$$t_j = t_{j-1} + t$$

где  $t$  - постоянная величина.

При вероятностной последовательности  $t_j$  описывается как случайный поток однородных событий, описание которого может производиться разнообразными законами распределения.

При этом имеет смысл, когда:

$$t_{j-1} + t_j > 0,$$

т.е. когда очередность выполнения работ на захватках не нарушается.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Захватка (модуль-конструкция) характеризуется (кроме моментов начала на ней работ  $t_j$ ) другими параметрами:

- объем работ в физических единицах ( $m^3$ ,  $m^2$ , п.м, т., шт. и т.д.);
- трудоемкость (чел-час, чел-дн);
- затраты машинного времени (маш-ч, маш-см);
- продолжительность выполнения (дни, смены, часы);
- количество структурных частей (пролетов, этажей, секций, конструктивных элементов и т.п.);

весовые и геометрические параметры частей.

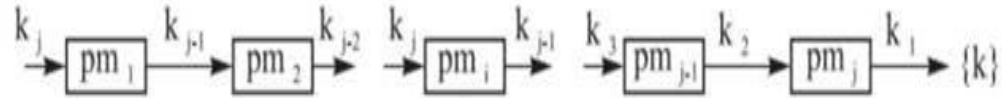
Параметры, характеризующие завершенность работ на захватке, наряду с количественными характеристиками, имеют качественный дискретный характер, как например:

- смонтирован - не смонтирован (1;0);
- установлен - не установлен (1;0);
- подготовлен - не подготовлен (1;0) и другие.

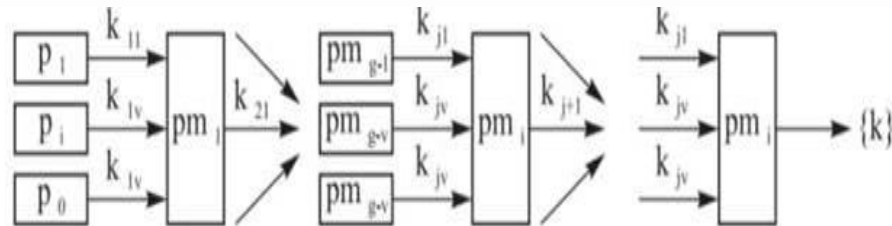
# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

Рассмотрим варианты построения  $S_T$  из структурных элементов конструкции и технологических операций

**1. Последовательная схема**, когда на каждой захватке или части последовательно выполняются потоки переходя с одной захватки на другую.



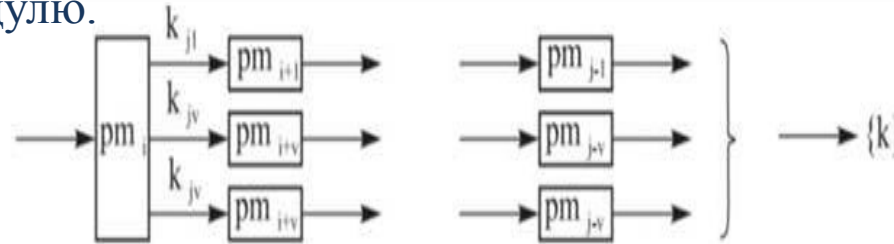
**2. Сходящаяся структура**, когда для того, чтобы реализовать поток, необходима готовность нескольких захваток или участков, на которых уже выполнены несколько технологических потоков. Эта схема особенно характерна для земляных работ, где происходит постоянная трансформация количества и размеров участков конструкции земляного сооружения.



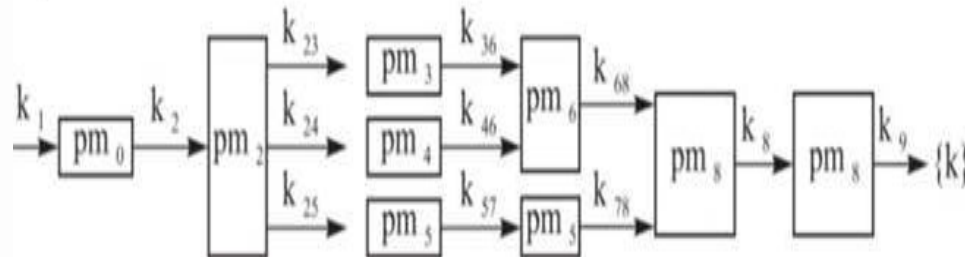


# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

**3. Расходящаяся структура**, когда после выполнения потока на структурном элементе конструкции может образоваться несколько участков, на каждом из которых выполняется самостоятельный поток. При этом также происходит изменение количества и размеров участков и захваток. Эта схема характерна при переходе от одного комплекса работ к другому, от модуля к модулю.



