

КОНСТРУКТОР РЕГУЛЯРНОГО МЕНЕДЖМЕНТА

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



ПАКЕТ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

Курс лекций по регулярному
менеджменту и бизнес-инжинирингу

Инжиниринг
систем управления

В поисках решений
для умной экономики

Решения для обучения
и развития компетенций





КОНСТРУКТОР РЕГУЛЯРНОГО МЕНЕДЖМЕНТА



КУРС ЛЕКЦИЙ ПО РЕГУЛЯРНОМУ МЕНЕДЖМЕНТУ И БИЗНЕС-ИНЖИНИРИНГУ



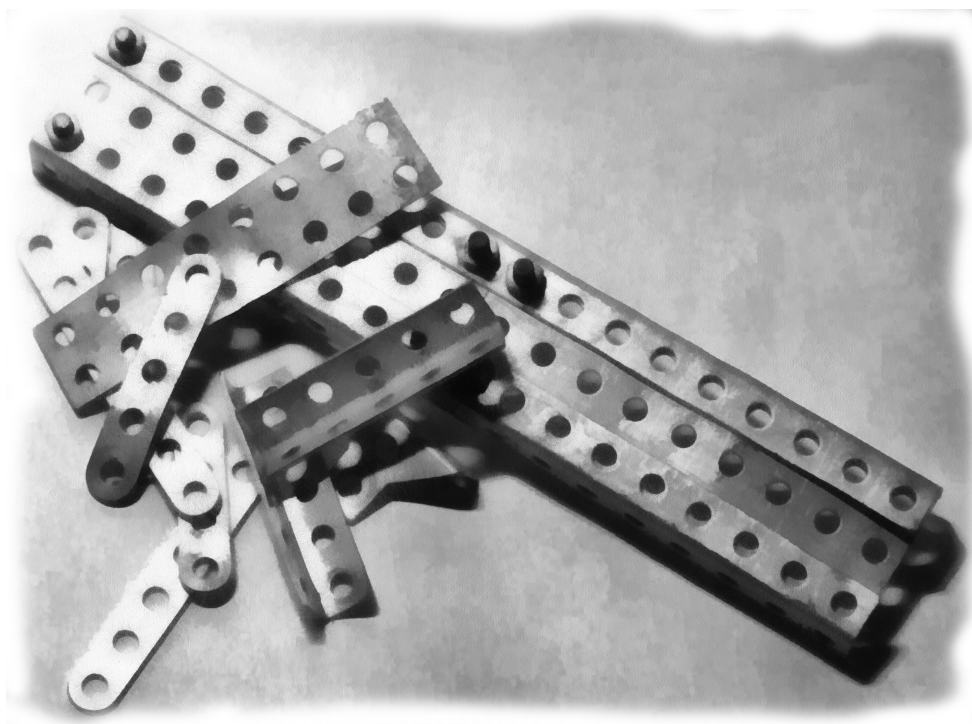
ИНЖИНИРИНГ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ



В ПОИСКАХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УМНОЙ ЭКОНОМИКИ



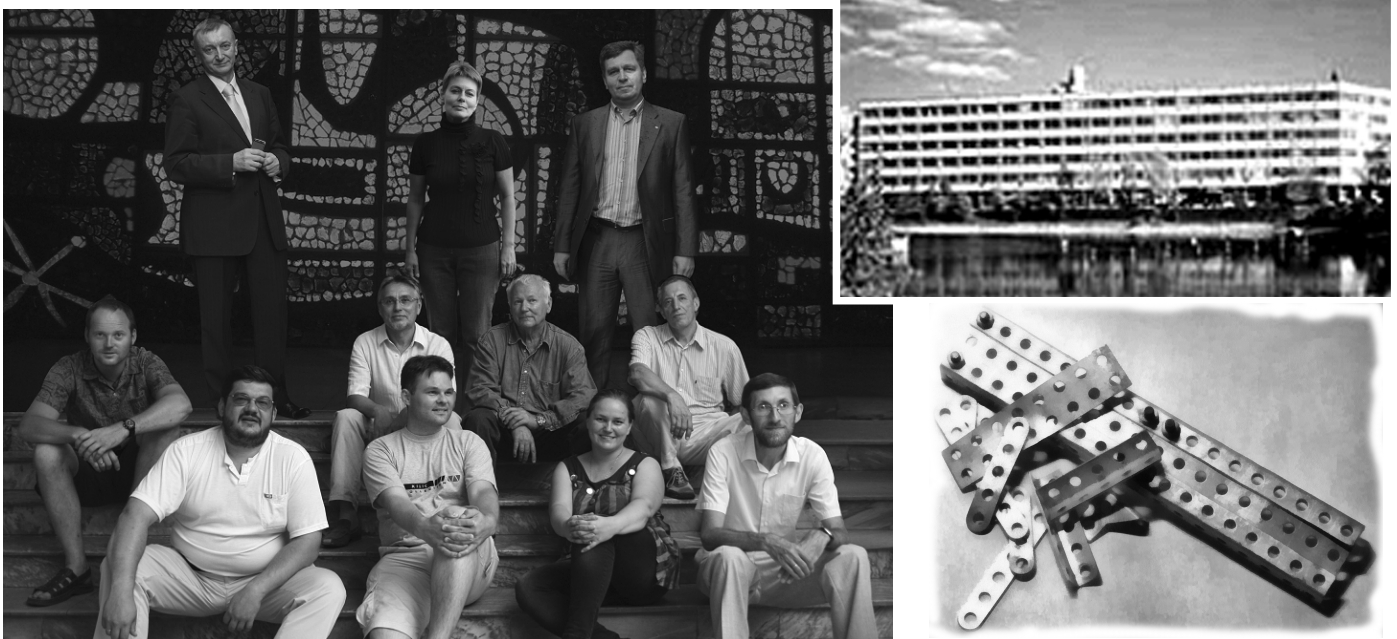
РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ



КОНСТРУКТОР РЕГУЛЯРНОГО МЕНЕДЖМЕНТА

ИНЖИНИРИНГ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Мультимедийное учебное пособие на CD-R



АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ

Раздел	Авторы	
1. Инжиниринг систем управления	д-р техн. наук Кондратьев В.В.	
2. Информационные системы в управлении	3.1 — д-р техн. наук Райков А.Н. 3.2, 3.7 — д-р техн. наук Кондратьев В.В. 3.3.-3.6 — канд. техн. наук Губко М.В.	 Михаил Губко
3. Дискретное имитационное моделирование	канд. экон. наук Лычкина Н.Н.	 Наталья Лычкина
4. Управление на основе знаний	канд. экон. наук Алтухова Н.Ф.	 Наталья Алтухова

5. Бизнес-аналитика в составе интегрированной системы управления	канд. экон. наук Писарева О.М.	
6. Архитектуры информационно-аналитических систем	канд. экон. наук Громова А.А.	
	канд. экон. наук Громова А.А. канд. экон. наук Лычкина Н.Н.	
7. <i>AnyLogic</i>	канд. техн. наук Борщев А.В.	
8. Принятие управленческих решений	д-р техн. наук Райков А.Н.	
9. Электронное правительство		
Активно поддерживали проект		
	Дмитрий Новиков	Леонид Марин
Составитель и редактор	д-р техн. наук Кондратьев В.В.	

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение

ЧАСТЬ 1 АРХИТЕКТУРЫ И ИНЖИНИРИНГ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

1. ИНЖИНИРИНГ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

- 1.1. Инжиниринг, улучшения, реинжиниринг
- 1.2. Архитектура системы управления компании
- 1.3. Позиционирование системы управления
- 1.4. Проектирование системы управления по шагам
- 1.5. Синхронизация взаимодействий системы управления
- 1.6. Изменения и улучшения систем управления

2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В УПРАВЛЕНИИ

- 2.1. Информационное обеспечение управления
- 2.2. Применение информационных технологий
- 2.3. Классификация информационных систем управления
- 2.4. «Нишевые» информационные системы
- 2.5. Интегрированные информационные системы
- 2.6. Позиционирование информационных приложений
- 2.7. Электронные регламенты
- 2.8. Литература и дополнения

3. ДИСКРЕТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- 3.1. Приложения дискретного имитационного моделирования в операционном менеджменте и логистике
- 3.2. Моделирование и анализ бизнес-процессов
- 3.3. Имитационное моделирование дискретных производственных систем
- 3.4. Концептуальные основы имитационного моделирования дискретных производственных систем
- 3.5. Специализированное программное обеспечение моделирования производственных систем
- 3.6. Логистика складских комплексов
- 3.7. Цифровое производство
- 3.8. Имитационное моделирование в сетях поставок
- 3.9. Заключение
- 3.10. Литература

4. УПРАВЛЕНИЕ НА ОСНОВЕ ЗНАНИЙ

- 4.1. Знания в ряду приоритетных ресурсов организации
- 4.2. Управление знаниями в организации
- 4.3. Характерные инициативы по управлению знаниями
- 4.4. Роль ИТ-решений и технологический подход
- 4.5. Области сопряжения ИТ-решений и ключевых задач управления знаниями
- 4.6. Литература

ЧАСТЬ 2

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

5. БИЗНЕС-АНАЛИТИКА В СОСТАВЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

- 5.1. Новые формы конкурентной борьбы в условиях становления экономики знаний
- 5.2. Информационно-аналитическая среда организации
- 5.3. Бизнес-аналитика как часть информационной системы управления
- 5.4. Уровни использования систем интеллектуального анализа данных
- 5.5. Типовые задачи и базовые методы аналитических систем бизнес-прогнозирования
- 5.6. Расширенные опции ВА-инструментария
- 5.7. Литература

6. АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- 6.1. Данные, сведения, знания
- 6.2. Эволюция информационных систем управления предприятием
- 6.3. Корпоративная информационная система — интегрированное решение
- 6.4. Системы поддержки принятия решений
- 6.5. Архитектура систем поддержки принятия решений
- 6.6. Сценарий работы СППР — загрузка данных
- 6.7. Варианты реализации СППР на основе хранилища данных
- 6.8. Логическая структура хранилища данных
- 6.9. Технология анализа данных *OLAP*
- 6.10. Интеллектуальный анализ данных — *DATA Mining*
- 6.11. Литература

