

Министерство науки и
высшего образования
Российской Федерации



**М. А. Медведева, А. О. Коломыцева,
А. Ю. Вишнякова, Е. А. Искра**

СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Электронный текстовый ресурс

Учебный материал предназначен для студентов, изучающих теорию принятия решений и использующих системы поддержки принятия управленческих решений при выполнении проектных, научно-исследовательских работ и отчетов по практике, обучающихся по направлениям подготовки 38.03.05 «Бизнес-информатика» (бакалавриат), 38.04.05 «Бизнес-информатика» (магистратура), 09.04.04 «Прикладная информатика» (магистратура)

Подготовлено кафедрой Анализа систем и принятия решений УрФУ,
совместно с кафедрой Экономической кибернетики ГОУ ВПО «ДонНУ»

Екатеринбург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	4
1. Введение в системы поддержки принятия управленческих решений с применением принципов системной динамики	6
1.1. Актуальность и основные понятия теории принятия управленческих решений.....	6
1.2. Моделирование как метод принятия управленческих решений	12
1.3. Имитационное моделирование бизнес-систем в процессе поддержки и принятия управленческих решений. Введение в системную динамику	21
1.4. История и основные понятия систем поддержки принятия решений.....	30
1.5. Общая структура моделей системной динамики для анализа и моделирования данных в системе поддержки принятия управленческих решений.....	37
1.6. Построение и анализ диаграмм причинно-следственных связей	48
1.7. Использование методов системной динамики для целей повышения гибкости финансовых решений	55
2. Разработка прикладных моделей систем поддержки принятия решений и их реализация в среде имитационного моделирования Powersim Studio 7.0.....	69
2.1. Разработка модели анализа динамики процесса «изменение уровня воды в баке»	70
2.2. Разработка модели динамики финансов банковского вклада	93
2.3. Разработка паутинообразной модели установления рыночного равновесия	100
2.4. Оптимизационный эксперимент на примере поиска минимума функции	117
2.5. Создание контура регулирования в модели «передвижки возрастов»....	121

2.6. Разработка модели обслуживания клиентов ресторана и использование встроенных функций Powersim Studio 7.0	137
2.7. Решение задачи оптимизации численности персонала проекта информатизации	148
2.8. Решение задачи проектирования аналитической системы управления финансовым обеспечением проектов информатизации.....	170
Глоссарий	191
Приложение 1	196
Библиографический список.....	199

ПРЕДИСЛОВИЕ

Электронный ресурс предназначен для студентов УрФУ, обучающихся по направлениям подготовки 38.03.05 «Бизнес-информатика» (бакалавриат), 38.04.05 «Бизнес-информатика» (магистратура), 09.04.03 «Прикладная информатика» (магистратура), изучающих дисциплины: Проект по модулю Методы принятия решений, Производственная практика, НИР, Проект по модулю Инструменты поддержки принятия решений в рамках модулей: Методы принятия решений, Практика, Инструменты поддержки принятия решений, а также может быть использован в качестве дополнительной литературы для дисциплин Методы принятия управленческих решений, Имитационное моделирование, Методы оптимальных решений, Технологии принятия решений, Теория принятия решений, Математическое моделирование.

Рассматриваются теоретические и практические аспекты принятия управленческих решений с применением технологий имитационного моделирования и метода системной динамики как основного инструмента реализации экспериментального моделирования в управлении изменениями и изучении условий обеспечения стратегии развития целевой архитектуры предприятия.

Ресурс представлен двумя разделами. Первый раздел освещает теоретические основы систем поддержки принятия управленческих решений, раскрывает методологию системной динамики для анализа и моделирования данных с формализацией основных математических зависимостей. Во втором разделе представлено подробное описание базовых и прикладных системно-динамических моделей, а также последовательность их создания от концептуальной схемы до использования, с применением прикладной среды имитационного моделирования Powersim Studio 7.0. Оба раздела содержат контрольные вопросы и индивидуальные задания для самостоятельной работы.

Таким образом, ЭОР позволит обучающимся ознакомиться со спецификой использования систем поддержки принятия решений в управленческих задачах, а также научиться самостоятельно применять метод системной динамики для

анализа и прогнозирования экономической эффективности разрабатываемых проектов и приложений.

В конце электронного ресурса представлен глоссарий основных терминов, кроме того, приложение 1 содержит критерии оценки выполнения практических заданий, проектных работ и результатов прохождения практики, как основных мероприятий, для которых рекомендуется использование данного ресурса.

Представленные материалы являются результатом совместного плодотворного научного сотрудничества преподавателей двух вузов-партнеров ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина и ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», осуществляемое в рамках сетевой образовательной программы 38.04.05 «Международный электронный бизнес».

Первый раздел составлены авторами Е. А. Искрой и А. Ю. Вишняковой, второй – М. А. Медведевой и А. О. Коломыцевой.

1. ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРИНЦИПОВ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ

1.1. АКТУАЛЬНОСТЬ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Любая управленческая деятельность тесно связана с принятием соответствующих решений по различным управленческим ситуациям. В настоящее время продолжается тенденция к усложнению задач принятия управленческих решений. Влияние на это оказывали и продолжают оказывать:

- расширяющиеся масштабы и разнообразие экономического и социально-культурного строительства;
- усложнение и «разветвление» финансовых, экономических, социальных, технических, организационных связей;
- ускорение темпов общественно-политических процессов;
- увеличение объемов информации, которую нужно использовать и перерабатывать;
- увеличение значения правовых вопросов;
- ограниченность природных и трудовых ресурсов;
- стремительное развитие науки и техники и т.д.

Все эти факторы повышают сложность решаемых задач, требований к качеству управленческих решений и к оперативности их принятия и реализации. Прогнозирование, предвидение и учет по возможности всех или большинства последствий принимаемых решений приобретают в этой связи все большее значение. В этих условиях интеллектуальные возможности человека могут войти в противоречие с объемом информации, который необходимо осмыслить и переработать в ходе управления разнообразными технологическими и социальными процессами. Вследствие этого возрастает опасность срыва управления.

Таким образом, проблема принятия рациональных (а в идеале – оптимальных) управленческих решений в настоящее время актуальна и стоит весьма остро.

Основой управления, как известно, является *решение*. *Решение* – это набор управленческих воздействий (действий со стороны лица, принимающего решения) на объект (*систему*, комплекс и т. д.) управления, позволяющий привести данный объект в желаемое состояние или достичь поставленной перед ним *цели* (решить проблему, задачу).

В рамках социально-экономических систем *решение* – это результат анализа, прогнозирования, оптимизации и выбора альтернативы из множества вариантов достижения конкретной *цели*.

Для того чтобы быть эффективным, решение должно удовлетворять ряду требований, представленных в таблице 1.

Таблица 1

Основные требования, предъявляемые к управленческим решениям¹

№ п/п	Требования, предъявляемые к решениям	Содержание требования
1	Быть реальным	Исходить из достижимых целей, реально располагаемых ресурсов и времени и содержать: - цели; - декомпозицию цели на задачи; - оценку располагаемых и потребных ресурсов; - сценарий достижения целей в результате решения задач и другие элементы соответствующей направленности
2	Содержать механизм реализации	Содержание решения должно включать разделы, охватывающие организацию, стимуляцию, контроль при реализации решений
3	Быть научно обоснованным, компетентным	Решение должно отражать объективные закономерности развития объекта и системы управления им. Каждое решение, противоречащее этим закономерностям, влечет за собой серьезные последствия, замедляет развитие системы
4	Отвечать требованиям экономичности и оптимальности	Эффективность состоит в том, чтобы обеспечить достижение намеченных в решении целей при наименьших и оптимальных затратах ресурсов (трудовых, материальных и финансовых)
5	Быть комплексным	- необходимость учета всех благоприятных и неблагоприятных факторов, относящихся к решаемой проблеме; - рациональное использование логического мышления и интуиции при принятии решения; - применение информационных технологий при формировании и выборе решения

¹ Вотякова И. В. Разработка управленческих решений: учебное пособие для бакалавров/И. В. Вотякова, – Северск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2014.– 131с.

№ п/п	Требования, предъявляемые к решениям	Содержание требования
6	Быть директивным	Обязательность исполнения, что обеспечивается полномочностью руководителя
7	Быть полномочным	Принимается органом или лицом, имеющим право принимать именно это решение
8	Быть своевременным	С момента возникновения проблемной ситуации до принятия решения в объекте управления не должно произойти необратимых явлений, делающих это решение ненужным; особенно актуально во время нештатных ситуаций
9	Быть реализуемым	Не содержать положений, которые помешают исполнению в результате порождаемых ими конфликтов
10	Быть гибким	- изменять цель и пути достижения цели при изменении внешних или внутренних условий; - содержать описание состояний объекта управления, внешней среды, при которых должно быть приостановлено выполнение решения и начата разработка нового решения
11	Быть точным, ясным, лаконичным	Простота и лаконичность, строгость формы помогают лучше усвоить требования управленческого решения исполнителями, что является залогом его успешной реализации и исключения разночтений

Процесс *принятия решений (ПР)* – это один из этапов управленческой деятельности, на котором происходит выбор наиболее предпочтительного решения из допустимого множества решений, или упорядочение множества решений по их важности².

Математическая теория принятия решений в сложных ситуациях, которую часто называют *теорией принятия решений (ТПР)* – это область исследования, которая занимается разработкой общих методов анализа ситуаций принятия решений. При помощи этих методов вся информация о *проблеме*, включая сведения о предпочтениях *лица, принимающего решение* и его отношении к риску, а также суждения о возможных реакциях других субъектов на принятые им решения, используется для получения вывода о том, какой из вариантов решения проблем и задач, а также способов достижения *желаемого* результата, является наилучшим.

Лицо, принимающее решение (ЛПР) – один или несколько человек (коллектив), на которых лежит ответственность за принятое решение.

² Афоничкин А. И., Михаленко Д. Г. Управленческие решения в экономических системах: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2009. – 480 с.

Функции, выполняемые ЛПР по организации разработки (принятия) решения, заключаются в следующем:

- управление процессом выработки решения;
- определение задачи, участие в ее конкретизации и выборе критериев оценки эффективности решения;
- окончательный выбор из имеющихся вариантов решения и ответственность за него;
- организация реализации разработанного решения исполнителями³.

Теория принятия управленческих решений (ТПУР) – прикладная управленческая дисциплина, которая изучает методы разработки и реализации управленческих решений.

Как известно, теория управления как система научных знаний начала формирование в начале XX века, а началом интенсивного развития теории принятия управленческих решений как научной дисциплины можно считать 40-е годы, когда во время второй мировой войны в Англии группе ученых было поручено решение сложных управленческих проблем, связанных с оптимизацией размещения объектов гражданской обороны, огневых позиций, глубины подрыва противолодочных бомб и конвоя транспортных караванов.

Основоположниками теории принятия решений считаются такие ученые как О. Моргенштерн и Дж. Фон Нейман, которые в 1944 году издают книгу «Теория игр и экономическое поведение». Позднее зарубежные специалисты Р. Акофф, Ф. Эмери, Ст. Оптнер, Р. Льюс, Х. Райфа, Ст. Бир, Дж. Форрестер и др., а также отечественные – А. Г. Венделин, Д. М. Гвишиани, О. И. Ларичев, И. М. Сыроежин и другие внесли существенный вклад в развитие и обогащение этой теории.

В 50-60-е годы сложившаяся и получившая широкое использование система методов принятия управленческих решений была переосмыслена и сфор-

³ Засканов В. Г. Системы поддержки принятия решений [Электронный ресурс]: электрон. курс в системе дистанц. обучения Moodle / В. Г. Засканов, Д. Ю. Иванов, Г. М. Гришанов. - Самара, 2013.

мулирована в виде специально возникших научных дисциплин, таких, как исследование операций (ИО), системный анализ (СА), управление техническими системами (УТС) и др.

Однозначное определение места ИО, СА и ТПР среди наук математического характера, относящихся к управлению, затруднено их взаимным проникновением и пересечением выполняемых функций (рисунок 1)⁴.

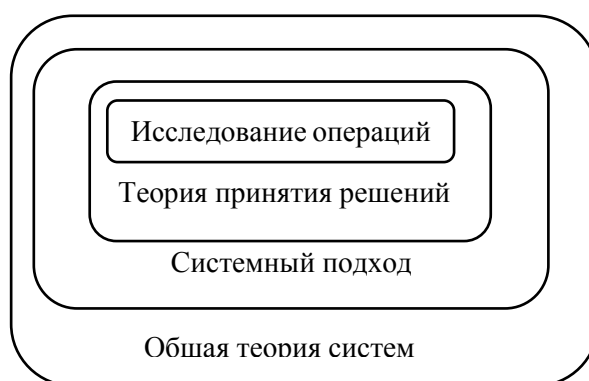


Рис. 1. Взаимосвязь научных дисциплин

Как видно из рисунка 1, методологическую основу ТПР составляют элементы научной базы системного подхода, принципы которого практически реализуются в элементах научной базы системного анализа.

Так как теория принятия решений ориентируется на разработку и поиск оптимальных результатов по достаточно сложным проблемам, со значительным количеством связей и зависимостей, ограничений и вариантов решений, то использование системного подхода в качестве методологической базы разрешения подобных проблем является совершенно необходимым.

Вспомнить или ознакомиться с историей, основными понятиями общей теории систем и системного анализа, а также рассмотреть примеры практического применения некоторых методов и моделей системного анализа на первых этапах жизненного цикла решения проблемы: от обнаружения проблемы до разработки концепции ее решения (таблица 2), можно в учебном пособии авторов

⁴ Поспелов Г. С., Ириков В. А. Программно-целевое планирование и управление. М.: Сов.радио, 1976.

А. Ю. Вишняковой, Д. Б. Берга Прикладной системный анализ в сфере ИТ: предварительное проектирование и разработка документ-концепции информационной системы.

Таблица 2

Жизненный цикл решения проблемы⁵

Этапы системного подхода к решению проблемы	Примеры возможных подэтапов системного анализа решения проблемы
Декомпозиция и анализ	1. Работа с проблемой: - обнаружение проблемы; - формулировка проблемы; - определение актуальности и уточнение проблемы; - анализ развития проблемы в прошлом и будущем; - анализ разрешимости. 2. Работа с целями: - формулировка целей решения проблемы; - выявление ограничений среды; - определение критериев достижения цели; - иерархия целей и критериев; - анализ целей на совместимость и вложенность друг в друга; - проверка целей на полноту; - отсеечение избыточных целей. 3. Работа с системой: - определение субъекта наблюдения («наблюдателя»), формирующего систему, и определение его позиции (внешняя или внутренняя); - определение системы; - анализ существующей системы, построение моделей (выделение элементов, определение подсистем, определение среды, структуры, функций); - выявление подсистем, формирующих рассматриваемую проблему. 4. Работа с альтернативами: - разработка максимального количества возможностей (альтернатив) достижения целей; - оценка и сравнение вариантов; - выбор наилучших вариантов; - объединение нескольких вариантов в одно комплексное решение; - выбор решения, формирование концепции решения. 5. Планирование и утверждение решения: - оценка существующих технологий и мощностей; - оценка реализуемых и запланированных проектов; - исследование ресурсных возможностей; - оценка возможностей взаимодействия с другими системами; - планирование мероприятий; - оценка дефицитности и стоимости ресурсов; - распределение сфер деятельности по ответственным организациям, руководителям и исполнителям; - прогноз и анализ будущих условий; - разработка требований к решению; - утверждение решения.

⁵ Вишнякова А. Ю. Прикладной системный анализ в сфере ИТ: предварительное проектирование и разработка документ-концепции информационной системы: учебное пособие / Вишнякова А. Ю., Берг Д.Б., – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020.

Этапы системного подхода к решению проблемы	Примеры возможных подэтапов системного анализа решения проблемы
Синтез решения	1. Осуществление решения: - моделирование решения; - испытание моделей; - оценка и выбор моделей; - оптимизация моделей. 2. Внедрение решения: - подготовка к внедрению; - контроль процесса внедрения и внедрение решения; - оценка эффективности решения проблемы и последствий ее реализации.

В предлагаемом для ознакомления пособии А. Ю. Вишнякова и Д. Б. Берг на этапе работы с альтернативами не рассматривали примеры применения имитационного моделирования в процессе принятия решений, однако овладение методологией системного анализа и оптимизации решений на основе компьютерных имитационных методов и моделей с применением систем поддержки принятия управленческих решений – действенный способ повышения эффективности и качества управления, который будет рассмотрен в данном электронном ресурсе.

1.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Методы принятия управленческих решений – собирательное название методов, связанных с процессами поиска, анализа, оценки, выбора альтернатив, собственно акта принятия решения, а также организации его исполнения с целью решения проблем.

Особое место в системе методов принятия управленческих решений занимает *моделирование* – метод познания, который заключается в представлении предметов, систем, процессов и явлений в виде идеальных абстрактных образов – моделей, и их исследование на основе полученных моделей.

Таким образом, результатом моделирования является *модель* – материальный или идеальный объект, замещающий исследуемую систему и адекватным образом отображающий ее существенные стороны. Модель объекта (процесса,

явления) отражает его свойства и связи между ними. Чем больше свойств и связей воплощено в модели, тем ближе модель к реальному объекту. Учитываемые в модели свойства объекта (из огромного их числа) называются *признаками*, или *характеристиками*. Среди отражаемых в модели признаков различают *переменные* и *параметры*.

Переменные – это признаки, которые могут иметь разные значения и не влияют на характер модели. Признаки, которые оказывают наиболее существенное влияние на поведение моделируемого объекта, называются *факторами*. Качественная либо количественная характеристика переменных осуществляется через показатели.

Взаимосвязь между переменными модели отражается через *параметры* – относительно постоянные характеристики модели, изменение которых ведет к изменению характера самой модели.

Моделирование и модели, применяемые в управлении, можно подразделить на следующие их виды:

1. *Эвристическое (логическое) моделирование* – в его основе лежат интуитивные и логические способы выработки наилучшего варианта действий. Данный вид моделирования предполагает использование знаний, умений и опыта ЛПР. Эвристическое моделирование применяется обычно в следующих случаях:

- при наличии опыта решения подобных проблем;
- в условиях недостатка информации или времени для решения;
- когда проблема не формализуема, слабо структуризована или ее решение не может быть представлено в виде четкого алгоритма действий;
- когда применение других, более сложных видов моделирования экономически не целесообразно.

2. *Графическое моделирование* – отражение объектов и процессов в виде графиков, схем, диаграмм и т. д. Широкое распространение получили, например, сетевые графики, предназначенные для обеспечения согласования действий большого числа исполнительских звеньев и соблюдения установленных сроков выполнения работ. В практике управления находят применение графические

средства регламентации управленческой деятельности – оперограммы, организграммы, процедурограммы и др.

3. *Натурное моделирование* – моделирование, при котором реальному объекту ставится в соответствие его увеличенный или уменьшенный материальный аналог, допускающий исследование с помощью последующего перенесения свойств изучаемых процессов и явлений с модели на объект на основе теории подобия. На предприятиях данный вид моделирования находит отражение, например, в моделях проектируемых хозяйственных объектов, экспериментальных и опытных образцах продукции и т. д.

4. *Физическое моделирование* – отражение объектов в виде изменений физических величин (например, электрических). Используется на производстве при проектировании новых видов продукции, техпроцессов и т. п., а также в системах автоматизированного проектирования, автоматизированных рабочих местах различных категорий служащих.

5. *Математическое моделирование* (в приложении к экономическим объектам – *экономико-математическое*) применяется в отношении тех объектов и процессов, характеристики и связи в которых могут быть оценены количественно. Математические модели представляются в виде различного рода уравнений, соотношений и т. д. и используются в основном на этапе принятия решений. Этап реализации связан в основном с организационной работой и трудно формализуем; моделирование в данном случае сводится к разработке планов реализации решения и контролю за их выполнением. По способам отражения фактора времени экономико-математические модели делятся на *статические* и *динамические*. В статических моделях все зависимости относятся к одному моменту или периоду времени. Динамические модели характеризуют изменения экономических процессов во времени. Также, математическое моделирование можно разделить на *аналитическое, имитационное, комбинированное*.

6. *Аналитическое моделирование* – моделирование, которое основано на косвенном описании моделируемого объекта с помощью набора математических

формул. При этом предполагается использование математической модели реального объекта в форме алгебраических, дифференциальных, интегральных, и других уравнений, связывающих выходные переменные с входными. Наиболее существенно то, что аналитическая модель не является структурно подобной объекту моделирования. Под структурным подобием тут понимается однозначное соответствие элементов и связей модели элементам и связям моделируемого объекта. К аналитическим моделям относятся модели, построенные на основе аппарата математического программирования, корреляционного, регрессионного анализа⁶. Аналитические модели являются эффективным средством для решения задач оптимизации или вычисления характеристик различного рода систем, в том числе информационных, производственных и др., однако в ряде практических задач применение аналитических моделей затруднительно из-за их большой размерности.

7. Имитационное моделирование – частный случай математического моделирования, метод исследования, при котором изучаемая система заменяется моделью, с достаточной точностью описывающей реальную систему (построенная модель описывает процессы так, как они проходили бы в действительности), с которой проводятся *эксперименты* с целью получения информации об этой системе. В отличие от предыдущих видов отражает поведение объектов в динамике, в «реальном масштабе времени». В имитационных моделях по желанию лица, осуществляющего моделирование, могут изменяться не только переменные, но и параметры модели.

Созданы многочисленные модели, которые имитируют:

- поведение разнообразных хозяйствующих субъектов в условиях рынка;
- выполнение отдельных функций управления организацией (маркетинг, планирование, материально-техническое снабжение, сбыт и др.);
- функционирование отдельных производственных подразделений предприятия и т. д.

⁶ Марков Р. И. Моделирование: курс лекций. / Р. И. Марков – В.: Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – 2013г. – 132 с.

Разновидностью имитационного моделирования являются так называемые «деловые игры», в процессе которых группе лиц предлагается решить определенную производственную или управленческую проблему (реальную или искусственно заданную). При этом условия игры заранее оговариваются.

8. *Комбинированное (аналитико-имитационное) моделирование* при анализе и синтезе систем позволяет объединить достоинства аналитического и имитационного моделирования.

9. *Эксперимент* – моделирование на реальных объектах. Применяется для проверки вариантов решения проблемы (гипотез), выработанных другими методами моделирования. Это дорогостоящий вид моделирования и к нему следует прибегать в тех случаях, когда возможности других разновидностей моделирования исчерпаны. Он находит выражение в различного рода экономических и социальных экспериментах (например, по переходу на новые формы организации и управления производством). Применяется в испытаниях опытных образцов продукции, выпуске установочных серий (первых промышленных партий) продукции и т. д.

10. Однако часто проведение эксперимента невозможно либо требует слишком больших экономических затрат и может привести к нежелательным последствиям. В этом случае исследуемый объект заменяют *компьютерной моделью* и исследуют ее поведение при различных внешних воздействиях. Повсеместное распространение персональных компьютеров и развитие информационных технологий сделало компьютерное моделирование одним из результативных методов изучения систем. Часто компьютерные модели проще и удобнее исследовать, они позволяют проводить *вычислительные эксперименты*, реальная постановка которых затруднена или может дать непредсказуемый результат. Логичность и формализованность компьютерных моделей позволяет выявить основные факторы, определяющие свойства изучаемых объектов, исследовать отклик физической системы на изменения ее параметров и начальных условий.

Компьютерное моделирование требует абстрагирования от конкретной природы явлений, построения сначала качественной, а затем и количественной

модели. За этим следует проведение серии вычислительных экспериментов на компьютере, интерпретация результатов, сопоставление результатов моделирования с поведением исследуемого объекта, последующее уточнение модели и т.д. *Вычислительный эксперимент* фактически является экспериментом над математической моделью исследуемого объекта, проводимого с помощью ЭВМ. Часто он значительно дешевле и доступнее натурного эксперимента, его выполнение требует меньшего времени, он дает более подробную информацию о величинах, характеризующих состояние системы.

Конечно, это не единственный взгляд на возможную классификацию моделей (таблица 3).

Таблица 3

Классификация моделей

Виды моделей	
<i>Классификация по характеру моделируемой стороны объекта</i>	
Кибернетические (функциональные) модели	Моделируемый объект рассматривается как «черный ящик», внутреннее устройство которого неизвестно. Поведение такого «черного ящика» может описываться математическим уравнением, графиком или таблицей, которые связывают выходные сигналы (реакции) устройства с входными (стимулами). Структура и принципы действия такой модели не имеют ничего общего с исследуемым объектом, но функционирует она похожим образом. <i>Пример:</i> компьютерная программа, моделирующая игру в шашки.
Структурные модели	Структура данных моделей соответствует структуре моделируемого объекта. <i>Пример:</i> командно-штабные учения, день самоуправления и т.д.
Информационные модели	Представляют собой совокупность специальным образом подобранных величин и их конкретных значений, которые характеризуют исследуемый объект. Выделяют вербальные (словесные), табличные, графические и математические информационные модели. <i>Пример:</i> информационная модель студента может состоять из оценок за экзамены, контрольные и лабораторные работы. Информационная модель некоторого производства представляет набор параметров, характеризующих потребности производства, его наиболее существенные характеристики, параметры выпускаемого товара.
<i>Классификация по отношению ко времени</i>	
Статические модели	Модели, состояние которых не изменяется с течением времени. <i>Пример:</i> макет застройки квартала, модель кузова машины и т.д.
Динамические модели	Представляют собой функционирующие объекты, состояние которых непрерывно изменяется. <i>Пример:</i> действующие модели двигателя и генератора, компьютерная модель развития популяции, анимационная модель работы ЭВМ и т.д.
<i>Классификация по способу представления состояния системы</i>	
Дискретные модели	Это автоматы – реальные или воображаемые дискретные устройства с некоторым набором внутренних состояний, преобразующие входные сигналы в выходные в соответствии с заданными правилами. Динамика дискретных моделей представляет собой процесс перехода от момента наступления очередного события к моменту наступления следующего события. <i>Пример:</i> релейно-контактные переключательные схемы, коммутационные системы АТС, алгоритмы и т.д.

<i>Виды моделей</i>	
Непрерывные модели	Это модели, в которых протекают непрерывные процессы, и состояние моделируемой системы меняется как непрерывная функция времени. Как правило, это изменение описывается системами дифференциальных уравнений. <i>Пример:</i> использование аналоговой ЭВМ для решения дифференциального уравнения, изменение атмосферного давления в течении дня и т.д.
Дискретно–непрерывные модели	Дискретно-непрерывная модель представляет собой комбинацию моделей двух типов - дискретной и непрерывной.
<i>Классификация по степени случайности моделируемого процесса</i>	
Детерминированные модели	Модели, которым свойственно переходить из одного состояния в другое в соответствии с жестким алгоритмом, то есть между внутренним состоянием, входными и выходными сигналами имеется однозначное соответствий. <i>Пример:</i> модель светофора.
Стохастические модели	Это модели, функционирующие подобно вероятностным автоматам; сигнал на выходе и состояние в следующий момент времени задается матрицей вероятностей. <i>Пример:</i> компьютерная модель передачи сообщений по каналу связи с шумом и т.д.
<i>Классификация по способу реализации</i>	
Абстрактные (нематериальные) модели	Абстрактные модели нельзя потрогать, они не имеют вещественного воплощения. <i>Пример:</i> структура алгоритма, которая может быть представлена с помощью блок-схемы, функциональная зависимость, дифференциальное уравнение, описывающее некоторый процесс. К абстрактным моделям также можно отнести различные графические модели, схемы, структуры, а также анимации.
Материальные (физические, реальные) модели	Представляют собой неподвижные макеты либо действующие устройства, функционирующие в чем-то подобно исследуемому объекту. Реальное моделирование предусматривает построение материальной модели объекта и выполнение с ней серии экспериментов. <i>Пример:</i> для изучения движения подводной лодки в воде строят ее уменьшенную копию и моделируют течение с помощью гидродинамической трубы.
...	

Стоит отметить, что в основе теории моделирования также лежит общая теория систем и системный подход.

Перечислим *принципы моделирования*⁷:

1. *Принцип адекватности.* Модель должна учитывать наиболее существенные стороны исследуемого объекта и отражать его свойства с приемлемой точностью. Только в этом случае результаты моделирования можно распространить на объект исследования.

2. *Принцип простоты и экономичности.* Модель должна быть достаточно простой для того чтобы ее использование было эффективно и экономически выгодно. Она не должна быть более сложной, чем это требуется для исследователя.

⁷ Майер Р. В. Компьютерное моделирование: учебно-методическое пособие для студентов педагогических вузов. - Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2015.

3. *Принцип информационной достаточности.* При полном отсутствии информации об объекте построить модель невозможно. При наличии полной информации моделирование лишено смысла. Существует уровень информационной достаточности, при достижении которого может быть построена модель системы.

4. *Принцип осуществимости.* Создаваемая модель должна обеспечивать достижение поставленной цели исследования за конечное время.

5. *Принцип множественности и единства моделей.* Любая конкретная модель отражает лишь некоторые стороны реальной системы. Для полного исследования необходимо построить ряд моделей, отражающих наиболее существенные стороны исследуемого процесса и имеющих что-то общее. Каждая последующая модель должна дополнять и уточнять предыдущую.

6. *Принцип системности.* Исследуемая система представима в виде совокупности взаимодействующих друг с другом подсистем, которые моделируются стандартными математическими методами. При этом свойства системы не являются суммой свойств ее элементов.

7. *Принцип параметризации.* Некоторые подсистемы моделируемой системы могут быть охарактеризованы единственным параметром (вектором, матрицей, графиком, формулой).

Модель должна удовлетворять следующим *требованиям*:

- быть адекватной, то есть отражать наиболее существенные стороны исследуемого объекта с требуемой точностью;
- способствовать решению определенного класса задач;
- быть простой и понятной, основываться на минимальном количестве предположений и допущений;
- позволять модифицировать и дополнять себя, переходить к другим данным;
- быть удобной в использовании.