**4. Комбинированная структура.** Возможны сочетания всех трех предыдущих вариантов, что в значительной степени и характерно для реальных производственных процессов.



# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

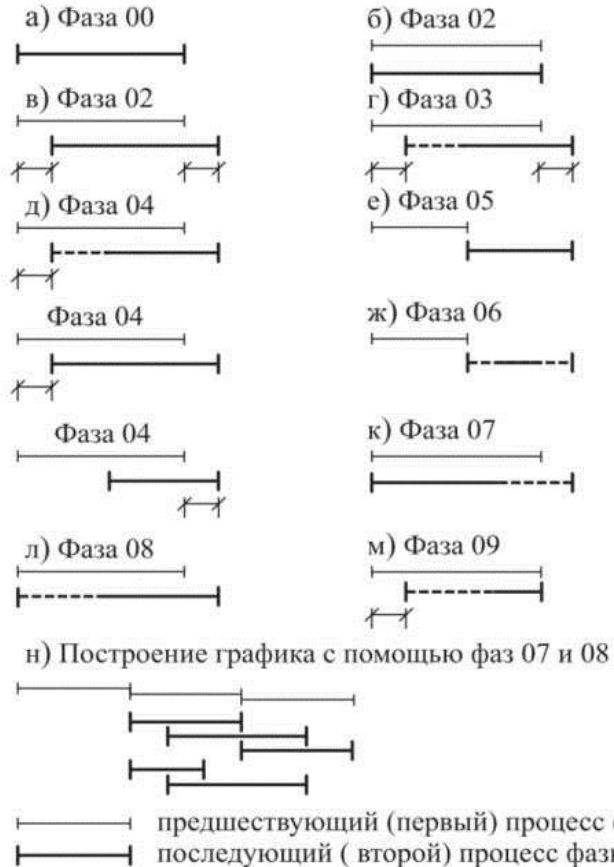
В свою очередь внутри модуля также осуществляется упорядочивание отдельных процессов и операций. Описанная схема эффективно решается с помощью **фазно-блочного метода (ФБМ)**.

Суть фазно-блочного метода состоит в заранее сформированных фазах процессов, отражающих технологическую взаимосвязь нескольких процессов на шкапе времени.

В зависимости от соотношения моментов окончания или начала двух процессов может быть выделено девять типов фаз, из которых может быть составлена модель для каждого модуля.

Такую модель будем называть **опорным вариантом организационно-технологической структуры**, а различные его вариации будут представлять множество расписаний. Расписание рассматривается, как некоторое положение процессов на поле расписаний при соблюдении организационных, технологических и ресурсных связей и ограничений.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий



*Рис. Типы технологической взаимосвязи процессов*

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

На следующем этапе организационно-технологическая структура может быть формализована в виде модели **сети обслуживания**.

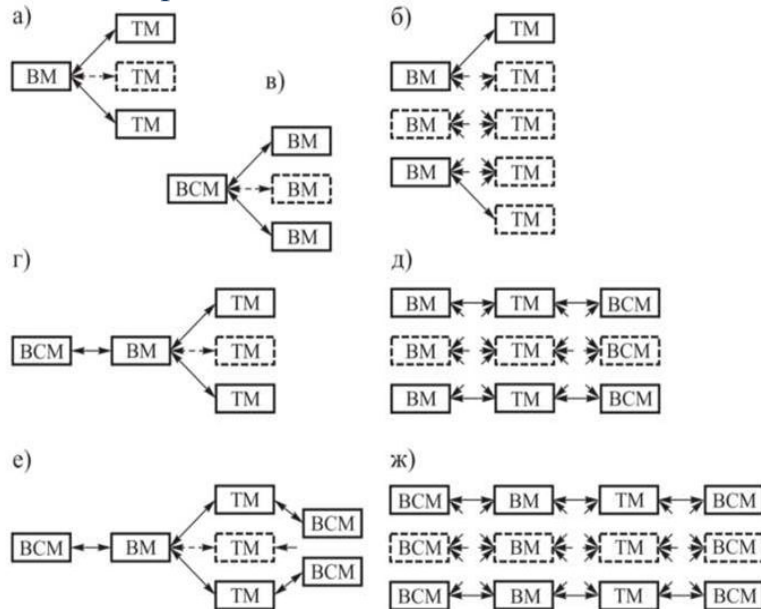
Для этого дадим описание моделей в терминах теории массового обслуживания.