ЧАСТЬ 3

ПРАКТИКУМ:ИМИТАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ С ANYLOGIC ДЛЯ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ

7. ANYLOGIC

ЧАСТЬ 4

ИТ В УМНОЙ ЭКОНОМИКЕ

8. ПРИНЯТИЕ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ/ ОПОРНАЯ ПРЕЗЕНТАЦИЯ

- 8.1. Актуальность менеджмента решений
- 8.2. Решение как процесс
- 8.3. Решение как модель
- 8.4. Новая парадигма решений
- 8.5. Компьютерные инструментари
- 8.6. Поддержка решений
- 8.7. Ситуационные центры для поддержки решений
- 8.8. Заключение
- 8.9. Литература

9. ЭЛЕКТРОННОЕ ПРАВИТЕЛЬСТВО/ ОПОРНАЯ ПРЕЗЕНТАЦИЯ

- 9.1. Контекст создания российского электронного правительства
- 9.2. Совершенствование управления
- 9.3. Приоритет услугам, решениям и взаимодействию
- 9.4. Архитектуры электронного правительства
- 9.5. Литература

3. Дискретное имитационное моделирование

3.1 Приложения дискретного имитационного моделирования в операционном менеджменте и логистике



Лычкина
Наталья Николаевна
канд. экон. наук, доцент
кафедры
Информационные
системы
Государственного
университета управления

Популярные направления применения дискретного имитационного моделирования в менеджменте:

- имитационное моделирование бизнес-процессов;
- имитационное моделирование дискретных производственных систем;
- логистика складских комплексов;
- комплексное управление логистическими процессами на основе simulation software;
- управление цепочками поставок;
- цифровое производство.

Прикладные аспекты имитационного моделирования требуют понимания и постановки задач управления и специфики применения имитационного моделирования в конкретной предметной области, оценки особенностей реализации моделей и проводимых на них исследований в зависимости от объекта моделирования и задач исследования [1].

3.2 Моделирование и анализ бизнес-процессов

Имитационная модель

*(simulator) —
экономико-
математическая модель
изучаемой системы,
предназначенная для
использования в процессе
машинной имитации*

CASE-средства

*(Computer Aided
Software/System
Engineering) -
программные средства
для проектирования на
компьютере сложных
систем*

Принцип имитационного моделирования бизнес-процессов получил достаточно большое распространение и приобрёл большую популярность сначала на Западе, а в последнее время активно применяется и в России. В отличие от традиционных CASE-средств, дающих статические «снимки» бизнес-ситуаций и бизнес-процессов, имитационная модель способна показать развитие ситуации во времени, продемонстрировать или выявить скрытые тенденции, предоставить возможность оперативно проанализировать последствия принимаемых решений, оценить влияние различных факторов случайного характера и цену риска, выполнить расширенный ABC-анализ.

Сегодня начинает проявляться все больший интерес к ситуационному анализу принятия решений, возможностям прогнозирования нетривиального поведения бизнес-процессов на самых ранних прединвестиционных фазах развития проектов.

Рост масштабов управления, внедрение ERP-, MRP-

ERP-система

(Enterprise Resource Planning System) —

система планирования ресурсов компании) — корпоративная информационная система (КИС), предназначенная для автоматизации учёта и управления

MRP-система

(Material Requirements Planning) —

планирование потребности в материалах) - это компьютерная информационная система поддержки оперативного планирования в компании

Реинжиниринг -

фундаментальное переосмысление и радикальная перестройка бизнес-процессов в целях улучшения таких важных показателей, как стоимость, качество, уровень сервиса, скорость функционирования, финансы, маркетинг, построение информационных систем для достижения радикального, скачкообразного улучшения деятельности компании

систем, сложность организации выполнения процессов приводит к пониманию, что любой бизнес-процесс — не просто набор функций и структур, а процесс, обладающий поведенческой сложностью, - отсюда проблематика реинжиниринга, предполагающая переосмысление и перестройку бизнес-процессов компании.

Программные продукты, поддерживающие имитационное моделирование, интегрируют достоинства структурных и объектно-ориентированных технологий в рамках CASE-средств, позволяют проанализировать проблемные ситуации с самых обобщенных концептуальных позиций, современные технологии обеспечивают легкоинтерпретируемый идеографический интерфейс, возможность быстрого прототипирования структурных и функциональных схем бизнес-процессов [2].

Концепция имитационного моделирования становится все более популярной для решения тактических задач анализа поведения бизнес-процессов, так и при стратегическом планировании самых разнообразных управленческих ситуаций. На российском рынке получили хождение несколько решений, основанные на интеграции CASE-технологий и различных техник дискретного имитационного моделирования: BPWin – симулятор Arena, ARIS Simulation и симулятор QUEST (методология IDEF03). Применение техник имитационного моделирования расширяет возможности традиционных CASE-средств и обеспечивает:

- визуализацию бизнес-процессов, возможности проводить анализ узких мест в динамике;
- возможности сбора и анализа количественных (временных и стоимостных) показателей эффективности бизнес-процессов,
- проведение ABC-анализа с привязкой к процессам в реальном времени,
- выполнение реинжиниринга, сравнение по количественным показателям вариантов «как есть» и «как должно быть» (с применением статистических тестов);
- оптимизацию бизнес-процессов с применением развитых генетических алгоритмов.

Имеется положительный опыт применения системной динамики на актуальные задачи реинжиниринга, например, процессное моделирование организационной деятельности. Сегодня системную динамику и инструменты с комфортабельным идеографическим интерфейсом (iThink, поддерживающий нотации на основе методологии Гейна-Сарсона, Powersim) используют при решении разнообразных задач инжиниринга и реинжиниринга бизнес-процессов. Особое значение подход приобретает на ранних стадиях реализации широкомасштабных проектов при оценке с

применением бизнес-моделирования нетривиальных управленческих ситуаций.

Бизнес-процессы существуют в контексте рыночных отношений. При организации бизнес-процессов объектом внимания все чаще становится синергетический фактор, когда повышение эффективности осуществляется за счет взаимовлияния деятельности, участвующих в таких интегрированных бизнес-процессах, как бизнес-процесс разработки нового изделия и вывода его на рынок, бизнес-процесс сбыта и снабжения, бизнес-процесс обслуживания клиентов и т.п.

Имитационные модели всегда динамические – это позволяет исследовать поведение моделируемого бизнес-процесса как развивающегося процесса по определенной траектории в течение некоторого периода модельного времени, что позволяет предсказывать будущие состояния, тенденции развития с учетом их взаимодействия и влияния факторов внешней среды в условиях неопределенности. Бизнес-процессы, подобно сложным организационным структурам, характеризуются скорее не отдельными элементами, а отношениями между ними, не статическим бытием, а постоянным развитием. Системная динамика декларирует, что именно взаимодействия раскрывают поведенческую сложность и определяют нетривиальное поведение организационных структур, которые поддаются целенаправленному управлению. Системная динамика концентрирует внимание на взаимодействиях, возникающих в схемах рефлексивных контуров обратных связей, а управление взаимодействиями предлагает интерпретировать эффектами срабатывания соответствующих процедур принятия решений, трансформирующих ресурсный потенциал организаций.

Технология системной динамики предлагает средства «полуконцептуального» проектирования бизнес-процессов, позволяет формировать динамические варианты управленческих ситуаций «AS-IS»(как есть) и «TO-BE» (как должно быть) на ранних стадиях реализации проектов реинжиниринга. Бизнес-процесс может быть описан в терминах перемещающихся ресурсов, анализа взаимодействующих фондовых потоков. В модели выделяют наиболее важные аспекты поведения бизнес-процесса: управление персоналом, управление финансами, обслуживание клиентов, управление качеством.

3.3 Имитационное моделирование дискретных производственных систем

В сфере промышленного производства имитационное моделирование [3] применяется шире, чем в любой другой. Это объясняется многими причинами:

- современные компьютеризованные производственные

системы и оборудование очень дорогостоящие и сложные, что требует их анализа с помощью моделирования;

- наличие анимации, визуализирующей течение процесса, и информации, полученной на основе имитационной модели, способствует лучшему пониманию менеджерами по производству сути происходящих процессов и последствий принимаемых решений.

С помощью имитационной модели можно провести анализ узких мест, что обусловлено динамической природой имитационной модели, устранить их, выявить имеющиеся проблемы, предложить решения по повышению производительности, сокращению временных потерь и стоимостных затрат на эксплуатацию производственной системы.

Главная польза от применения имитационного моделирования производственных систем заключается в том, что оно позволяет менеджеру получить представление о влиянии «локальных» изменений в масштабе всей производственной системы. Если изменение вносится на некоторой рабочей станции, его влияние на работу этой станции будет вполне предсказуемым, а заранее определить, каким образом оно скажется на работе системы в целом, будет затруднительно. Имитационная модель позволяет провести анализ влияния изменений в плане на интегральные характеристики системы. Благодаря приемам блочного моделирования, можно создать полную модель всей производственной системы и провести на ней испытания задолго до реального воплощения на предприятии на ранних стадиях проектирования. Имитационное моделирование используется для анализа, планирования и оптимизации производственных систем. Имитационная модель предоставляет возможность оценки и сравнения большого количества альтернатив построения системы и использования сложных и множественных стратегий управления (управления ресурсами, персоналом, запасами, транспортировкой и др.) и сценариев работы производства, сложных управляющих алгоритмов и бизнес-правил, с целью выбора оптимальных.

Под **дискретными** понимают производственные системы, в которых процессы и оперирование выполняется над отдельными деталями, полуфабрикатами, узлами и т.п. Могут рассматриваться производственные процессы, связанные как с производством штучных изделий, так и поточное производство. Дискретные имитационные модели производственных процессов применяются для решения широкого класса задач на стратегическом, тактическом и оперативном уровнях планирования.

Задачи **стратегического планирования** встают перед проектировщиками в случае создания новых или модернизации существующих производств. Основной целью

является оценка функционирования производственной системы на горизонте моделирования (обычно от недели до года) и вычисление основных производственных показателей. По результатам моделирования принимается решение о типах и количестве единиц оборудования, о топологии системы и правилах организации материалопотоков. Имитационная модель является основой принятия инвестиционных решений и выбора варианта модернизации производственной системы, оценки возможностей развития системы или внедрения таких подходов, как «just-in-time», «just-in-seguense», инструментом проигрывания сценариев «что-если» без вмешательства в реальный процесс, например, при переходе на новый тип изделия или в условиях расширения номенклатуры выпускаемых изделий, наращивания производственной мощности или замены существующего оборудования на более технологичное.