Выбор метода моделирования для решения поставленной задачи, проблемы или исследования системы является актуальной задачей, с которой системный аналитик должен уметь справляться.

В практике управления наиболее эффективным является комплексное использование различных видов моделирования. Однако это возможно лишь при наличии современных средств обеспечения процессов принятия решений. Свое наиболее яркое выражение эти средства находят в *экспертных системах* – специальных человеко-машинных системах, которые на основе использования баз данных и баз знаний о конкретном объекте в зависимости от задаваемых условий функционирования объекта предлагают различные варианты решения проблем.

Эффективное использование диалога «человек-машина» предполагает выполнение следующих условий:

1. Удобство общения (доступа человека к машине).
2. Психологическая готовность человека к общению с ЭВМ.
3. Достаточный уровень машинного интеллекта (ЭВМ должна располагать необходимыми данными, скоростью обработки информации, универсальностью языка, объемом памяти и др.). Диалоговые средства должны позволять обмен буквенно-цифровой информацией, различной графической информацией, а также желателен речевой или рукописный ввод данных.

Преимущество компьютера состоит в огромных быстродействии и памяти, что делает его необходимым практически во всех областях человеческой деятельности. В принятии решений важнейшими областями, в которых компьютер становится ближайшим помощником человека, являются⁸:

- быстрый доступ к информации, накопленной в компьютере лица, принимающего решение, или в компьютерной сети;
- осуществление оптимизации или интерактивной имитации, основанных на математических или эвристических моделях;

⁸ Майстренко, А. В. Компьютерная поддержка инженерной и научно-образовательной деятельности: учебное пособие / А. В. Майстренко, Н. В. Майстренко. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2013. – 80 с.

- нахождение в базах данных принятых ранее решений в ситуациях, подобных исследуемым, для использования ЛПР в подходящий момент;
- использование знаний лучших в своей области специалистов, включенных в базы знаний экспертных систем;
- представление результатов в наиболее подходящей для ЛПР форме.

Но традиционное использование ЭВМ не самое эффективное. Руководитель, кроме информации из базы данных, кроме некоторых экономических или технологических расчетов, в своей деятельности встречается с большим количеством задач по управлению системой, которые не решаются в рамках традиционных информационных технологий.

В связи с необходимостью решения задач подобного рода были разработаны компьютерные системы нового типа – *системы поддержки принятия решений (СППР)*. Характеристики и особенности данных систем приводятся далее, в подразделе 1.4. данного ресурса, а пока подробнее рассмотрим метод имитационного моделирования.

1.3. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ПОДДЕРЖКИ И ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ. ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМНУЮ ДИНАМИКУ

Имитационное моделирование отличается высокой степенью общности, создает предпосылки к созданию унифицированной модели, выступает средством для интеграции моделей различных классов, позволяет решать задачи исключительной сложности и обеспечивает имитацию любых сложных и многообразных процессов с большим количеством элементов. Поэтому имитационное моделирование эффективно используется *в задачах исследования систем со сложной структурой с целью решения конкретных проблем* и находит широкое применение в самых различных сферах:

1. В экономических исследованиях:

- моделировании производственных систем и логистических процессов, маркетинге, моделировании бизнес процессов.
2. В социально-экономических исследованиях:
- моделировании экономических реформ, региональных процессов, социологии и политологии.
3. Моделировании транспортных, информационных и телекоммуникационных систем, глобальном моделировании мировых процессов.

Имитационное моделирование является наиболее ценным, системообразующим звеном в *системах поддержки принятия решений*, т.к. позволяет исследовать большое число *альтернатив* (вариантов решений), проигрывать различные сценарии при любых входных данных. Главное преимущество имитационного моделирования состоит в том, что исследователь для проверки новых стратегий и принятия решений, при изучении возможных ситуаций, всегда может получить ответ на вопрос «*Что будет, если? ...*».

Имитационные модели – это модели прогонного типа, у которых есть вход и выход. То есть, если подать на вход имитационной модели определенные значения параметров (переменных, структурных взаимосвязей), можно получить результат, который действителен только при этих значениях. На практике имитационная модель дает результаты, которые действительны только для определенных значений параметров, переменных и структурных взаимосвязей, заложенных в имитационную программу. Изменение параметра или взаимосвязи означает, что имитационная программа должна быть запущена вновь. Поэтому, для получения необходимой информации или результатов необходимо осуществлять *прогон* имитационных моделей, а не решать их. Имитационная модель не способна формировать свое собственное решение в том виде, как это имеет место в аналитических моделях, а может служить в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором.

Имитационная модель позволяет прогнозировать, когда речь идет о проектируемой системе или исследуются процессы развития (т.е. в тех случаях, когда

реальной системы не существует). В имитационной модели может быть обеспечен различный (в том числе и очень высокий) *уровень детализации* моделируемых процессов. При этом модель создается поэтапно, постепенно, без существенных изменений, *эволюционно*.

Определим *метод имитационного моделирования* в самом общем виде как экспериментальный метод исследования реальной системы по ее имитационной модели, который сочетает особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники⁹.

Имитационное моделирование включает в себя ряд основных этапов, представленных на рисунке 2 и является сложным итеративным процессом:

1. *Формулировка проблемы и определение целей имитационного исследования*. Документированным результатом на этом этапе является составленное *содержательное описание объекта моделирования*.

2. *Разработка концептуального описания*. Результатом деятельности системного аналитика является *концептуальная модель* (или вербальное описание) и *выбор способа формализации* для заданного объекта моделирования.

3. *Формализация имитационной модели*. Составляется *формальное описание* объекта моделирования.

4. *Программирование имитационной модели (разработка программы-имитатора)*. На этапе осуществляется выбор средств автоматизации моделирования, алгоритмизация, программирование и отладка имитационной модели.

5. *Испытание и исследование модели, проверка модели*. Проводится верификация модели, оценка адекватности, исследование свойств имитационной модели и другие *процедуры комплексного тестирования* разработанной модели.

6. *Планирование и проведение имитационного эксперимента*. На данном этапе осуществляется стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. Результатом является составленный и реализованный *план эксперимента*, заданные *условия имитационного прогона* для выбранного плана.

⁹ Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие для слушателей программы eMBI Академия АйТи / Лычкина Н. Н. – М.: Государственный университет управления, 2005. – 164 с.

7. *Анализ результатов моделирования.* Исследователь проводит интерпретацию результатов моделирования и их использование – собственно принятие решений.

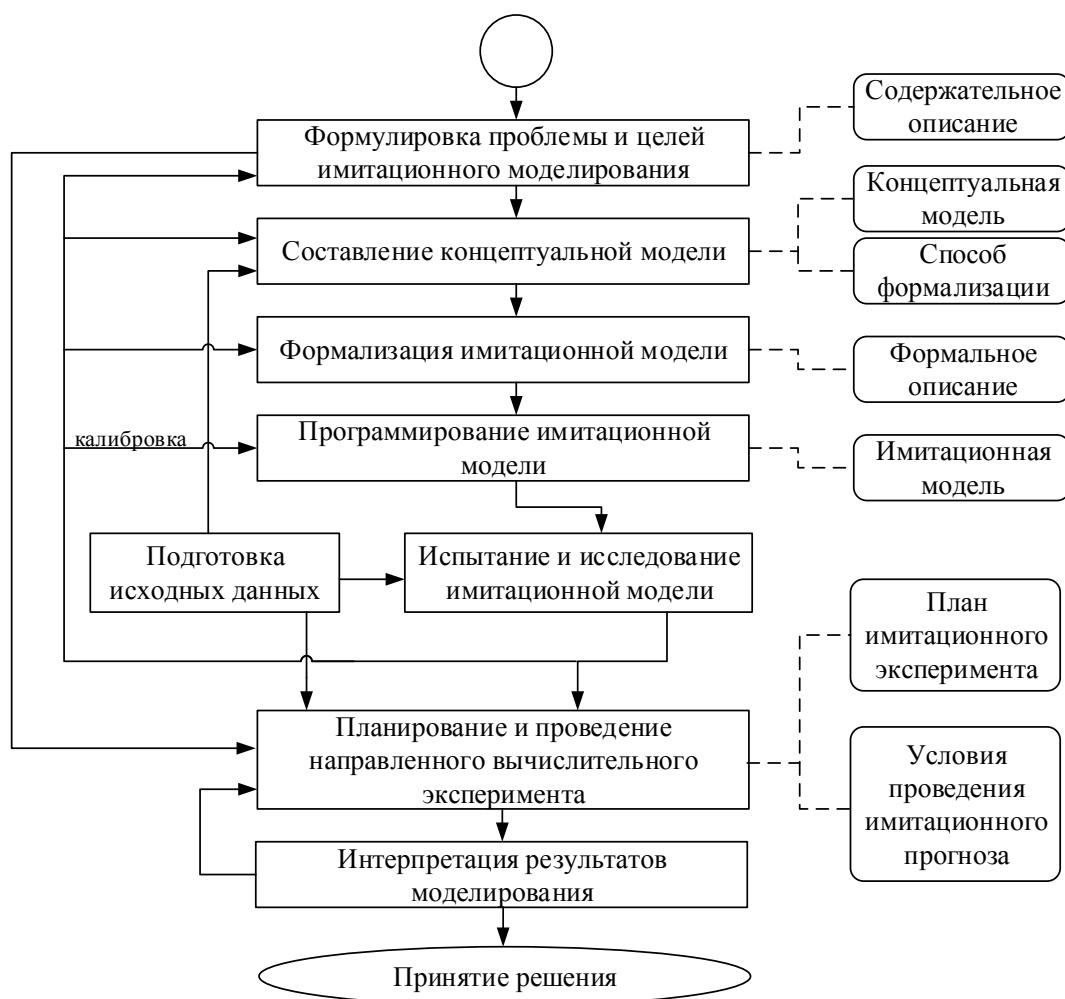


Рис. 2. Технологические этапы имитационного моделирования¹⁰

В процессе имитационного моделирования бизнес-систем (рисунок 3) исследователь имеет дело с четырьмя основными элементами:

1. Реально-функционирующая бизнес-система, описание бизнес-процессов.
2. Логико-математическая модель моделируемого объекта, или элементы, связи между ними для моделируемой системы.

¹⁰ Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие для слушателей программы eMBI Академия АйТи / Лычкина Н. Н. – Москва: Государственный университет управления, 2005. – 164 с.

3. Имитационная, сценарная, либо системно-динамическая модель.
4. Программная среда для работы с ЭВМ, на которой осуществляется имитация – направленный вычислительный эксперимент и моделируются альтернативы управленческих решений.



Рис. 3. Процесс имитационного исследования процессов современных бизнес-систем

Исследователь изучает реальную бизнес-систему, разрабатывает ее логико-математическую модель, на основе которой строится моделирующий алгоритм, который описывает структуру и логику взаимодействия элементов в системе. Программная реализация моделирующего алгоритма – есть *имитационная модель*, составленная с применением средств автоматизации моделирования.

Имитационная модель содержит элементы непрерывного и дискретного действия, поэтому применяется для исследования динамических систем, когда требуется анализ узких мест, исследование динамики функционирования, когда желательно наблюдать на имитационной модели ход процесса в течение определенного времени.

В имитационном моделировании к настоящему моменту сложились три самостоятельные парадигмы, которые соответствуют различным уровням абстракции, обуславливающим выбор подходов (таблица 4).

Парадигмы имитационного моделирования

№	Парадигма	Уровень абстракции
1	Системная динамика	высокий (стратегический)
2	Дискретно-событийное моделирование	средний (тактический)
3	Агентное моделирование	низкий (оперативный)

В рамках данного ЭОР будет рассмотрим первую парадигму – системную динамику. Как видно из таблицы 4, системная динамика позволяет моделировать сложные системы на высоком уровне абстракции, не принимая в расчет мелкие детали: индивидуальные свойства отдельных продуктов, событий или людей. Такие модели позволяют получить общее представление о системе и хорошо подходят для стратегического планирования. Методы и техника построения моделей системной динамики оказали большое влияние на формирование технологии имитационного моделирования.

Концепция системной динамики была создана в середине 1950-х годов Джейм Форрестером, который в своих основных работах («Индустриальная динамика» (1961), «Динамика города» (1970), «Мировая динамика» (1974)) изложил метод системной динамики, или концепцию потокового подхода в имитации, а также исследовал динамику предприятия, урбанизированной территории, проблемы развития человеческой цивилизации на основе предложенной концепции.

В современных экономических исследованиях метод системной динамики в имитационном моделировании последовательно продолжен и развит российским Обществом системной динамики, учеными Н. Н. Лычкиной, Д. Ю. Каталевским, А. С. Акоповым и др. Эти исследования представляют собой комплексную методологию для современного анализа проблем формирования стратегической архитектуры и корпоративной динамики предприятия, эффективного управления запасами в логистических системах, а также возможностей прогнозирования характера и структуры региональных систем, выявления дисбалансов

в развитии стран и территорий, сбалансированного управления в архитектуре процессов взаимодействия¹¹.

Системная динамика – это метод имитационного моделирования, основанный на представлении системы на высоком уровне абстракции как совокупности потоков, накопителей, вспомогательных переменных и субмоделей со своими элементами.

Системная динамика является одним из наиболее мощных инструментов, используемых в настоящее время для анализа и проектирования сложных систем, изучения задач, связанных с этими системами. Главными особенностями таких систем является то, что они динамические (изменяющиеся во времени), содержат петли обратной связи, а также их структура характеризуется задержками, нелинейностью и переменчивостью причин сложного поведения. Системная динамика дает возможность исследователю экспериментировать с системами (существующими или предполагаемыми) в тех случаях, когда делать это на реальном объекте практически невозможно или нецелесообразно.

Системно-динамические модели не способны формировать свое собственное решение в том виде, в каком это имеет место в аналитических моделях, а могут лишь служить в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором.

Можно выделить три основные преимущества, а, следовательно, и области применения динамического моделирования:

- сложные слабоформализованные ситуации, в которых невозможно применение аналитических методов или они настолько сложны и трудоемки, что динамическое моделирование дает более простой способ решения проблемы;

¹¹ Коломыцева А. О. Системы поддержки принятия решений: учеб. пособие для студентов образоват. учреждений высш. проф. образования / А. О. Коломыцева, Е. А. Искра, Л. А. Головань; ГОУВПО «ДОННТУ». – Донецк, 2019. – 160 с.

- моделирование поведения систем в ситуациях, которые ранее не встречались; в данном случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий управления системой перед проведением эксперимента на реальном объекте;
- моделирование ситуаций, наблюдение которых осложнено большой длительностью их развития или наоборот, то есть когда необходимо контролировать развитие ситуации путем ускорения или замедления явлений в ходе имитации.

Модели системной динамики получили широкое распространение в задачах исследования сложных систем из сферы производства и экономики, торговли и городского хозяйства, из области социальных проблем, проблем экологии и охраны окружающей среды. Эти модели были первыми *машинными моделями*, положившими начало новому направлению в системных исследованиях – так называемому глобальному моделированию, охватывающему проблемы мирового развития – моделирование мировой экономической системы¹².

Методология системной динамики включает *качественную* и *количественную* стадии. На качественной стадии исследователь описывает модель и определяет характеристики взаимодействий. На количественной стадии, в ходе компьютерной симуляции, исследователь определяет, насколько верна его модель, и тестирует свои гипотезы о поведении системы. В системной динамике используются четыре основных метода¹³:

1. Причинно-следственные диаграммы (диаграммы каузальных петель обратной связи – causal-loops diagrams).
2. Системные архетипы (system archetypes).
3. Имитационное моделирование (simulation).
4. Имитационные игры-тренажеры (microworlds) – программы для обучения основам принятия решений в определенной управленческой ситуации.

¹² Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие для слушателей программы eMBA Академия АйТи / Лычкина Н. Н. – М.: Государственный университет управления, 2005. – 164 с.

¹³ Каталевский, Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие. – М.: Издательство Московского университета, 2011. – 304 с.

В методах системной динамики компьютерная модель создается *в системе моделирования* с применением графической техники построения диаграмм потоков и причинных связей исследуемой системы, а затем имитируется на компьютере. Разработка системно-динамической модели осуществляется в несколько этапов¹⁴:

1. *Анализ статистических данных.* Идентификация причинно-следственных связей.
2. *Когнитивное моделирование* – разработка карты причинно-следственных связей.
3. *Разработка математической модели*, представленной в виде динамической системы одновременных уравнений. Расчет коэффициентов модели с использованием статистических пакетов.
4. *Реализация математической модели* на платформе имитационного моделирования, поддерживающей методы системной динамики (например, *Powersim*).
5. *Интеграция имитационной модели с источниками данных* (*MS Excel*, базы данных).
6. *Проведение численных экспериментов.* Калибровка модели. Верификация модели на исторических данных (подтверждение адекватности модели).
7. *Поиск лучших управленческих, стратегических и оперативных решений* с помощью системно-динамической имитационной модели.

Такой подход позволяет исследовать поведение сложной системы во времени с учетом всех основных причинно-следственных, в том числе обратных, связей.

В настоящее время в связи с развитием вычислительных возможностей методы системной динамики поддерживаются в различных системах имитационного моделирования, в частности Powersim Studio, iTHINK, AnyLogic, Vensim и

¹⁴ Акопов, А. С. Компьютерное моделирование: учебник и практикум для СПО /А. С. Акопов. – Москва: Издательство Юрайт, 2019. – 389 с.

др., представляющие собой эффективные инструментальные средства программной поддержки техники, процедур и методов системной динамики, в которых возможности моделирования непрерывных и нелинейных динамических систем дополнены удобными графическими интерфейсами.

С помощью этих систем диаграммы создаются на идеографическом уровне, параметризация модели осуществляется в режиме подменю, с использованием средств ввода формульной, табличной и графической информации, в процессе диалогового взаимодействия разработчиков модели и системы моделирования. Системы моделирования имеют развитые средства для проведения и анализа результатов вычислительных экспериментов и сценарных расчетов, что обеспечивает поддержку принятия управленческих решений в проблемных ситуациях.

1.4. ИСТОРИЯ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Как было отмечено ранее, имитационное моделирование является системообразующим звеном в *системах поддержки принятия решений*. Система поддержки принятия решений (СППР) (англ. *Decision Support System, DSS*) – компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности. Можно выделить два основных направления такой помощи¹⁵:

- *облегчение взаимодействия* между данными, процедурами анализа и обработки данных и моделями принятия решений, с одной стороны, и ЛПР, как пользователя этих систем – с другой;
- *предоставление вспомогательной информации*, в особенности для решения неструктурированных или слабоструктурированных задач, для

¹⁵ Алискеров М. Р. Системы поддержки принятия решений: учебное пособие / М. Р. Алискеров. – Махачкала: ДГИНХ, 2011. – 146 с.

которых трудно заранее определить данные и процедуры соответствующих решений.

Но стоит отметить, что в настоящее время нет общепринятого определения СППР, поскольку конструкция СППР существенно зависит от вида задач, для решения которых они разрабатываются, от доступных данных, информации и знаний, а также от пользователей системы. Тем не менее, любые СППР должны обладать такими качествами, которые делают их не только полезными, но и незаменимыми для ЛПР. Как любые информационные системы, СППР должны:

- уметь распознавать двусмысленность и неполноту информации, иметь средства для их преодоления;
- адаптироваться к стилю работы ЛПР, отражать его стиль мышления, поддерживать интуицию, ассистировать все (в идеале) или большинство важных аспектов его деятельности;
- иметь возможность адаптироваться к изменению вычислительных моделей;
- общаться с пользователем на специфическом для управляемой области языке (в идеале на естественном);
- представлять результаты в такой форме, которая способствовала бы более глубокому пониманию результатов.

Таким образом, роль СППР не в том, чтобы заменить руководителя, а в том, чтобы *повысить его эффективность, стать средством усовершенствования его стиля работы*. Система лишь помогает пользователю отыскать те решения, которые представляются ему наилучшими на основе каких-либо данных, но которые, в то же время, без помощи СППР очень трудно или невозможно было бы найти по причине высокой сложности решаемой задачи.

Как результат, СППР возникли благодаря слиянию управленческих информационных систем (УИС) и систем управления базами данных (СУБД). Основные вехи в истории развития СППР представлены в таблице 5.

Основные вехи в истории развития СППР

Период	Событие
1960-е	Для крупных компаний созданы первые информационные системы (ИС) менеджмента (<i>Management Information Systems – MIS</i>), которые предназначались для подготовки периодических структурированных отчетов для менеджеров. В конце 60-х годов появляется новый тип ИС – модель-ориентированные СППР (<i>Model-oriented Decision Support Systems – DSS</i>) или системы управленческих решений (<i>Management Decision Systems – MDS</i>).
1971 г.	Опубликована книга Scott Morton'а, в которой впервые были описаны результаты внедрения СППР, основанной на использовании математических моделей.
1974 г.	Дано определение ИС менеджмента – MIS: «MIS – это интегрированная человеко-машинная система обеспечения информацией, поддерживающая функции операций, менеджмента и принятия решений в организации. Системы используют компьютерную технику и программное обеспечение, модели управления и принятия решений, а также базу данных».
1975 г.	J. D. C. Little в работе предложил критерии проектирования СППР в менеджменте.
1978 г.	Опубликован учебник по СППР, в котором исчерпывающе описаны аспекты создания СППР: анализ, проектирование, внедрение, оценка и разработка.
1980 г.	Впервые даны основы классификации СППР.
1981 г.	Bonczek, Holsapple и Whinston создали теоретические основы проектирования СППР. Они выделили четыре необходимых компонента, присущих всем СППР: 1. Языковая система (<i>Language System – LS</i>) – СППР может принимать все сообщения. 2. Система презентаций (<i>Presentation System (PS)</i>) (СППР может выдавать свои сообщения). 3. Система знаний (<i>Knowledge System – KS</i>) – все знания СППР сохраняет. 4. Система обработки задач (<i>Problem-Processing System (PPS)</i>) – программный «механизм», который пытается распознать и решать задачу во время работы СППР. R. Sprague и E. Carlson описали, каким образом на практике можно построить СППР. Тогда же была разработана информационная система руководителя (<i>Executive Information System, EIS</i>) – компьютерная система, предназначенная для обеспечения текущей адекватной информации для поддержки принятия управленческих решений менеджером.
1990-е. г.	Разрабатывают <i>Data Warehouses</i> – хранилища данных.
1993 г.	Е. Коддом (E. F. Codd) для СППР специального вида был предложен термин OLAP (<i>Online Analytical Processing</i>) – оперативный анализ данных, онлайн-аналитическая обработка данных для поддержки принятия важных решений. Исходные данные для анализа представлены в виде многомерного куба, по которому можно получать нужные разрезы – отчёты. Выполнение операций над данными осуществляется OLAP-машиной. По способу хранения данных различают MOLAP, ROLAP и HOLAP. По месту размещения OLAP-машины различаются OLAP-клиенты и OLAP-серверы.
Начало 2000 г.	Создана СППР на основе Web.
27 октября 2005 года	В Москве на Международной конференции «Информационные и телемедицинские технологии в охране здоровья» (ITHC 2005), А. Пастухов (Россия) представил СППР нового класса – PSTM (<i>Personal Information Systems of Top Managers</i>). Основным отличием PSTM от существующих СППР является построение системы для конкретного лица, принимающее решение, с предварительной логико-аналитической обработкой информации в автоматическом режиме и выводом информации на один экран.

Современные СППР – это результат многих исследований, таких как:

- Базы данных (Data Base) и базы знаний (Data Knowledge);
- Искусственного интеллекта (Artificial Intelligence);
- Интерактивных компьютерных систем;
- Методов имитационного моделирования.

Что характеризует широкий перечень используемых в СППР методов для анализа и выработки предложений:

- информационный поиск;
- интеллектуальный анализ данных;
- поиск знаний в базах данных;
- рассуждение на основе прецедентов;
- имитационное моделирование;
- генетические алгоритмы;
- нейронные сети и др.

Кроме стандартных требований к информационным системам, СППР должны обладать специфическими чертами¹⁶:

- возможностью выработки вариантов решений в специальных, неожиданных для ЛПР ситуациях;
- возможностью моделей, применяемых в системах, адаптироваться к конкретной, специфической реальности в результате диалога с пользователем;
- возможностью системы интерактивного генерирования моделей.

Так как, как правило, СППР имеют модульную структуру, это позволяет включать новые и модернизировать уже включенные в систему процедуры в соответствии с меняющимися требованиями пользователей.

Е. Turban выдвинул свое предположение о списке характеристик идеальной СППР. По его мнению, идеальная СППР:

- взаимодействует со слабоструктурированными решениями;

¹⁶ Алискеров М. Р. Системы поддержки принятия решений: учебное пособие / М. Р. Алискеров. – Махачкала: ДГИНХ, 2011. – 146 с.

- может быть использована лицами, принимающими решения различного уровня;
- может быть адаптирована для группового или индивидуального использования;
- позволяет поддерживать как взаимозависимые, так и последовательные решения;
- способна поддерживать три фазы процесса решения: интеллектуальную часть, создание и сам выбор;
- позволяет учитывать различные методы и стили решения, что безусловно будет полезно при решении задачи группой лиц;
- должна быть гибкой и способной к адаптации к изменениям и организации, и ее внешнего окружения;
- максимально проста в эксплуатации и модернизировании;
- повышает эффективность процесса принятия решения;
- позволяет ЛПР управлять процессом принятия решений с использованием помощи компьютера, но не наоборот;
- осуществляет поддержку эволюционного использования и способна легко адаптироваться к изменяющимся требованиям;
- может быть легко создана, если также легко может быть сформулирована логика ее конструкции;
- способна поддерживать моделирование;
- способна использовать знания.

Архитектура СППР также представляется разными авторами по-разному. Например, Marakas предложил обобщенную архитектуру, состоящую из пяти различных частей:

1. Система управления данными (the data management system – DBMS).
2. Система управления моделями (the model management system – MBMS).
3. Машина знаний (the knowledge engine (KE)).
4. Интерфейс пользователя (the user interface).
5. Пользователи (the user(s)).

Эволюция СППР характеризуется уровнем помощи, оказываемой ЛПР – от *пассивной* поддержки к расширенной, *активной* и *кооперативной* поддержке.

Пассивная СППР – система, помогающая процессу принятия решения, но не имеющая возможности выносить предложение, какое именно из решений стоит принимать. *Активная СППР* – система, напротив, имеющая возможность делать предложение, какое из доступных решений следует выбрать. А *кооперативная СППР* позволяет лицу, принимающему решение, дополнять и усовершенствовать решения, которые предлагает система, посылая после этого внесенные изменения в систему для проверки. В ответ, СППР также дополняет и улучшает решения и снова посылает их пользователю. Данный процесс длится в цикле до момента получения согласованного решения¹⁷.

В настоящее время выделяют *три класса* СППР в зависимости от сложности решаемых задач и областей применения.

СППР первого класса – системы коллективного пользования, обладают наибольшими функциональными возможностями, предназначены для применения в органах государственного управления высшего уровня (например, министерства) и органах управления больших компаний при планировании крупных комплексных целевых программ для обоснования решений относительно включения в программу различных политических, социальных или экономических мероприятий и распределения между ними ресурсов на основе оценки их влияния на достижение основной цели программы. Базы знаний этих систем формируются многими экспертами-специалистами в различных областях знаний.

СППР второго класса – системы индивидуального пользования, базы данных которых формируются непосредственным пользователем, предназначены для использования государственными служащими среднего ранга, а также руководителями малых и средних фирм для решения оперативных задач управления.

¹⁷ Прокопенко Н. Ю. Системы поддержки принятия решений [Электронный ресурс]: учеб. пособие /Н. Ю. Прокопенко; Нижегород. гос. архитектур. -строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. – 188 с.

СППР *третьего класса* – системы индивидуального пользования, адаптирующимися к опыту пользователя, предназначены для решения часто встречающихся прикладных задач системного анализа и управления. Такие системы обеспечивают получение решения текущей задачи на основе информации о результатах практического использования решений этой же задачи, принятых в прошлом.

На концептуальном уровне Power (2003) отличает:

- *СППР, управляемые сообщениями* (Communication-Driven DSS, ранее групповая СППР – GDSS), поддерживает группу пользователей, работающих над выполнением общей задачи;
- *СППР, управляемые данными* (Data-Driven DSS), или СППР, ориентированные на работу с данными (Data-oriented DSS), в основном ориентируются на доступ и манипуляции с данными;
- *СППР, управляемые документами* (Document-Driven DSS), управляют, осуществляют поиск и манипулируют неструктурированной информацией, заданной в различных форматах;
- *СППР, управляемые знаниями* (Knowledge-Driven DSS), обеспечивают решение задач в виде фактов, правил, процедур;
- *СППР, управляемые моделями* (Model-Driven DSS), характеризуются в основном доступом и манипуляциями с математическими моделями (статистическими, финансовыми, оптимизационными, имитационными);
- некоторые OLAP-системы, позволяющие осуществлять сложный анализ данных, могут быть отнесены к *гибридным СППР*, которые обеспечивают моделирование, поиск и обработку данных.

На техническом уровне Power (1997) различает:

- *СППР всего предприятия*, которые подключены к большим хранилищам информации и обслуживают многих менеджеров предприятия.

- *настольные СППР* – малые системы, обслуживающие лишь один компьютер пользователя.

Существуют и другие классификации. В зависимости от данных, с которыми эти системы работают, СППР условно можно разделить на¹⁸:

- *оперативные (или Информационные Системы Руководства (Executive Information Systems, ИСП))* – СППР для немедленного реагирования на изменения текущей ситуации в управлении финансово-хозяйственными процессами компании.
- *стратегические* – СППР для анализа значительных объемов разнородной информации, собираемых из различных источников, с целью поиска наиболее рациональных вариантов развития бизнеса компании с учетом влияния различных факторов, таких как конъюнктура целевых для компании рынков, изменения финансовых рынков и рынков капиталов, изменения в законодательстве и др.