Состав модуля существенно зависит от параметров создаваемой "конструкции", условий производства работ на объекте, специфики самих составляющих процессов. В модуле может быть выделено один или несколько процессов (операций), определяющих основные параметры строительной технологии (длительность, производительность, стоимость). Такой процесс называется **ведущим**, а техническое средство, его выполняющее, - **ведущей машиной**.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

В зависимости от выбранного модуля, его состава и других признаков структурные схемы взаимодействия машин при выполнении земляных работ могут быть классифицированы:

*Рис. Структурные схемы взаимодействия машин в комплекте при выполнении земляных работ*



- по количеству ведущих машин (BM) на схемы с одной ведущей машиной (одноканальную систему) и несколькими ведущими машинами (многоканальную систему);

- по количеству ведущих процессов - этапов обслуживания на схемы с одним этапом обслуживания, на схемы с двумя, на схемы с тремя и более этапами обслуживания;

- по однотипности машин на схемы с одинаковыми типоразмерами транспортных (TM), ведущих (BM) и вспомогательных машин (BCM) и неодинаковыми. Например, при строительстве некоторых объектов могут быть использованы экскаваторы разной вместимости ковша.

# 1. Методы моделирования строительных процессов и технологий

В общем виде технологический процесс производства земляных работ может быть представлен, как многоканальная замкнутая многоэтапная система массового обслуживания со стационарным потоком требований без последствия с обслуживанием по мере поступления.

*Целью функционирования* всякой обслуживающей системы является удовлетворение заявок (требований) на обслуживание. Поэтому поток требований является одним из основных и наиболее важных понятий теории массового обслуживания. Поток требований (входящим потоком) называется совокупность заявок на обслуживание, поступающих в обслуживающую систему. Процесс поступления требований на обслуживание есть случайный процесс.

Указанные допущения позволяют рассматривать случайный процесс функционирования системы массового обслуживания, как **процесс Маркова**.

Известно, что марковский процесс может быть представлен как графически в виде графа переходов, так и описан с помощью системы дифференциальных уравнений, каждое из которых описывает одно из вероятностных состояний системы. Исследование и решение такой системы уравнений не представляет сложности с помощью стандартных пакетов компьютерных программ.

## 2. Проектирование строительных технологий

**Проектирование** — это процесс синтеза (формирования) строительной системы, результатом которого является разработка строительных решений, комплекса документов, требований, рекомендаций и правил их реализации для создания законченной строительной продукции. К задачам проектирования относятся выработка и принятие проектных, управленческих, организационно-технологических решений.

Важнейшим условием принятия эффективных решений является вариантная проработка и выбор наиболее рационального варианта из всех возможных в конкретно рассматриваемых условиях.

Модульность и многовариантность является одним из главных принципов обеспечения гибкости строительного производства.

Выдерживание этих принципов позволяет уже на ранних стадиях жизненного цикла объекта обеспечить его высокую адаптацию к постоянно меняющимся условиям строительства и эксплуатации.

## 2. Проектирование строительных технологий

Особое место в формировании и реализации строительных технологий принадлежит строительным решениям.

**Строительные решения** — это совокупность документов и действий, обеспечивающих проектирование и реализацию строительных технологий на всех этапах возведения строительного объекта.

В ходе возведения объекта идет постоянный процесс подготовки, принятия, корректировки строительных решений.



## 2. Проектирование строительных технологий

Строительные решения в соответствии с предложенной выше модульной структурой строительных технологий могут быть классифицированы по следующим признакам:

### 1. По значимости и уровню вертикальной структуры:

- межобъектное (годовая программа, комплекс объектов);
- объектное (ПОС, ППР на конкретный объект);
- локальное (технологическая карта, вид работ, часть объекта);
- частное (технологический модуль, типовая технологическая схема, создание конструктивного элемента).

### 2. По важности и продолжительности их действия:

- системное (действующее весь период реализации строительной технологии, изменение которого невозможно или нецелесообразно);
- комплексное (охватывающее часть периода и способное к соответствующим изменениям);
- оперативное (охватывающее конкретный отрезок времени и реагирующее на все текущие воздействия).

