

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова,
П.К. Гудков

ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по программе
бакалавриата по направлению подготовки 270800 «Строительство»
(профиль «Производство и применение строительных материалов,
изделий и конструкций»)
(27.01.2014 г., № 102—15/801)*

Москва 2014

УДК 517.28+536.491+699.86

ББК 22.161+22.317+38.637

Ж86

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *В.Ф. Коровяков*, заместитель директора по научно-организационной работе ГУП «НИИМосстрой»;

кандидат технических наук *М.М. Косухин*, профессор кафедры городского строительства и хозяйства Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова;

кандидат экономических наук *Е.Ю. Боброва*, заместитель заведующего кафедрой методологии саморегулирования и аттестации Высшей школы экономики

Жуков, А.Д.

Ж86 Практикум по технологическому моделированию : учебное пособие / А.Д. Жуков, Т.В. Смирнова, П.К. Гудков ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. Москва : МГСУ, 2014. 168 с.

ISBN 978-5-7264-0903-0

Изложены основы теории технологического моделирования, рассмотрены различные аспекты решения общих и частных задач, а также методики планирования эксперимента и обработки его результатов. Приведены рекомендации по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ по курсам «Технологическое моделирование» и «Решение технологических задач с применением ЭВМ».

Для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению подготовки 270800 «Строительство», специалистов в области технологий строительных материалов и инженеров-технологов.

УДК 517.28+536.491+699.86

ББК 22.161+22.317+38.637

Учебное издание

Жуков Алексей Дмитриевич, **Смирнова** Татьяна Викторовна, **Гудков** Павел Кириллович

ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ

Учебное пособие

Редактор *А.К. Смирнова*

Корректор *В.К. Чупрова*

Компьютерная верстка *О.Г. Горюновой*

Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 13.10.2014 г. Формат 60×84/16.

И-17. Уч.-изд. 11,37. Усл.-печ. л. 10,5. Тираж 100 экз. Заказ 370

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет».

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95,

e-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44.

129337, Москва, Ярославское ш., 26

ISBN 978-5-7264-0903-0

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Практикум по технологическому моделированию включает разделы, ориентирующие студентов на непосредственное решение практических задач, в частности: системное исследование технологий и процессов, их составляющих; планирование и обработка результатов эксперимента; решение оптимизационных и интерполяционных задач; инженерная интерпретация результатов эксперимента.

Практикум, как и ранее изданное учебное пособие по технологическому моделированию*, является мостиком от теорий формирования свойств материалов и их изготовления к практическим решениям, направленным на реализацию того или иного способа изготовления материала, постановку его в производстве, оптимизацию применения.

Корректный выбор модели или системы моделирования является во многих случаях основой для принятия правильных решений по реализации эксперимента как в плане достижения его результатов, так и в плане экономии затрат на его проведение. В связи с этим в практикуме большое внимание уделено как построению моделей, так и реализации эксперимента (на основе этих моделей), направленного на решение практических задач [15].

Ниже излагается методика выбора параметра оптимизации, который должен быть: эффективным с точки зрения достижения цели, универсальным, количественным и выражаться одним числом, статистически эффективным, простым и легко вычисляемым и иметь физический смысл. Рассмотрены различные способы организации и планирования многофакторного эксперимента: при построении неполных квадратичных и полных квадратичных математических моделей, с использованием полных и дробных факторных планов, соответствующих условиям оптимальности.

* См.: Жуков, А.Д. Технологическое моделирование : учебное пособие. Москва : МГСУ, 2013.

Моделирование структуры материала, его технологии в целом или отдельных процессов (в частности адекватных технологическим переделам) направлено на решение практических задач: оптимизационных, интерпретационных и пр. В практикуме рассмотрены способы оптимизации эксперимента в рамках метода Бокса — Уилсона на факторном пространстве различной сложности. Метод аналитической оптимизации рассмотрен как для систем неполных квадратичных, так и полных квадратичных математических моделей.

Системный подход является одной из основ технологического моделирования. Если технология рассматривается как единая кибернетическая система, то для ее изучения применимы как канонический анализ, так и комплексный метод МГСУ. Технология может рассматриваться как совокупность отдельных, но взаимосвязанных кибернетических систем: совокупность отдельных блоков, адекватных технологическим переделам. В этом случае осуществляют изучение каждого блока в отдельности, устанавливают взаимосвязи между отдельными блоками и формируют общую схему процесса. Основой для изучения является моделирование, которое может осуществляться как статистическими методами, так и с помощью детерминированных и концептуальных моделей.

1. СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1.1. Технология и технологический процесс

Технология (от греч. τέχνη — искусство, мастерство, умение и λόγος — изучение) — комплекс организационных мер, операций и приемов, направленных на изготовление, обслуживание, ремонт и (или) эксплуатацию изделия с номинальным качеством и оптимальными затратами. При этом:

- под термином изделие следует понимать любой материальный, интеллектуальный, моральный, политический и т.п. предмет труда (конечный продукт);
- под термином номинальное качество следует понимать заранее заданное качество (например, оговоренное техническим заданием и согласованное в техническом предложении);
- под термином оптимальные затраты следует понимать минимально возможные затраты, не влекущие за собой ухудшение условий труда, санитарных и экологических норм, норм технической и пожарной безопасности, сверхнормативный износ орудий труда, а также финансовых, экономических, политических и прочих рисков.

В промышленности и сельском хозяйстве подробное описание технологии выполняется в документах, именуемых картой технологического процесса (при подробном описании) или маршрутной картой (при кратком описании). В сценическом искусстве технология исполнения спектаклей, пьес, съемки кинофильмов описывается сценарием. Применительно к политэкономии и экономике при изменении общественного мнения (в чью-либо пользу) применяется термин *пуар* (от англ. PR — Public Relations — связь с широкой общественностью), зачастую неправильно воспринимаемый общественностью как рекламная акция. Применительно к политике с 70-х гг. прошлого столетия установился термин *дорожная карта* (дословный перевод англоязычного термина Road map). Технологиями морального плана называются законы предков (чего делать нельзя или если делать, то что и как), правила поведения человека в обществе, кодекс чести, конституция (в цивилизованном обществе), понятия (в уголовном мире) и т.п. В разговорной речи термин *технология* часто заменяют словосочетанием ноу-хау (от англ. Know How — знаю как).

Если обратиться к самому определению термина технология, к его изначальному значению (мастерство, искусство и наука), то очевиден вывод, что цель технологии заключается в том, чтобы разложить на составляющие элементы процесс достижения какого-либо результата. Технология применима повсюду, где имеется достижение, стремление к результату, но осознанное использование технологического подхода было подлинной революцией.

До появления технологии господствовало искусство — человек делал что-то, но это что-то получалось только у него, это как дар — дано или не дано. *С помощью же технологии все то, что доступно только избранным, одаренным (искусство), становится доступно всем.* Например, изготовление каменного топора можно представить как акт искусства, а можно — как технологию. В первом случае имеется (возможно) бесподобный топор, но со смертью носителя искусства делания топоров больше не будет. Во втором случае мастерство сохранится навсегда, но качество продукта (возможно) будет не таким высоким. Момент перехода от искусства к технологии фактически создал современную человеческую цивилизацию, сделал возможным ее дальнейшее развитие и совершенствование.

В конце XVIII в. в общем массиве знаний о технике стали различать традиционный описательный раздел и новый, нарождающийся, который получил название *технология*. И. Бекман (1739—1811) ввел в научное употребление термин *технология*, которым он назвал научную дисциплину, читавшуюся им в германском университете в Геттингене с 1772 г. В 1777 г. И. Бекман опубликовал работу «Введение в технологию», где писал: «Обзор изобретений, их развития и успехов в искусствах и ремеслах может называться историей технических искусств; технология, которая объясняет в целом, методически и определенно все виды труда с их последствиями и причинами, являет собой гораздо большее». Позже в пятитомном труде «Очерки по истории изобретений» (1780—1805 гг.) он развил это понятие.

Технология — в широком смысле — объем знаний, которые можно использовать для производства товаров и услуг из экономических ресурсов. Технология — в узком смысле — способ преобразования вещества, энергии, информации в процессе изготовления продукции, обработки и переработки материалов, сборки готовых изделий, контроля качества, управления. Технология включает в себе методы, приемы, режим работы, последовательность операций и про-

цедур, она тесно связана с применяемыми средствами, оборудованием, инструментами, используемыми материалами.

Современные технологии основаны на достижениях научно-технического прогресса и ориентированы на производство продукта: материальная технология создает материальный продукт, информационная технология (ИТ) — информационный продукт.