Тактическое планирование подразумевает решение таких задач, как:

- оценка текущего состояния и эффективности функционирования действующей производственной системы;
- анализ узких мест на производстве;
- выбор рациональной организационно-технологической структуры, включая формирование и синхронизацию основных материальных потоков в пределах производственной системы, выбор необходимого состава оборудования и рабочих ресурсов для выполнения технологического процесса.

Например, при формировании портфеля заказов, может потребоваться оценка того, как в условиях привлечения дополнительных заказов выполняется соответствие фактических сроков выполнения заказов плановым ограничениям.

Оперативное и календарное планирование направлено на построение графика производства на короткий период времени – от часов до дней. С помощью имитационной модели осуществляется текущее планирование, составление расписания загрузки технологического оборудования, разрабатывается оперативно-плановое задание или сменно-суточное задание для персонала, выполняется расчет графика поступления заказов (деталей) и оснастки производственного участка, решаются задачи диспетчирования (способы и правила назначения деталей на обработку), формируются оптимальные технологические маршруты прохождения деталей в процессе производства и т.п.

Основой для решения каждого из перечисленных типов задач может служить одна и та же имитационная модель

производственной системы, детализированная и настроенная с учетом особенностей решаемого класса задач. Так, для решения стратегических задач, потребуются временные характеристики процессов, заданные с помощью усредненных параметров распределения соответствующих характеристик. Для тактического планирования потребуется сбор и обработка статистики по временным процессам, показателям надежности оборудования, полученной с реальной системы. Для оперативного планирования параметры надежности и статистические распределения параметров теряют свою актуальность и заменяются на графики использования основных ресурсов производства и движения материальных потоков.

Кроме общих преимуществ имитационного моделирования, существует множество потенциальных плюсов его использования при исследованиях производственных систем [3], позволяющих не только оценить, но и повысить эффективность функционирования систем, за счет:

- увеличение производительности (числа деталей, выпускаемых в единицу времени),
- сокращение времени пребывания деталей в системе;
- уменьшение запасов деталей в процессе производства;
- увеличение занятости, сокращение простоев станков и рабочих;
- обеспечение своевременной доставки комплектующих и оснастки к производственным местам;
- сокращение потребностей в капитале (земля, производственные помещения, станки и т.п.) или эксплуатационных расходов (затрат на выполнение процессов, хранение, транспортировку и др.).

Моделирование помогает успешно решать ряд специальных производственных проблем, оценивать управленческие решения, которые можно разделить на три общие категории:

1) Оценка потребностей в ресурсах (оборудование и персонал) и их рациональное использование:

- количество, тип и расположение станков для выполнения определенной задачи (например, выпуск 1000 деталей в неделю);
- требования к погрузочно-разгрузочным устройствам и другому вспомогательному оборудованию (например, поддоны и приспособления для закрепления);
- расположение складских площадей и объем материально-производственных запасов;
- оценка изменений в объеме продукции или ассортименте изделий (например, влияние новых товаров);
- оценка влияния установки нового оборудования (например, робота) в существующую производственную

линию;

- оценка капиталовложений и затрат на эксплуатацию; снижение инвестиций в новое производство;
- число смен, разработка регламентов.

2) Оценка производительности:

- анализ производительности;
- анализ времени пребывания в системе и непроизводительного времени;
- анализ недостатка ресурсов.

3) Оценка технологических операций, различных стратегий и сценариев работы:

- технологическое проектирование и производственное планирование (например, оценка предлагаемых режимов выдачи заказов цеху, определение объемов партии продукции, загрузка деталей на рабочую станцию и установление последовательности прохождения деталями рабочих станций в системе);
- стратегии синхронной работы (синхронизация материалопотоков в контуре производственной системы)
- стратегии управления запасами комплектующих деталей или сырья;
- стратегии управления транспортировкой (например, для конвейерного устройства или автоматизированной транспортной системы);
- анализ надежности (например, влияние надежности оборудования на работу производственной системы, профилактического обслуживания);
- политики контроля качества.

3.4 Концептуальные основы имитационного моделирования дискретных производственных систем

В концептуальной схеме модели производственной системы выделяют описание производственного процесса - движущихся единиц материальных потоков, которые объединяются в общей структуре производственной системы на основе принятых операционных правил.

1. Производственный процесс. Производственный процесс, как правило, расчленяется на отдельные производственные операции, или элементы (рабочие места, агрегаты). Примеры типичных производственных операций: обработка детали, сборка изделия, контроль качества изделия, упаковка.

Выделенная производственная операция, в зависимости от задач моделирования, может относиться к некоторому конкретному производственному оборудованию или описывать совокупность производственных операций, выполняемых группой оборудования. Сущность любой

технологичной операции – ее выполнение над каким-то изделием или полуфабрикатом, связанное с изменением свойств этого изделия. Свойства изделий могут быть описаны характеристиками или атрибутами, а выполнение операции над ними может быть связано с изменением этих характеристик, описывающих состояние (свойства) заготовок, полуфабрикатов, изделий и т.п.

Таким образом, **каждая производственная операция может рассматриваться как действие определяющее изменение характеристик изделия во времени.**

Элементы производственных систем делятся на следующие классы:

- элементы, где согласно условиям производства имеет место целенаправленное изменение состояния продукции (обточка, пайка, фрезер, монтаж и т.д.);
- элементы, в которых не происходит изменение состояния продукции (транспортёры, склады, манипуляторы и т.п.);
- элементы, в которых исследуется состояние продукции (контроль, тестирование, поиск неисправностей и т.п.).

При реализации алгоритмов имитационных моделей, выделяют три 3 абстрактные операции:

Операция обработки(резание, ковка, штамповка) – операции, связанные с изменением свойств детали; транспортировка, повороты – изменением положения детали в производстве, а также остывание, высыхание, окисление (последние не являются операциями в обычном смысле слова).

Операция сборки – акт производственного процесса над совокупностью полуфабрикатов (в операции участвуют не менее двух полуфабрикатов), в результате изменяется состояние ведущего полуфабриката за счет присоединения к нему ведущих.

Алгоритмические или операционные правила при описании операции сборки:

- момент наступления операции зависит от наличия всех полуфабрикатов;
- по окончании операции остается один полуфабрикат (копии активностей сцепляются).

Операция управления - регулирование, подача полуфабрикатов к станку в зависимости от длины и элементов очереди. В производственных системах применяют метод приоритетных очередей и другие действия, связанные с контролем хода производства (операция может выполняться как устройством, так и оператором).

Важный параметр производственной операции - **длительность процесса (Т)**, который может быть:

- детерминированным – в этом случае жестко определяются закономерности синхронизации отдельных операций в данном производственном процессе (например, для станков с ЧПУ);

- случайным - задается в модели функцией распределения времени выполнения операции со случайным отклонением.

Также различают процессы:

- с постоянной длительностью;
- с переменной длительностью.

В общем случае операция выполняется на специальном станке и характеризуется временем выполнения операции $F(T)$ – случайной величиной, вероятностные характеристики которой зависят от параметров станка и полуфабриката (например, время металлорезки зависит от размера детали, длительность горячей штамповки – от температуры и т.д.).

Итак, для производственной системы в первую очередь определяется состав ее элементов, а также типы распределений длительности процессов для всех элементов и параметры законов этих распределений. Эти абстрактные элементы называют **элементами оборудования** (станки, однотипные машины, рабочие места, элементы обработки, а также транспортировки и хранения). Могут рассматриваться устройства, связанные с загрузкой машины деталями, обработкой, диагностикой, транспортные элементы, промежуточные склады и т.п., которые выполняют производственные операции, операции обработки деталей и характеризуются задержками времени и затратами на выполнение операций.

При описании производственной системы задаются следующие основные характеристики (переменные) элементов оборудования:

- число станков;
- индивидуальные отношения (номер станка – номер операции);
- функция распределения времени обработки.

2. Материальный поток в производственно-технологической системе.

Производственный продукт, проходя в направлении от входа к выходу, образует материальный поток. Движущие единицы материальных потоков - детали, заказы, комплекты, партии деталей, которые должны пройти соответствующую обработку. Их преобразование от начального состояния к конечному является основной функцией производственной системы.

Основная характеристика материального потока – **интенсивность потока**. В имитационной модели задаются:

- моменты поступления партии деталей в систему (случайные, детерминированные);
- атрибуты деталей (полуфабрикатов):
- количественные: размер, вес, температура и др.,
- качественные характеристики, признаки полуфабриката (окрашен/нет, годен/брак и др.).

Некоторые характеристики деталей могут меняться по ходу производственной системы. Материальные потоки могут быть нескольких типов (не только детали, но и оснастка, транспортные средства и др.).

Основные характеристики материальных потоков:

- типы деталей;
- приоритеты (в задачах диспетчирования) и другие атрибуты;
- временные характеристики материальных потоков (функция распределения времени между поступлениями партии деталей на обработку).

3. Элементы производственной системы объединяются в ее структуру. Это объединение реализуется на основе материального потока.

Взаимодействие материальных потоков и элементов оборудования описывается в имитационной модели на основании различных операционных правил, определяющих:

- маршрутные технологии;
- правила для последовательности обработки заказов из очереди на обработку на данной группе станков;
- порядок обработки деталей одного типа на станке (строго фиксированный - каждая очередная операция выполняется на определенном станке, свободный – на любом доступном станке из множества станков);
- способ назначения деталей из партии на очередную обработку (последовательный, параллельный, последовательно- параллельный) и другие.

Полная модель производственной системы включает все ее элементы (или производственные операции), в том числе буферные склады, материальный поток и структуру (рис. 1).