Но какой бы класс систем не был выбран для решения конкретных проблем, основой успеха является опыт руководителя в принятие решений и навыки работы в СППР, поэтому приобретение и развитие данных навыков – необходимая часть эффективного управления.

1.5. ОБЩАЯ СТРУКТУРА МОДЕЛЕЙ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Основная часть материалов данного подраздела взята из учебного пособия Лычкиной Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов.

Проведение экспериментов с моделью на ЭВМ заключается в проведении многократных машинных прогонов с целью сбора, накопления и последующей обработки данных о функционировании системы. Имитационное моделирование

¹⁸ Прокопенко Н. Ю. Системы поддержки принятия решений [Электронный ресурс]: учеб. пособие /Н. Ю. Прокопенко; Нижегород. гос. архитектур. -строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. – 188 с.

позволяет исследовать модель реальной системы, чтобы изучать ее поведение путем многократных прогонов на ЭВМ при различных условиях функционирования реальной системы.

Для описания динамики моделируемых процессов в имитационном моделировании реализован *механизм задания модельного времени*. Эти механизмы встроены в управляющие программы любой системы моделирования.

Если бы на ЭВМ имитировалось поведение одной компоненты системы, то выполнение действий в имитационной модели можно было бы осуществить последовательно, по пересчету временной координаты. Чтобы обеспечить имитацию параллельных событий реальной системы вводят некоторую глобальную переменную (обеспечивающую синхронизацию всех событий в системе) t_0 , которую называют *модельным (или системным) временем*.

Существуют два основных способа изменения t_0 :

- *пошаговый* (применяются фиксированные интервалы изменения модельного времени);
- *по-событийный* (применяются переменные интервалы изменения модельного времени, при этом величина шага измеряется интервалом до следующего события).

В случае *пошагового метода* продвижение времени происходит с минимально возможной постоянной длиной шага (*принцип t*). Эти алгоритмы не очень эффективны с точки зрения использования машинного времени на их реализацию.

По-событийный метод (принцип «особых состояний»). В нем координаты времени меняются только когда изменяется состояние системы. В по-событийных методах длина шага временного сдвига максимально возможная. Модельное время с текущего момента изменяется до ближайшего момента наступления следующего события. Применение по-событийного метода предпочтительно в случае, если частота наступления событий невелика, тогда большая длина шага позволит ускорить ход модельного времени. На практике по-событийный метод получил наибольшее распространение.

Способ фиксированного шага применяется:

- если закон изменения от времени описывается интегро-дифференциальными уравнениями. Характерный пример: решение интегро-дифференциальных уравнений численным методом. В подобных методах шаг моделирования равен шагу интегрирования. При их использовании динамика модели является дискретным приближением реальных непрерывных процессов;
- когда события распределены равномерно и можно подобрать шаг изменения временной координаты;
- когда сложно предсказать появление определенных событий;
- когда событий очень много, и они появляются группами.

В остальных случаях применяется по-событийный метод. Он предпочтителен, когда события распределены неравномерно на временной оси и появляются через значительные временные интервалы.

Таким образом, вследствие последовательного характера обработки информации в ЭВМ, параллельные процессы, происходящие в модели, преобразуются с помощью рассмотренного механизма в последовательные. Такой способ представления носит название квазипараллельного процесса.

Простейшая классификация имитационных моделей на непрерывные, дискретные и непрерывно-дискретные (таблица 3) связана с применением двух этих способов продвижения модельного времени.

Математической (формальной) основой методов системной динамики являются дифференциальные модели, в которых используются представления динамических процессов в пространстве состояний. Модели такого вида – это системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) первого порядка в форме (1):

$$\frac{dy_i}{dt} = f_i^+ - f_i^-, \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где f_i^+ – правая часть уравнения, включающая в себя все факторы, вызывающие рост переменной y_i ;

f_i^- – включает все факторы, вызывающие убывание переменной y_i .

Предполагается также, что эти слагаемые правой части могут быть представлены в виде произведения функций, зависящих только от факторов F_j , которые, в свою очередь, сами являются функциями от основных переменных y_i . Например (2):

$$f_i^+ = \varphi_i^+(F_1, F_2, \dots, F_m) = \varphi_{i1}^+(F_1)\varphi_{i2}^+(F_2), \dots, \varphi_{im}^+(F_m) \quad (2)$$

где $F_j = f_j(y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jl}), j = \overline{1, m}$, при этом $m < n, 1 < n$.

Отсюда следует, что количество факторов должно быть меньше количества основных переменных, и каждый фактор зависит не от всех основных переменных, а только от части из них. Эти ограничения были необходимы для того чтобы упростить задачу моделирования.

При составлении дифференциальных моделей производится выбор переменных состояния и устанавливаются связи между этими переменными в виде функций правых частей уравнений состояния. Как правило, сформулировать такие зависимости только с использованием переменных состояния бывает очень трудно. Более продуктивным оказывается другой подход, основанный на детальном описании *цепочек причинно-следственных связей* между факторами, отображаемыми в модели с помощью переменных состояния.

Модели системной динамики разрабатываются на основе предоставляемых экспертами сведений об объектах исследования. Эксперт выявляет факторы, которые в зависимости от целей изучения этих объектов необходимо учитывать при описании динамики состояний моделируемого объекта, и анализирует цепочки причинно-следственных связей этих факторов. При построении моделей указанные сведения подвергаются тщательному анализу, в ходе которого находят решения двух основных взаимосвязанных вопросов:

1. Выбора и интерпретации переменных состояния модели;
2. Выявления причинно-следственных отношений между переменными состояния и описания этих отношений в форме структурированных функциональных зависимостей.

Рассмотрим *содержание базовой концепции структуризации* моделей системной динамики. В общей структурной схеме моделей системной динамики выделяются две части – *сеть потоков* и *сеть информации*. Это основные образы моделируемых процессов в системной динамике. *Сеть потоков* – неявная форма (в виде разностных уравнений), а *сеть информации* – явная форма описания одних и тех же переменных. Все они предлагают графовый способ описания зависимостей переменных состояния моделируемых систем.

1. *Сеть потоков*. При потоковой стратификации модель рассматривается в качестве *сети потоков материальных ингредиентов модели*. Каждый компонент этой сети соответствует какой-то одной совокупности однородных ингредиентов (предметы труда, население, денежные средства и т.п.), динамика которых учитывается в модели.

Например, рассматривая предприятие с позиций системного подхода, в его основе можно выделить совокупность таких потоков, как финансовые, материальные, людские (кадры), потоки оборудования и др. (рисунок 4).

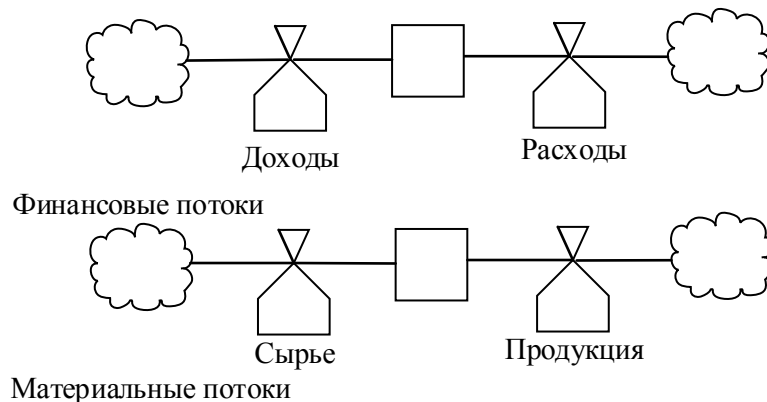


Рис. 4. Потоки на предприятии

Сеть имеет *узлы* и *дуги* (рисунок 5). *Узлы* – компонент сети потоков (за исключением нулевого узла) – изображают наиболее существенные с точки зрения разработчиков модели состояния выделенных ингредиентов, а *дуги* сети – задают возможные переходы их элементов из одного состояния в другое. Распределение элементов по состояниям меняется с течением времени. Эти изменения

для системной динамики являются *нормативными образами моделируемых процессов*.

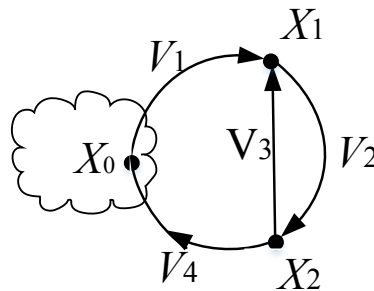


Рис. 5. Сеть потоков

В качестве характеристик распределения элементов, входящих в модель ингредиентов по состояниям $X_1, \dots, X_m$, рассматриваются переменные $x_1, \dots, x_m$ уравнений состояния модели. Переменные $v_1, \dots, v_n$ принимаются за характеристики *интенсивностей (скоростей)*, с которыми совершаются переходы элементов из состояния в состояние по дугам $V_1, \dots, V_n$ сети.

Узлы сети изображаются в виде прямоугольников (рисунок 6а). На рисунке 5б использованы специальные символы потоковых сетей. В моделях системной динамики ноль сети принято обозначать специальным знаком «Озеро».

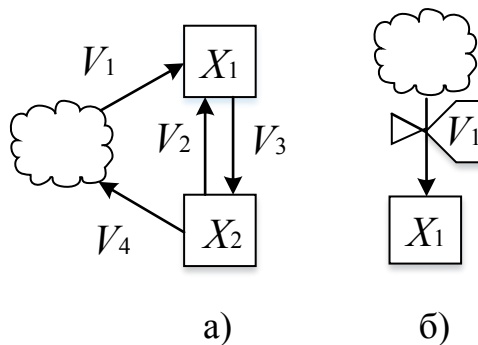


Рис. 6. Основные символы потоковых сетей: а – узлы сетей; б – потоковая дуга с символом темпа

Такая интерпретация напоминает структурные формы задания автоматных моделей дискретных процессов. Однако модели системной динамики – это дифференциальные модели, переменные состояния которых непрерывны. Поэтому приведенной здесь структурной концепции моделей системной динамики

обычно дается более естественное объяснение, основанное на *гидравлической интерпретации потоковых сетей*.

В этой интерпретации каждый узел $X_i \in X$ сети рассматривается как резервуар, уровень наполнения которого в момент t равен $x_i(t)$, $t = 1, 2, \dots, m$. Дуги $V_i \in V$ сети соответствуют потокам жидкости между резервуарами. Они указывают направление потоков, темпы которых характеризуются объемными расходами жидкости $v_j(t)$, $j = 1, 2, \dots, n$ на интервале времени $[th, (t+1)h]$. Темпы потоков символически изображаются в виде вентилях на дугах потоковых сетей (рисунок 6б).

Наглядность гидравлической интерпретации обусловила ее важную роль при структуризации моделей, специальную «потоковую» терминологию и общую трактовку математических схем моделей системной динамики.

В соответствии с терминологией системной динамики переменные состояния $x_1, \dots, x_m$ называются *уровнями* модели, а переменные $v_1, \dots, v_n$ – *темпами*. Уровни и темпы – *основные* переменные моделей. Все остальные переменные называются *вспомогательными* (или *дополнительными*) и используются при структуризации функциональных зависимостей f темпов от уровней и входов, а также функциональных зависимостей H выходов от уровней x и входов u .

Таким образом, получается следующая картина при описании динамической системы:

1. Моделируемые процессы отображаются в виде некоторой фиксированной структуры, состоящей из *накопителей* – уровней, соединенных взаимосвязанными потоками, которые, перетекая по всей системе, изменяют значение уровней. Уровни характеризуют возникающее накопление внутри системы и являются величинами, которые определяются как переменные состояния системы (например, для банка – это сальдо, для склада – текущий уровень запасов на складе). Уровни описывают величины, непрерывные по диапазону значений, но дискретные во времени.

2. *Потоки* изменяют значение уровней. В экономике, производстве потоками можно управлять. Потоки регулируются управленческими решениями, которые можно определить как скорости изменения потоков, т.е. *темпы*.
3. *Темп* показывает, как изменяются уровни за интервал времени, равный шагу моделирования, характеризует динамику моделируемой системы (попробуйте остановить систему: уровни будут значимы, а темпы неразличимы).

Потоковые сети являются неявной формой описания основных переменных дифференциальной модели – переменных состояния (уровней) и скоростей изменения состояний (темпов) – в форме разностных уравнений. Основные переменные модели: уровни, темпы, вспомогательные (или дополнительные) описываются с помощью следующих разностных уравнений:

Уровень – переменная, закон изменения которой во времени выражается конечно-разностными уравнениями (3):

$$X(t+h)=x(t)+h*V(t), \quad (3)$$

где t – модельное (системное) время; h – изменение (приращение) времени – шаг моделирования (интегрирования); $x(t)$, $x(t+h)$ – значение уровня в моменты времени; $v(t)$ – скорость изменения уровня, т.е. величина его изменения за единицу времени.

Уровнями имитируют такие характеристики моделируемой системы, которые определяют ее состояние в конкретный момент времени.

Темп – это переменная, равная скорости изменения уровня. Закон изменения темпа задается функциональной зависимостью (4):

$$V(t)=F(p_1(t), p_2(t), ..., p_k(t)), \quad (4)$$

где t – модельное (системное) время; $V(t)$ – темп на момент времени; F – произвольная функция от k -аргументов; $p_i(t)$ – любые переменные (уровни, темпы, дополнительные переменные), значения которых в момент t известны.

Темп характеризует динамику моделируемой системы.

Вспомогательные переменные введены для структуризации и описания сложных функциональных зависимостей, их можно использовать для более удобной записи уравнений темпов (5):

$$W(t)=F(p_1(t), ..., p_k(t)), \quad (5)$$

где t – модельное (системное) время; $W(t)$ – значение вспомогательной переменной на момент t ; $p_i(t)$ – любые переменные, значения которых на момент t известны; F – некоторая произвольная функция k -аргументов.

Алгоритм имитации, таким образом, реализуется на основе приведенных разностных уравнений следующим образом:

- устанавливаются параметры системного времени (начальное значение, шаг интегрирования, длина интервала моделирования), задаются начальные условия (значения уровней в начальный момент системного времени);
- по уравнениям (4), (5) на данный момент системного времени t рассчитываются значения всех темпов и вспомогательных переменных;
- $t + h$, системное время увеличивается на шаг моделирования (интегрирования);
- по уравнениям (3) рассчитываются значения всех уровней на данный момент системного времени;
- и далее выполняются множественные итерации по этой схеме, пока не закончится заданный интервал моделирования.

2. *Информационная сеть*. Вернемся к общей структурной схеме моделей системной динамики и рассмотрим вторую составляющую структурных схем моделей системной динамики – информационную сеть.

Структуризация и описание функциональных зависимостей между основными переменными системно-динамической модели завершаются построением информационной сети модели. Описания информационных сетей в моделях системной динамики представляют собой *многоярусные графы*, вершины которых

составлены вспомогательными переменными. Вспомогательные переменные используются главным образом для построения логически ясных, хорошо интерпретируемых структур взаимосвязей переменных, с помощью которых в моделях отображаются представляемые экспертами разнородные сведения об объекте моделирования.

В моделях системной динамики большая роль отводится *эксперту*. Модели создаются путем структуризации экспертной информации. Поэтому используется подход, основанный на анализе цепочек причинно-следственных связей факторов, подлежащих, по мнению экспертов, обязательному учету при описании динамики моделируемого объекта.

Рассмотрим общую схему структуризации информации о причинно-следственных взаимосвязях динамических процессов в объектах моделирования:

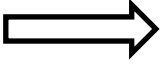
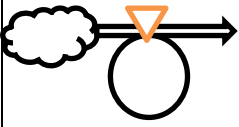
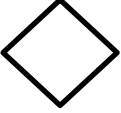
- модели системной динамики разрабатываются на основе представляемых экспертами сведений об объектах исследования в форме вербального описания;
- эксперты проводят анализ и выявление всех факторов, необходимых для описания динамики моделируемого объекта (выбираются и интерпретируются переменные состояния модели). При построении моделей проводится тщательный анализ этих сведений;
- выявляются причинно-следственные отношения между переменными, для этого детально описываются цепочки причинно-следственных связей между факторами, отображаемыми в модели с помощью переменных состояний (это требует введения вспомогательных переменных);
- описываются эти переменные в структурированном виде с помощью графовых представлений (что требует введения вспомогательных переменных);
- результатом являются структурированные описания вектор-функций правых частей уравнения состояний.

Специальная техника графического представления потоковых диаграмм предлагает развитую графическую символику: оснащение сетей потоков и сетей

информации специальной выразительной символикой. Основные символы, их назначение и условия использования представлены в таблице 6.

Таблица 6

Трансформация базовых элементов классической модели Дж. Форрестера для изучения архитектуры процессов в системах взаимодействия

Элементы классической СД модели по Дж. Форрестеру	Обозначение	Элементы СД модели в условиях изменения информационного взаимодействия
<i>Уровни</i> характеризуют накопленные значения величин внутри системы. Прибыль, затраты.		<i>Уровни</i> аккумулируют изменения и накапливают результаты/эффекты по выделенным процессам взаимодействия
<i>Потоки</i> – скорости изменения уровней. Запасы, доходы от реализации.		Поток – скорость приращения эффектов взаимодействия, идентификация эквивалентности электронного обмена данными в архитектуре процессов взаимодействия
Поток с регулируемой интенсивностью, как частный случай из внешней среды <i>Функции решений (вентили)</i> – функции зависимости потоков от уровней-темп изменения уровня. Функция решения может иметь форму простого уравнения, определяющего реакцию потока на состояние одного или двух уровней.		Поток обмена дополнительной стоимостью, перераспределение дополнительной стоимости и ресурсов (материальных, информационных, финансовых, человеческих) возникающей в процессе взаимодействия
Переменные - располагаются в каналах информации между уровнями определяя некоторую функцию решения.		Дополнительная стоимость элемента взаимодействия, обмен дополнительной стоимостью, между участниками взаимодействия
Константы –используются для представления элементов системы, которые не изменяются в течении всего периода имитации.		Коэффициенты приращения дополнительной стоимости, эффекта аккумуляирования ресурсов системе взаимодействия, степени ее адаптации к условиям среды и внутренним изменениям
Информационная связь –дает информацию вспомогательным переменным о значении других переменных		Отражает связь информационного и ресурсного обмена дополнительной стоимостью элементов взаимодействия/процесса

При использовании описанной символики рассматриваемые графы превращают потоковые диаграммы в средство наглядного отображения информации о динамике моделируемых процессов или, другими словами, в язык общения экспертов по проблеме и системных аналитиков. Системные потоковые диаграммы доступны и наглядны, это делает их удобным средством для проведения совместных экспертных ревизий. Совмещение в конструкции потоковых диаграмм явной (сеть информации) и неявной (сеть потоков) форм графового описания зависимостей переменных состояния моделируемых систем, а также развитая графическая символика диаграмм приводят к тому, что потоковые диаграммы дают значительную часть той же информации, что и системы дифференциальных уравнений модели, но в иной, более наглядной форме.

Таким образом, в моделях системной динамики реализуется удобная и простая схема сбора и формализации информации, получаемой от эксперта в процессе построения моделей, а модели используют специальную графическую технику при структуризации экспертной информации о проблеме. При разработке моделей системной динамики также уделяется большое внимание построению и анализу диаграмм причинно-следственных связей, описанию которых будет уделено внимание в подразделе 1.6. данного ЭОР.

1.6. ПОСТРОЕНИЕ И АНАЛИЗ ДИАГРАММ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ

Материалы данного подраздела взяты из учебных пособий Лычкиной Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов и Каталевского Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении.

При нормативном подходе к разработке динамических моделей предполагается систематизация форм *причинно-следственных описаний* моделируемых процессов и соблюдение определенного порядка построения этих описаний.

В рамках рассмотренной концепции системная динамика предлагает две нормативные схемы формирования общей структуры моделей.

Схема 1. Сначала разрабатывается причинно-следственная диаграмма модели. В число учитываемых при разработке модели факторов и связей включаются все те из них, которые используются экспертами при содержательном описании моделируемого объекта. Затем выполняется анализ зафиксированных в разработанной диаграмме цепочек причинно-следственных связей и определяются факторы, которые описываются в модели уровнями и темпами, т.е. выделяются переменные уровней и темпов. В результате формируется, прорисовывается на эскизах сеть потоков модели.

А далее выделяется и уточняется в качестве структуры, дополняющей сеть потоков в причинно-следственной диаграмме, информационная сеть модели.

Схема 2. Сначала выделяется множество основных материальных ингредиентов, динамику которых необходимо отобразить в модели. Для каждой выделенной совокупности однородных элементов определяется множество их возможных состояний и устанавливается структура переходов элементов ингредиентов из состояния в состояние. В результате формируется сеть потоков модели.

Затем устанавливается структура причинно-следственных связей между уровнями и темпами сети потоков, т.е. разрабатывается структура информационной сети модели. При таком подходе с помощью информационной сети как бы сшиваются потоковые представления.

Обе нормативные схемы являются лишь общими правилами структуризации в рамках единой концепции системной динамики и применяются в зависимости от класса решаемых задач.

Для дальнейшего изложения важно заметить, что:

- сети потоков и информационная сеть описывают структуру моделей системной динамики только по частям;
- причинно-следственные диаграммы (диаграммы каузальных петель обратной связи), напротив, отображают взаимосвязи переменных моделей только в целом для системы, не разделяя переменные по типам.

На основе диаграммы обратной связи возможно построение имитационной компьютерной модели процессов, происходящих в системе. Некоторые последователи системной динамики видят именно в компьютерном моделировании суть прикладного значения этой теории. Компьютерная модель – это «тренировочная площадка», так как только экспериментируя с моделью человек может приобрести реальный опыт системного и холистического мышления. Таким образом, системная динамика особо подчеркивает *обучающий характер* взаимодействий в виде петель обратной связи. Создаваемая динамичная модель организации может служить своеобразным «пилотным тренажером». Без опасных экспериментов с реальной организацией менеджеры могут тренироваться и обучаться с помощью специальных программ, симулирующих ее бизнес-процессы.

Динамика поведения сложных систем в принципе описывается взаимодействием всего двух типов обратной связи – *самовоспроизводящейся (reinforcing)* и *балансирующей (balancing)*, т.е. самокорректирующейся. Причинно-следственные диаграммы представляют собой эффективный инструмент для объяснения структуры сложных систем. Причинно-следственные диаграммы состоят из переменных и связей между ними с определенной полярностью (положительной или отрицательной). Связи между переменными изображаются стрелками. Например, потребительский спрос на товар зависит от нескольких переменных, как представлено на рисунке 7.

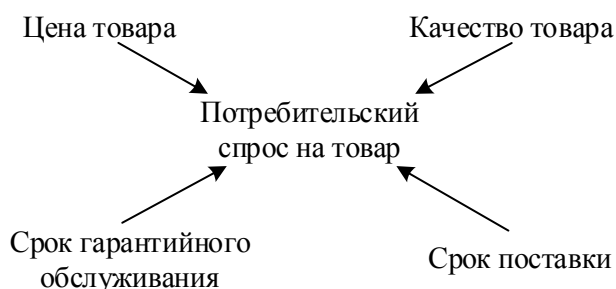


Рис. 7. Зависимость потребительского спроса на товар [9, с. 95]

Причинно-следственная диаграмма будет неясной для понимания, если не расставить полярность связей (положительную или отрицательную) между переменными. Правило определения полярности связей представлено ниже.

Положительный контур обратной связи часто определяется так, что «начальное изменение любой переменной (в контуре), в конечном счете, стимулирует далее самоизменение в первоначальном направлении». То есть, упрощенно: «чем больше – тем больше», «чем меньше – тем меньше». Для отрицательного контура обратной связи действует следующее классическое определение: *«если отклик контура обратной связи на переменное изменение выступает против первоначального возмущения, то контур является отрицательным, или целенаправленным».*

Определение отрицательного контура обычно интерпретируется следующим образом: «изменение одного элемента (контура обратной связи) распространяется по кругу, пока не вернется, чтобы изменить тот же элемент в направлении, противоположном начальному изменению». То есть, упрощенно: «чем больше – тем меньше», и наоборот.

Применяя правило расстановки полярности, мы, соответственно, получаем следующую структуру системы: чем больше цена товара, тем меньше спрос на него (–); чем выше срок гарантийного обслуживания товара, тем выше спрос (+); чем выше качество, тем выше спрос (+); наконец, чем длиннее срок поставки, тем меньше спрос на товар, – следовательно, связь обратная (–). Аналогично расставляется полярность связей на рисунке 8. Как уже отмечалось, для положительной полярности характерно изменение зависимой переменной *в том же направлении*, что и независимой. Соответственно, если независимая переменная уменьшается, то и зависимая будет уменьшаться, – т.е. в примере (рисунок 9) верны два утверждения:

1. При увеличении количества менеджеров по продажам растет количество заказов (продаж) организации, что приводит к росту ее прибыли.
2. При уменьшении количества менеджеров по продажам падает количество размещенных заказов на продукцию компании, что снижает ее прибыль.

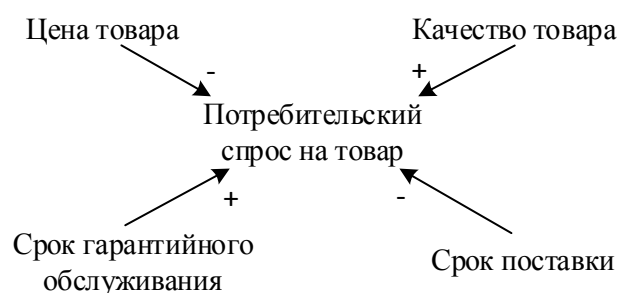


Рис. 8. Зависимость потребительского спроса на товар (указана полярность) [9, с 96]

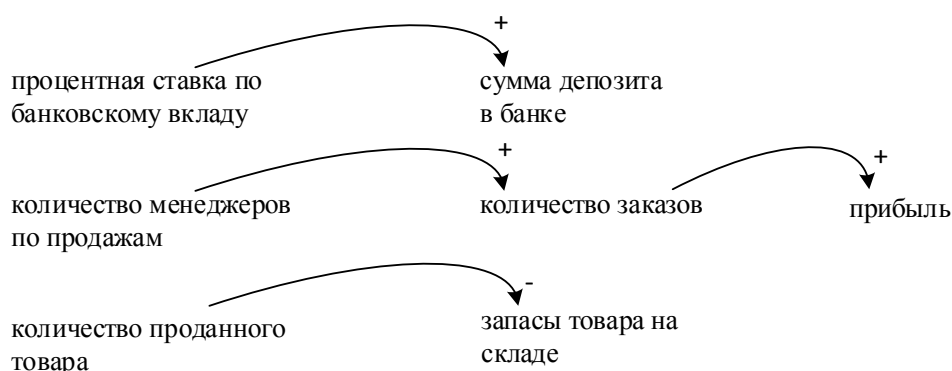


Рис. 9. Пример правильной расстановки полярности [9, 96]

Для простоты при создании причинно-следственных диаграмм исходят из количества отрицательных связей в петле. Так, *положительный* контур обратной связи представляется как контур, *имеющий четное число отрицательных причинно-следственных связей*, а *отрицательный* контур – как контур с *нечетным числом отрицательных причинно-следственных связей* (таблица 7).

Таблица 7

Позитивные и негативные петли обратной связи [9, с. 97]

Позитивные петли обратной связи (R, Reinforcing Loops)	Негативные петли обратной связи (B, Balancing Loops)
- самовоспроизводящиеся - вызывающие рост - дестабилизирующие систему - ускоряющие систему - четное количество «минусов» в петле	- противодействующие росту - целенаправленное поведение - стабилизирующие систему - возвращающие систему к балансу - нечетное количество «минусов» в петле

Согласно классическому определению, *положительный контур обратной связи* часто определяется так, что «начальное изменение любой переменной (в

контуре), в конечном счете, стимулирует далее самоизменение в первоначальном направлении».

Для отрицательного контура обратной связи действует следующее классическое определение: *«Если отклик контура обратной связи на переменное изменение выступает против первоначального возмущения, то контур является отрицательным, или целенаправленным»*. Определение отрицательного контура обычно интерпретируется таким образом, что «изменение одного элемента (контура обратной связи) распространяется по кругу, пока не вернется, чтобы изменить тот же элемент в направлении, противоположном начальному изменению». Несмотря на некоторую первоначальную сложность восприятия балансирующей обратной связи, идея довольно проста – балансирующие петли стремятся вернуть систему в равновесное состояние, сдерживая ее рост. Балансирующая система ориентирована на достижение определенной цели. Поэтому ее изображают как экспоненциально убывающую кривую или же кривую, растущую до достижения определенной цели, что легко пояснить на примере.

Значок весов в центре диаграммы (А) на рисунке 10 указывает на то, что эта причинно-следственная диаграмма является балансирующей (негативной петлей обратной связи).