Технология это также научная дисциплина, разрабатывающая и совершенствующая способы и инструменты производства. В быту технологией принято называть описание производственных процессов, инструкции по их выполнению, технологические требования и пр. Технологией или технологическим процессом часто называют также сами операции добычи, транспортировки и переработки, которые являются основой производственного процесса. Технический контроль на производстве тоже является частью технологии. Разработкой технологий занимаются технологи, инженеры, конструкторы, программисты и другие специалисты в соответствующих областях.

Технология по методологии ООН — это либо технология в чистом виде, охватывающая методы и технику производства товаров и услуг (*dissembled technology*), либо воплощенная технология, охватывающая машины, оборудование, сооружения, целые производственные системы и продукцию с высокими технико-экономическими параметрами (*embodied technology*).

Промышленность строительных материалов охватывает различные по своему характеру производства. Некоторые из них по указанным признакам имеют между собой мало общего. Однако все эти производства объединяет назначение выпускаемой продукции — применение ее в строительстве. *Технология строительных материалов* как прикладная наука базируется на научных данных физики, химии, механики и других естественных наук.

1.2. Технологические процессы

Любой технологический процесс представляет собой совокупность взаимосвязанных основных, вспомогательных и обслуживающих процессов. Основным технологическим процессом является такой, в результате которого предметы труда превращаются в готовую продукцию, характерную для данного предприятия. Процесс производства какого-либо строительного материала состоит из от-

дельных стадий или переделов, которые, в свою очередь, подразделяются на ряд технологических операций, выполняемых для данного производства в строго определенной последовательности.

Технологический процесс (ТП) — последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ. Технологический процесс состоит из технологических (рабочих) операций, которые, в свою очередь, складываются из рабочих движений (приемов). В зависимости от применения в производственном процессе для решения одной и той же задачи различных приемов и оборудования различают типы технологических процессов. Технологический процесс согласно ГОСТ 3.1109—82 это часть производственного процесса, содержащая целенаправленные действия по изменению и (или) определению состояния предмета труда.

Технологическая операция — это часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на одном рабочем месте, под одним или несколькими одновременно обрабатываемыми или собираемыми изделиями, одним или несколькими рабочими. Условие непрерывности операции означает выполнение предусмотренной ею работы без перехода к обработке другого изделия.

Технологическая операция состоит из отдельных элементов, представляющих собой законченное трудовое действие, и характеризуется неизменностью объекта обработки, рабочего места и исполнителей. В зависимости от степени технологического оснащения процесса операции могут быть ручные, машинные, автоматические и аппаратурные. Ручные операции выполняются с использованием простого и механизированного инструмента. Машинные операции осуществляются с помощью машин при постоянном участии рабочих. Автоматические операции протекают без участия рабочего или только под его наблюдением. Аппаратурные операции (машинные и автоматические) характеризуются выполнением технологического процесса в специальных агрегатах. Участие рабочего в этом случае сводится к проверке соблюдения технологических режимов, а также к выполнению загрузочных и разгрузочных работ.

Технологическая операция является основной единицей производственного планирования и учета. На основе операций определяется трудоемкость изготовления изделий и устанавливаются нормы времени и расценки, выясняется требуемое количество рабочих, оборудования, приспособлений и инструментов, рассчитывается

себестоимость обработки, производится календарное планирование производства и осуществляется контроль качества и сроков исполнения работ.

В условиях автоматизированного производства под операцией понимается законченная часть технологического процесса, выполняемая непрерывно на автоматической линии, которая состоит из нескольких станков, связанных автоматически действующими транспортно-загрузочными устройствами. В этих условиях непрерывность производства выполнения операций может нарушаться направлением обрабатываемых заготовок на промежуточный склад в периоды между отдельными позициями, выполняемыми на различных технологических модулях.

Кроме технологических операций в состав технологического процесса входят *вспомогательные операции*. К вспомогательным операциям относятся транспортные, контрольно-измерительные и т.д., т.е. операции не изменяющие размеров, формы, внешнего вида или свойств изделия, но необходимые для осуществления технологического процесса.

Установ — часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой конструкции.

Технологический переход — законченная часть технологической операции, выполняемая над одной или несколькими поверхностями заготовки, одним или несколькими одновременно работающими инструментами без изменения или при автоматическом изменении режимов работы станка.

Элементарный переход — часть технологического перехода, выполняемая одним инструментом над одним участком поверхности обрабатываемой заготовки за один рабочий ход без изменения режима работы станка.