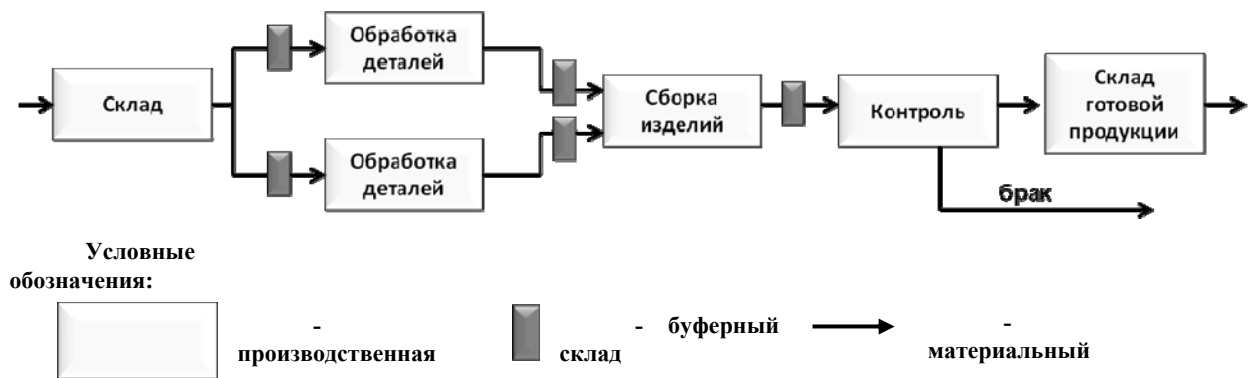


Рис. 1. Концептуальная схема модели производственной системы

Применяется ряд **критериев, показателей эффективности работы**, получаемых при изучении производственной системы посредством моделирования:

- производительность;
- количество выпущенных изделий, прошедших обработку; объем готовой продукции;
- размер операционной прибыли, стоимость незавершенного производства, , материальные издержки, с учетом стоимости используемых в процессе производства ресурсов, с учетом брака, потерь от сбоев, простоя оборудования;
- время пребывания деталей в системе или среднее время, затрачиваемое на обработку всех видов деталей (продолжительность производственного цикла);
- время выполнения заказа, текущие затраты (или трудоемкость) выполнения заданного объема работ;
- время межоперационного пролеживания, продолжительность пребывания деталей в очередях (время пролеживания деталей) за весь цикл производства или на отдельных фазах производственного процесса (т.е. на отдельных операциях, рабочих местах (станках), буферных складах);
- продолжительность транспортировки;
- своевременность доставки (например, доля задержавшихся заказов), продолжительность ожидания транспортировки;
- объем запасов деталей в процессе производства (незавершенное производство или размеры очередей);
- потери времени, связанные с простоем станков или их ожиданием (в совокупности и по группам) - доля времени, когда станок сломан, простаивает (в ожидании поступления деталей с предыдущей рабочей станции), заблокирован (в ожидании, когда будет убрана деталь, обработка которой завершена) или проходит профилактическое обслуживание;
- загрузка - степень использования совокупного ресурса (или ресурса времени групп станков);

- доля бракованных деталей (или деталей с исправимым или неисправимым браком).

В общем случае, производственная система рассматривается при моделировании как **стохастическая система**. Отклонения течения производственного процесса от нормального связано с тремя стохастическими факторами, которые обычно учитываются в имитационной модели:

Расстройство режима синхронизации (возмущения, которые приводят к потерям рабочего времени в производстве и непредвиденным простоям технологического оборудования). Особенности протекания производственных процессов могут быть связаны с различными нарушениями:

- ожидание, образование очереди деталей у занятых станков;
- простои станков из-за отсутствия деталей или задержек в поступлении деталей;
- сбой в работе транспортных средств, несвоевременная поставка заготовок, сырья, следствием является непоступление заготовок на производственный участок в срок (исчерпание заделов и запасов на складе);
- невыполнение норм: если фактические параметры операции не соответствуют нормативным, то это может привести либо к срыву производства, либо к браку продукции.

В общем случае время выполнения производственной операции является случайной величиной и задается функцией распределения.

Брак, что связано с потерями времени и сырья в производственных системах. В алгоритме имитационной модели задается, как правило, на операции контроля *вероятность выхода брака*, моделируется случайное событие – получение годного/бракованного полуфабриката.

В общем случае вероятность брака зависит от параметров полуфабриката и параметров станка (например, сколько времени прошло после переналадки).

Надежность оборудования. Важный источник случайности в производственных системах связан с поломками станков и внеплановыми простоями (отвлечение рабочих на другие задания, поломка станка, отсутствие оснастки и др.). Данный фактор приводит к расстройству нормального режима функционирования производственного процесса.

Процессы, связанные с переналадкой оборудования, также обычно моделируются. В общем виде в имитационной модели задаются законы распределения времени безотказной работы оборудования и времени восстановления и моделируются процессы выхода оборудования из строя и его восстановления.

Основные источники случайных величин в моделях производственных систем:

- время поступления заказов, деталей или сырья;

- время обработки, сборки или проверки;
- время безотказной работы станка;
- время ремонта станка;
- время погрузки и разгрузки;
- время наладки, необходимое, чтобы перестроить станок для обработки другого типа деталей;
- вероятность исправления брака;
- процент выхода годных изделий.

3.5 Специализированное программное обеспечение моделирования производственных систем

Используется ряд проблемно-ориентированных пакетов моделирования производственных систем [2,3] : Auto Mod, ProModel, Taylor Enterprise Dynamics, Witness, Arena, Quest, eM-Plant.

Основными их преимуществами является снижение сроков разработки, упрощение разработки имитационной модели. С их помощью имитационную модель может создавать специалист, занимающийся технологическим проектированием.

Проблемно-ориентированные коммерческие симуляторы содержат набор конструкций и абстрактных объектов, из которых строится модель производственной системы, определяемых непосредственно в предметной области производственных систем. Для примера рассмотрим абстрактные конструкции имитационных моделей производственных систем для ряда наиболее распространенных симуляторов этого класса:

Основные моделирующие конструкции системы моделирования **Auto Mod**:

- **Нагрузки** - детали в производственной системе;
- **Ресурсы** – представляют станки и рабочих, которые обрабатывают детали;
- **Очереди** – представляют места, где расположены детали, ожидающие поступления к ресурсам или транспортировки;
- **Процессы** - представляют логику, связанную с определенным аспектом имитационной модели (например, для контроллера - отношения между очередью, ресурсом и логикой определения качества детали).
- **Транспортировка материалов и деталей** – включает в себя конвейеры (транспортеры, накопители и др.), автопогрузчики, автоматизированные транспортные системы, автоматизированные системы хранения и поиска.
- **Конструкции резервуаров и труб** для моделирования систем с непрерывным потоком (например, химическое производство).

Основные моделирующие конструкции системы моделирования **ProModel**:

- **Участки** с обозначенными границами – используются

для моделирования станков, очередей, конвейеров и резервуаров;

- **Объекты** – представляют детали, сырье или информацию;

- **Поступления** - определяют, как детали поступают в систему;

- **Процессы** – определяют маршруты деталей в системе, а также указывают, какие операции выполняются с каждой деталью в определенном помещении (маршруты задаются с помощью графики);

- **Ресурсы** - используются для моделирования статичных или динамичных ресурсов, например рабочих или автопогрузчиков.

Основные моделирующие конструкции системы моделирования **Witness**:

- **Детали** – представляют детали или сырье.

- **Станки** – представляют станки или помещения, где обрабатываются детали.

- **Буфера** – представляют очереди или другие места, где хранятся детали.

- **Работа** – представляют подвижные ресурсы, например рабочих или инструменты.

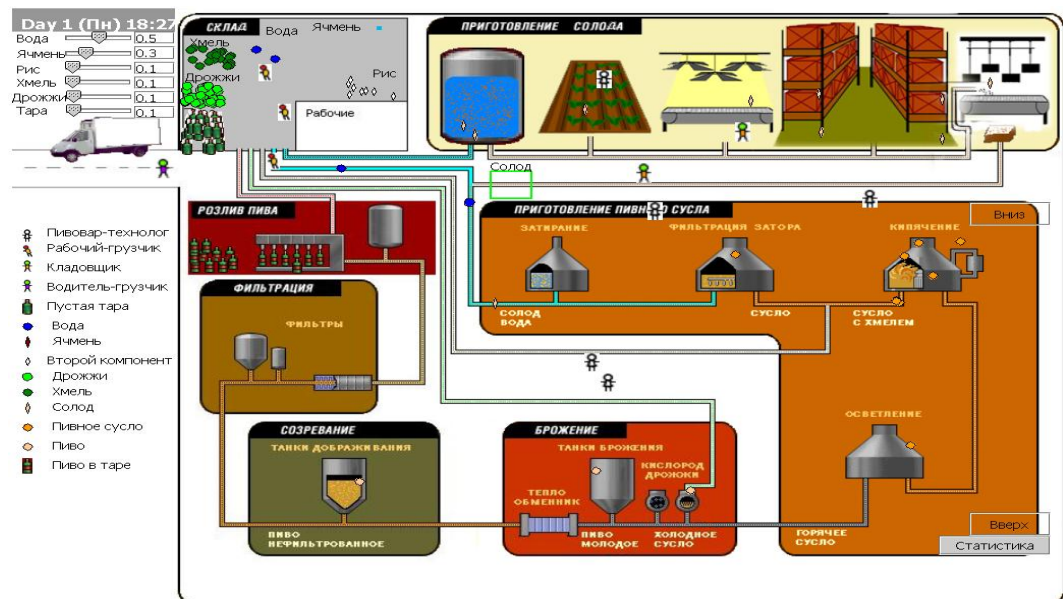


Рис. 2. Анимационное табло имитационной модели производственной системы в системе моделирования AnyLogic [4,5]

3.6 Логистика складских комплексов

Склад (буферный, сырья, готовой продукции) является специфичным элементом производственной системы и не рассматривается как система массового обслуживания (рис.3) и в общем случае характеризуется:

- объемом (вместимостью) или количеством единиц

хранения (размерами хранилища), размерами страховых запасов;

- внутренним состоянием (эндогенная переменная имитационной модели) – текущий уровень запасов на складе;
- стратегией управления запаса, которая описывается переменными: критической точкой перезаказа (критический уровень запасов), или размером партии поставок и интервалами между поставками и др. в зависимости от применяемой стратегии.