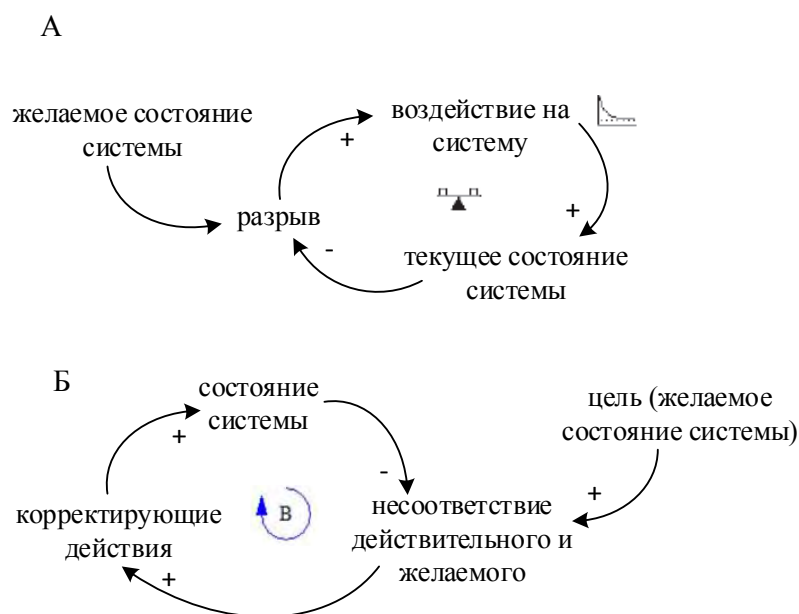


Рис. 10. Обобщенная структура балансирующих петель обратной связи [9, с. 102]

Совокупность положительных (самовоспроизводящихся) и негативных (балансирующих) петель обратной связи определяет поведение системы в целом. *Осцилляция* представляет собой разновидность системы, в основе которой лежат балансирующие петли обратной связи *с эффектом запаздывания* (в англоязычной литературе используется термин «*delay*»). Эффект запаздывания является источником формирования осцилляции в сложных социальных системах, таких как, например, рынки сырьевых товаров, промышленное производство определенных групп товаров, рынок недвижимости – так называемые циклические рынки. Механизм формирования осцилляции в общих чертах можно описать следующим образом: текущее состояние системы сравнивается с целями, после чего осуществляется определенное управленческое воздействие. Однако вследствие эффектов запаздывания корректирующее воздействие может быть избыточным, что приведет к значительному превышению искомого целевого уровня на краткосрочном горизонте.

После этого предпринимается слишком сильное обратное корректирующее воздействие, которое приводит к «падению» показателей системы значительно ниже устойчивого уровня. Затем со временем снова происходит рост – т.е. система из одной крайности попадает в другую. Эффект запаздывания заставляет применять корректирующие действия даже после того, как цель достигнута, вынуждая систему чрезмерно приспосабливаться, тем самым вызывая новую коррекцию в обратном направлении. В следующей главе будет рассмотрено, каким образом системная динамика и причинно-следственные диаграммы могут быть использованы в управлении организацией, особенно при разработке стратегии организации. В следующей главе на примерах будет показано, как обратная связь способствует возникновению данных явлений в экономике, каким образом и до какой степени данными явлениями можно управлять.

1.7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ГИБКОСТИ ФИНАНСОВЫХ РЕШЕНИЙ

Обоснование решений, связанных с планированием финансовых ресурсов предприятия, в том числе и оборотных активов, является ответственным моментом в деятельности предприятия. Большое разнообразие возможных вариантов, неоднозначность возможных способов решения организационных вопросов определяет необходимость тщательного и всестороннего анализа данных решений.

Существует необходимость использования взаимосвязанной и непротиворечивой системы критериев на различных этапах анализа проблемы оценки экономической эффективности финансового управления. Критерии, используемые для обоснования решений, должны отвечать ряду классических требований: полноты, всесторонности, непротиворечивости, разложимости, избыточности и измеримости.

В соответствии с требованием разложимости критериев, учитывая сложность рассматриваемой проблемы обеспечения эффективности финансового управления и необходимости последовательного решения ряда частных задач, критерии могут быть разделены на *общие* и *частные*.

Общие критерии используются как критерии выбора или ранжирования вариантов инвестиционного проекта на различных этапах анализа. *Частные* критерии используются в процессе принятия решений по отдельным направлениям (задачам) исследования. Чем выше уровень анализа и стадия принятия решений, тем меньшее число критериев должно использоваться, вплоть до сведения всего множества критериев к одному критерию. Это условие делает разрешимой рассматриваемую проблему обоснования и выбора финансовых проектов.

Различают понятие выбора проекта в узком и широком смысле. *Отбор проекта в узком смысле* – это определение того, какой из ряда конкурирующих проектов (задач, этапов), претендующих на ограниченные ресурсы, должен быть начат (или продолжен) и какова будет последовательность выполнения проектов (задач, этапов). *Отбор проекта в широком смысле* – это формирование портфеля

проектов с учетом наличия ресурсов и возможного влияния каждого проекта на экономическое положение фирмы в целом.

Модели выбора финансовых проектов могут быть разделены на два крупных класса:

- *нормативные модели*, в рамках которых используются, прежде всего, финансово-экономические критерии и показатели;
- *многофакторные модели*, в которых активно используются качественные параметры, экспертные оценки.

Любой финансовый проект требует учета различного рода факторов, которые могут оказать влияние на финансово-экономические показатели. Факторы и соответствующие условия обычно анализируются в рамках нормативных моделей оценки проектов. При использовании такого рода моделей оценка целесообразности научно-технического проекта базируется на оценке его вклада в достижение прибыльности фирмы, степени эффективности использования различных ресурсов и т. д. Сам выбор проекта трактуется при этом как аналитическая задача.

Как известно, существуют два подхода к оценке эффективности финансовых проектов – *экономический* и *финансовый*. При финансовом подходе используются показатели финансовой эффективности, учитывающие финансовые последствия реализации проекта для его непосредственных участников. Показатели финансовой оценки по сути представляют собой оценку финансового положения предприятия до и после реализации инвестиционного проекта, а также показатели бюджетной эффективности, отражающие финансовые последствия осуществления проекта для регионального или местного бюджетов.

Экономическая эффективность проекта подтверждается и обосновывается применением аналитической системы, которая включает определение целей развития предприятия, требований к инвестиционному проекту, формирование и анализ альтернативных вариантов проекта для реализации и предполагает выполнение следующих этапов работ:

- анализ текущего финансово-экономического положения и инвестиционной привлекательности для инвестора;
- анализ структуры финансирования инвестиционного проекта;
- оценка экономической эффективности инвестиционного проекта;
- формирование и оценка финансового плана предприятия, реализующего проект.

Поскольку альтернативой инвестиционному проекту является вложение денежных средств в ценные бумаги и банковские операции, в зарубежной практике, при выборе порогового значения рентабельности, часто в качестве ориентира используют уровень доходности ценных бумаг, ставки по долгосрочному кредиту. Пороговые значения рентабельности определяются в зависимости от фактора, стимулирующего инвестиции.

Несмотря на преимущества нормативного подхода (простота, логичность, формализуемость процесса принятия окончательного решения и др.), отобранные таким образом инвестиционные проекты на практике не всегда достаточно эффективны, а часто просто неудачны. Одна из причин такого положения состоит в том, что к показателям доходов и затрат в рамках проекта, играющим решающую роль в нормативных моделях, невозможно свести все условия и факторы, которые характеризуют исходные параметры проекта и параметры его реализации, подлежащие оценке при обосновании принимаемого решения о начале и продолжении проекта.

При построении и анализе многофакторных оценок для выбора проекта могут учитываться факторы потенциальной прибыльности, характеристики конкурентной среды, квалификации, опыта, кадровой обеспеченности, характер и особенности взаимоотношений с контрагентами.

Таким образом, оценка и отбор финансовых проектов могут базироваться на различных подходах и ориентироваться на различные критерии. Выбор методики и критериев зависит от специфики проекта, типа отрасли и ряда других факторов. Специфика инвестиционной деятельности предполагает активное использование как методов финансово-экономической оценки, так и многофакторных

методов, учет самых разных критериев, любой из которых может оказаться решающим в процессе принятия решения относительно проекта.

Принципиальные особенности оценки финансовых рисков отечественных предприятий обусловлены следующими факторами:

- преобладанием качественных неформализованных оценок финансовых рисков, так как, в условиях динамично меняющейся на протяжении исторически короткого периода времени внешней среды, отсутствия динамических рядов данных за длительный срок наблюдения, практическая значимость количественных оценок существенно снижается;
- принципиальной необходимостью учета противоречивых интересов широкого круга лиц, представляющих предприятие, его основных акционеров, контрагентов, местных и федеральных органов власти, что приводит к построению на этой основе сложных организационных схем проектов;
- необходимостью учета особенностей среды функционирования российских предприятий, среди которых можно выделить высокий уровень монополизации отдельных сегментов экономики, неразвитость взаимоотношений с кредитно-финансовой системой, неразвитость информационной среды и отсутствие комплексной информации о состоянии и развитии промышленных предприятий.

Процесс планирования инвестиций тесно связан с планированием структуры капитала. С одной стороны, выгодность привлечения финансовых средств зависит от имеющихся финансовых возможностей, а, с другой стороны, выгодность финансовых альтернатив определяется финансовыми возможностями и связанными с ними издержками.

Анализ научной и методической литературы по финансовому планированию и менеджменту показывает, что основные проблемы информационного обеспечения деятельности по обоснованию эффективности финансового управления сводятся к следующему:

- выбор исходной информации для расчета показателей эффективности инвестиций (использовать данные бухгалтерского учета и отчетности, или предприятию параллельно с бухгалтерским учетом следует вести учет инвестиционной деятельности на основе потокового анализа);
- возможность преобразования данных бухгалтерского отчета в элементы денежного потока от финансовой деятельности.

Предмет экономической динамики – исследование важнейших аспектов развития экономической системы, качественных и количественных изменений производительных сил, производственных отношений, хозяйственного механизма. Если экономическая статика изучает допустимые и рациональные состояния экономики, то экономическая динамика исследует процессы, определяет возможные и лучшие траектории развития.

По своей проблематике экономическая динамика является не только обобщением экономической статистики; она охватывает и качественно новую область проблем. Эти проблемы вытекают из воспроизводственного подхода к экономическому развитию. В соответствии с теорией общественного воспроизводства функционирование экономики рассматривается как непрерывно возобновляющийся процесс, как последовательность повторяющихся и взаимосвязанных воспроизводственных циклов.

В основе динамического анализа лежит понятие *траектории*. Траектория описывает состояние изучаемого объекта (или значения изучаемого показателя) как функцию от времени (6):

$$Q = Q(t), t \in [0, T] \quad (6)$$

где $[0, T]$ – конечный отрезок, на котором определена траектория.

При этом время t может учитываться как непрерывно, так дискретно.

В первом случае время изменяется в интервале $[0, T]$, $t \in [0, T]$, иногда – $-\infty < t < +\infty$, иногда интервал $[0, T]$ конечный.

В этом случае переменные системы выражаются последовательностью $x(t)$, $x(t) \in X$.

Когда переменные изображаются в виде вектора $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$, то $x_i(t) \in X$; $t \in [0, T]$.

Часто фиксируется начальное состояние функционирования динамической системы t_0 , тогда $x(t_0)=x_0$ – начальное состояние системы.

В моделях с непрерывным временем изменения в состоянии системы описывается с помощью дифференциальных уравнений (7):

$$\dot{f}(x, u, t) \quad (7)$$

где $f(x, u, t)$ – некоторые заданные функции состояния и управления, зависящие от времени.

На переменные x обычно накладываются ограничения $x_i \in X_i$.

На управление также накладываются ограничения $u(t) \in U(t)$, $t \in [t_0, t_1]$.

Самым простым отдельным случаем являются динамические системы, которые описываются линейными уравнениями. Осложнение, которое возникает наиболее часто – это наличие в экономических системах запаздываний (лагов). Такие эффекты описываются с помощью ввода лагов в уравнения модели.

Но экономические процессы и их этапы имеют дискретный характер. В дискретном представлении многие динамические экономические процессы формируются в виде многошагового процесса.

В таких моделях время подаётся в трёх значениях: начальный момент t_0 , промежуток времени между двумя любыми этапами или событиями τ и конечный момент времени (окончание процесса) T .

Для упрощения моделей часто принимается $\tau=const$, хотя на протяжении времени прохождения процесса значения τ могут изменяться.

В таком представлении уравнение (8) приобретает вид:

$$x(t+1) = x(t) + f(x(t), u(t), t), \quad t=0, 1, \dots, T-1. \quad (8)$$

Обычно для удобства считается $t_0=0$, $\tau=1$, $x(T) \in X(T)$.

По сравнению с непрерывным представлением времени дифференциальные уравнения заменяются многошаговыми (9):

$$x(t+1)=x(t)+A1(t)x(t)+A2(t)u(t)+a(t); t=0,1,\dots,T-1 \quad (9)$$

Процесс построения математической модели динамического процесса экономической системы включает в себя следующие этапы¹⁹:

1. Установление переменных, используемых в модели.
2. Формирование связей между переменными и связей переменных с внешними факторами.
3. Формирование ограничений на переменные модели.
4. Нахождение решения в виде определения точек пространства переменных, которые соответствуют заданным условиям.
5. Определение системы показателей (целевых функций).

Важное место в системе управления инвестиционной и финансовой деятельностью предприятия принадлежит модулю диагностики, назначением которого является определение результатов реализации того или иного инвестиционного решения и оценки его экономической эффективности. Оценка последствий реализации данного инвестиционного решения осуществляется на основе имитации реализации финансового плана при различных вариантах вложения финансовых ресурсов. Модельный уровень этого модуля включает:

- модель движения финансовых потоков предприятия, модели идентификации варианта использования финансовых ресурсов.
- модель оценки и анализа реализации финансового плана.

Базовой моделью этого модуля является модель анализа движения финансовых потоков, для построения которой используется имитационное моделирование.

Построение имитационной модели включает в себя несколько этапов (рисунки 11):

¹⁹ Клебанова, Т. С. Когнитивная бизнес-аналитика: Учебник / Под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н. М. Абдикеева. – Москва.: ИНФРА-М, 2014. – 511 с.

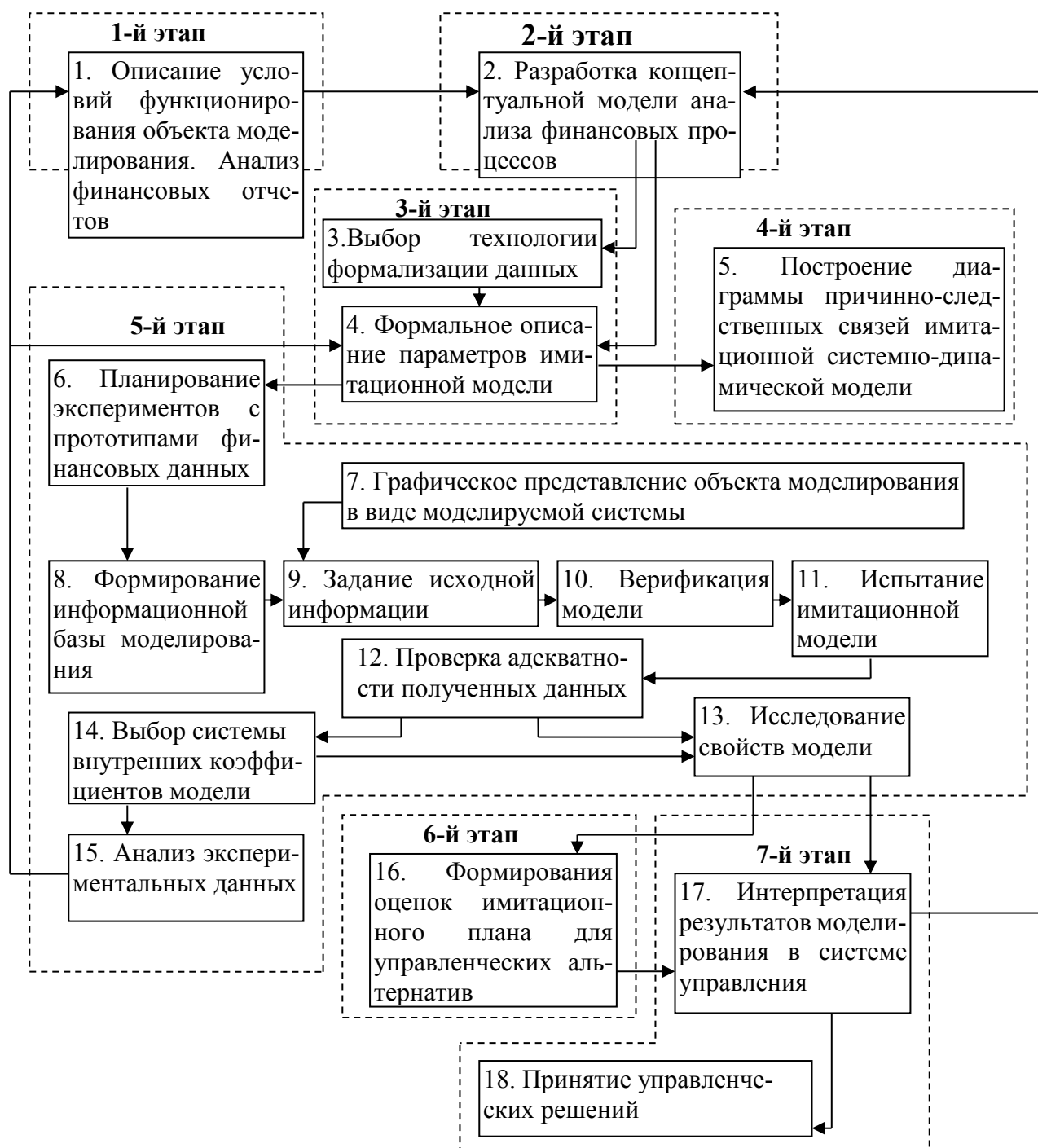


Рис. 11. Процедуры имитационного системно-динамического моделирования в контуре принятия управленческих финансовых решений

Основным достоинством данного подхода является то, что она позволяет в процессе построения модели движения финансовых потоков получить основные структурные соотношения между финансовыми показателями, которые дают возможность с легкостью адаптировать модель к условиям функционирования

любого предприятия путем изменения правил формирования интенсивностей потоков.

Выбор данного подхода также обусловлен тем, что она позволяет наиболее полно отразить сущность финансовых процессов, определяя накопления в финансовой системе в виде уровней; финансовые потоки, перемещающие содержимое от одного уровня к другому, в виде темпов, а также возможности задания множества параметров, характеризующих состояние внешней и внутренней среды (рисунок 11).

Возможность задания уровней, темпов и параметров позволяет формировать функции решений, которые и определяют управленческие воздействия по реализации принятой финансовой стратегии в условиях действия угроз.

Построение сети предполагает использование соответствующих способов математического и графического представления объекта моделирования. Считается, что моделируемая система имеет структуру сети, в узлах которой находятся характеристики финансового состояния предприятия, а дугами являются потоки средств, аналогичные проводкам бухгалтерского учета. Потоки средств рассматриваются как непрерывные переменные величины и изображаются графически в виде линий, по отношению к которым определено положительное направление движения средств (рисунок 12).

На рисунке 12 показаны три потока $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$, для которых положительные направления указаны стрелками. Значения переменных величин равны интенсивностям потоков и считаются положительными, когда средства движутся в направлении стрелок, и отрицательными – в противном случае.

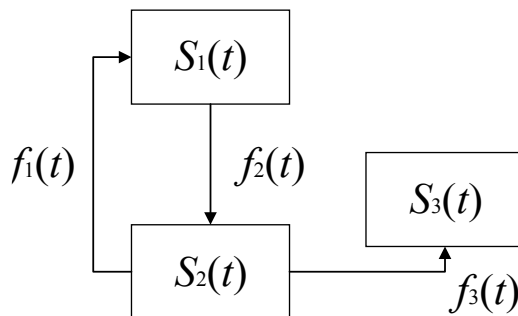


Рис. 12. Моделируемая система потоков и накопителей финансовых средств предприятия

С помощью блоков-накопителей изображаются характеристики финансового состояния предприятия, содержимое которых представляет с точки зрения бухгалтерского учета остаток счетов - сальдо в виде непрерывных переменных величин, на рисунке 12 это $S_1(t)$, $S_2(t)$, $S_3(t)$.

Содержимое накопителей является результатом притоков и оттоков на отрезке времени от начального до текущего с учетом содержимого в начальный момент. Такое соотношение в математической записи выражается с помощью определенного интеграла и для накопителя $S_2(t)$ имеет следующий вид (10):

$$S_2(t) = \int_{t_0}^t [f_2(\tau) - f_1(\tau) - f_3(\tau)] d\tau + S_2(t_0), \quad (10)$$

где t_0 – начальный момент времени;

$S_2(t_0)$ – содержимое накопителей начальный момент времени.

После дифференцирования определённого интеграла по времени имеем (11):

$$\frac{dS_2(t)}{dt} = f_2(t) - f_1(t) - f_3(t), \quad (11)$$

то есть скорость изменения содержимого накопителя равна суммарной интенсивности притоков и оттоков с учетом их знаков.

Построение модели движения финансовых потоков предприятия требует введения ряда определенных предположений и допущений относительно всей информации, на основе которой реализуется модель, а именно:

1. Организационно-правовой тип предприятия.
2. Выбранный вариант налогообложения.
3. Тип выпускаемой продукции.
4. Технология производства.
5. Нормы затрат труда, материалов, оборудования.
6. Порядок начисления амортизации.
7. Доступные условия кредитования.
8. Установленный порядок расчетов с кредиторами и дебиторами и т. д.

Определение данных предположений о предприятии является необходимым для формирования структурных взаимосвязей модели. Нужно отметить, что каждое из допущений является детерминантой, поскольку определяет устоявшиеся и зачастую неизменяемые функциональные особенности финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

При построении модели движения финансовых потоков на основе теории системной динамики выделяются следующие элементы:

1. Уровни или резервуары, определяющие состояние отдельных составляющих активов и пассивов предприятия в определенный момент времени.

2. Темпы финансового потока, перемещающие содержимое от одного уровня к другому и определяющие мгновенные потоки между уровнями в системе. Темпы отражают активности между различными уровнями, в то время как уровни отражают состояние, которое является результатом активности в системе. Темпы потока устанавливаются на основе уравнений в соответствии с законами, которые определяют вид функции решений. Каждый из уровней может иметь как один, так и несколько входящих или исходящих потоков. Потоки, входящие в уровень, свидетельствуют об его увеличении, и наоборот, потоки, исходящие из уровня, означают его уменьшение.

3. Функции решений, которые регулируют темпы потока между уровнями. По сути, функции решений отражают реакцию системы управления финансовой деятельностью предприятия на изменение как внутрисистемных, так и параметров внешней среды.

4. Каналы информации, соединяющие функции решений с уровнями. На основании информации о финансовом состоянии предприятия системой управления вырабатываются функции решений, определяющие интенсивности перехода капитала из одного вида в другой и, как следствие, изменяющие финансовое состояние.

При построении модели движения оборотных активов одним из основных допущений является измерение всех уровней и темпов в стоимостных единицах.

Все остальные допущения относятся к уровням модели и процессам их формирования. Так, в модели движения оборотных активов для уровня дебиторской задолженности $DZ\{t\}$ вводится допущение о том, что он включает только объем продукции, отдаваемой на реализацию с отсрочкой платежа.

Формирование всех уровней осуществляется на основе их состояния и разности входящих и исходящих потоков. Важным достоинством предлагаемой модели движения оборотных активов является то, что ее структура подвижна и может быть адаптирована под предприятие любой отрасли промышленности. Это достигается за счет адаптации уровней, темпов и функций решений модели.

Построение модели движения оборотных активов осуществлялось в несколько этапов:

1. Построение диаграммы причинно-следственных связей.
2. Выделение уровней модели.
3. Определение темпов потоков и параметров модели.
4. Построение графической модели.
5. Математическое построение модели.

Разработка модели начинается с анализа деятельности предприятия. По заключениям экспертов, по статистическим данным, по предъявляемым требованиям руководства и будущих пользователей модели строится описательная модель предприятия. Создается так называемая когнитивная модель, отражающая причинно-следственные связи и набор математических зависимостей между различными величинами. При этом активно используются уже существующие на предприятии информационные приложения и системы обработки информации (отчеты, формулы, таблицы и т.д.).

На этой основе строится консолидированная математическая модель. Получение численного решения и результатов моделирования при наличии сложных дифференциальных уравнений возможно осуществить в специальном прикладном пакете имитационного моделирования Powersim. На этом этапе создается расчетная модель. Верификация модели производится с помощью тестовых

примеров, проигрывания работы модели на исторических данных, использования экспертного тестирования.

С помощью пакета Powersim можно построить не просто экономическую модель, которая представляет собой элементы системы и их взаимодействие друг с другом, а мини-лабораторию, где можно экспериментировать с различными стратегиями управления данной моделью перед попыткой внедрения ее в реальном мире. Кроме того, Powersim позволяет проследивать изменение модели на каждом шаге отрезка времени, таким образом, превращая модель в симулятор.

Примеры реализации базовых моделей и последовательность их создания в прикладной среде имитационного моделирования Powersim Studio 7.0 а так же методика их разработки от концептуальной схемы до использования как основы для принятия решений в конкретных экономических задачах в будут рассмотрены во втором разделе данного ресурса.

Контрольные вопросы:

1. Какие факторы влияют на усложнение задач принятия управленческих решений?
2. Назовите основные понятия и определения теории принятия решений.
3. Назовите основоположников теории принятия решений.
4. Что является методологической базой ТПР?
5. Какие виды моделей вы знаете?
6. Перечислите принципы моделирования.
7. Опишите этапы процесса принятия решений.
8. Чем характеризуются «системы поддержки принятия решений» как современное специализированное ПО?
9. Назовите известные вам современные СППР.
10. Какова взаимосвязь лица принимающие решения (ЛПР) и СППР?
11. Назовите основные требования, предъявляемые к управленческим решениям.

12. Какие основные элементы участвуют в процессе имитационного моделирования?
13. Назовите этапы разработки системно-динамической модели.
14. Поясните принципы построения диаграммы причинно-следственных связей.
15. Назовите этапы построения математической модели динамического процесса экономической системы.

Индивидуальные задания:

Рассмотрите одну из приведенных ниже проблемных ситуаций (или собственную, согласовав ее с преподавателем). Постройте диаграмму причинно-следственных связей для этой ситуации и опишите ее. Внутри диаграммы должны присутствовать циклы обратной связи (укажите их). Оцените, какие факторы влияния на ситуацию существуют.

Варианты проблемных ситуаций:

1. В некоторой компании ухудшилась производительность труда с чем это может быть связано?
2. Как сократить пробки на дорогах в крупном городе без дополнительного строительства объектов дорожной инфраструктуры?
3. Что повлияло на сокращение сбыта автомобилей?
4. Торгово-сбытовая фирма, занимающаяся поставками продуктов питания в магазины и арендующая склад хранения, стала нерентабельной в следствии увеличения аренды склада.
5. У производственной компании возникли трудности при сохранении своей ниши на рынке продукции, повышении качества своей продукции и накоплении капитала.
6. Укажите факторы, влияющие на качество продукции (услуги).
7. Укажите факторы, влияющие на удовлетворенность потребителя.
8. Какие факторы влияют на уровень подготовки специалиста?

2. РАЗРАБОТКА ПРИКЛАДНЫХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ В СРЕДЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ POWERSIM STUDIO 7.0

Для формирования практических навыков работы в СППР в этой части ЭОР рассмотрены примеры базовых и прикладных задач, решаемых с использованием среды имитационного моделирования Powersim Studio 7.0²⁰.

Пакет имитационного моделирования POWERSIM фирмы «ModellDatas» – это современный программный продукт, который может применяться для структурного моделирования, планирования и экспресс-анализа производственных и финансовых проектов и процессов. Пакет может использоваться для решения задач массового обслуживания, распределения финансовых потоков и средств, распределения ресурсов и транспортных потоков, а также для моделирования сложных систем, разработки стратегий и выбора оптимальных решений в различных областях деятельности. Модели, создаваемые в Powersim, могут быть как классическими динамическими моделями, так и просто расчетными, позволяющими рассчитывать сколь угодно сложные производственные и финансовые показатели.

Системы, построенные на базе моделей в среде Powersim, могут использоваться для:

- создания единых производственно-экономических моделей предприятия;
- расчета различных производственных и экономических показателей;
- сценарных расчетов и определения, таким образом, влияния управляющих воздействий и анализа их эффективности;
- анализа рисков;
- оптимизации деятельности предприятия;

²⁰ Коломыцева А. О., Аксенов А. С. Методические рекомендации по выполнению лабораторных занятий по дисциплине «Моделирование экономической динамики в программной среде PowerSim» для студентов образовательного уровня «бакалавр» направления подготовки 38.03.05 «Бизнес-информатика» всех форм обучения / Сост.: А. О. Коломыцева, А. С. Аксенов – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 58 с.

- формирования оптимальной стратегии на различных горизонтах планирования.

Эффективность системы заключена в:

- развитием визуальном способе создания моделей;
- использовании высокопроизводительных математических методов;
- адаптивности моделей;
- высокой скорости работы вплоть до возможности работы в реальном времени;
- гибких средствах представления результатов и отчетности и др.

Задачи данного раздела расположены по степени возрастания сложности и охватывают различные сферы знаний: математику, физику, экономику и, что особенно актуально для направлений «Бизнес-информатика» и «Прикладная информатика», сферу информационных технологий. Подразделы 2.1.-2.5. представляют базовые имитационные модели, ориентированы на знакомство с Powersim Studio и с основами построения имитационных моделей. Подразделы 2.6.-2.8. содержат более сложные имитационные модели, используемые для решения прикладных управленческих задач, которые также служат примерами представления обоснования решений в проектных работах и отчетах по практике.

2.1. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА «ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ В БАКЕ»

Постановка задачи

Имеется бак для хранения воды. В терминах системной динамики бак – это уровень (или запас²¹). Тогда вода наполняющая бак – это входящий поток, регулируя который можно регулировать скорость наполнения бака (повышения его уровня). Выходящим же потоком может служить открытый слив внизу бака.

²¹ В дальнейшем под «уровнем» и «запасом» следует понимать одно и то же, т.к. они эквивалентны.

Системная динамика при анализе систем делает акцент не столько на потоки (их изменение может быть достаточно быстрым, даже мгновенным), сколько на изменение уровней. Анализируя тенденции изменения уровня (уменьшение, увеличение и их скорость), можно делать выводы о потоках и необходимости их изменения.