Вспомогательный переход — законченная часть технологической операции, состоящая из действий человека и оборудования, которые не сопровождаются изменением формы, размеров и шероховатости поверхностей предметов труда, но необходимы для выполнения технологического перехода (установки заготовки, смены инструмента и т.д.).

Рабочий ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, качества поверхности и свойств заготовки.

Вспомогательный ход — законченная часть технологического перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, не сопровождающаяся изменением формы, качества поверхности или свойств заготовки, но необходимая для подготовки рабочего хода.

Вспомогательные процессы характеризуются получением продукции, не являющейся основной для данного предприятия (ремонт оборудования и оснастки, производство электроэнергии, пара и т.д.).

Обслуживающие процессы создают условия для осуществления основных и вспомогательных процессов (внутризаводское транспортирование, система технического контроля и т.п.).

Несмотря на все многообразие выпускаемых промышленностью отдельных видов строительных материалов, в их технологии можно выделить ряд основных общих технологических переделов, характерных для производства большинства изделий. Но некоторые переделы могут и отсутствовать, даже при производстве одного и того же материала, если применена разная технология. Однако общая последовательность отдельных стадий технологического процесса для подавляющего большинства строительных материалов сохраняется без существенных изменений.

Классификация основных процессов в технологии строительных материалов может быть проведена на основе различных признаков.

Механические процессы, основой которых является механическое воздействие на исходные материалы, описываются законами механики твердых тел. К механическим процессам относят измельчение, классификацию (сортировку), смешение и транспортировку твердых компонентов. Эти процессы применяются в основном для подготовки сырья и в некоторых случаях при конечной обработке готового продукта.

Гидромеханические процессы, протекание которых определяется законами гидродинамики — науки о движении жидкостей и газов. К гидромеханическим процессам относятся перемещение и перемешивание жидкостей и газов, разделение жидких неоднородных систем под действием сил тяжести и центробежных сил (седиментация и центрифугирование), а также движение твердых тел в жидкости или газе.

Тепловые и массообменные процессы определяются законами теплопереноса, законами распространения теплоты и законами молекулярной (молярной) диффузии. В технологии строи-

тельных материалов эти процессы, как правило, протекают одновременно. Типичным примером таких процессов является сушка. Удаление влаги из материала подчиняется законам массообмена. Однако в целях ускорения этого процесса материал обычно нагревают. Скорость же передачи теплоты от греющего агента (теплоносителя) к поверхности материала и скорость распространения теплоты в среде самого материала определяются законами теплопередачи. Скорость самих тепловых процессов в значительной степени зависит от гидродинамических условий (скоростей и режимов течения греющего агента), при которых осуществляется перенос теплоты. Поэтому, хотя сушка и относится к массообменным процессам, при конструировании сушильных установок учитывают законы гидродинамики и теплопередачи.

Химические процессы описываются законами химической кинетики. Получение многих строительных материалов связано с различными химическими превращениями исходных компонентов. Таковы, например, реакции полимеризации и поликонденсации в технологии органических строительных материалов, реакции гидратации при твердении цемента.

По способу организации основные процессы в технологии строительных материалов подразделяются на периодические и непрерывные.

Периодические процессы проводятся в установках, характеризующихся тем, что все стадии процесса протекают в одном месте, но в разное время. Примером может служить автоклавная обработка бетона — типичный связанный с гидратацией вяжущего химический процесс, осложненный массообменными (первоначальным увлажнением с последующим испарением влаги в конце процесса) и теплообменными процессами (нагревом и охлаждением материала). Технология автоклавной обработки состоит из следующих стадий: загрузка автоклава, подъем температуры с одновременным подъемом давления в автоклаве, изотермическая выдержка, охлаждение и выгрузка. Изделия во время автоклавирования находятся на месте и в разные временные периоды подвергаются различным температурным воздействиям. По окончании автоклавирования все технологические операции повторяются.

Периодические процессы характеризуются неустановившимся состоянием во времени, т.е. в любой точке массы обрабатываемого материала или в любом сечении аппарата отдельные физические

величины или параметры, характеризующие процесс и состояние вещества, подвергающегося переработке, меняются во времени.