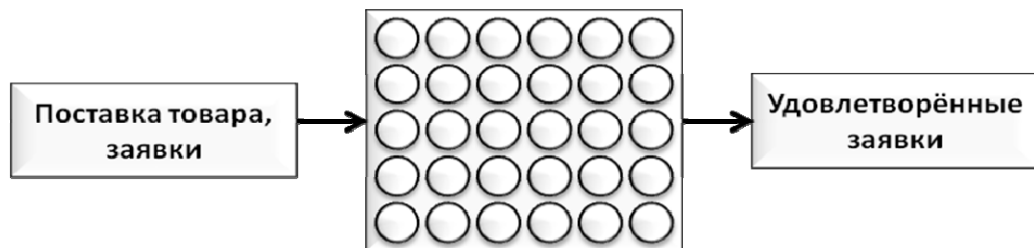


Рис. 3. Модель склада

Управление (принятие решений) в масштабе производства предполагает выбор эффективной политики управления запасами, реализующей задачу синхронизации потока поставок на склад с потоком заказов на отправку при минимизации затрат на хранение, транспортировку, аренду складских комплексов и т.п. В задачах по **управлению запасами** определяются количество складов, объем складов, размер партии поставок рациональный размер страхового запаса, допустимое время хранения продукции на складе и т.п.

Основные решающие правила и управляющие параметры имитационной модели склада:

- политика поставок (регулярная, динамическая и др.),
- размер партии поставок (постоянный или зависит от текущего состояния склада, может быть ограничен вместимостью транспортного средства),
- интервалы между поставками (или отправками);
- критический уровень запасов (или точка перезаказа);
- размеры хранилища (например, в условиях аренды складских помещений);
- допустимое время хранения товара на складе;
- и др.

Проблемы складской логистики и их решение с помощью имитационного моделирования. Строительство и оснащение современных складских комплексов необходимым оборудованием и техникой требует значительных инвестиций. Поэтому очень важно еще до начала строительства правильно провести проектирование склада. Проектирование склада - сложный

многоступенчатый процесс. Он ведется с учетом множества параметров во взаимодействии с заказчиком и строительными проектными организациями. От того, насколько хорошо организована технология работы склада, зависит успех его работы. Этим, как правило, занимаются компании и службы логистического аудита, консалтинга, инжиниринга.

На оснащение современных складских комплексов идут значительные инвестиции, приобретается и используется оборудование, техника. Склады имеют десятки тысяч мест паллетного хранения, применяются сложные складские технологии, требующие различных человеко-машинных ресурсов. Цель проектирования склада - разработка оптимальной технологической схемы работы склада на основе планируемых грузопотоков.

Имитационная модель полезна при реконструкции или строительстве нового склада на этапе формирования проекта, как при проектировании инфраструктуры логистического центра, так и при технологическом проектировании. Имитационная модель позволяет подсказать, как оптимизировать затраты инвестора.

Проектирование инфраструктуры складского комплекса включает:

1) Построение складского комплекса с максимальной вместимостью и производительностью с размещением на заданном участке земли, на основе анализа топологической схемы участка, где существует множество ограничений, с учетом расположения инженерных коммуникаций.

2) Выбор вариантов расположения и размеров маневровых площадок с возможностями парковки автомобилей, определение количества мест парковки, КПП.

3) Определение необходимых площадок для зон приемки, сортировки, комплектации и хранения грузов.

4) Определение количества мест парковки на территории склада для транспорта, реализующего внешние грузопотоки, и рациональное количество мест парковки непосредственно к грузовой рампе.

5) Определение необходимого количества ворот в складском помещении.

6) Определение необходимых ресурсов и размеров функциональных зон и т.п.

Имитационное моделирование позволяет увидеть (с помощью двух - трехмерной анимации) и проанализировать работу будущего склада до завершения его строительства и в случае необходимости внести коррективы в проект склада (рис. 4). Это позволяет убедиться в оптимальности выбранной для склада технологии и заявленных ресурсов до закупки оборудования. Более того, «проиграв» на модели несколько различных вариантов технологии, можно выбрать наилучший из них и, тем самым, уменьшить бюджет проекта

и сократить эксплуатационные затраты.

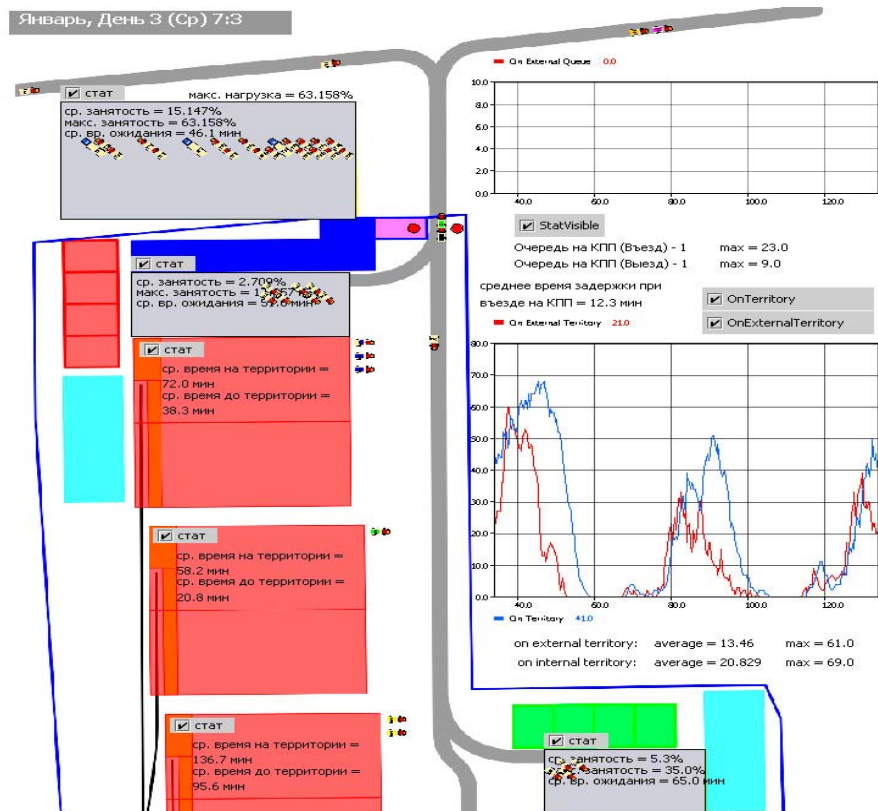


Рис. 4. Анимационное табло имитационной модели проектирования инфраструктуры логистического центра в системе моделирования AnyLogic [4,5]

Основные цели технологического проектирования склада:

- повысить эффективность использования складских площадей;
- сократить время обслуживания клиентов;
- сократить инвестиции в строительство и оснащение склада.

Общая постановка задачи по проектированию и инжинирингу складских комплексов: какие нужно заложить в проект размеры склада и его технологических зон и какое количество погрузчиков и рабочих требуется на складе для того, чтобы принять и отгрузить заданное количество товаров.

Задачи, решаемые с помощью имитационного моделирования:

- определение количества человеко-машинных ресурсов (погрузочной техники и рабочей силы), обеспечивающих переработку внешних и внутренних грузопотоков (при оптимальном уровне их загрузки, при заданных временных порогах обслуживания клиентов);
- определение необходимой площади для зон приемки, сортировки, хранения грузов;
- проверка эффективности использования различных

вариантов компоновочных решений для хранения груза и сборки заказов;

- выбрать наиболее эффективную во всех смыслах технологию обработки грузопотоков: поиск эффективных алгоритмов управления грузопотоком, разработка технологии грузопереработки, разработка специальных алгоритмов для склада многономенклатурных грузов (организация паллетного, коробочного и штучного отбора);
- планирование процедур и графиков выполнения операций прихода и расхода на складе;
- составление эффективных расписаний по выполнению работ;
- определение уровня складских запасов системы (в т.ч. иерархически организованной) с учетом параметров поставок и возможного спроса;
- подсчет затрат на эксплуатацию склада и оптимизация их.

Имитационное моделирование позволяет учесть сезонность, пиковые периоды, проиграть движущиеся потоки во времени, вероятностные характеристики процесса на достаточно большом периоде времени, оценить влияние стохастических факторов и факторов неопределенности, проиграть сложные технологии и алгоритмы в обработке грузопотоков и организации хранения на модели, провести выбор оптимального решения.

3.7 Цифровое производство

Имитационные и графические VR-модели в рамках концепции e-Manufacturing. Классические подходы к имитационному моделированию производственных и логистических процессов нашли свое наиболее полное воплощение в реализации современного цифрового производства. В конце 90-х годов практически все автомобилестроительные концерны Германии (DaimlerChrysler, Mercedes-Benz Pkw, Opel, BMW, Audi) пришли к выводу о том, что возникли условия для реализации качественно нового уровня автоматизации процессов на всех этапах жизненного цикла изделия: начиная с эскизного проектирования и заканчивая утилизацией отслужившей свой срок техники. Эти условия были обеспечены, с одной стороны, уровнем развития базовых информационных технологий, а с другой – большим положительным опытом применения этих технологий на самих предприятиях. Для производства, существующего в условиях «тотальной информатизации», было предложено несколько различных названий, из которых наиболее прочные позиции завоевал термин *Digitale Fabrik* (цифровая фабрика), но чаще сущность *Digitale Fabrik* сегодня выражают с помощью «интернационального» термина *e-Manufacturing* [6].

CAD

(Computer-Aided Design) -

*программный пакет,
предназначенный для
проектирования
(разработки) объектов
производства (или
строительства), а
также оформления
конструкторской и/или
технологической
документации*

Основным содержанием идеи e-Manufacturing является непрерывное (если переводить буквально используемую при этом немецкую терминологию, то – сплошное) применение цифровых моделей в процессе проектирования и эксплуатации производственных систем. При этом в виде цифровых моделей отображаются не только сами изделия (например, в виде двумерных или трёхмерных CAD-чертежей), но и все средства производства, а также производственные и логистические процессы.