## 2. Проектирование строительных технологий

### 3. По степени обоснованности:

- предварительное (выбор нескольких предпочтительных вариантов);
- уточненное (выбор окончательного варианта расчета).

По степени определенности информации:

- детерминированное (в условиях определенности);
- вероятностное (в условиях информации, имеющей вероятностный или неопределенный характер).

### 4. По количеству критериев принятия решения:

- однокритериальное;
- многокритериальное.

## 2. Проектирование строительных технологий

Основываясь на данной классификации, а также известных положениях теории принятия решений могут быть выделены следующие процедуры принятия строительных решений и проектирования строительных технологий:

1. Анализ и структуризация строительной технологии:

- постановка и формулировка задачи в соответствии с важностью и продолжительностью действия принимаемого решения;
- выделение уровней структуры строительной технологии;
- сбор и анализ исходной информации;
- выбор критериев оценки эффективности вариантов решений;

2. Формирование опорных вариантов решения.

- выбор типовых элементов, составляющих структуру строительной технологии;
- установление взаимосвязей между элементами;
- формирование конечного множества и предварительный выбор возможных вариантов решений;

## 2. Проектирование строительных технологий

3. Моделирование строительной технологии и компьютерные расчеты моделей:

-разработка моделей для различных уровней структуры строительной технологии;

-расчет моделей с помощью компьютерных программ, исследование параметров

структурных элементов, характеристик их взаимосвязей;

-многокритериальный анализ и определение показателей эффективности вариантов,

сопоставление вариантов;

-подготовка и выдача рекомендаций.

4.Выбор рациональных вариантов и принятие окончательного решения:

-изучение и анализ дополнительной информации, отсеивание непригодных вариантов;

-предварительный выбор и принятие одного или нескольких предпочтительных

вариантов решений;

-уточнение и окончательный выбор решения.

## 2. Проектирование строительных технологий

5. Контроль, управление и корректировка решения в ходе реализации строительных технологий.

Опыт принятия решений, связанных с формированием и реализацией строительных технологий, указывает на следующее правило: структура строительной технологии находится в тесной связи со структурой конструктивно-планировочного решения, т.е. структура технологии определяется структурой конструкции.

Расчлняя конструкцию на отдельные части, узлы, элементы, можно формировать все остальные составляющие элементы строительной технологии - процессы, материалы, количественные и качественные параметры состава исполнителей.

Построение модели структуры конструкции должно быть выполнено на этапе моделирования с использованием структурных схем, графовых моделей, агрегативных моделей, фазно-блочных моделей и др.

## 2. Проектирование строительных технологий

Для каждого элемента, составляющего структуру конструкции, формируются варианты решений по их созданию. Для этих целей в свою очередь могут быть использованы методы функционально-строительного анализа, такие как "морфологические карты", и "анализ относительных оценок применимости".

**Метод морфологических карт** позволяет сформировать и расширить область поиска возможных вариантов решений.

Суть метода заключается в следующем:

- проектируемый объект (конструкция, процесс, изделие и т.п.) расчленяется на отдельные, сравнительно самостоятельные части;
- на карте перечисляется набор возможных вариантов, способов, средств, реализации этих частей или их функций;
- выбирается по одному частному решению для каждой части или функции, с учетом конкретных условий и ограничений, задаваемых исходными данными.
- набор частных решений для каждой отдельной составляющей образует на карте траекторию, которая и составляет структуру решения реализации строительной технологии.

## 2. Проектирование строительных технологий

Метод морфологических карт может быть дополнен **методом «дерево решений»**.

В соответствии со смыслом слов это дерево содержит корень, ствол, ветви и листья, имеющие значения различных факторов, обуславливающих решение и его технико-экономические показатели.

При этом сами факторы могут быть заданы, как имеющие определенное количественное или качественное значение, так и вероятностью их проявления.

Метод эффективен, когда нужно принимать решение о выборе наиболее предпочтительного варианта из имеющихся нескольких альтернатив.