Непрерывные процессы характеризуются единством времени протекания отдельных стадий процесса, осуществляемых в разных местах установки или в разных установках, выполняющих одну технологическую операцию. Вследствие установившегося состояния в любой точке массы обрабатываемого материала при любом сечении непрерывно действующего аппарата физические величины или параметры в течение всего времени протекания процесса остаются неизменными. Характерным примером такого процесса может служить тепловлажностная обработка бетона в щелевых пропарочных камерах. Это процесс химический, осложненный массообменными и тепловыми процессами. В любой период времени характеристика среды и обрабатываемой массы в определенной точке установки остается практически постоянной (при правильной организации технологического процесса).

Непрерывные процессы имеют значительные преимущества перед периодическими: большая производительность, возможность применения адаптированной для каждой стадии процесса аппаратуры, стабилизация процесса во времени, улучшение качества готового продукта или полуфабриката, возможность осуществления полной механизации и автоматизации, что позволяет сократить, а во многих случаях и вообще исключить применение ручного труда. Поэтому в настоящее время во всех отраслях техники стремятся перейти от периодических к непрерывным производственным процессам.

Периодические и непрерывные процессы характеризуются продолжительностью τ и периодом T . Продолжительность процесса — время, необходимое для завершения всех стадий процесса, начиная от момента загрузки и кончая выгрузкой готового продукта или полуфабриката. Период процесса — время от начала загрузки исходного материала данной партии до начала загрузки материала последующей партии. Частное от деления продолжительности процесса на период процесса τ/T носит название степени непрерывности процесса.

Комбинированные процессы представляют собой либо непрерывный процесс, отдельные стадии которого проводятся периодически, либо периодический процесс, содержащий стадии, которые проводятся непрерывно.

Различие между периодическими и непрерывными процессами заключается только в способе организации самого процесса и его аппаратном оформлении. Физико-химическая сущность процесса неизменна и не зависит от конструкции агрегата.

Технология стала наукой, когда занялась рассмотрением производства как совокупности технологических переделов, расположенных в определенной последовательности и функционирующих по определенным алгоритмам, основой которых являются технологические процессы и операции. Результатами подобной научной деятельности становится появление рекомендаций по изготовлению, технических условий на материал, технологических регламентов, рекомендаций по эксплуатации оборудования и пр.

Изучение закономерности функционирования субъектов технологии осуществляется с применением аппарата технологического моделирования, заключающегося в построении описательных или математических моделей, применении методов статистического анализа. Собственно моделирование является промежуточной задачей, а целью являются оптимизационные и адаптационные решения задач по прогнозированию результатов и, как следствие, — совершенствование технологического процесса.

В качестве критериев эффективности технологического процесса рассматривают три базовые группы показателей:

- свойства продукции, отвечающие требованиям по применению и соответствующие требованиям ГОСТ, регламентирующим наличие дефектов материала и флуктуаций показателей;
- технологичность изготовления, учитывающую уровень используемого оборудования, его наукоемкость, возможность исключения ручного труда и пр.;
- экономико-организационные показатели, характеризующие затраты в денежном выражении, расход энергетических ресурсов, эксплуатационные затраты, привлекательность продукции для потребителя.

Зачастую критерии становятся комплексными. В современном строительстве особым спросом пользуются изделия, изготовленные специально для применения в конкретных типах конструкций (например, для стен, кровли, перегородок). Они, так же как и материалы «широкого» применения, по всем показателям отвечают требованиям ГОСТ, но пользуются у потребителя большим доверием.

1.3. Модель как инструмент изучения технологического процесса

При изучении любого объекта физического явления или технологического процесса его умышленно упрощают до удобного или до понятного уровня, т.е. представляют это явление или этот процесс в виде модели. При этом должны соблюдаться два условия: модель должна достоверно описывать реальный процесс и способствовать получению полезной и новой информации, а также должна быть экономична и удобна в использовании.

Модель может отличаться от реального объекта как масштабом, так и природой [9]. Математические модели не составляют особого исключения. Согласно общепринятым представлениям [7] существует пять типов математических моделей: уравнения математической физики, концептуальные математические модели, экспериментально-статистические модели, модели исследования операций, имитационные модели.

Модели, основанные на уравнениях математической физики, базируются на анализе бесконечно малых изменений в физической системе бесконечно малого объема. В основе таких моделей лежат фундаментальные законы природы или не менее фундаментальные следствия из этих законов. Для инженерных расчетов необходим переход от бесконечно малых величин к конечным (измеримым) величинам в реальной системе. Этот переход в некоторых случаях аналитически сложен, а в большинстве невозможен, поэтому интегрирование заменяют приближенными методами. В качестве инженерного средства преодоления подобных «аналитических барьеров» и сформировалась теория подобия [8], соединившая дифференциальные уравнения с экспериментальной информацией о системе.