Специальные способы хранения всех относящихся к сфере e-Manufacturing данных и средства управления этими данными создают условия для информационной интеграции всех видов деятельности, которые связаны с подготовкой и реализацией процесса производства. Сами люди, участвующие в этой деятельности, получают возможность наблюдать статические объекты или динамические процессы, как правило, в виде трёхмерных изображений, создаваемых с помощью методов VR (виртуальной реальности). Ставится цель, достичь с помощью e-Manufacturing такого уровня моделирования объектов и процессов, при котором реальный процесс производства начнётся только тогда, когда абсолютно все его элементы будут изучены и оптимизированы с помощью моделей. Для специалистов на производстве главным должен стать принцип: «Буду делать только то, что я уже наблюдал на экране компьютера».

Для реализации концепции e-Manufacturing необходимо иметь три группы программных продуктов:

- средства для «интеллектуального» хранения разнообразных текстовых и графических данных, первоначально представленных в самых различных форматах;
- средства для компьютерного моделирования объектов и процессов;
- средства для визуализации результатов моделирования методами VR.

Иногда всю суть концепции e-Manufacturing с точки зрения моделирования описывают формулой: «Simulation + Virtual Reality».

На предприятии, внедрившем концепцию e-Manufacturing, можно встретить очень разные виды имитационных моделей, как, например:

- модели систем транспортировки грузов по территории предприятия с помощью мобильных средств (погрузчиков, трейлеров и т. п.);
- сборочные конвейеры;
- модели складских процессов (приём грузов, перемещение грузов в зоны хранения и обратно, отбор, комплектация, упаковка и отправка грузов);
- и др., в т.ч. внешняя логистика предприятия (цепи поставок).

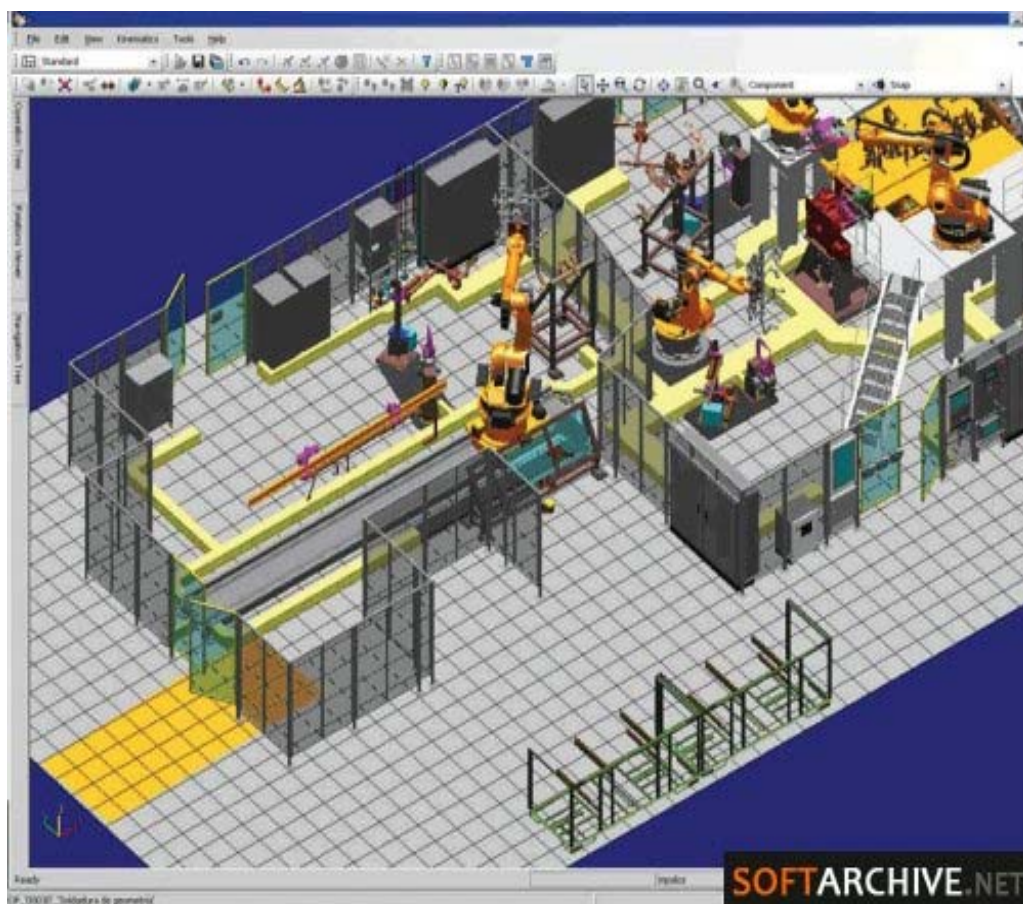


Рис. 5. Визуализация цифрового производства (решения Siemens Technomatrix)



Рис. 6. Визуализация цифрового производства (решения Siemens Technomatrix)

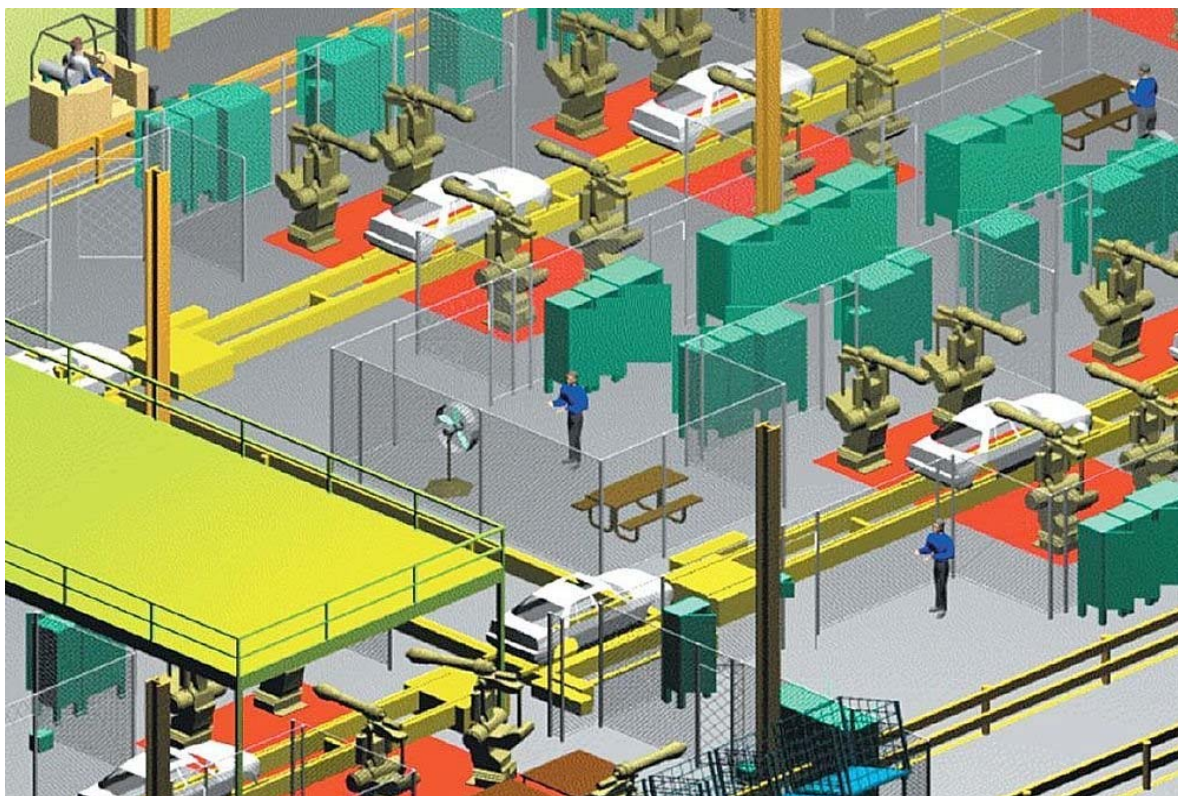


Рис. 7. Визуализация цифрового производства (решения Siemens Technomatix)

Реализация таких моделей осуществляется с помощью коммерческих симуляторов для процессов с дискретными событиями: GPSS, Simula, Arena, AutoMod, eM-Plant, Extend, ProModel, QUEST, SIMFACTORY II.5, Taylor ED и WITNESS. Суть моделируемых процессов в таких моделях - перемещение во времени и в пространстве, как правило, большого количества объектов, образующих в совокупности некие «потoki». Такие модели в пределах e-Manufacturing часто называют Material Flow Models (Materialfluss-Modelle).

VR-модели могут создаваться как в среде самих пакетов моделирования, так и с помощью таких универсальных средств, как язык VRML, который, фактически, стал стандартным средством представления трёхмерных графических моделей в промышленных приложениях.

На европейском рынке программных продуктов две фирмы заявили, что готовы предложить полные наборы взаимно совместимых продуктов для поддержки внедрения концепции e-Manufacturing. Таковыми являются фирмы Tecnomatix (www.tecnomatix.com) и DELMIA (www.delmia.com). Ядром каждой системы является специальный банк данных, в котором представлены три базовые структуры данных производственного назначения, называемые «Product, Process and Resources» (сокращенно – PPR). У Tecnomatix этот банк данных называется

eManufacturing Server (eMS), а у DELMIA – PPR Hub. В качестве инструмента для решения задач моделирования материальных потоков Tecnomatix [6] предлагает симулятор eM-Plant (рис.5-7), а DELMIA – симулятор QUEST. С другими программными продуктами можно ознакомиться, посетив страницы этих фирм в интернете.

Известно также большое количество решений на основе Simulation Software в области стратегического планирования и развития цепочек поставок.

3.8 Имитационное моделирование в сетях поставок

SCM – системы

(Supply Chain Management) – системы управления цепями поставок; предназначены для автоматизации и управления всеми этапами снабжения предприятия и для контроля всего товародвижения компании

APS - системы

(Advanced Planning and Scheduling) – система синхронного планирования производства, ориентированная на интеграцию планирования звеньев цепи поставок, с учетом всех особенностей и ограничения производства

BPM-системы

(Business Performance Management, управление эффективностью бизнеса)

Известно большое количество решений на основе Simulation Software в области операционного, тактического и стратегического планирования и развития цепочек поставок. Модули планирования реализуются в контуре ERP, SCM, APS, BPM-систем управления предприятия [2]. Без этого невозможна реализация базовых технологий «точно в срок». Часто метод имитационного моделирования применяют при проектировании и реинжиниринге логистической сети как существующей, так и новой системы, например, в рамках консалтинга или логистического аудита.