Итак, если уровень воды в баке не изменяется, то можно предположить, что перекрыт кран с водой и слив внизу бака. Но также может оказаться, что поток входящей из крана воды компенсируется потоком выпускаемой через отверстие. Если уровень уменьшается, то скорость стока воды превышает скорость наполнения бака и наоборот. Смоделируем данную простейшую систему в Powersim Studio 7.

2.1.1. Предварительная настройка

1. Запускаем Powersim Studio 7.
2. Если это первый запуск программы, то следует настроить рабочее пространство для полноценного использования возможностей пакета моделирования. В главном меню программы проходим по пути «View-Workspace-Restore User Interface-Advanced». В результате появятся скрытые до этого инструменты и слева появится окно дерева проекта. Для начала следует настроить модельно время, период и шаг моделирования.
3. Для изменения единиц времени в проекте переходим по пути «Project-Project Settings» и в открывшемся окне переходим на вкладку «Time Measurement», где меняем в Time unit единицу измерения «day» на «minute», жмем «ОК» (рисунок 13).

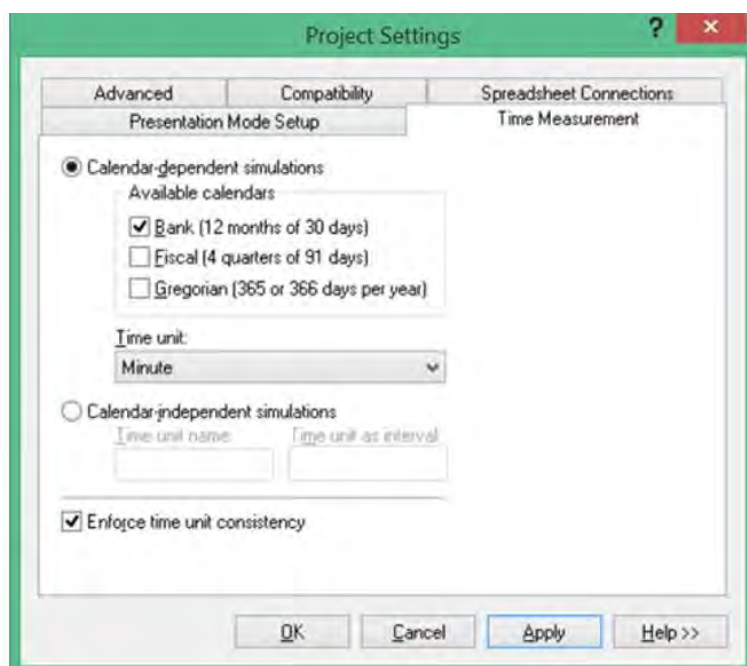


Рис. 13. Изменение единиц времени в проекте

4. Теперь следует настроить начальное, конечное время моделирования и шаг моделирования. В главном меню выбираем «Simulation-Simulation Settings» и в открывшемся окне прописываем необходимые для конкретной модели параметры. Для нашей модели установим шаг моделирования – 1 минута, а период моделирования определим 10 минут. Результат настроек можно увидеть на рисунке 14.

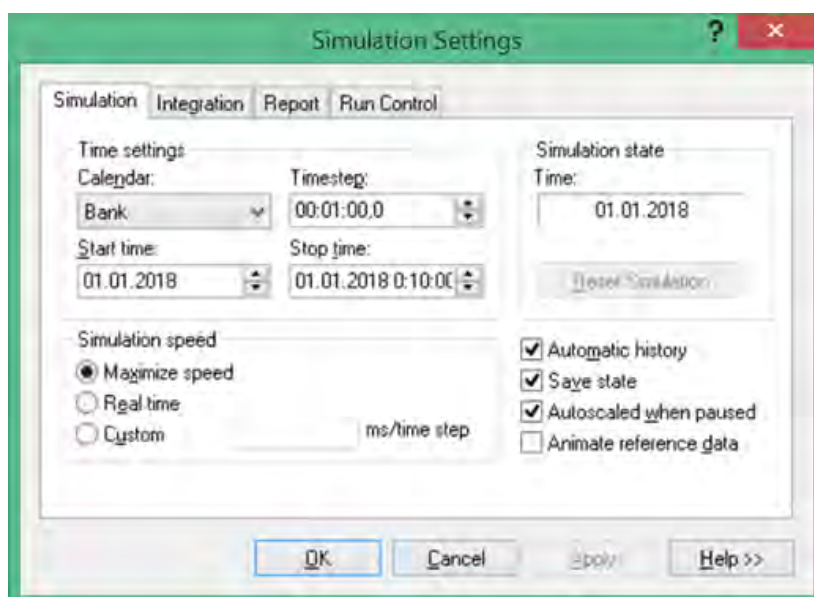


Рис. 14. Настройка периода моделирования

Теперь можно приступить непосредственно к построению модели.

2.1.2. Построение структуры модели

1. Первым делом извлекаем из панели инструментов объекты необходимые для построения модели. В данном случае предварительно было оговорено, что присутствует один уровень и два потока (входящий и выходящий). Так как потоки не могут существовать без уровней, то первым должен быть установлен уровень («Active Tool for Creating a Level»²²), а уже следом за ним потоки. Для отображения входящего потока следует выбрать инструмент «Flow with Rate» («Поток со скоростью») и сделать один клик левой кнопки мыши (ЛКМ) на пустом пространстве моделирования, а второй уже на уровне, в который входит поток. Выходящий поток строится таким же образом, но первый клик совершаем по уровню, а затем двойной клик по пустому пространству (один клик не завершит процесс построения, а лишь создаст узловую точку, если необходимо создать поток более сложной конфигурации, чем прямая). В результате должна получиться структура как на рисунке 15.

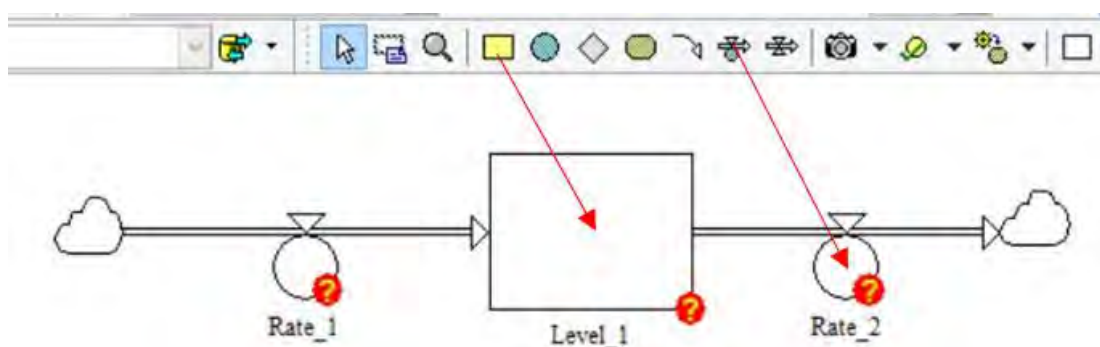


Рис. 15. Первичная структура модели

2. Далее следует настройка самой структуры под данную задачу. Переименуем входящий поток с «Rate_1» во «Входной_поток», уровень в «Уровень_воды», выходящий поток в «Выходной_поток».

Отдельно следует обратить внимание на правила наименования элементов:

- не стоит использовать пробелы, заменяйте их на «_»;
- желательно использовать латиницу (английские буквы), так как могут

²² В дальнейшем «Active Tool for Creating a/an...» будет опускаться и указываться название непосредственно инструмента: «Level», «Constant».

возникнуть проблемы с отображением названий элементов в формулах на различных компьютерах²³;

- названия должны быть максимально краткими, но при этом четко передающими цель элемента, что поможет упростить построение формул в дальнейшем и избежать непонимания предназначения того или иного элемента.

Как видно из рисунка 16, остались вопросительные знаки, означающие, что модель на данный момент не рабочая, так как ни один из элементов не определен.

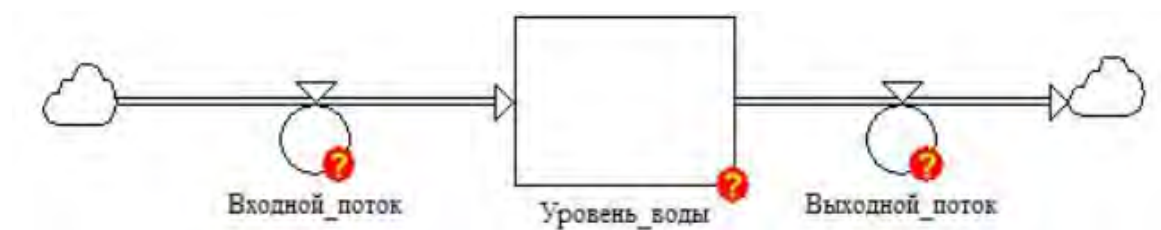


Рис. 16. Вид структуры модели после переименования структурных элементов

Не определены начальные значения, формулы, единицы измерения и т.д. Давайте определимся со всеми элементами модели.

3. Приступим к настройке уровня. Дважды кликнем ЛКМ по «Уровень_воды» и в открывшемся окне впишем или поменяем все необходимые данные:

- «Type» оставим без изменений. С него не желательно убирать значение «Auto».
- В «Unit» пропишем букву «l» («литры»). Но на рисунке 17 можно увидеть, что, так как в перечне стандартных единиц измерения внизу окна свойств нет такой единицы измерения, то Powersim выдает ошибку «The name 'l' is unknown», а значит ее нужно создать. Для этого дважды кликаем по надписи «<Add new unit...>», которая находится вверху существующего перечня единиц измерения, непосредственно под строкой ошибок.

²³ Однако далее в данном пособии для лучшего понимания материала чаще будет использоваться кириллица.

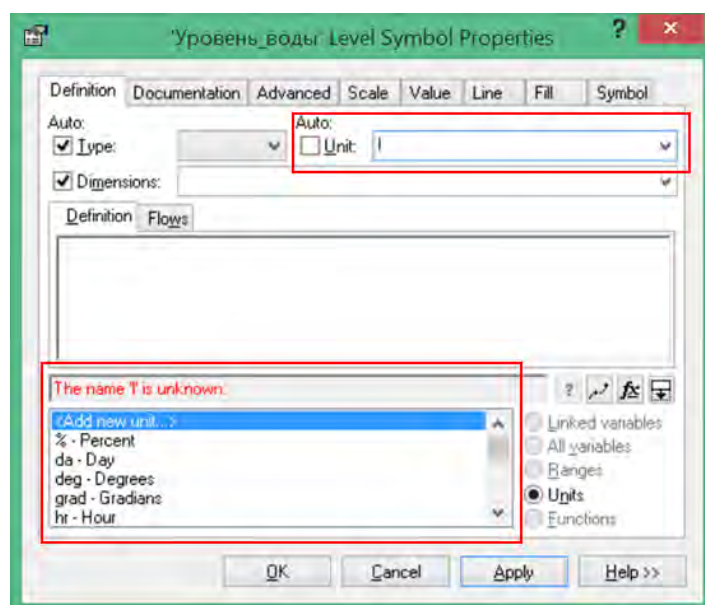


Рис. 17. Окно свойств элемента «Уровень_воды»

В появившемся окне (рисунок 18) можно увидеть три варианта внесения новой единицы измерения:

- написать собственную «Enter new name»;
- выбрать встроенную стандартную единицу измерения «Select a built-in standard unit»²⁴;
- выбрать встроенную стандартную валюту «Select a built-in currency unit».



Рис. 18. Добавление новой единицы измерения

²⁴ В «Select a built-in standard unit» находятся некоторые стандартные физические величины: метры, литры, градусы, амперы и т.п.

Для нашей задачи выбираем стандартную величину «l» (литры) и жмем «Finish». Нужно заметить, что созданные пользователем величины ничем не хуже стандартных, так как единицы измерения необходимы не для каких-то специальных преобразований и функций, а для контроля логичности взаимодействия объектов и наглядности самой модели.

После добавления ставим курсор в поле «Unit», а затем выбираем из списка единиц измерения внизу окна свойств появившуюся там новую единицу «l – Liter». Теперь на рисунке 19 можно увидеть, что предыдущая ошибка исправлена, но появилась новая.

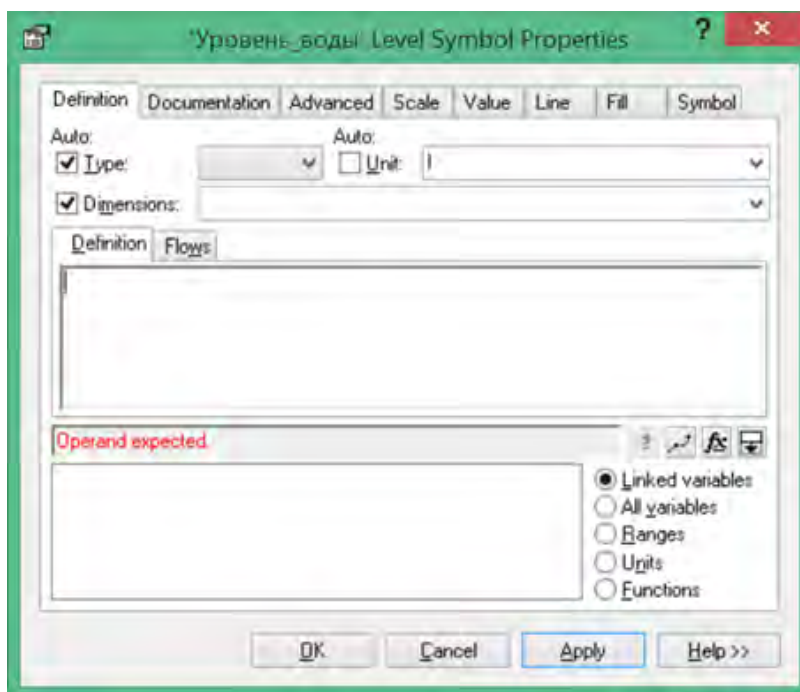


Рис. 19. Окно свойств элемента «Уровень_воды» после исправления ошибки

Ошибка «Operand expected» связана с тем, что в поле «Definition» не введено начальное значение. Если введем, к примеру, 20, то увидим (рисунок 20), что ошибок больше нет, а на месте поля, где выводились ошибки надпись «= 20 l» – это текущее значение уровня. Нажимаем «OK». В окне построения диаграммы на рисунке 20 можно увидеть, что вопросительный знак с уровня пропал, но остались вопросы с потоками (рисунок 21).

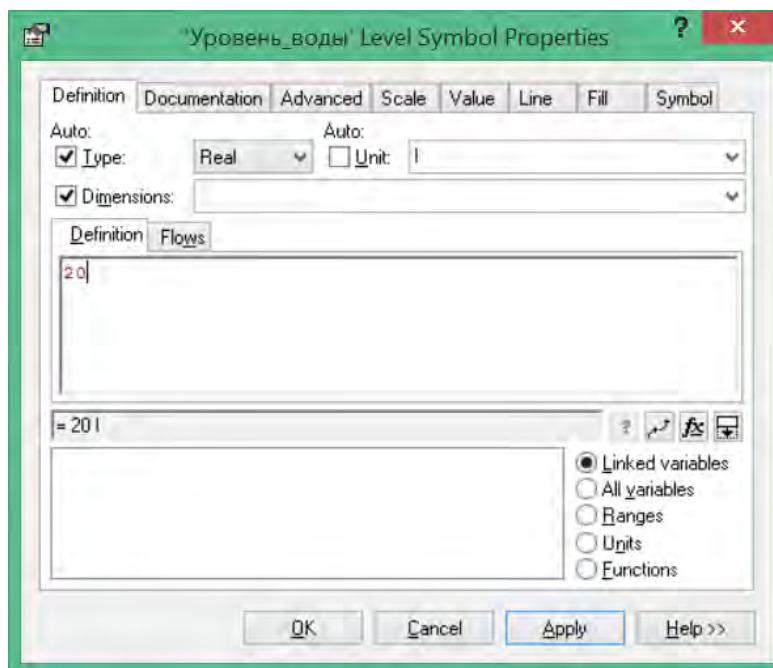


Рис. 20. Результат настройки уровня



Рис. 21. Структура модели. Результат настройки уровня

4. Приступим к настройке входящего потока.

Делаем двойной клик ЛКМ по элементу «Входной_поток». Пропишем «Definition» $5 \ll l \gg$. 5 – это значение входного потока на начальный момент времени моделирования, а $\ll l \gg$ – это второй вариант прописывания единиц измерения, альтернативный тому, который был использован в п. 3 при настройке уровня.

Но в окне свойств на рисунке 22 можно увидеть, что, не смотря на то, что единица измерения автоматически отобразилась и в меню «Unit», Powersim все-равно предупреждает об ошибке: «The definition is ok by itself, so the variable will be well defined. --> However, the flow (double arrow) into the level 'Уровень_воды' will not be well defined since you have only specified the quantity of the flow, but not how long time it takes to flow. --> You should divide the definition by a time period

to get an acceptable resulting unit, for instance 'l/min'.».

Данная ошибка говорит о том, что определение переменной произошло успешно, но поток должен быть зависим от времени моделирования. И тут же предлагает решение проблемы – нужно сделать так, чтобы единица измерения была не «l», а «l/min».

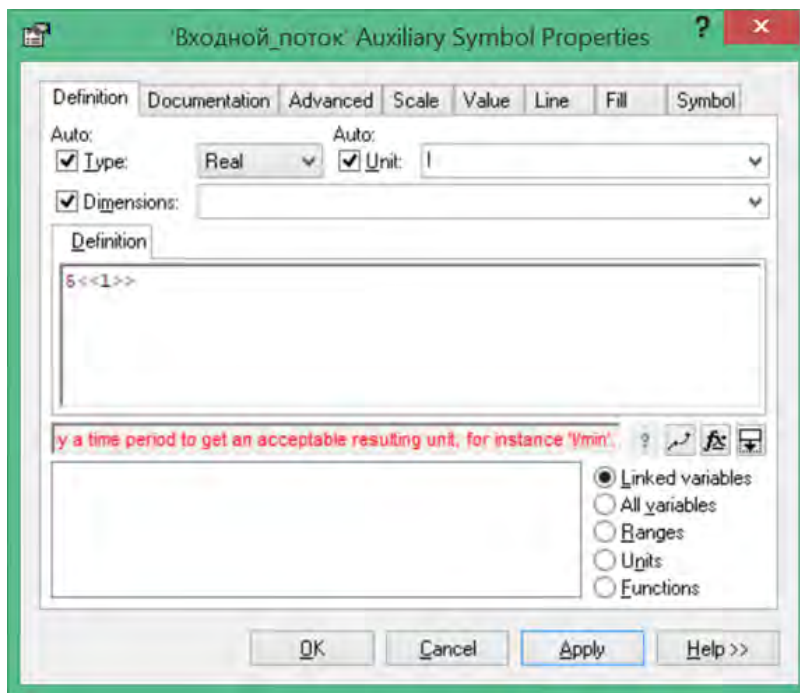


Рис. 22. Окно свойств входящего потока

Можно было бы просто поставить курсор в кавычки, где была определена единица измерения, и изменить запись на «<<l/min>>», но в случае изменения шага моделирования в дальнейшем может возникнуть ошибка. Этого можно избежать, используя специальную встроенную функцию Powersim «TIMESTEP», которая принимает значение текущего шага моделирования и передаст его динамически в поле «Unit».

Итак, изменим запись в поле «Definition» следующим образом «5<<1>>/TIMESTEP». На рисунке 23 можно увидеть результат.

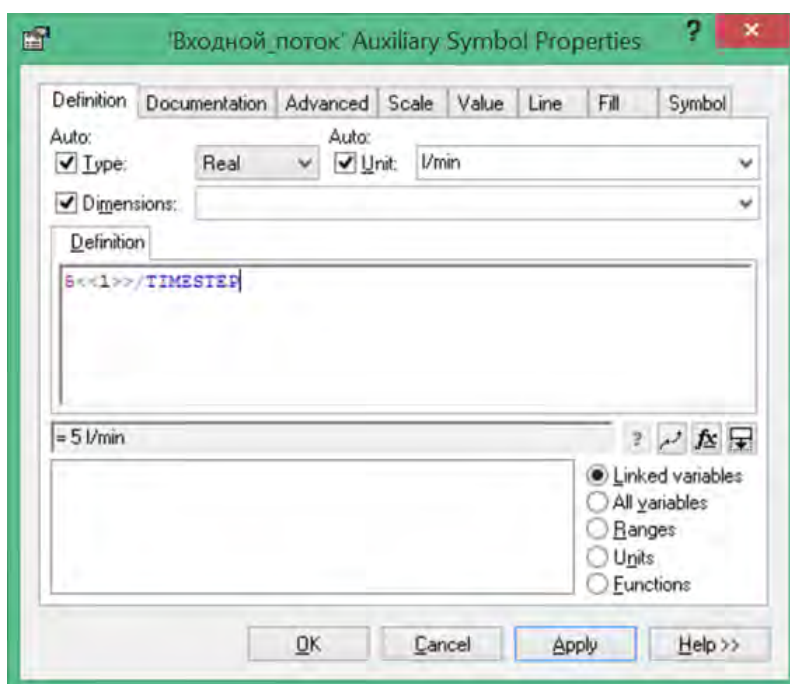


Рис. 23. Окно свойств входящего потока, с учетом исправленных ошибок

5. С выходным потоком поступим также, как с входным и, для начала, оставим такое же значение – 5 л. А для наглядности отображаемых значений нажмем правой кнопкой мыши (ПКМ) по уровню и в выпавшем контекстном меню выберем «Show Auto Report», затем сделаем ту же операцию с входным и выходным потоками. В результате получим следующий вид модели (рисунок 24).

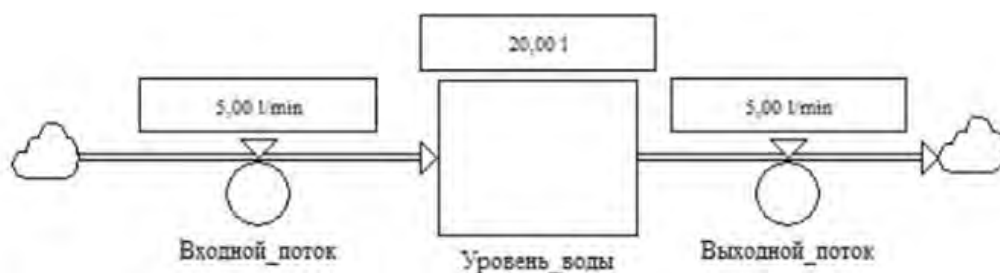


Рис. 24. Структура модели после всех настроек

6. Теперь запустим эксперимент и посмотрим, что происходит с уровнем воды в баке в течении 10 минут. Для запуска модели используется меню в верхнем левом углу окна Powersim (рисунок 25). Стрелочка (Ctrl+R) используется для сброса моделирования на начальное время. Стрелочка (Ctrl+Shift+Space) делает ровно один временной шаг прогона модели, а (Ctrl+Space) – прогоняет модель от начала до конца.

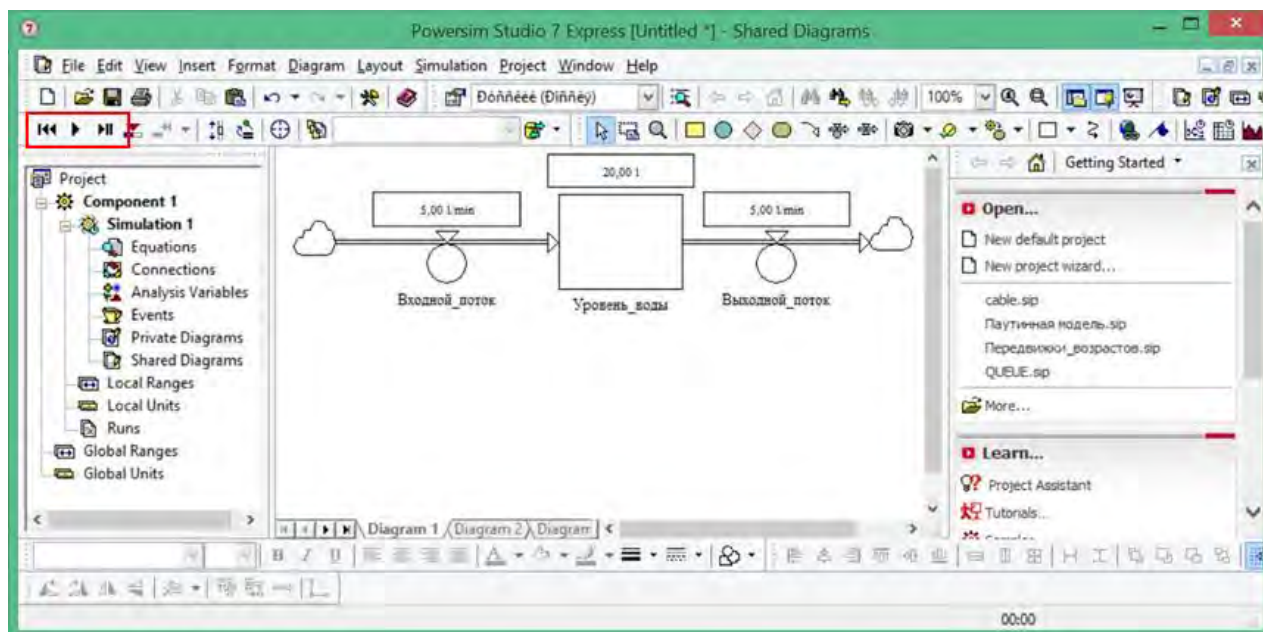


Рис. 25. Меню для запуска прогонов модели

Запустив полный прогон модели можно заметить, что ничего не изменилось, ведь были установлены равные значения входного и выходного потока, то есть создана ситуация, при которой уровень находится в равновесии. В зависимости от поставленных целей это может быть как хорошо, так и не очень. Если цель сохранить уровень таким же, то все в порядке, если цель набрать, предположим, литров 100, то нас это не устраивает и нужно перекрыть выходной поток, либо увеличить входной, если же цель выпустить воду, то, возможно, стоит перекрыть входной поток.

2.1.3. Визуализация результатов моделирования и их анализ

Прежде чем вносить изменения в параметры элементов модели, коснемся вопроса визуализации данных.

Наиболее часто используемым инструментом визуализации данных в любых программных пакетах является график. В Powersim есть инструмент «Time Graph» , который находится на той же панели построения диаграмм, что и уровни с потоками.

1. Расположим область графика под структурой нашей модели, кликнув сначала один раз по значку временного графика, а затем кликнув один раз по

месту, куда хотим вставить график. В результате должна появиться пустая область для построения графика (рисунок 26).

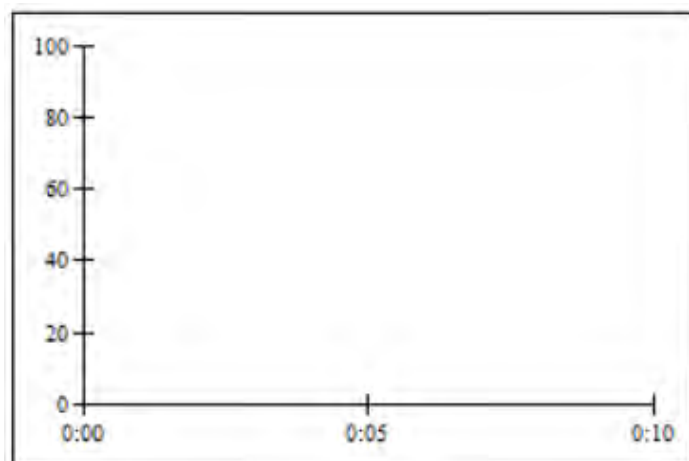


Рис. 26. Область построения временного графика

2. Теперь достаточно зажать ЛКМ над элементом, график изменений которого необходимо построить и, не отпуская зажатую ЛКМ, перетащить элемент на область построения графика, где отпустить ЛКМ. В результате получим график, как на рисунке 27.

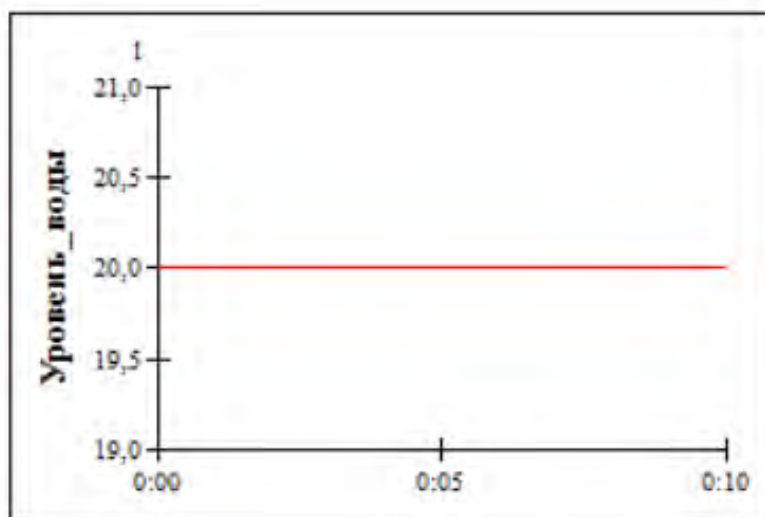


Рис. 27. График изменения уровня воды в баке при значениях входного и выходного потока 5 л/мин

3. Теперь на отдельный график извлечем данные об изменении входного и выходного потоков. Для этого поставим на область построения диаграммы еще

один временной график и перенесем на него поочередно входной и выходной потоки (рисунок 28).