Рис. 8. Морфологическая карта вариантов конструктивно-технологических решений

Элементы решения	ВАРИАНТЫ РЕШЕНИЙ			
	1	2	3	4
А Фундамент	ленточный	столбчатый	плита	свайный
Б Стены	сборные из блоков	сборные из панелей	монолитный бетон	сборно-монолитное
В Внутренний каркас	сборный из блоков	сборный балочный	сборный безбалочный	монолитный бетон
Г Покрытие	сборное из плит	монолитный бетон	---	---
Д Тип опалубки	мелкощитовая разборно-переставная	крупнощитовая	блок-форма	несъемная
Е Способ подачи бетона	монтажный кран	бетононасос	автобетононасос	вибротетки
Д Монтажный кран	башенный кран	кран-нулевик	стреловой кран	мобильный кран

Морфологическая карта имеет вид таблицы-матрицы. Здесь различными линиями показаны траектории, соединяющие частные решения, которые в совокупности могут составить структуру строительной технологии.

-----> возможные варианты решений  
 - - - -> возможные варианты решений  
 - - - -> возможные варианты решений



## 2. Проектирование строительных технологий

Особенность метода состоит в том, что расчленение объекта проектирования на составные части и экспертное назначение частных решений требует от эксперта или проектировщика достаточно профессионального опыта и хорошего понимания данной методики. Тогда может быть использовано основное достоинство метода, которое заключается в том, что в рассмотрение включается максимально возможное количество реально осуществимых вариантов.

Для того чтобы уже на ранней стадии отбросить технически, технологически и конструктивно непригодные варианты и сузить поле поиска, может быть использован метод анализа относительных оценок применимости. Он заключается в том, что выделяются общие для всех частных решений ( $P_{n1}, P_{n2}, \dots, P_{ni}, \dots, P_{nn}$ ) критерии применимости, имеющие качественную или количественную градацию ( $K_{n1}, K_{n2}, \dots, K_{ni}, \dots, K_{nn}$ ).

Каждый из критериев в рамках конкретного способа получает относительную оценку  $k_{nij}$ , которая может иметь значение 1 или 0, соответственно, если способ применяется или не применяется в данном диапазоне критерия применимости.

## 2. Проектирование строительных технологий

Данные заносятся в таблицу-матрицу. После заполнения всей таблицы по каждой строке определяется сумма оценок, которая позволяет судить об относительной широте условий применимости каждого способа ( $k_{0n1}, k_{0n2}, \dots, k_{0nn}$ ). Этот показатель является предварительным, позволяющим на ранних стадиях выявить группу предпочтительных способов.

Его уточнение производится с помощью относительных оценок технико-экономических показателей рассматриваемых способов, таких как себестоимость ( $C_{ру}$  - руб./ед.продукции), трудоемкость ( $Q_{ру}$  чел.д/ед.продукции), энергетические затраты ( $G_{ру}$  - кВт.-ч/ед.продукции) и других в зависимости от приоритетов, устанавливаемых проектировщиком.

Произведение относительных оценок дает значение общей относительной оценки применимости того или иного частного решения.

Строительные процессы, выполняемые в ходе возведения объекта, подвержены влиянию большого числа воздействий, многие из которых не имеют количественных и даже качественных оценок. Из-за этого расчетные параметры строительных процессов, полученные в ходе проектирования, в большинстве случаев отличаются от реальных, требуют постоянной корректировки, что, в свою очередь, отражается на конечных показателях реализации строительных технологий.

## 2. Проектирование строительных технологий

При этом важно не только рассчитать тот или иной параметр, но и дать прогноз его достижимости, обеспечить необходимые условия, с тем чтобы максимально возможно выдержать запланированные конечные показатели. В таком случае можно говорить о гибкости строительных технологий и системы управления при их реализации.

Одним из путей, позволяющих приблизиться к решению этой задачи, является применение аппарата теории нечетких множеств, как одного из разделов математической статистики, известной под названием "Fuzzy Set Theory".

Можно ли еще на ранних стадиях проектирования оценить влияние неблагоприятных погодных условий, возможных сбоев в постановке материалов, несоответствующей квалификации рабочих и других подобных факторов на срок выполнения работ. Теория нечетких множеств позволяет сделать это с помощью введения лингвистических переменных:

- погодные условия: хорошие, средние, плохие;
- квалификация рабочих: высокая, средняя, низкая;
- нарушение сроков поставки материалов: большое, существенное, несущественное;

*Рис. Фрагмент таблицы-матрицы выбора способа разработки мерзлого грунта методом "Анализа относительных оценок применимости"*