Логистика предполагает системный подход к интегрированному и динамическому управлению материальными, финансовыми, информационными потоками в организации.

Управление всей логистической сети на современном глобальном рынке является ключевым фактором успеха бизнеса. Организации мирового масштаба признают, что неинтегрированные производственные процессы, неинтегрированные процессы распределения, а также неразвитые отношения с поставщиками и клиентами не отвечают требованиям достижения успеха. Они осознают влияние организационного плана на звенья логистической цепи поставок, производства и сбыта продукции. Однако до непосредственного исполнения организационного плана его влияние на всю логистическую цепочку непредсказуемо. Неадекватный план приводит к чрезмерному накоплению запасов и крупных резервов, ошибочному прогнозированию спроса на продукт, несбалансированной загрузке мощностей, низкому качеству обслуживания клиентов, некорректным производственным планам, высоким затратам на содержание резерва, а иногда и к потере продаж.

Развитие технологии имитационного моделирования и ее практическое применение для управления логистической сети сегодня стало как необходимостью так и реальностью. Имитационное моделирование позволяет рассмотреть динамику процесса до исполнения плана и реализации проекта, а также дает для сложных, многообразных, зачастую уникальных процессов визуализацию и

способствует комплексному пониманию логистических процессов, что делает его незаменимым в логистическом аудите. Имитационная модель позволяет продемонстрировать материальные потоки и их сложное взаимодействие с финансовыми, транспортными, информационными потоками.

С помощью имитационной модели удастся автоматизировать процедуры исследования альтернативных вариантов организации и выбора оптимального решения на основе продвинутых эвристических генетических алгоритмов оптимизации, которые применяются при реинжиниринге логистических сетей.

Имитационное моделирование позволяет не только описывать и измерять показатели функционирования по всем ключевым и операционным характеристикам цепи поставок, но и предоставляет инструменты выбора оптимальных источников материалов и инфраструктуры производственных и логистических мощностей, характеристик процессов и потоков в масштабах всей цепи с учетом оценок будущего спроса, затрат, мощностей и других внешних и внутренних факторов. Руководствуясь полной и достоверной информацией применительно к широкому диапазону вероятных в будущем операционных условий деятельности, менеджеры могут принимать обоснованные решения по управлению цепочкой поставок.

Имитационное моделирование позволяет оценить последствия отдельных операций до момента их внедрения в систему и позволяет компаниям проводить всесторонний анализ возможного развития событий, способствующий принятию оптимальных управленческих решений. Оно также делает возможным сравнение различных альтернативных решений без прерывания работы реальных систем и сокращает длительность процесса принятия решений. Правильное применение таких моделей позволяет точно оценивать риски и выгоды в различных вероятных в будущем операционных условиях деятельности. Руководствуясь полной и достоверной информацией, менеджеры могут принимать обоснованные решения, связанные с управлением цепочкой поставок.

Преимущества применения имитационного моделирования для логистических систем:

- комплексное понимание процессов и характеристик логистической цепи с помощью графиков и развитой анимации;
- задачи управления в логистической системе являются достаточно объемными и сложными для формализации, поэтому практическая реализация математической модели принятия решений в общем виде является проблематичной, так как часто имеет значительное число внутренних связей и обладает большой размерностью;

- возможность учитывать стохастическую природу и динамику многих факторов внешней и внутренней среды; пользователь получает возможность моделировать случайные события в конкретных областях и выявлять их влияния на логистическую цепь, используя распределения вероятностей;
- возможность воспроизводить динамику системы, отражать динамический характер логистических процессов, обилие временных и причинно-следственных связей (требования потребителей, как правило, имеют вероятностный и динамический характер, текущий уровень запаса на складе является динамическим параметром и т.п.);
- применение многошаговой процедуры проектирования позволяет учитывать сложность принятия решений, большое количество решающих правил и критериев оптимизации;
- в большинстве случаев в распоряжении лица, принимающего решения, в логистической системе имеется несколько альтернатив (допустимых решений);
- обеспечение минимизации риска изменения плана путем предварительного анализа и моделирования возможных сценариев развития событий в цепи поставок.

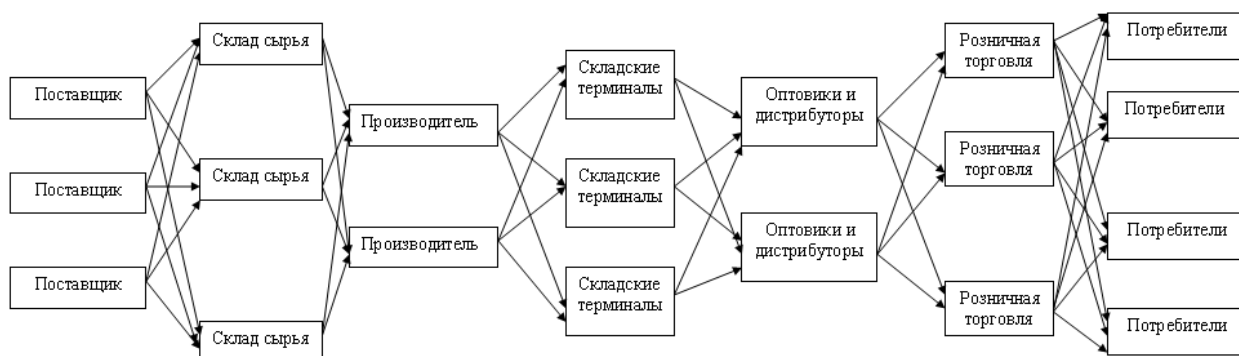


Рис. 8. Типичная структура логистической цепи

На рис. 8 представлена типичная структура логистической цепи. Она состоит из ряда организаций: поставщики снабжают материалами производителей, производители производят продукцию и хранят ее на складах, затем реализуют продукцию через дистрибутивные центры и розничную торговлю. Потребители приобретают товар в розничной сети. Структуры логистических цепей могут варьироваться в различных отраслях производства.

Управление логистической цепью заключается в процессе интеграции поставщиков, производителей и складов, розничной торговли таким образом, чтобы

продукция изготовлялась и доставлялась в нужном количестве, в нужное время при одновременной минимизации затрат по всей логистической цепи, а также максимальном удовлетворении потребностей клиентов. Основной фактор успеха – максимально интегрировать производственные процессы и процессы распределения, координировать производственные планы с планами поставщиков и потребителей. В этом суть интегральной и маркетинговой концепций в логистике.

Производители стремятся выявить узкие места, синхронизировать материальные потоки, а также сократить производственный цикл, время выполнения заказа и количество запасов в масштабе всей цепи. Целью управления логистической цепью является удовлетворение потребительского спроса путем предоставления высококачественной продукции по приемлемым ценам и с минимальными затратами в максимально короткие сроки в условиях динамично изменяющейся внешней среды.

Основные задачи проектирования логистической сети:

- максимальная интеграция логистических функций по всей логистической сети;
 - планирование мощностей;
 - синхронизация материальных потоков;
 - координация материалов и мощностей;
 - увеличение производительности;
 - предотвращение потерь от простоев;
 - анализ узких мест;
 - сокращение затрат на производство, хранение и транспортировку;
 - оценка и планирование потребительского спроса;
 - повышение уровня выполняемости заказов;
 - выбор рационального варианта организации бизнеса;
 - оптимизация цепи поставок;
- Оптимизация цепи поставок позволяет осуществить:
- эффективное удовлетворение потребительского спроса;
 - реализацию стратегии «точно в срок»;
 - минимизацию затрат по всей логистической цепочке;
 - интеграцию (стратегический план – поставщики и потребители);
 - повышение эффективности использования мощностей компании;
 - инвестиционное планирование и развитие.

Суть цепи поставок – перенос во времени и пространстве некоторого объема материала. Имитационная модель позволяет описать и продемонстрировать материальные потоки, их сложное взаимодействие с информационными и финансовыми потоками.

Логистическую сеть можно представить в виде ориентированного графа (стохастической сети), ребра которого представляют различные потоки, а вершины — звенья сети (рис. 9). За элемент потока принимают активность (транзакт) - аналог подвижной материальной сущности, некоторую абстрактную неделимую единицу, обладающую определенным количеством сохраняемых характеристик, таких как объем поставки. Звенья логистической сети могут производить различные действия с активностями.

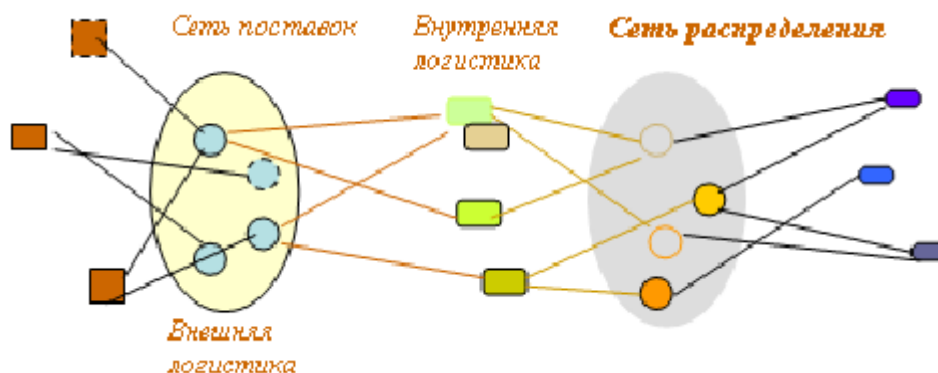


Рис. 9. Стохастическая сеть логистической цепи

Особенностью логистических систем является то, что многие виды ресурсов являются в них мобильными объектами (средства транспортировки и перемещения грузов). В построенной таким образом имитационной модели описываются процессы передвижения и накопления грузов и товаров в сети, задаются параметры, которые определяют ее состояние и меняются во времени по заданным операционным правилам.