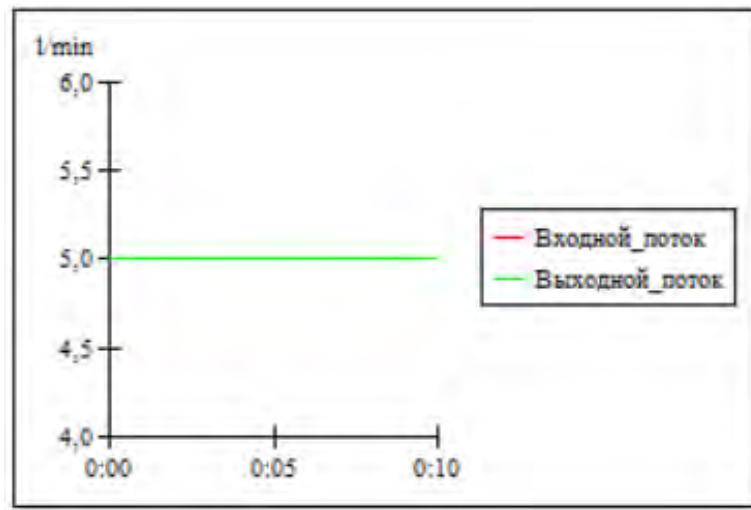


Рис. 28. Графики входного и выходного потоков

На данном графике сливаются линии входного и выходного потоков. Но теперь, когда настроен инструмент для визуального анализа данных, вернемся к вопросу цели наблюдателя данного процесса.

4. Предположим, что целью является опустошение бака с водой, тогда необходимо отключить входной поток. Для этого изменим определение входного потока. В окне свойств перепишем поле «Definition» с «5<<1>>/TIMESTEP» на «0<<1>>/TIMESTEP» и запустим полный прогон модели (Ctrl+Space). В результате будет получен достаточно странный с точки зрения прикладной области график (рисунок 29), на котором к 10 минуте моделирования в баке остается -30 л.

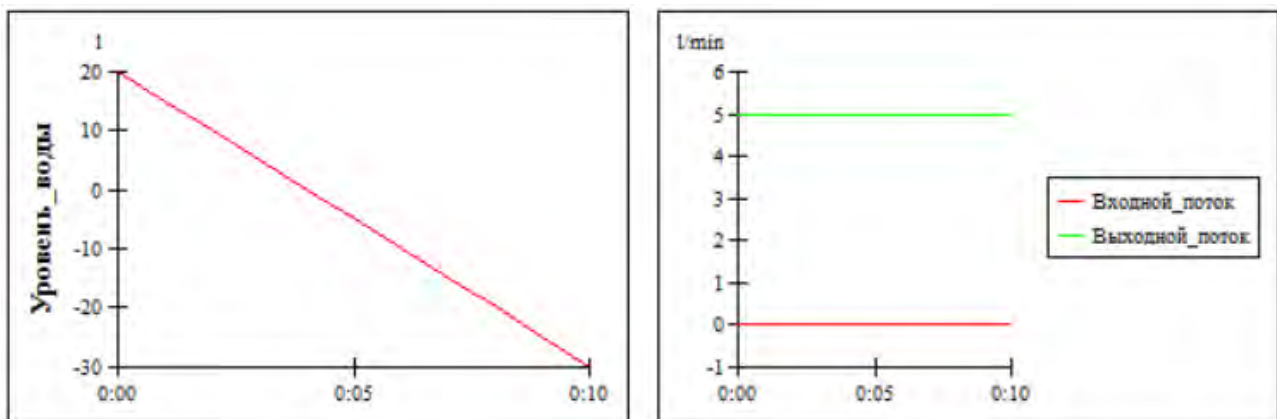


Рис. 29. Результат прогона модели с нулевым входным потоком

Чтобы избежать подобных казусов, если заранее известно, что какой-то элемент не может принимать значения выше или ниже заданных, то можно это указать в настройках элемента. Кликаем два раза по уровню «Уровень_воды» и в окне свойств переходим на вкладку «Scale», где возле свойства «Minimum» убираем «Auto» и ставим «0». Жмем «ОК», жмем прогон модели и видим уже более реалистичный график (рисунок 30).

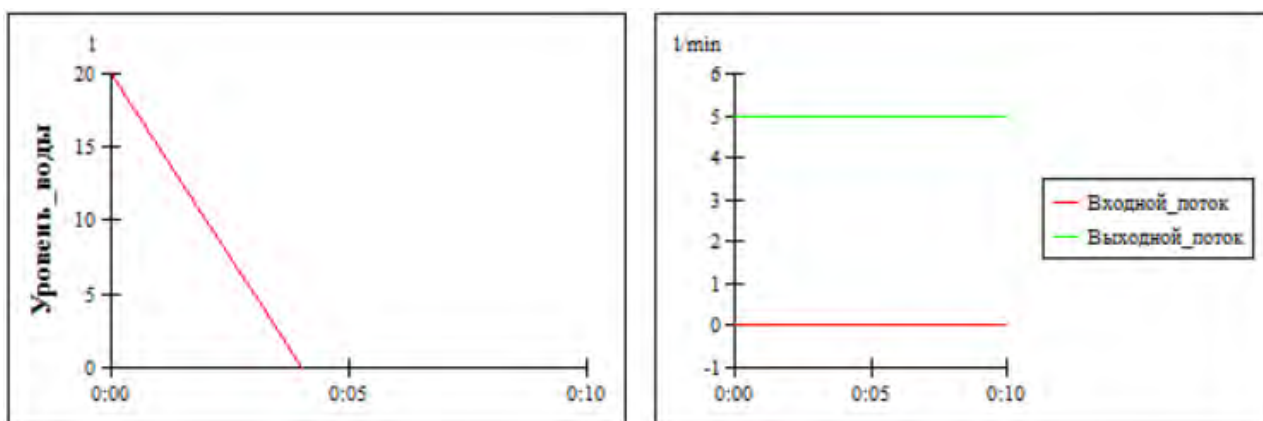


Рис. 30. Исправленный график изменения уровня воды при нулевом входном потоке

2.1.4. Уточнение постановки задачи и формализации модели

А теперь слегка усложним нашу систему. Предположим, что вместимость бака 60 л. и нежелательно, чтобы уровень воды приближался к краю, а достигал максимум 55 л. Скорость выходящего потока либо 5 л/мин, либо 0, если сток перекрыт. Скорость входного потока может регулироваться человеком от 0 л/мин до 10 л/мин. И если уровень воды доходит до предельного значения 55 л., то следует перекрыть входной поток и открыть выходной, для вывода уровня воды из критического значения.

В таблице 8 представлены требования к модели в формальном виде.

Формальное представление модели «Уровень воды в баке»

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измерения	Описание
Уровни				
1	Уровень_воды	0...60 (20)	л.	Начальный уровень воды в баке
Потоки				
1	Входной_поток	$\begin{cases} \text{Скорость_потока,} & \text{Уровень_воды} < 55 \\ 0, & \text{Уровень_воды} \geq 55 \end{cases}$	л/мин.	Регулятор входного потока
2	Выходной_поток	$\begin{cases} 0, & \text{Уровень_воды} < 55 \\ 5, & \text{Уровень_воды} \geq 55 \end{cases}$	л/мин.	Сброс воды, при достижении критического значения
Константы				
1	Скорость_потока	0...10 (3) ²⁵	л/мин.	Начальное значение скорости входного потока
Параметры модели				
1	Единица измерения	минуты	—	
2	Начальное время моделирования	01.01.2018 0:00:00	—	
3	Конечное время моделирования	01.01.2018 0:10:00	—	
4	Временной шаг модели	1 ²⁶	мин.	
Параметры сохраненных прогонов для сравнения с текущим прогоном ²⁷				
Первый сохраненный прогон ²⁸				
1	Скорость_потока	1	л/мин.	

Исходя из формального представления нового вида модели можно сделать выводы, что требуется изменить уравнения обоих потоков и добавить константу «Скорость_потока», а также добавить информационные связи от уровня к обоим потокам и от константы к входному потоку, так как они используют информацию об изменении этих элементов.

Теперь структура модели примет вид, как на рисунке 31.

²⁵ Для констант «0...10» это предел изменения значения константы, а «(3)» – значение по умолчанию, которое будет присвоено изначально.

²⁶ Не всегда временная единица измерения совпадает с шагом моделирования. К примеру, шаг мог быть 2 минуты или 5, в зависимости от гипотезы моделирования и границами временных интервалов, которые выбирает аналитик или лицо принимающее решение.

²⁷ Значение этого пункта станет понятно в процессе выполнения построения данной модели.

²⁸ В данной таблице показан лишь принцип оформления. В другой модели таких имитационных прогонов может быть больше, или меньше, или их вовсе может не быть.

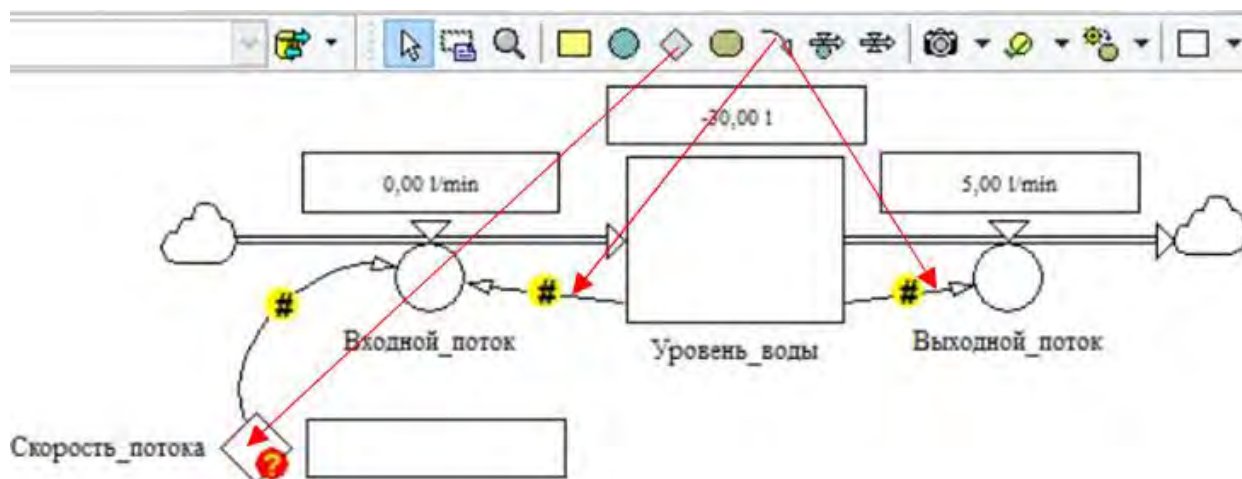


Рис. 31. Структура модели с учетом новых требований

Можно заметить знакомый вопросительный знак, который возник по причине того, что константа не определена. Также появились желтые кружки с решетками, которые говорят о том, что данная информационная связь не используется, т. е. элемент из которого выходит стрелка информационной связи не применяется при определении элемента, на который направлена стрелка, и Powersim, таким образом, задает вопрос: «Зачем нужна эта информационная связь, если она не использована?»

Теперь пропишем в поле «Definition» окна свойств соответствующих элементов, следующие выражения, соответствующие условиям, заданным в формальном представлении модели (таблица 8):

1. Константа «Скорость_потока» – « $3 \ll 1 \gg / \text{TIMESTEP}$ ».
2. Поток «Входной_поток» –
«IF(Уровень_воды $\ll 55 \ll 1 \gg$; Скорость_потока; $0 \ll 1/\text{min} \gg$)».
3. Поток «Выходной_поток» –
IF(Уровень_воды $\ll 55 \ll 1 \gg$; $0 \ll 1/\text{min} \gg$; $5 \ll 1/\text{min} \gg$).

Тут применяется условная функция «IF», которая имеет следующий синтаксис:

«IF (Условие; Значение, если условие выполняется; Значение, если условие не выполняется)». Обратите внимание, что к 55 приписана единица измерения

литры, так как уровень воды измеряется в литрах и Powersim не может сравнивать литры с неопределенной величиной или величиной, измеряемой в других единицах измерения.

Также во вкладке «Scale» окна свойств уровня «Уровень_воды» установим «Minimum» – 0, а «Maximum» – 60, окна свойств константы «Скорость_потока» – 0 и 10 соответственно.

В целом, все готово, но для более наглядного отображения результатов можно настроить область отображения графиков. Для этого следует перейти в свойства области построения временных графиков (двойной клик по пустой области элемента «Time Graph Control» смотрите красные кружочки на рисунке 32).

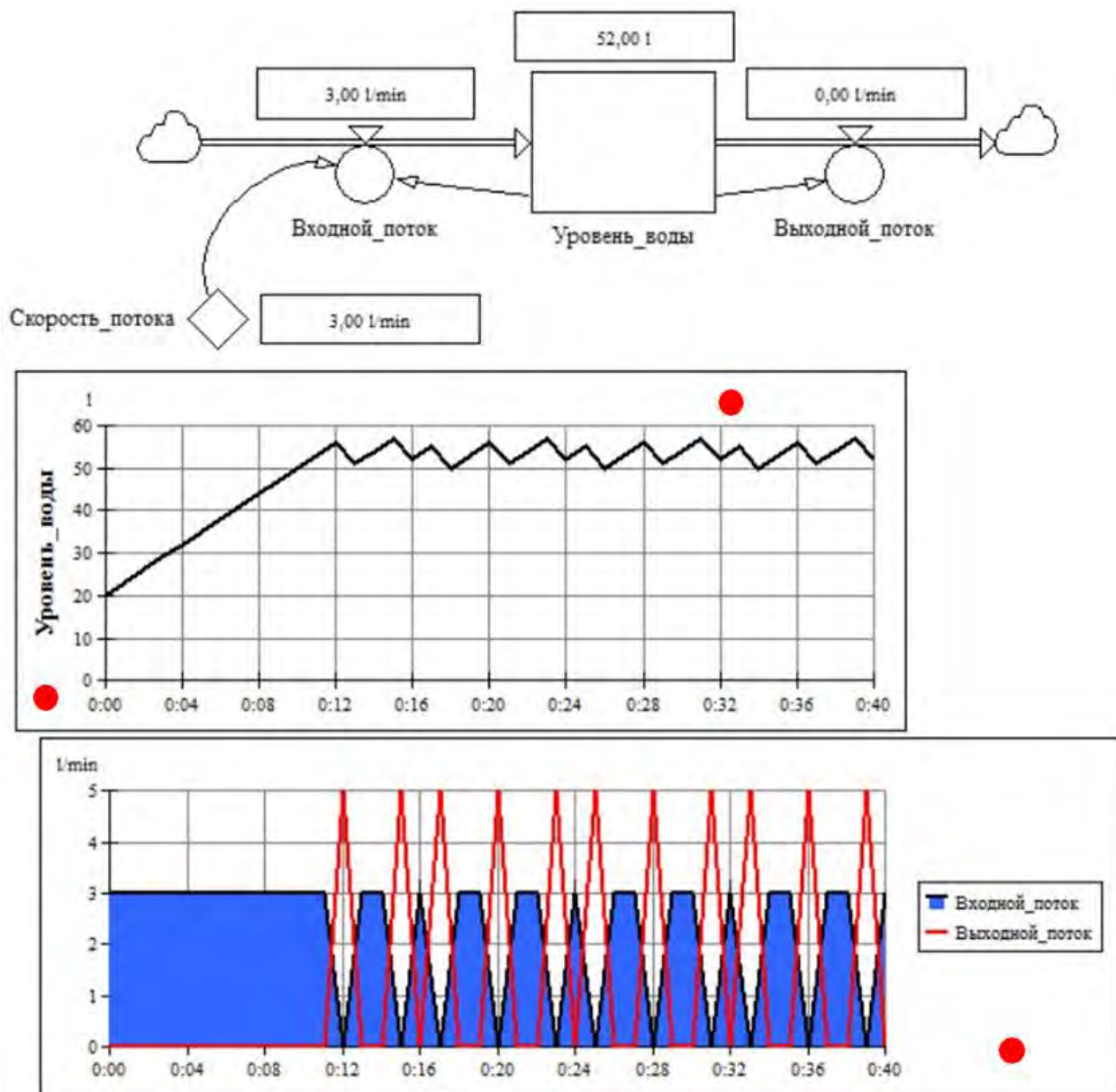


Рис. 32. Результат прогона модели, после всех настроек

Начнем со свойств графика «Уровень_воды» (рисунок 33):

- во вкладке «General» выберем «Major horizontal» и «Major vertical» для отображения сетки;
- во вкладке «Time Axis» уберем выбор свойства «Major» и установим значение 4 Minute;
- во вкладке «Line» выберем в поле «Properties» значение «Parameters (Уровень_воды) Line» и справа поменяем цвет с красного на черный, а толщину установим 1,5 pt.

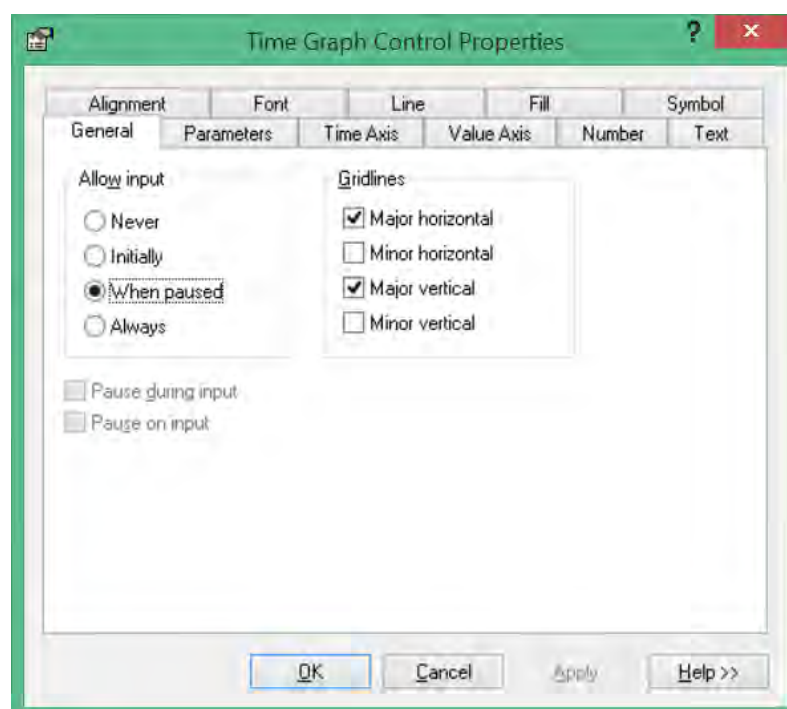


Рис. 33. Меню свойств графика «Уровень_воды»

Теперь установим параметры для второго графика:

- действия с вкладками «General» и «Time Axis» повторяем точно так же;
- на вкладке «Line» установим для «Parameters (Входной_поток) Line» цвет черный, для «Parameters (Выходной_поток) Line» цвет красный. Толщину для обеих линий поставим 1 pt;
- на вкладке «Fill» установим для «Parameters(Входной_поток) Fill» цвет светло синий.

И в конце, для лучшего понимания влияния потоков на уровень, расположим графики один над другим и растянем по длине так, чтобы совпадали начало

и конец временной шкалы. В результате должно получиться тоже, что на рисунке 32, только без красных точек.

Осталось добавить заявленную в постановке задачи регулируемость человеком скорости входного потока. Для этих целей лучше всего подходит элемент управления «Switch». Кликнем по нему ЛКМ один раз, а за тем по пустой области построения диаграммы. В результате появится некое поле «<No Parameter>» (рисунок 34).

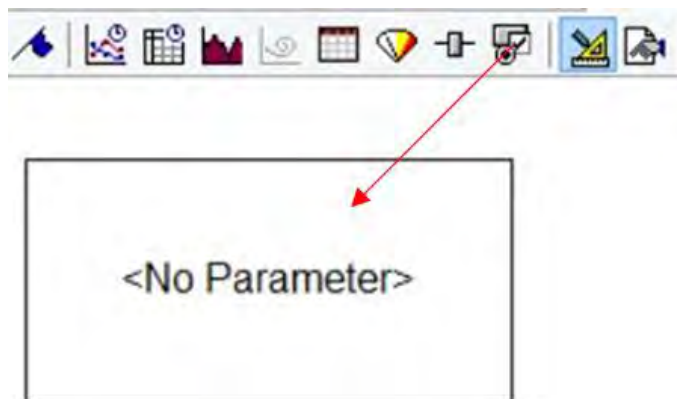


Рис. 34. Первоначальный вид элемента «Switch»

Остается «перетащить» на него при зажатой ЛКМ константу, которой будем управлять. Но сначала получаем просто кнопку с надписью: «Скорость_потока». Нажмем над ней ПКМ и в выпавшем контекстном меню выберем «Type-List Box». Теперь двойной клик по элементу для входа в окно свойств (рисунок 35). На вкладке «General» в разделе «States» убираем выбор с «Automatic» и ставим «Count» – 11. Таким образом появится 11 значений «Value» от 0 до 10, между которыми может переключаться пользователь.

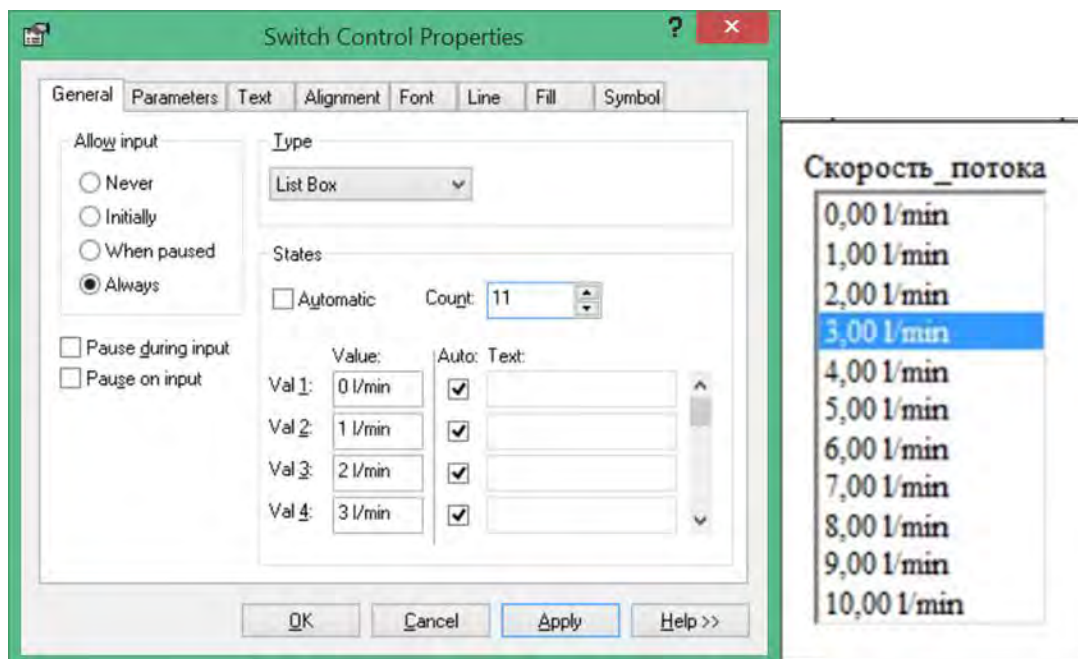


Рис. 35. Настройка элемента «Switch»

Продemonстрируем еще один вариант использования «Switch». Поставим еще один «Switch» на область диаграммы, кликнем два раза по элементу и в появившемся окне свойств перейдем на вкладку «Parameters». В разделе «Value source» есть «Component 1», где хранятся созданные пользователем переменные. В разделе «Simulation Control» хранятся параметры текущего моделирования (рисунок 36).

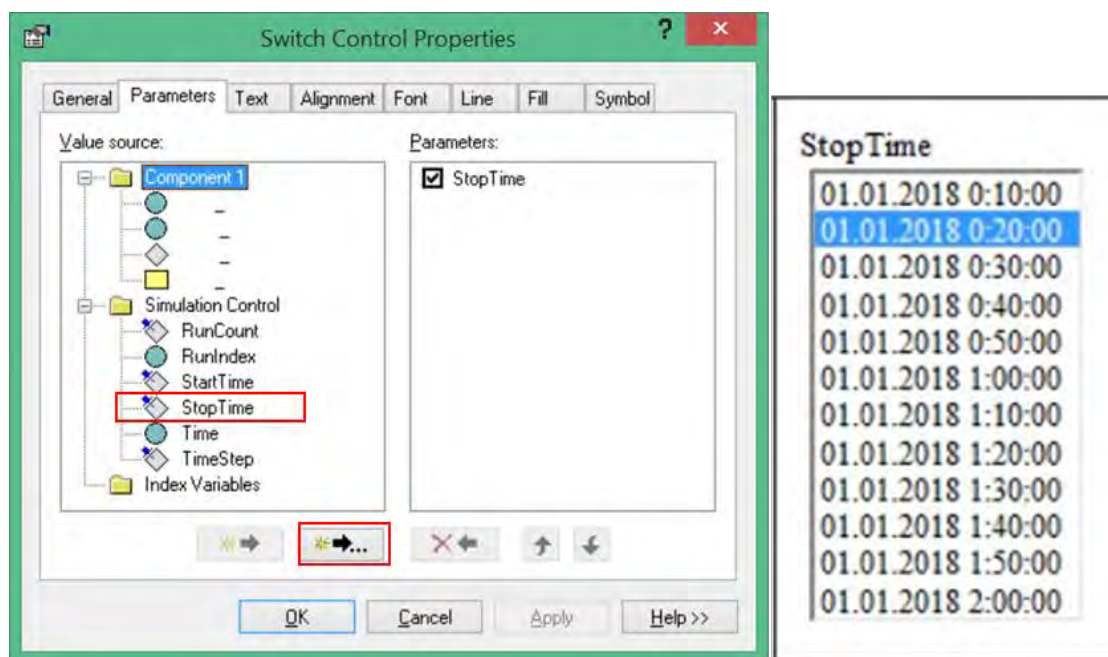


Рис. 36. Настройка «Switch» для регулирования параметров моделирования

Из «Simulation Control» выберем «Stop Time», чтобы позволить пользователю регулировать конечное время моделирования, и нажмем внизу кнопку с черной стрелочкой вправо, которая добавит этот параметр в управляющий элемент «Switch». Жмем «OK», а затем на появившейся кнопке «Stop Time» жмем ПКМ и выбираем «Type-List Box», после чего делаем двойной клик по элементу и настраиваем вкладку «General» следующим образом:

- в разделе «States» убираем выбор «Automatic» и ставим «Count» – 12;
- внизу, в разделе «Value» прописываем «Val 1» = 01.01.2018 0:10:00 (то есть конечное время наступит через 10 минут после начального);
- для последующих «Val 2...Val 12» пропишем тоже самое, но с возрастающим шагом в 10 минут, то есть 01.01.2018 0:20:00...01.01.2018 2:00:00;
- жмем «OK».

А теперь вернемся к последнему разделу формального представления модели (таблица 8) «Параметры сохраненных прогонов для сравнения с текущим прогоном». Давайте сохраним прогон с параметром «Скорость_потока» = 1 л/мин. при максимальном конечном времени – 2 часа (рисунок 37).

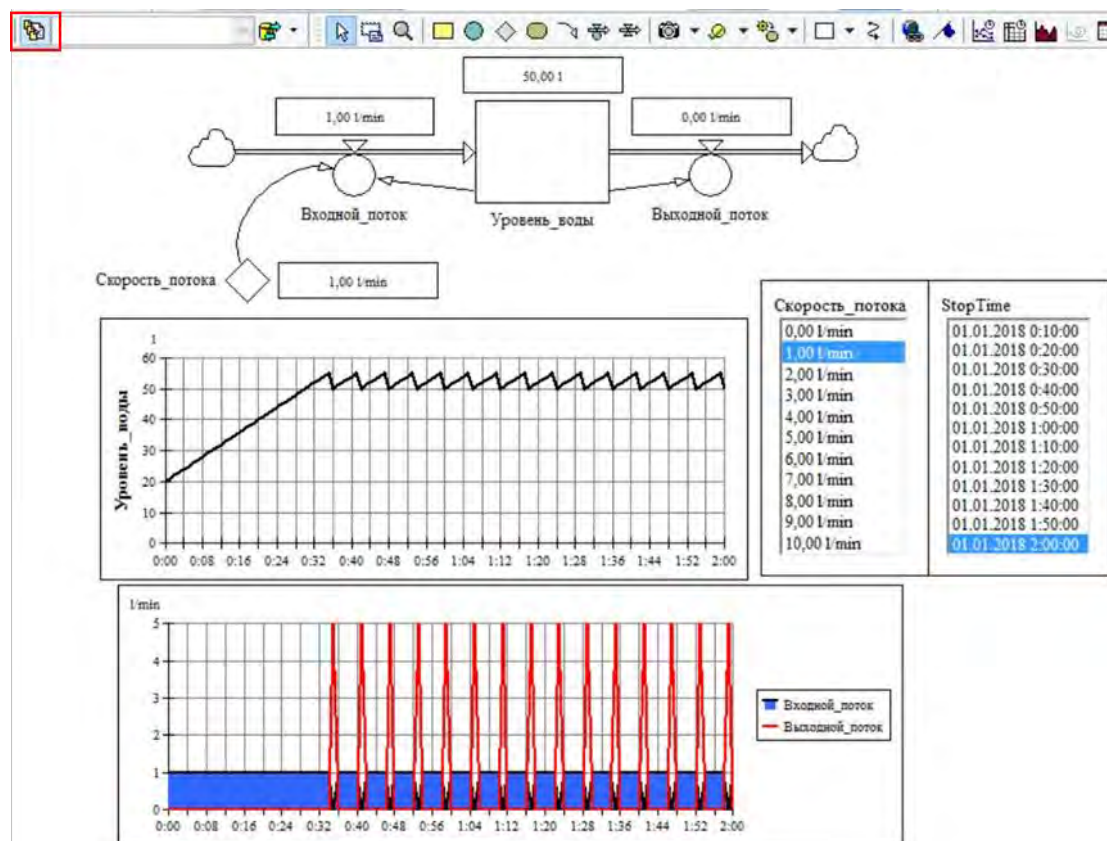


Рис. 37. Прогон модели для сохранения

Жмем «Add to Runs» в панели «Simulation» (верхний левый угол рисунка 37). И в появившемся окне пишем название прогона «Run_1_l/min» (рисунок 38).