Концептуальные математические модели имеют в своем основании некую инженерную мысль, выраженную в терминах данной науки с последующим абстрактно-знаковым описанием с помощью дифференциальных или алгебраических уравнений, геометрических соотношений, логических операций. Подобные модели достаточно просто поддаются инженерной интерпретации, но не всегда могут быть адекватны реальным процессам.

Экспериментально-статистические модели описывают с известной точностью (степенью адекватности) связь между входами и выходами системы без анализа ее внутренней структуры. Для дан-

ного способа моделирования характерны универсальность методологии сбора экспериментальной информации, сложность все-сторонней интерпретации параметров моделей и ограниченность области применения такой модели, адекватной только в рамках объекта, для которого эта модель построена.

Модели исследования операций как совокупности действий, направленных на достижение какой-либо цели, характерны, главным образом, для технико-экономических задач. В основе *имитационных моделей* лежит объединение различных способов моделирования, включение моделей любых типов.

Отдельной областью моделирования являются *модели, построенные на умозаклучениях*, т.е. на теоретическом осмыслении и имеющихся предпосылках (существующих концепций и багажа знаний), а также на результатах практических исследований, добытых в эксперименте, и умозаклучениях самого разработчика модели. В этом разработчику широкую поддержку оказывают базы данных и современные способы накопления и обработки информации.

При решении реальных задач нет четких границ применения различных типов моделей. В задачах анализа систем, направленных на познание внутренних механизмов их функционирования, приоритетным являются физико-математическое и концептуальное моделирование, в задачах управления конкретной системой (технологией изготовления материала, например) — статистические модели, модели исследования операций, а также имитационные модели на их основе.

Статистические методы разработаны, обоснованы и широко применяются в практике моделирования и анализа технологических процессов. Статистические модели получают на основе специальных методов планирования и обработки результатов эксперимента. Подобные модели занимали и, вероятно, будут занимать основное место в инженерной практике, особенно в условиях все более расширяющегося применения компьютеров.

В пособии рассматриваются способы моделирования, каждый из которых предполагает знание экспериментатором теории процесса, законов физики, основных положений, излагаемых в дисциплине «Процессы и аппараты». О моделировании технологических процессов в рамках кибернетических моделей, моделей, построенных на основе систем дифференциальных уравнений и законов, описывающих макрообъекты, а также о графическом и визуальном моделировании и пойдет речь.

Использование уравнений математической физики, статистической физики Гиббса и других методов описания процессов, протекающих в окружающем нас мире, является одним из наиболее распространенных приемов математического (знакового) моделирования. Применительно к технологии строительных материалов методы математической физики используют при описании способов помола, приготовления смесей, формования и тепловой обработки, а также при изучении свойств изделий и их поведения в конструкции. Объектом изучения в данном случае является тепло- и массоперенос [6], распространение звука, формирование и дрейф эксплуатационных характеристик.

1.4. Системный анализ технологических процессов

1.4.1. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД И СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Системный подход является одной из основ технологического моделирования. Он заключается в разбиении всего технологического процесса на отдельные блоки, адекватные технологическим переделам; изучении функционирования каждого блока в отдельности; установлении взаимосвязи между отдельными блоками и построении общей схемы процесса как совокупности блоков и связей между ними. Основой для изучения является моделирование, которое может осуществляться как статистическими методами, так и с помощью детерминированных и концептуальных (логических) моделей. Объектом исследования является технологический процесс и для описания его широко применяется кибернетическая система, именуемая «черным ящиком», имеющим свои входные параметры, управляющие воздействия и выходы. Способы изучения технологических процессов с помощью построения статистических моделей и их оптимизации постоянно обогащаются и расширяются.

«Черный ящик» (рис. 1) может охватывать технологию в целом. Данный прием широко используют при построении моделей на основе «пассивного» эксперимента, когда выводы делают из наблюдений и сбора статистической информации. «Черный ящик» может охватывать отдельный технологический передел, т.е. отдельный процесс: приготовление смеси, формование, тепловую обработку. Модель технологии в этом случае получают из отдельных кирпичиков-блоков. Связь между отдельными «блоками» технологии осуществляется через факторы, которые являются «выхода-