Относительная оценка применимости		12	7	0,1	0,7	1,2	7,2	42,0							
Относительная трудоемкость		5	10	0,5	1	2	3	10							
Относительная себестоимость		4	1	0,5	1	2	2	4							
Показатель широты условно-гоприменения		6	7	4	7	8	12	13							
Условия строительной площадки	Стесненные	11	11	01	01	10	11	11							
	Без ограничений														
Глубина промерзания грунта	2 м	00011	00011	11000	01100	00111	11101								
	До 2 м														
	До 1,5 м														
	До 1 м														
	До 0,04 м														
Вид земляных сооружений или работ	Массовые объемы планировка		00100	11100	00000	01100	01101	11010							
	Котлован	$H > 3м$													
		$H = 1 ÷ 3м$													
		$H$ до 1 м													
	Траншея	$H > 3м$							001	000	100	011	001	111	
		$H = 1 ÷ 3м$													
$H$ до 1 м															
Наименование способа		Предварительное углебуенное рыхление	Укрытие грунта теплоизоляционным материалом	Огневой (сжигание твердого топлива)	Вертикальные электроды	Буровзрывной	Навесные гидромолоты	Послойное рыхление							
Группа способов		1	2	1	2	1	2	3							
Группа способов		1	1	II	II	III	III	I							

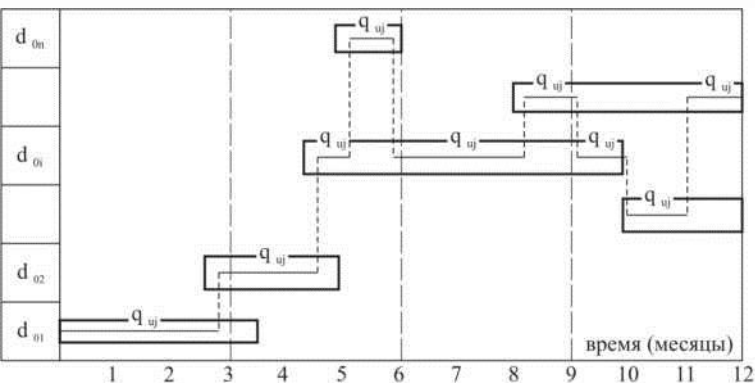
## 2. Проектирование строительных технологий

Математический аппарат теории нечетких множеств позволяет перевести сочетания этих факторов в количественные оценки и, в конечном счете, дать расчетные значения продолжительности выполнения работ в зависимости от сочетания различного рода факторов, влияющих в той или иной степени на этот показатель.

Основной задачей при принятии межобъектных решений, связанных с формированием инвестиционно-строительной технологии и выполнением годовой программы, является расчет технического и ресурсного обеспечения. При этом необходимо выполнить требование, по которому принятые к выполнению объекты и объемы работ должны быть обеспечены рабочими, машинами, ресурсами, а имеющиеся трудовые, технические и материальные ресурсы должны быть равномерно задействованы в течение планируемого периода времени.

Обоснованное и надежное решение по составлению годовой программы можно получить лишь в том случае, когда расчет ресурсов будет привязан к процессу производства работ на объектах, так как ресурсы могут в разные промежутки времени перемещаться с одного объекта на другой, выполняя определенные виды работ или процессы в рамках межобъектной строительной технологии.

Рис. 10. Построение опорного варианта распределения  $j$ -того ресурса по объектам



На предварительном этапе расчета может быть составлен опорный вариант структуры межобъектного строительного процесса, привязанный к шкале времени. На рис. приведена схема, иллюстрирующая это положение на примере использования одного из видов ресурса на нескольких объектах в течение года.

Для того, чтобы технолог или руководитель вручную не составлял такую структуру для каждого из ресурсов, необходимо построить математическую модель, решение которой позволило бы реализовать метод ресурсного планирования. Модель представляет собой комплекс условий и ограничений, связанных с планированием уровня потребления и использования основных ресурсов на нескольких объектах.

## 2. Проектирование строительных технологий

Могут быть выделены два основных подхода к решению модели:

- выравнивание ресурсов;
- упорядочивание ресурсов.

**Выравнивание ресурсов** - размещение процессов вдоль шкалы времени исключительно в рамках резервного времени с целью выравнивания линии уровня потребления ресурсов.

**Упорядочивание ресурсов** - перемещение процессов вдоль шкалы времени таким образом, чтобы за счет концентрации ресурсов можно было бы регулировать срок выполнения работ на объекте.

### 3. Гибкость строительных технологий

Строительные технологии должны обладать свойствами **гибкости** - способностью адаптироваться к часто меняющимся условиям производства работ на объекте, реагировать на изменение организационных, технологических и ресурсных параметров в широком диапазоне и при этом достигать конечного результата с сохранением заданных или прогнозируемых технико-экономических показателей.