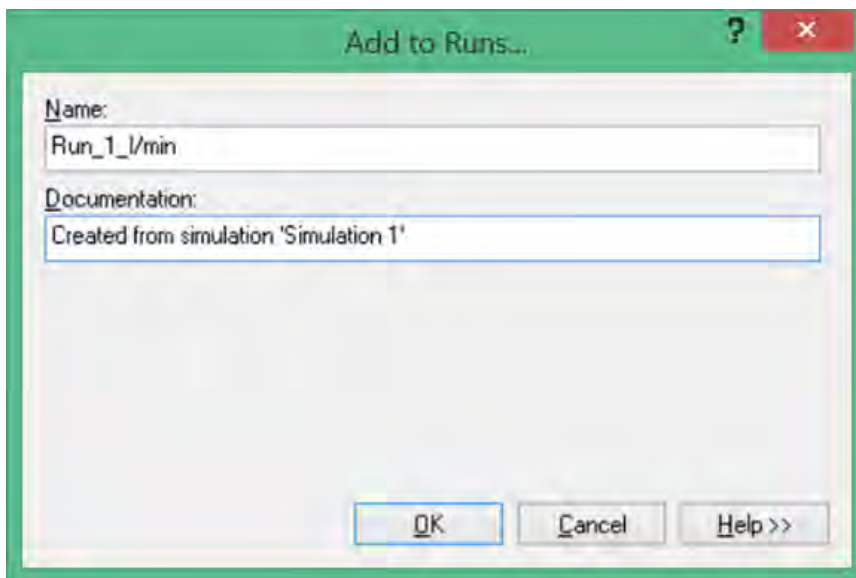


Рис. 38. Окно сохранения прогона

Теперь следует добавить отображение сохраненного прогона на графики:

- кликаем дважды по пустой области графика «Уровень_воды» (красные кружечки на рисунке 32);
- на вкладке «Parameters» кликаем по «+» возле «Component 1», где выбираем «Уровень_воды» и внизу кликаем стрелочку вправо (добавить);
- в появившемся окне (рисунок 39) запрещено добавлять «Active run», так как активный прогон уже добавлен, поэтому переключаемся на «Reference run» и жмем «ОК». Теперь справа в добавленных на график элементах есть два одинаковых уровня, но один со звездочкой – это наш сохраненный прогон;
- перейдем во вкладку «Line» и в «Properties» выберем «Parameters(*Уровень_воды) Line» и назначим ему красный цвет и толщину 1,5 pt.

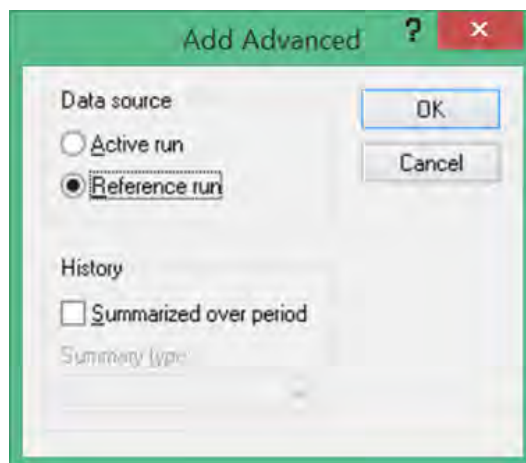


Рис. 39. Добавляем уровень из сохраненного прогона

Настроим график для входного и выходного потоков:

- зайдём в свойства графика для входного и выходного потоков;
- по тому же принципу, что и в предыдущем графике добавим «Входной_поток» и «Выходной_поток»;
- перейдем во вкладку «Line» и в «Properties» выберем «Parameters (*Входной_поток) Line» и назначим ему ярко зеленый цвет и толщину 1,5 pt, а «Parameters (*Выходной_поток) Line» – темно-зеленый (близкий к черному) цвет, толщина 1,5 pt;
- перейдем во вкладку «Fill» и в «Properties» выберем «Parameters(*Входной_поток) Fill» и назначим ему ярко зеленый цвет.

Теперь справа от кнопки «Add to Runs» в выпадающем списке выберем наш сохраненный прогон «Run_1_l/min». А для текущего прогона выберем параметры:

- «Скорость_потока» = 2 л/мин;
- «Stop Time» = 1 час.

Запустим текущий прогон и на рисунке 40 увидим графики для текущего и сохраненного прогонов, на основе, которых уже проще увидеть влияние входного потока.

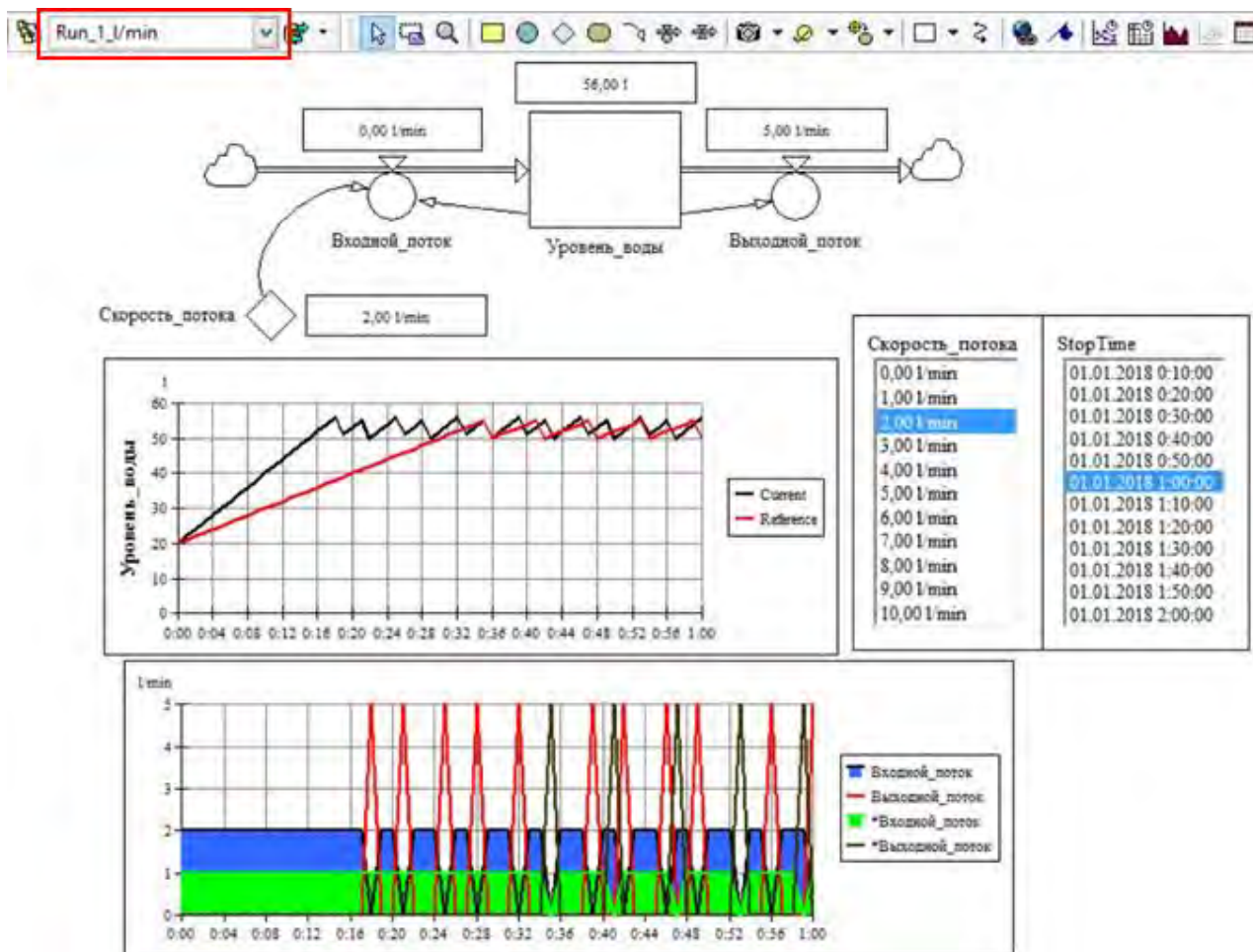


Рис. 40. Параллельное использование двух прогонов

Видно, что с ростом скорости потока уровень наполняется быстрее и частота пересечения критического уровня (55 л.) возрастает. Также возрастает скорость колебаний скоростей входного и выходного потоков.

В целом, цель достигнута, и можно переходить к рассмотрению более интересных и сложных моделей.

2.2. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ФИНАНСОВ БАНКОВСКОГО ВКЛАДА

В этой модели будут затронуты: работа с массивами, создание собственных именованных диапазонов, использование временных таблиц и элемента «Slider».

Постановка задачи и формальное представление модели

Предположим, что клиент хочет положить вклад в банк под определенный процент и посмотреть сколько денег он получит через 10 лет при определенном начальном вкладе.

По примеру, рассмотренному в предыдущей задаче в подразделе 2.1.4. Уточнение постановки задачи и формализации модели (таблица 8), составим формальное представление модели (таблица 9).

Таблица 9

Формальное представление модели банковского вклада

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измерения	Описание
Уровни				
1	Деньги на счете	1000	RU	Начальный размер вклада
Потоки				
1	Начисляемая_сумма	Деньги_на_счете*Банковский_процент	RU/yr	Количество денег, начисляемое в зависимости от суммы, которая лежит в данный момент на счете и банковского процента
Константы				
1	Банковский_процент	2	%	Размер банковского процента
Параметры модели				
1	Единица измерения	годы	—	
2	Начальное время моделирования	01.01.2018	—	
3	Конечное время моделирования	01.01.2028	—	
4	Временной шаг модели	1	год	

2.2.1. Предварительная настройка

1. Настроим в «Project Settings» единицу измерения «year», а в «Simulation Settings» поставим шаг «1 yr» и указанные в таблице начальное и конечное время моделирования.

2. Извлечем необходимые нам: 1 уровень, 1 входной поток и 1 константу. Соединим их и подпишем исходя из данных таблицы 9.

3. Впишем «Definition» и «Unit» необходимые данные. При этом нам придется создать единицу «RU», так как ее нет среди стандартных валют. Поэтому воспользуемся первым методом добавления новых единиц измерения (рисунок 41).

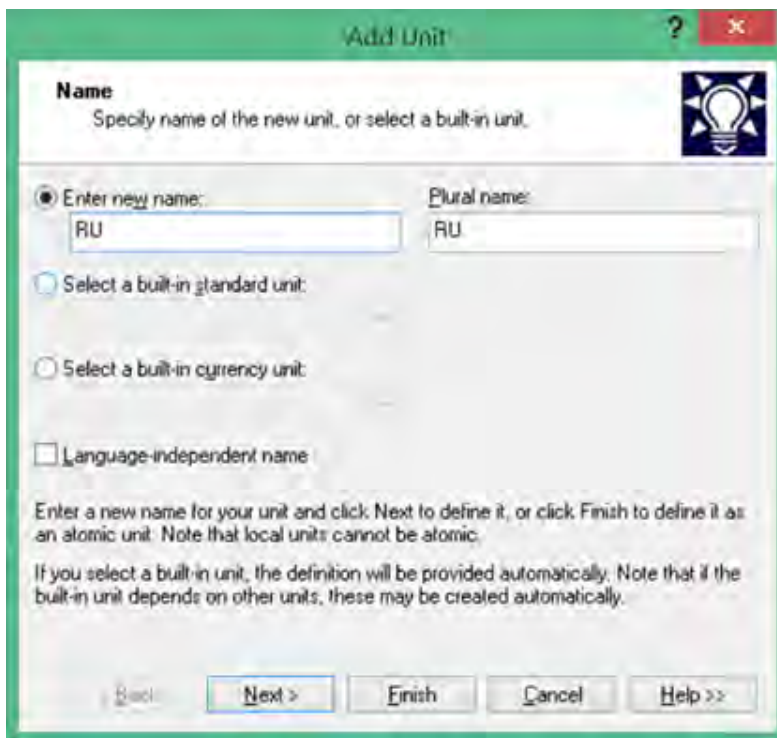


Рис. 41. Добавление единицы измерения «RU»

2.2.2. Построение структуры модели

1. Добавим для отображения изменения запаса денег на счете временной график и запустим прогон модели. Также выведем значения всех элементов модели на экран с помощью «Show Auto Report». Результат должен получиться примерно, как на рисунок 42.



Рис. 42. Результат представления модели в Powersim

2. Для такого же отображения графика поставим во вкладке «General» выбор «Major horizontal» и «Major vertical». На вкладке «Time Axis» в разделе «Intervals» ставим «Major» = 1 year. На вкладке «Value Axis» в разделе «Scale» ставим «Minimum» = 0 RU, а «Major unit» = 100 RU.

2.2.3. Уточнение постановки задачи

Предположим, что нужно проследить тенденцию изменения вкладов для нескольких людей.

Для этого достаточно представить уровень «Деньги_на_счете» в виде массива с нужным количеством вкладчиков. Введем вместо «1000<<RU>>» следующее выражение «{2000; 1500; 1250; 1000; 750; 500}<<RU>>».

Обратите внимание, как много изменений произошло:

- В поле «Dimensions» свойств уровня появилась запись «1.6». Таким образом обозначается размерность используемого массива.
- После нажатия «ОК» поменялось отображение значка уровня и значка зависимого от него входного потока. Они стали изображаться двойной линией – это признак того, что в них находятся данные в виде массива. Логично, что входной поток, который рассчитывается как произведения константы на уровень, тоже стал массивом.
- В поле графика пропал график.

Для возвращения пропавшего графика, переходим в свойства графика на вкладку «Parameters», открываем «Component 1», открываем уровень «Деньги_на_счете» и по одному добавляем на график все 6 элементов массива, а тот ошибочный, который был справа – удаляем. Теперь осталось сделать новый прогон модели и слегка поправить «Auto Report» для элементов, которые стали массивами. Результат показан на рисунке 43.

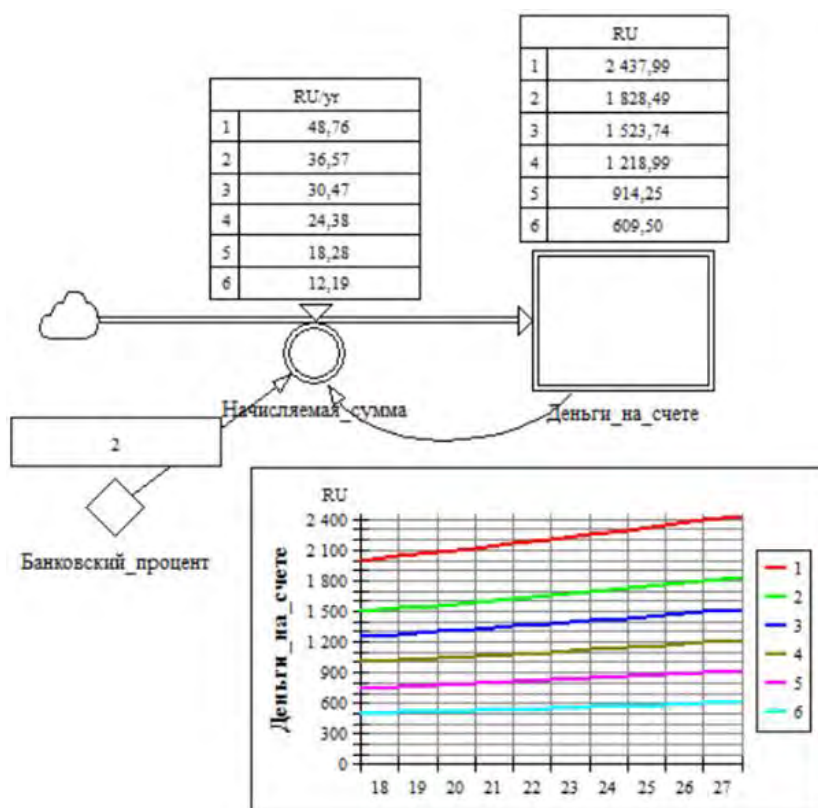


Рис. 43. Модель с 6-ю вкладчиками

Теперь настроим возможность изменения процента в определенном диапазоне, а также рассмотрим еще два варианта вывода полученных данных.

Для регулирования константы «Банковский_процент» достаточно в свойствах константы внести следующие изменения:

- на вкладке «Definition» поставить «Type» = Integer;
- на вкладке «Scale» поставим минимум – 2, максимум – 12.

После чего находим вверху на панели «Diagram» элемент «Slider», ставим его на область построения диаграммы и перетягиваем на него константу «Банковский_процент». В свойствах «Slider» на вкладке «Value Axis» «Major Unit» ставим 1.

Ставим на область диаграммы элемент «Time Table», а на него переносим уровень с вкладами. Тут возникнет та же проблема, что и с графиком – все элементы массива попадут в одну ячейку. Двойной клик по таблице для открытия свойств. Переходим на вкладку «Parameters» и там, в области справа, удаляем существующий элемент, а из области слева, открыв «Component 1», а затем уровень «Деньги_на_счете», добавляем все вклады поочередно.

Видно, что данные заносятся в таблицу каждые два года, когда необходимо наблюдать их каждый год. Снова идем в свойства таблицы и на вкладке «General» в разделе «Report Interval» убираем «Automatic» и ставим 1 год.

Сбросим прогон. Это стрелочка назад в управлении прогонами или Ctrl+R. Теперь сдвинем «Slider» на позицию 12. На рисунке 44 увидим, что получилось.

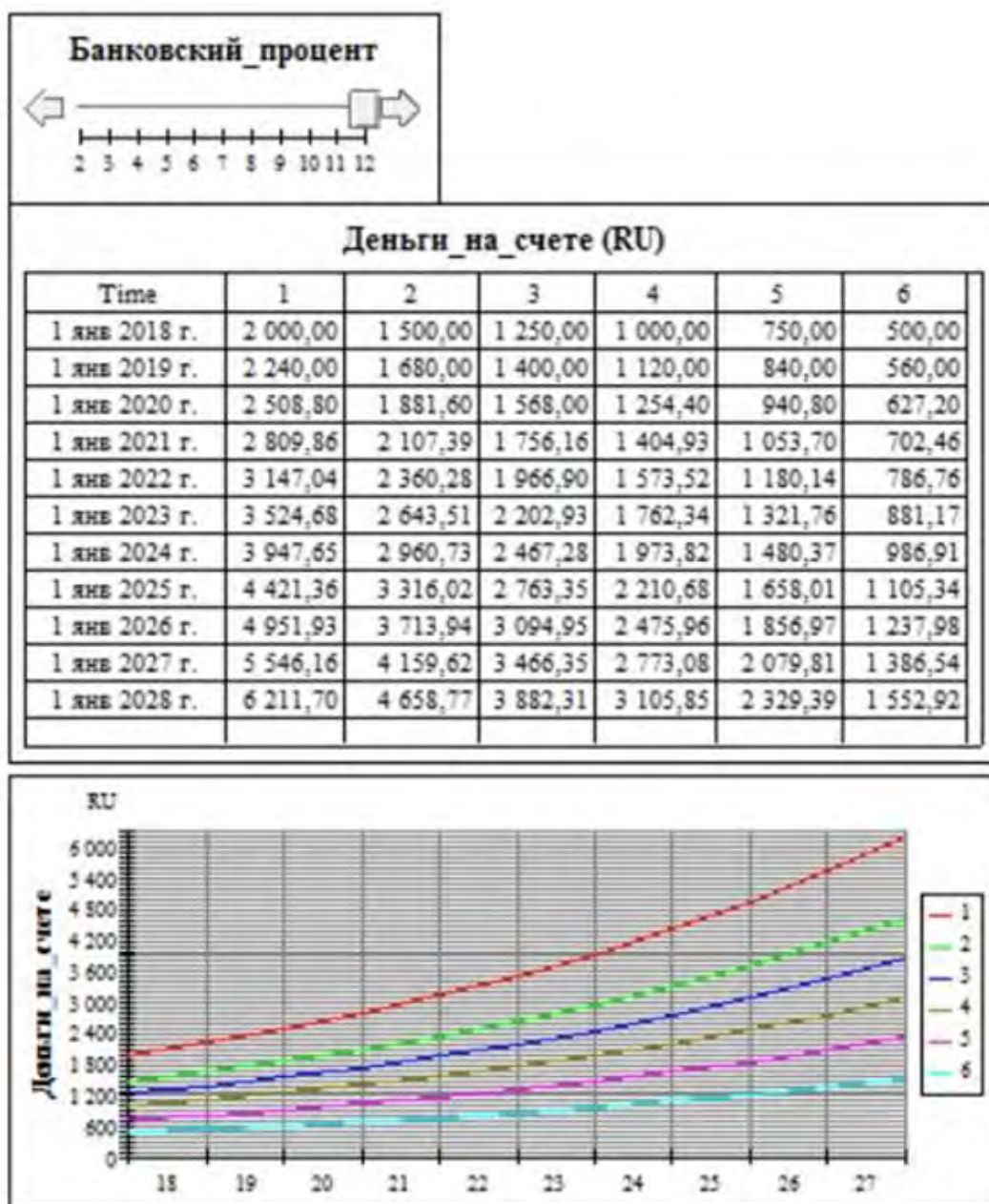


Рис. 44. Модель со слайдером и временной таблицей при ставке 12%

Все хорошо, но теперь было бы удобно организовать список имен для вкладчиков 1, 2, 3, 4, 5, 6.

Для этого в дереве проекта, которое находится справа от центрального окна Powersim, найдем «Global Ranges» и перейдем с помощью двойного клика ЛКМ. Откроется белый лист, на котором следует нажать ПКМ и выберем «Add Range...». В поле «Enter name» введем название нашего диапазона с именами. Назовем его «Вкладчики» (рисунок 45). Жмем «Next» и в следующем окне меняем «Numerical subrange» на «Enumeration range» и с помощью кнопки добавить

 вносим нужные элементы в диапазон «Elements» и нажимаем «Finish».

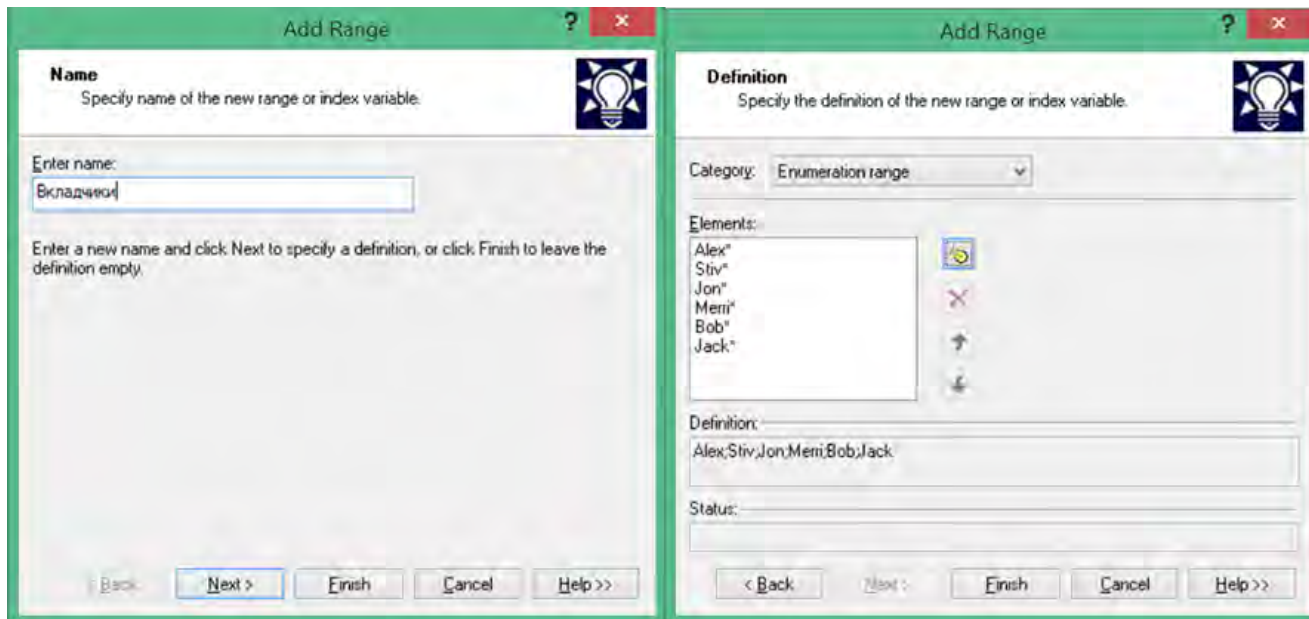


Рис. 45. Создание нового диапазона (range)

Осталось применить новый диапазон в модели. Для этого вернемся в «Shared Diagrams» (дерево проекта) и открываем свойства уровня «Деньги_на_счете». В поле «Dimensions» удаляем «1..6» и вписываем название нового диапазона «Вкладчики». Тоже самое проделываем с потоком «Начисляемая_сумма».

Теперь можно увидеть, что и графики, и таблицы и «репорты» над элементами стали подписаны именами вкладчиков.

Модель динамики финансов банковского вклада готова.

2.3. РАЗРАБОТКА ПАУТИНООБРАЗНОЙ МОДЕЛИ УСТАНОВЛЕНИЯ РЫНОЧНОГО РАВНОВЕСИЯ

Постановка задачи и формальное представление модели

Рассмотрим модель из курса микроэкономики – модель установления рыночного равновесия, которая отражает процесс установления равновесия между спросом и предложением с помощью равновесной цены на товар.

Цена влияет как на предложение, так и на спрос, которые, в свою очередь, влияют на количество товаров у поставщика. Спрос влияет на желаемое количество товаров, а зная количество товаров на складе и желаемое количество товаров, можно узнать обеспеченность товарами. Вот как раз между уровнем цен на данный момент и обеспеченностью рынка товаром и возникает момент регулирования нового уровня цен, через желаемую цену.

Опишем формальное представление модели (таблица 10).

Таблица 10

Формальное представление модели рыночного равновесия

№ п/п	Наименование	Значение								Ед. измерения	Описание
Уровни											
1	Цена	15								RU/sht	Цена на начальный момент времени
2	Количество_товаров	Желаемое_количество_товаров								sht	Количество товаров на складе на начало моделирования
Потоки											
1	Изменение_цены	(Желаемая_цена-Цена)/Задержка_изменения_цены								RU/(sht*da)	Регулирование уровня цен
2	Предложение	Цена	0	5	10	15	20	25	sht/da	Предложение, заданное табличной функцией. Если цена попадает в интервал между существующими значениями, то значение предложения будет вычисляться с помощью интерполяции	
		Предложение	0	0	40	57	68	77			
		Цена	30	35	40	45	50				
		Предложение	84	89	94	97	100				
3	Спрос	Цена	5	10	15	20	25	30	sht/da	Спрос задан табличной функцией. Также заложим неожиданный скачок спроса на 10-й день, на 10 единиц	
		Спрос	100	73	57	45	35	28			
		Цена	35	40	45	50	55				
		Спрос	22	18	14	10	100				
$+ \begin{cases} 10 \text{ sht/da}, & \text{TIME} = 10 \text{ da} \\ 0 \text{ sht/da}, & \text{TIME} < 10 \text{ da} < \text{TIME} \end{cases}$											
Переменные											
1	Желаемая_цена	ОТ	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	RU	Желаемая цена ставится в зависимость от обеспеченности товарами.	
		Цена	2	1,8	1,55	1,35	1,15	1			
		ОТ	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5				
		Цена	0,87	0,75	0,65	0,55	0,5				
2	Желаемое_количество_товаров	Спрос*Время_удовлетворения_спроса								sht	Рассчитывается как текущий спрос умноженный на время удовлетворения спроса
3	Обеспеченность_товарами (ОТ)	Количество_товаров/Желаемое_количество_товаров								—	Коэффициент рассчитанный как соотношение кол-ва товаров к желаемому кол-ву товаров.

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измерения	Описание
Константы				
1	Время_удовлетворения_спроса	4	da	Время, за которое поставщик способен доставить товар.
2	Задержка_изменения_цены	15	da	Время реакции рынка на изменение спроса.
3	Скачок_спроса	10	sht/da	
Параметры модели				
1	Единица измерения	дни	—	
2	Начальное время моделирования	01.01.2018	—	
3	Конечное время моделирования	01.03.2018	—	
4	Временной шаг модели	1	da	

Для реализации табличной функции в модели используем функцию «GRAPH». Она имеет следующий синтаксис «GRAPH($X(\text{input})$; X_1 ; DX ; $\{Y_1; Y_2; \dots; Y_n\}$)»:

- $X(\text{input})$ – входящее значение X (может быть любым);
- X_1 – первое значение некоего ряда $X\{\}$;
- DX – шаг с которым изменяются значения X в ряду $X\{X_1; X_1+DX; \dots; X_1+n*DX\}$;
- $Y\{Y_1; Y_2; \dots; Y_n\}$ – ряд значений, который соответствует ряду значений $X\{\}$.

Если $X(\text{input}) < X_1$, то всегда принимает значение Y_1 , если больше X_n , то принимает Y_n , если же лежит между X_i и X_{i+1} , то значение Y считается методом интерполяции.

2.3.1 Предварительная настройка и построение структуры модели

Настроим параметры проекта и моделирования в соответствии с таблицей 10.