Для построения имитационной модели логистической сети модель необходимо наполнить следующими данными:

Производственный процесс и его временные интервалы:

- **Производственный процесс:** время исполнения процесса, очередность выполнения операций и временные рамки, количество оборудования в каждом процессе;
- **Календарное планирование:** данные о сменах, выходных днях, данные о плановых профилактических работах.
- **Оборудование:** количество оборудования, среднее время отказа, среднее время ремонта, данные об альтернативных ресурсах, данные о плановых ремонтно-профилактических работах, стоимость использования оборудования;
- **Перечень материалов и характеристики материальных потоков.**

Политика управления запасами:

- гарантированный уровень запаса, уровень пополнения, уровень запасов сырья и материалов.

Информация о поставках:

- время выполнения поставки, размер серии поставок, возможности поставщика, горизонт поставки, время поставок.

Спрос:

- срок оплаты, приоритеты, начальные и конечные сроки выполнения заказа, структура и динамика спроса.

Политика и стратегии:

- альтернативные решения и сценарии;
- политика управления запасами;
- политика сбыта.

Моделирование деятельности цепи поставок на стратегическом, тактическом и операционном уровне - это классическая область, где применяются инструменты имитационного моделирования.

Значительное число компаний успешно ввели модели оптимизации сетей в детальное **операционное планирование**. Основное назначение этих моделей — определение оптимального варианта повседневного использования ресурсов и процессов, а также более глубокий анализ затрат на содержание или получение запаса, мощностей предприятия, процессов и ресурсов, транспортных издержек и т.д.. Модель можно использовать для имитации в обобщенном виде всех потоков и процессов, проходящих и применяемых по всей цепи поставок компании, при сохранении точности их параметров на операционном уровне. Это касается закупок, внутрифирменной транспортировки, производства/обработки, потоков внутри предприятия и потоков до конечных рынков. Учитывая мощности, затраты и объем спроса, модель позволяет выбрать лучший вариант источников поставок и мест расположения мощностей для реализации процессов и видов деятельности, позволяющий минимизировать затраты и при этом удовлетворять спрос (или в случае ограниченных ресурсов или материалов — добиваться максимальной прибыли при меняющихся кривых спроса).

Многие модели позволяют учитывать масштабы экономии и изменяющиеся ступенчато затраты при различных производственных уровнях. Результаты, показанные этими моделями, передаются в другие компоненты операционного планирования, применяемые для разработки производственных графиков, формулирования

требований к сырью и доставке готовой продукции, чтобы в конечном счете выйти на минимальный уровень затрат.

Операционные модели предназначены в основном для решения операционных вопросов на уровне цепи поставок, но не для принятия тактических или стратегических инвестиционных решений. Расширение функциональности ERP, SCM, BPM - решений происходит за счет богатых аналитических возможностей, включая моделирование разного уровня, *стратегическую и тактическую оптимизацию цепей поставок* [2]. Многие компании предлагают аналитические решения по управлению цепями поставок (например, i2 Supply Chain Strategist Tactician) для организации мониторинга их эффективности и поддержки процесса принятия стратегических и тактических решений.

Аналитические решения для планирования стратегического и тактического развития цепочки поставок позволяет моделировать сценарии развития, приводящие к снижению оборотного капитала, постоянных и операционных издержек и увеличению эффективности использования производственных, складских и транспортных мощностей компании. Руководителям компаний постоянно приходится принимать решения такие как: слияние и поглощение компаний, конкуренция на региональных рынках, изменения цен на производственное сырье и материалы, своевременная транспортировка, изменение структуры и географии спроса в регионах, необходимость инвестиций в бизнес.

Комплексное стратегическое моделирование взаимосвязей между производственной, транспортной и дистрибуционной цепочкой позволяет составлять компаниям оптимальные, устойчивые к колебаниям рынка, стратегические модели транспортных цепочек, определять стратегию развития цепочек, поддерживающую планы компании по расширению бизнеса.

При этом решаются следующие задачи:

- выявление слабых мест в существующей дистрибуционной сети компании и разработка рекомендаций по их устранению;
- максимально рациональное использование существующих объектов сети, с учетом накладываемых бизнес-ограничений;
- проведение сценарного анализа «что-если»;
- снижение постоянных и переменных издержек существующей дистрибуционной сети компании с помощью сценарного анализа «что-если» и сравнения результатов до и после ее оптимизации;
- улучшение сервиса и качества обслуживания клиентов и др.

модели решаются следующие задачи:

- понимание принципов функционирования существующей цепочки поставок;
- определение областей (узких мест), ограничивающих пропускные возможности цепи поставок;
- определение запаса прочности цепи на случаи резкого увеличения спроса или возникновения сбоев в работе поставщиков;
- оценка предполагаемых конфигураций цепи поставок (проектирование цепи поставок);
- анализ сценариев «что если?»;
- анализ рисков;
- выбор наилучших политик и параметров управления цепями поставок;
- планирование бюджета и временных характеристик.

Моделирующая система стратегической оптимизации используется для анализа приобретенных ресурсов и других стратегических решений, таких как создание новых производственных сооружений, расчет безубыточных цен для приобретения ресурсов или построение цепи поставок для нового продукта. Ее цель — увеличить чистый доход или прибыль на инвестированный капитал.

Моделирующая система тактической оптимизации определяет интегрированный план снабжения/производства/распределения запасов для всей системы снабжения компании на следующие 12 месяцев. Ее цель — уменьшить общие логистические издержки удовлетворения фиксированного спроса или увеличить чистый доход.

Использование имитационного моделирования может стать важным инструментом принятия управленческих решений и дает ряд преимуществ, а именно:

- **Системность в решении сложной управленческой ситуации** по проектированию цепи поставок, с большим количеством решающих правил (схемы и каналы поставок, стратегии управления запасами, планируемые мощности производства, структура и параметры дистрибуционной сети в условиях неопределенности внешней среды и спроса) на множестве показателей эффективности (затраты, прибыль, время и качество обслуживания клиентов).
- **Обеспечение учета неопределенности.** К неопределенным переменным относятся будущий спрос, цены конкурентов, сроки поставки, интенсивность потока покупателей и изменение

процентных ставок. Сложная модель может включать в себя разнообразные переменные такого рода.

- **Сравнение альтернативных вариантов.** Неоднократное использование полученной модели при анализе альтернативных стратегий и анализ воздействия различных политик.
- **Отслеживание множественных исходов.** Сложные имитационные модели можно использовать для отслеживания динамики различных показателей, в частности прибыли, объема продаж, расходов и уровня клиентского обслуживания.
- **Устранение рисков.** Использование моделей не несет в себе каких-либо существенных рисков. Если бы не было модели, то различные стратегии пришлось бы проверять в реальной ситуации. Так, можно увеличить цену на товар и понаблюдать, как это скажется на объеме продаж или спросе, или сократить численность персонала и посмотреть, как это скажется на уровне обслуживания клиентов. Такой процесс связан с рисками потерь доходов или клиентов. Применение моделирования позволяет устранить такие риски.
- **Экономия средств.** Имитационные модели относительно дешевы. Когда создана подходящая модель, можно отработать различные ситуации практически даром и за относительно короткий отрезок времени.

Пример. Комплексный подход к постановке и решению задачи оптимизации цепи поставок.

Сценарные параметры:

- конфигурация сети поставок и дистрибутивной сети;
- выбор поставщиков и схем поставок;
- стратегии управления запасами и наращивания производственных мощностей;
- виды транспортировки и затраты на транспортировку;
- ценовая политика в регионах на основе анализа динамики и структуры потребительского спроса и др.

Критерии оптимизации:

- минимизация затрат по всей логистической цепи;
- максимизация прибыли в целом по цепи поставок на инвестированный капитал;
- временные параметры логистических процессов;
- максимальная синхронизация логистических сущностей для реализации стратегии «точно в срок»;
- максимальное удовлетворение потребностей клиентов на основе анализа динамики спроса.

3.9 Заключение

Имитационное моделирование используется для решения широкого круга задач **управления цепями поставок в различных срезах** и применяется на предприятиях как крупного, так и среднего бизнеса.

В **управлении закупками** возможно создание имитационной модели, обеспечивающей автоматизированное формирование заказов на поставки товаров и учитывающей множество параметров: цену, надежность поставок, качество товара, минимизирование суммарных расходов и т.д. С помощью имитационного моделирования возможно проанализировать конкретную политику размещения заказов и определить, есть ли вероятность возникновения дефицита. Дефицит — это такое положение вещей, когда спрос на товар превышает текущий уровень запасов. Дефицит может стать серьезной головной болью для поставщиков, так как неудовлетворенный спрос означает не только снижение немедленных продаж, но и уход покупателей в долгосрочной перспективе, а также увеличение расходов, ухудшение отношений с клиентами и уменьшение доходов.

В области **дистрибьюции** использование имитационного моделирования возможно как на стадии построения распределительной сети так и на стадии эксплуатации, в том числе для задач определения оптимальной дислокации распределительных центров, планирования транспортных потоков, складов, анализа логистических издержек и многих других.

В области **транспортировки** имитационное моделирование можно применять для выбора видов транспортных средств и маршрутов, перевозчиков и логистических партнеров.

В области **управления запасами** имитационное моделирование возможно использовать для оценки качества обслуживания, определения объемов страховых и операционных запасов, причем практически в режиме реального времени.

В области **складирования** имитационное моделирование целесообразно применять для определения параметров складских систем, оценки и выбора вариантов реализации терминалов и складских комплексов, оценки тех или иных технологических решений и много другого.

Приведенные варианты использования имитации в повседневной деятельности, конечно же, не отличаются полнотой и на практике возможны десятки подобных задач.

Наиболее эффективно использование имитационных моделей на стадии предпроектных работ и проектирования новых или модернизации существующих предприятий. В этот момент наиболее высоки риски принятия неправильного решения, причем цена каждого решения высока.

3.10 Литература

1. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. Учебное пособие для слушателей программы е-MBI, Академия Ай-Ти –ГУУ, М., 164 с., 2005 г.
2. Лычкина Н.Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах и системах поддержки принятия решений (плeнарный доклад). Вторая всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «Имитационное моделирование. Теория и практика» ИММОД-2005 Сборник докладов, том 1, Санкт-Петербург, 2005 г. (<http://www.gpss.ru>)
3. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004.-847 с.
4. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с Anylogic 5.,- БХВ, Санкт-Петербург, 2006.- 400с.
5. <http://www.xjtek.ru>
6. <http://www.siemens.com/plm>