Концепция гибкости широко используется во многих отраслях промышленности. Гибкие автоматизированные производства (ГАП), гибкие производственные системы (ГПС), гибкие производственные модули (ГПМ) применяются в машиностроении, автомобилестроении, радиоэлектронике, обрабатывающих отраслях промышленности.

Идеи гибкости используются в проектировании архитектурно-строительных и конструктивных решений.

Использование концепции гибкости, ее реализация в соответствующих технологиях позволяет значительно повысить эффективность, организационно-технологический уровень и инженерное обеспечение производства.



### 3. Гибкость строительных технологий

Применительно к **строительному производству гибкость** - способность различных элементов производственного строительного процесса своевременно и адекватно реагировать на разного рода планируемые и случайные, детерминированные и вероятностные воздействия, возникающие на различных его этапах и уровнях с целью достижения конечного результата с сохранением наилучших или прогнозируемых показателей эффективности.

Задача заключается в разработке системы проектирования и формирования строительных технологий, подготовки и выполнении работ на строительном объекте с учетом воздействия большого количества факторов, сопутствующих реальному функционированию всей структуры строительного процесса, вплоть до каждой технологической операции.

И чем гибче будет эта структура, чем более оперативно она будет реагировать на динамику изменения условий работ на объекте, тем выше будет эффективность и результативность производственного процесса, тем полнее будут реализовываться ресурсы и возможности строительной организации на конкретном строительном объекте.

### 3. Гибкость строительных технологий

Автоматически переносить идеи гибкого производства из других отраслей в строительство было бы некорректно, но использовать разработанные подходы, принципы и методы, безусловно, необходимо. В свою очередь, это связано с развитием и созданием методов, алгоритмов и процедур, позволяющих осуществить формализацию и моделирование процессов строительного производства, и последующее формирование и проектирование решений по их выполнению в реальных условиях строительного объекта.

Решение этой проблемы, как уже было обосновано выше, предлагается осуществить за счет следующих основных принципов:

- модульности,
- системности,
- вариантности,
- многокритериальности и
- автоматизации.

### 3. Гибкость строительных технологий

**Принцип вариантности** обуславливается необходимостью проработки и анализа большого количества вариантов сочетания модулей, решения различного рода частных и общих задач, возникающих в ходе выполнения производственного процесса на всех его стадиях.

**Принцип многокритериальности** позволяет в каждом случае выбирать рациональный вариант по таким критериям, которые в наилучшей степени оценивают качество решения в каждой конкретной ситуации и позволяют судить об уровне их гибкости.

**Принцип автоматизации** заключается в необходимости максимально возможного использования на всех стадиях и уровнях структуры как строительных, так и информационных процессов средств автоматизации, современной вычислительной техники и компьютеров.

**Принцип системности** обеспечивает самостоятельность каждого элемента производственного процесса в рамках функционирования его как единой строительной системы, имеющей иерархическую структуру.

### 3. Гибкость строительных технологий

**Гибкость** — это интегральная характеристика, которая охватывает основные составляющие производственного процесса: организацию, конструктивные решения, технологический процесс, технические средства строительных технологий и информационную основу.

Основываясь на положениях гибких производственных систем, гибкость строительного производства предлагается рассматривать в следующих ее формах:

- гибкость организационных решений;
- гибкость конструктивных решений;
- гибкость технологических решений;
- гибкость информационного обеспечения.

### 3. Гибкость строительных технологий

**Гибкость организационных решений** связана с обеспечением рациональной структуры процесса возведения объекта и продолжительности инвестиционного цикла, совмещения его этапов, созданием гибких механизмов взаимодействия всех участников процесса возведения одного или нескольких объектов. Она характеризуется такими принципами, как: непрерывность, надежность, совместимость, коммуникативность, имеющими количественные и качественные параметры и характеристики.

**Конструктивная форма гибкости** может оцениваться как способность структуры возводимой конструкции в наибольшей степени соответствовать конкретным условиям или изменить свои элементы и их взаимное расположение в ходе возведения и эксплуатации объекта. Основными принципами гибкости конструктивных решений являются: технологичность, модульность, сборность, трансформируемость.

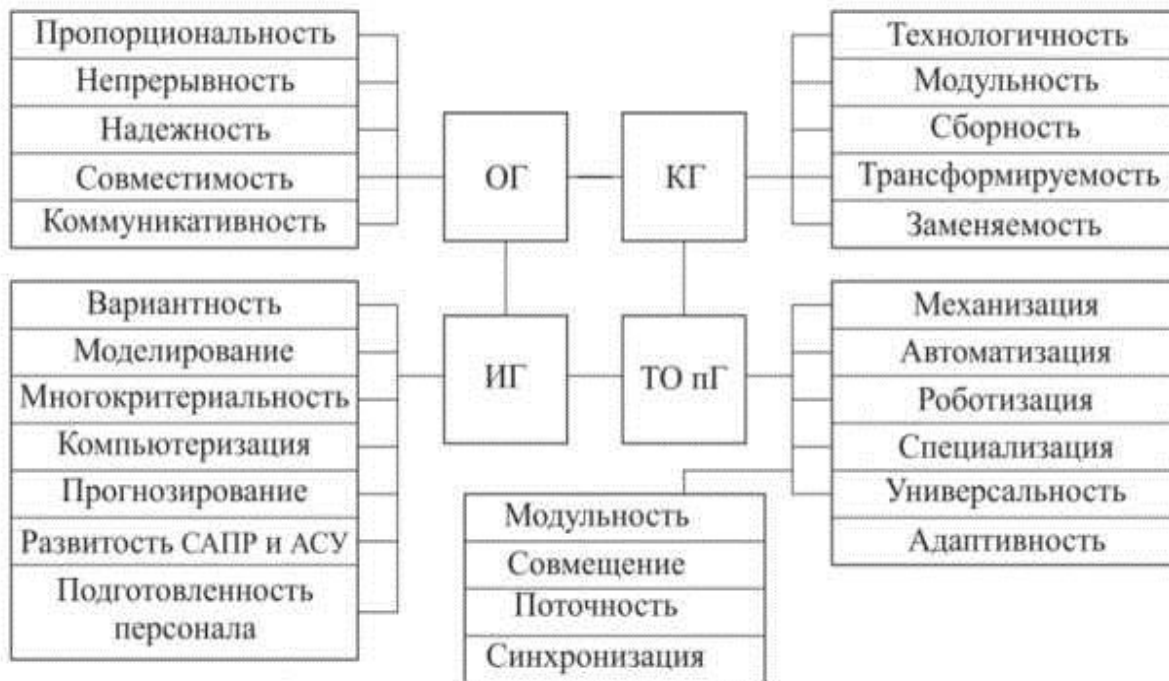
### 3. Гибкость строительных технологий

**Гибкость технологических решений** оценивается степенью соответствия "структуры технологического процесса", "структуре конструкции" и условиям производства работ с учетом постоянного изменения последних. Она также характеризует соответствие выбранных исполнителей (бригад, звеньев рабочих и технических средств) формируемой структуре строительной технологии. Технологическая гибкость обеспечивается выполнением следующих принципов: модульность, совмещение, поточность, синхронизация, адаптивность, специализация, универсальность, механизация и автоматизация. Их количественными и качественными параметрами служат состав и последовательность процессов, время их выполнения, затраты труда, параметры потока, моменты времени начала и окончания процессов, технологические заделы, качественный и количественный состав исполнителей, комплектов машин, механизмов.

**Гибкость информационного обеспечения** характеризует развитость, оперативность и качество информационных процессов и технологий, которые выполняются в системе, обеспеченность исполнителей документами, схемами, моделями, алгоритмами, программами, вычислительной техникой, позволяющими своевременно производить принятие и корректировку решений, реагировать на изменение условий производства. Основными ее принципами являются: вариантность, модульность, компьютеризация, САПР, АСУ, подготовленность персонала.

### 3. Гибкость строительных технологий

Рис. 11. Принципы и оценки форм гибкости строительного производства



### 3. Гибкость строительных технологий

Одним из основных принципов обеспечения гибкости строительных технологий является **модульность**. Формирование модулей происходит в соответствии с иерархией строительного производственного процесса и строится в вертикальном и горизонтальном направлениях



Рис. 12. Иерархическая схема гибкого строительного процесса

По вертикали структуры строительного производственного процесса выделяются четыре уровня и формируются следующие модули:

- строительный технологический модуль (СТМ);
- строительный технологический комплекс (СТК);
- объектная строительная технология (ОСТ);
- межобъектная строительная технология (МОСТ).

Их взаимосвязь представлена в виде иерархической схемы на рис. 12.