Расставим все необходимые уровни, потоки, переменные и константы, а также соединим их стрелками информационных связей (по принципу: стрелочка выходит из элемента, который участвует в формуле, а входит в элемент, в котором формула прописывается).

После введения всех формул (рисунки 46-56) и присвоения необходимых единиц измерения модель примет вид как на рисунке 57.

Для переноса кода внутри окна «Definition» используем Ctrl+Enter. Для отрисовки прямых стрелочек зажимайте Ctrl.

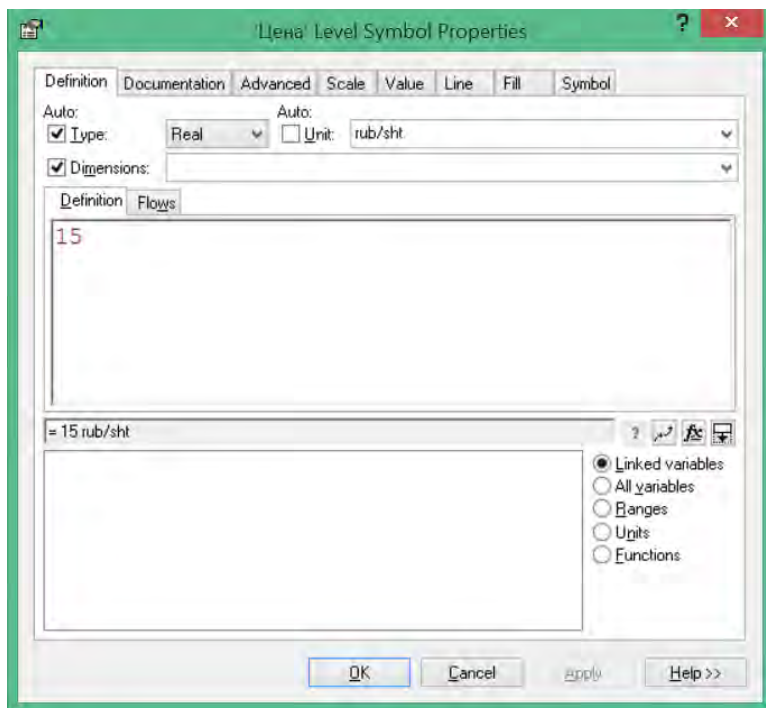


Рис. 46. Окно свойств элемента «Цена»

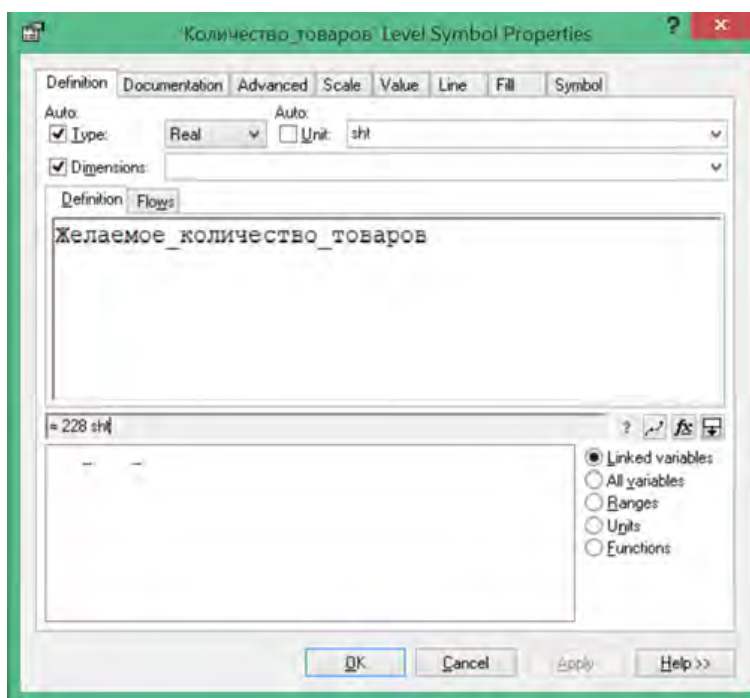


Рис. 47. Окно свойств элемента «Количество_товаров»

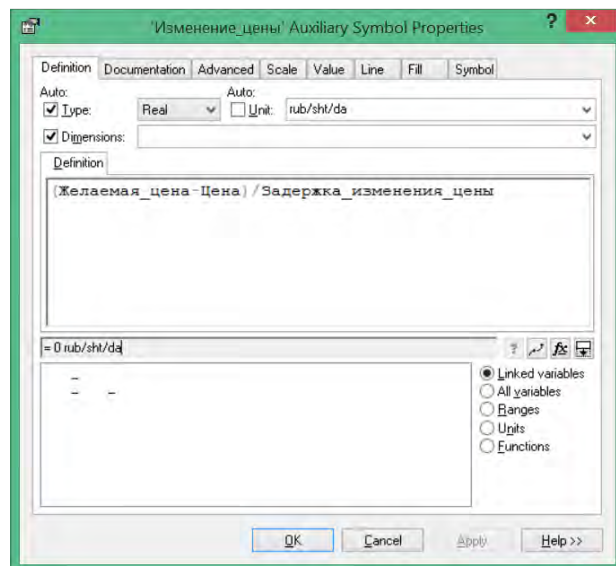


Рис. 48. Окно свойств элемента «Изменение_цены»

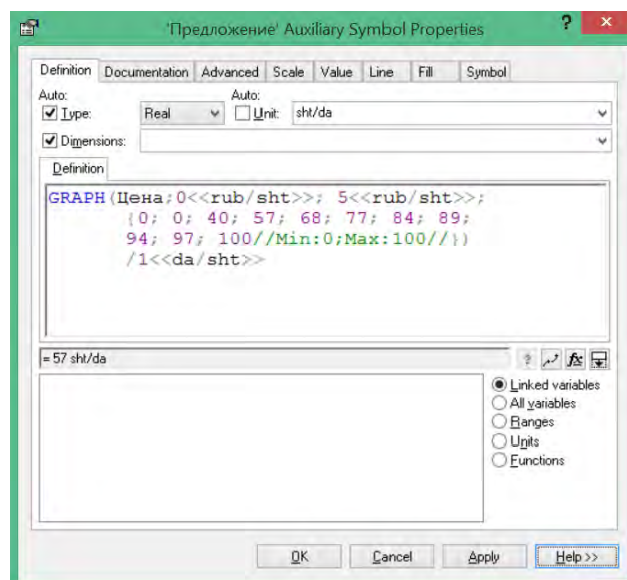


Рис. 49. Окно свойств элемента «Предложение»

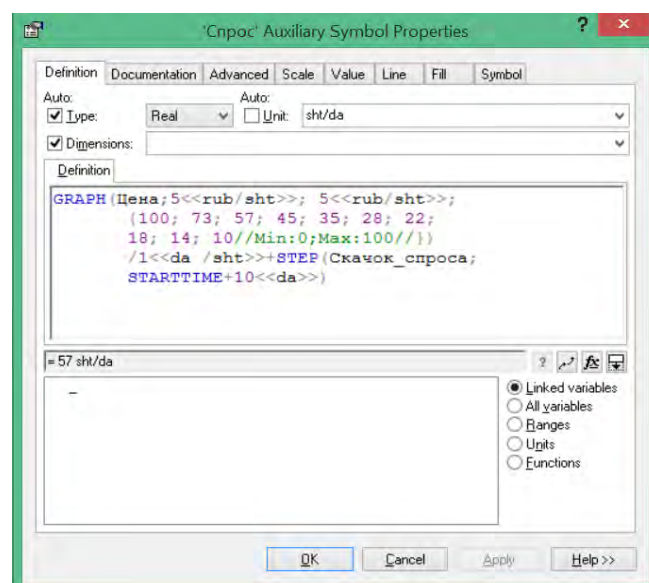


Рис. 50. Окно свойств элемента «Спрос»

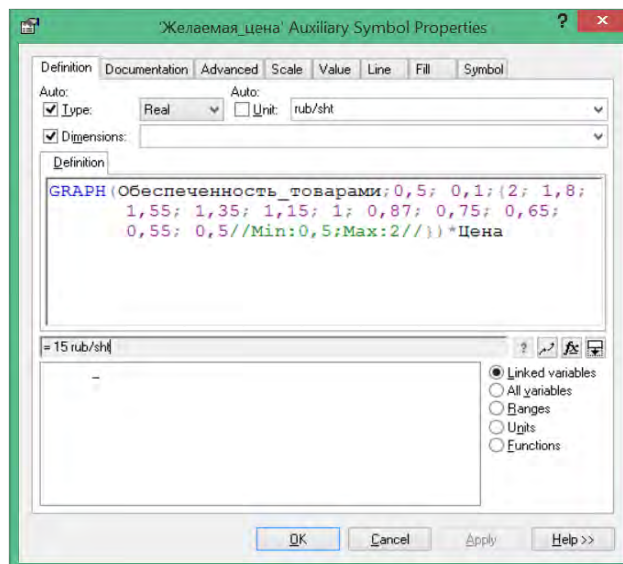


Рис. 51. Окно свойств элемента «Желаемая_цена»

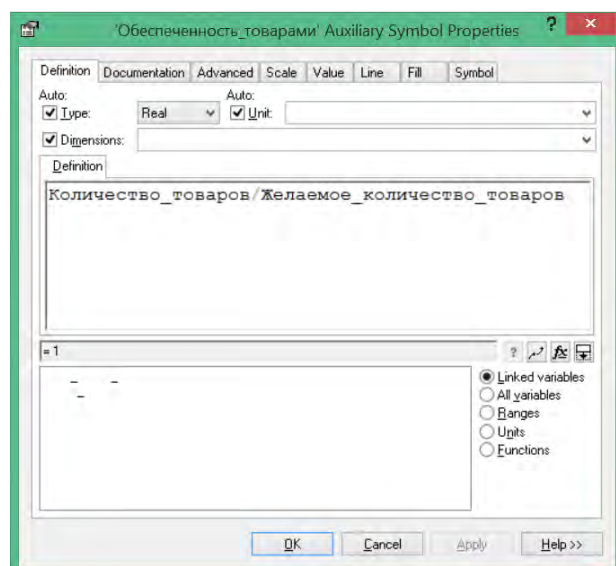


Рис. 52. Окно свойств элемента «Обеспеченность_товарами»

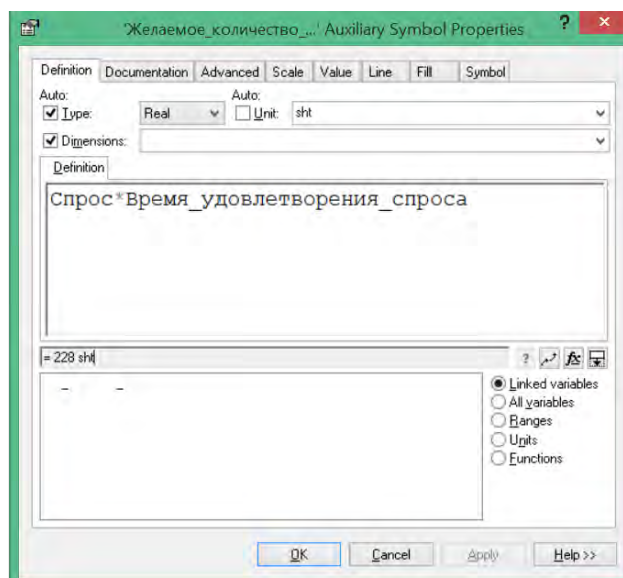


Рис. 53. Окно свойств элемента «Желаемое_количество»

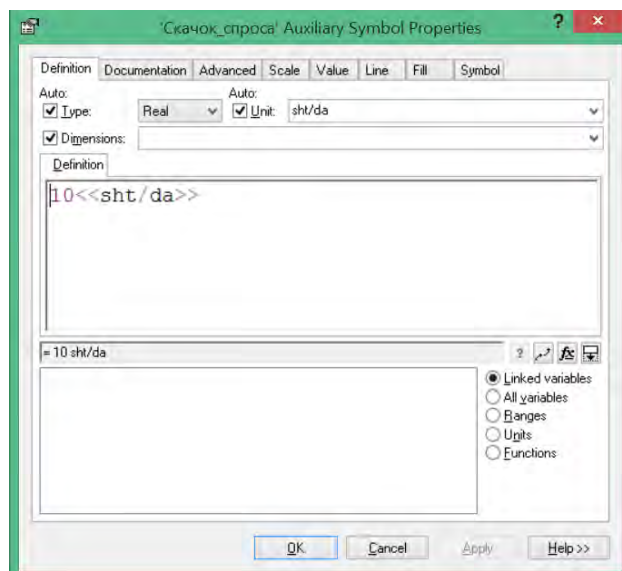


Рис. 54. Окно свойств элемента «Скачок_спроса»

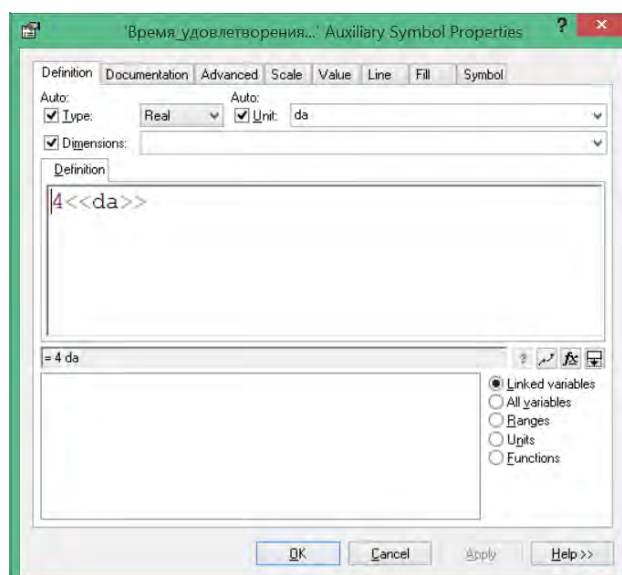


Рис. 55. Окно свойств элемента «Время_удовлетворения»

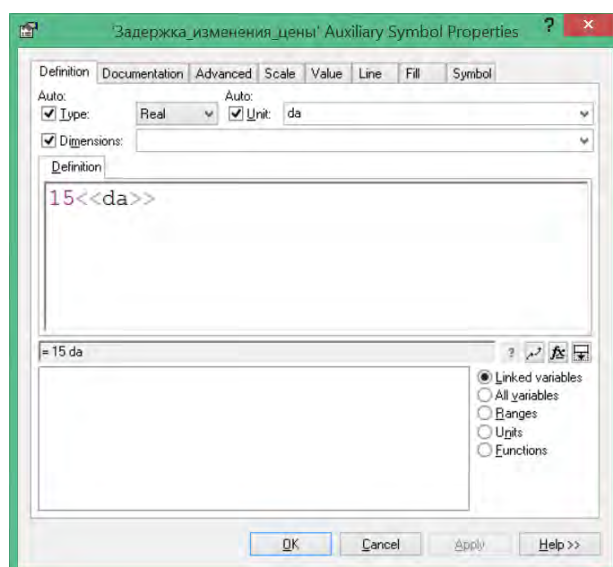


Рис. 56. Окно свойств элемента «Задержка_изменения_цены»

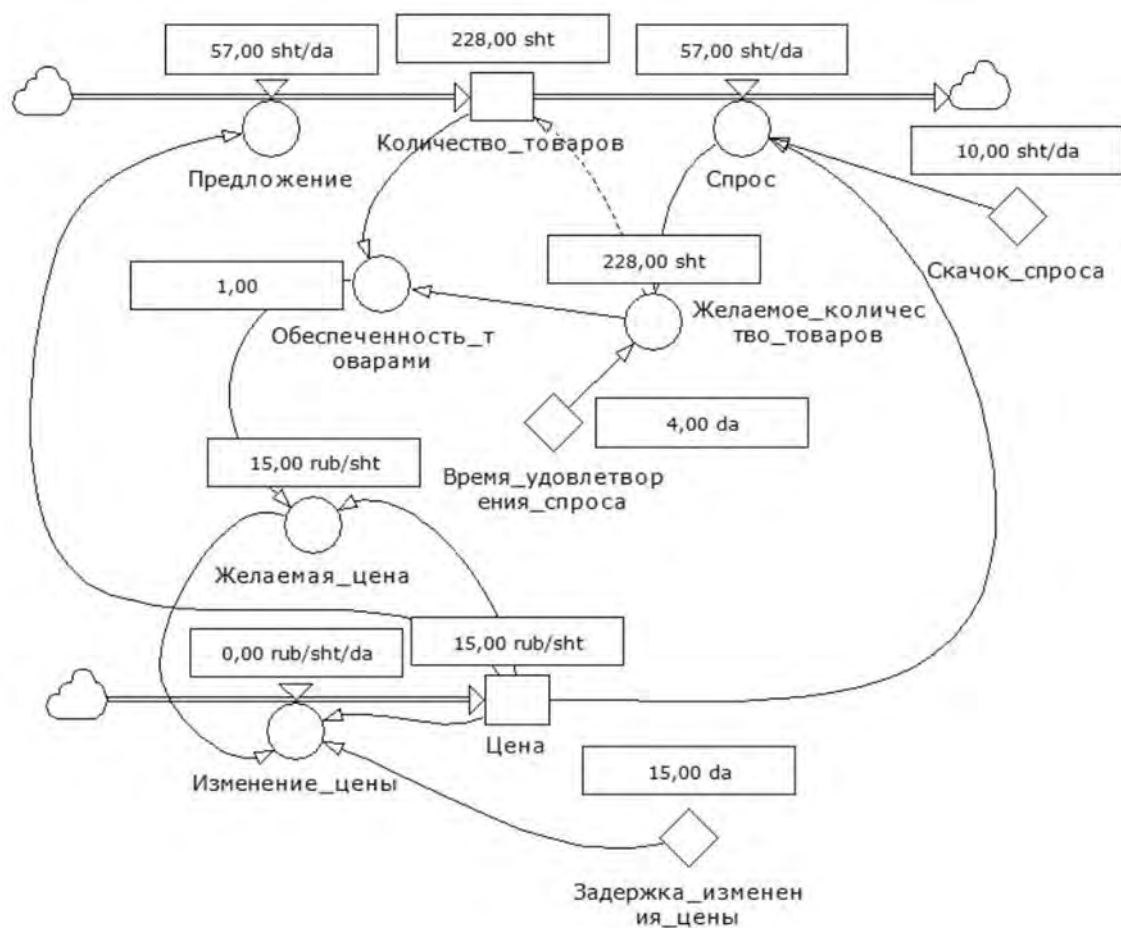


Рис. 57. Структура модели после введения всех уравнений

Теперь вставим на диаграмму временной график и перенесем на него потоки «Спрос» и «Предложение» (рисунок 58).

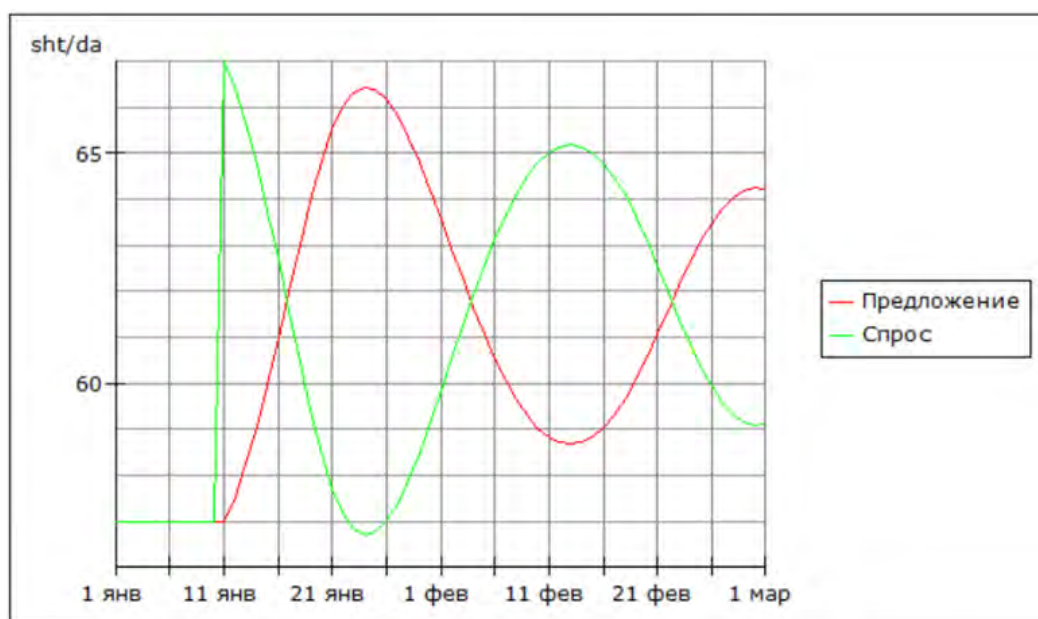


Рис. 58. График изменения спроса и предложения за период два месяца

На графике видно, что точка равновесия между спросом и предложением достигается несколько раз, но из-за задержек в скорости удовлетворения спроса и скорости изменения цены, после достижения точки равновесия, наступает новое колебание. По графику видно, что эти колебания затухают. Но ведь необходимо узнать сколько времени требуется для стабильного (постоянного) равновесия, т. е. за сколько времени рынок придет к состоянию, когда разница между спросом и предложением практически перестанет колебаться в течении определенного времени.

Разработаем методику, которую можно будет применять и для других задач похожего класса.

2.3.2. Модуль расчета времени затухания колебаний

Опишем модуль расчета времени затухания колебаний (таблица 11).

Таблица 11

Принципиальная схема модуля расчета

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измерения	Описание
Переменные				
1	Первый из исследуемых элементов («Предложение»)	Копия элемента «Предложение» ²⁹	sht/da	
2	Второй из исследуемых элементов («Спрос»)	Копия элемента «Спрос» ³⁰	sht/da	
3	Сумма отклонений по модулю на текущий момент («SUM_Deviation_this_step»)	RUNSUM(ABS(Предложение-Спрос)) ¹¹	sht/da	Сумма модулей всех отклонений, начиная с начала моделирования и до текущего момента
4	Сумма отклонений по модулю несколько шагов назад («SUM_Deviation_delay»)	DELAYINF (SUM_Deviation_this_step; TIMESTEP*TIME_DELAY)	sht/da	Сумма модулей всех отклонений, начиная с начала моделирования и до момента, предшествующего текущему на заданное количество дней «TIME_DELAY»

²⁹ Чтобы создать копию элемента достаточно зажать Ctrl+Shift и перетащить элемент на пустой место ЛКМ, и лишь после того, как отпустите ЛКМ, отпускаем Ctrl+Shift. Переменная примет вид .

³⁰ В случае анализа колебаний одного элемента, отбросим первые два параметра таблицы, а третий превратится из суммы модулей отклонений двух величин, в сумму модулей отклонений от среднего.

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измерения	Описание
5	Останавливаем прогон при заданном условии («STOP_RUN»)	STOPRUNIF ((TIME-START-TIME)/TIMESTEP > 10 AND ABS(SUM_Deviation_this_step-SUM_Deviation_delay)<Accuracy*1<<sht/da>>))		Если уже произошел скачек спроса «TIME-START-TIME)/TIMESTEP > 10», то если модуль разницы между суммой отклонений на текущий момент и суммой отклонений «TIME_DELAY» шагов назад не превышает некоторую заданную величину «Accuracy».
6	Время остановки прогона модели («TIME_WHEN_STOP_RUN»)	(TIME-STARTTIME)/TIMESTEP		Ни с чем не связанная переменная, которая лишь показывает шаг, на котором прогон был остановлен.
Константы				
1	Количество дней, за которые рассчитывается разница сумм отклонений («TIME_DELAY»)	1..7(3)	da	Параметр, который говорит, сколько дней равновесного состояния рынка будем считать окончательно установившемся равновесием.
2	Точность схождения («Accuracy»)	0,05..0,3(0,1)		Точность, которая требуется от функции минимизации колебаний

Теперь создадим рядом со структурой модели данный инструмент анализа. Добавив для констант управляющие элементы «Slider», а для регулировки параметра моделирования «StopTime» добавим элемент «Switch» и настроим его по примеру подраздела 2.1.4 (рисунок 36), только с шагом 2 месяца и на период 1,5 года (по 01.07.2019, если начало вашего периода моделирования 01.01.2018). Модуль будет выглядеть примерно, как на рисунке 59.

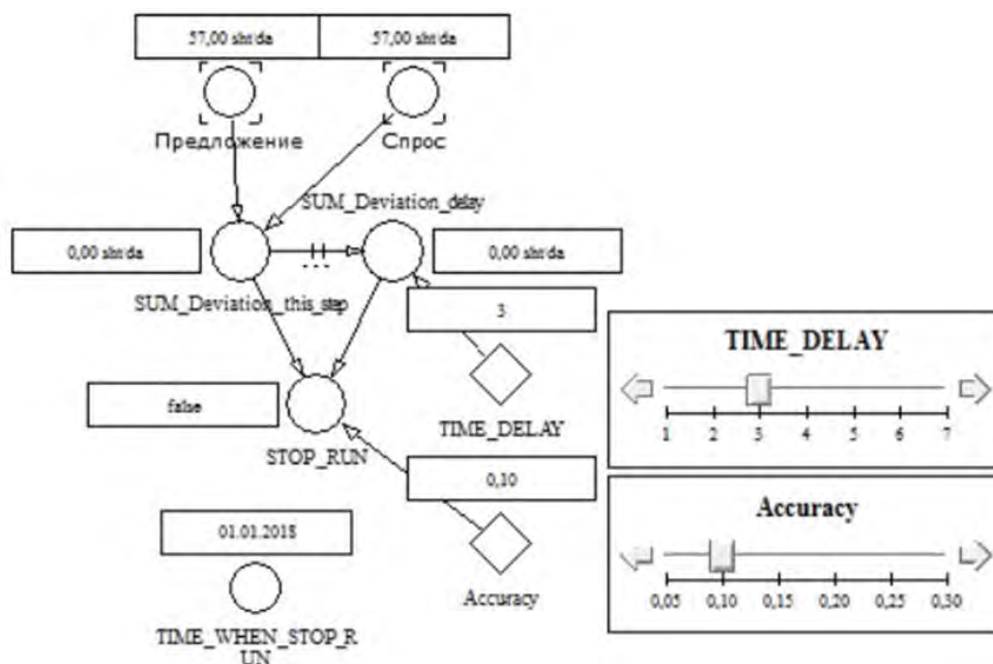


Рис. 59. Модуль анализа времени затухания колебаний

График затухания колебаний спроса и предложения при времени задержки 7 дней и точности 0,05 будет выглядеть, как на рисунке 60 и сойдется на 432 дне моделирования.

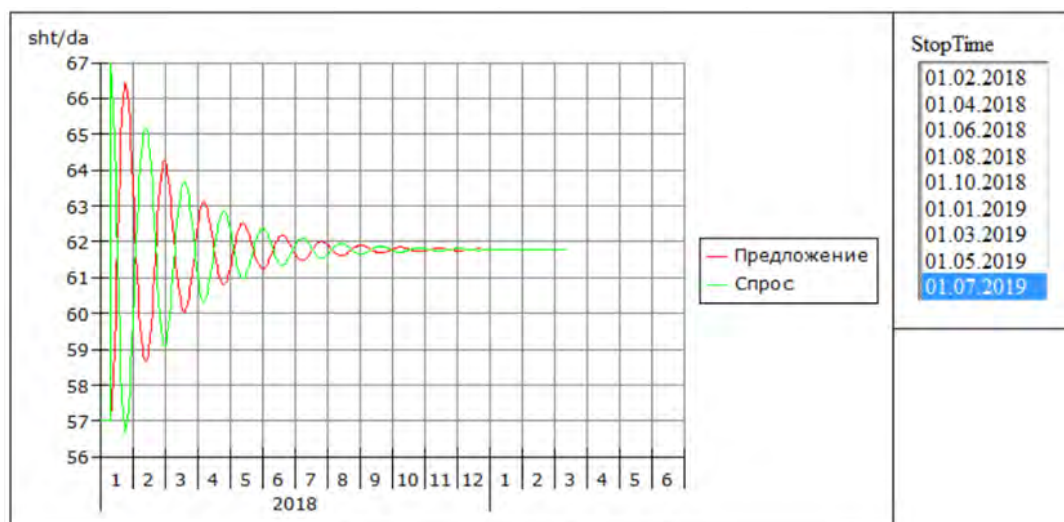


Рис. 60. График затухания колебаний спроса и предложения

2.3.3. Управление моделью

А теперь для удобства пользователя, спрячем все структуры, а управляющие элементы вынесем на отдельную диаграмму.

Но для начала создадим еще один инструмент, который покажет пользователю, на каком шаге прогона рынок пришел в продолжительное равновесие. Установим в области диаграммы элемент управления «Table» (обратите внимание – не «Time Table»). В первой ячейке первой строки напишем следующий текст «Время установления равновесия», а в соседнюю ячейку перенесем переменную «TIME_WHEN_STOP_RUN». Лишнюю строку удалим, кликнув по ней ПКМ и выбрав «Delete Row».

Выделим график, оба элемента «Slider», элемент «Switch» и созданную ранее таблицу. Используйте для одновременного выделения Shift. Вырежем эти элементы и перейдем с помощью вкладок внизу окна моделирования (рисунок 61) с «Diagram 1» на «Diagram 2» и вставим туда вырезанные элементы. Назовем лист «Diagram 1» – «Модель», а тот на который перенесли элементы управления и визуализации – «Control».

Также логично выделить модель анализа скорости установления равновесия рынка на отдельную вкладку «Diagram 3», которую переименуем в «Analysis»

Расставьте элементы, как посчитаете удобным. Для большей эргономичности можно оформить все элементы, как единую форму управления, с необходимыми подписями. Используйте для этого элемент «Frame». В результате получим примерно то, что на рисунке 61.

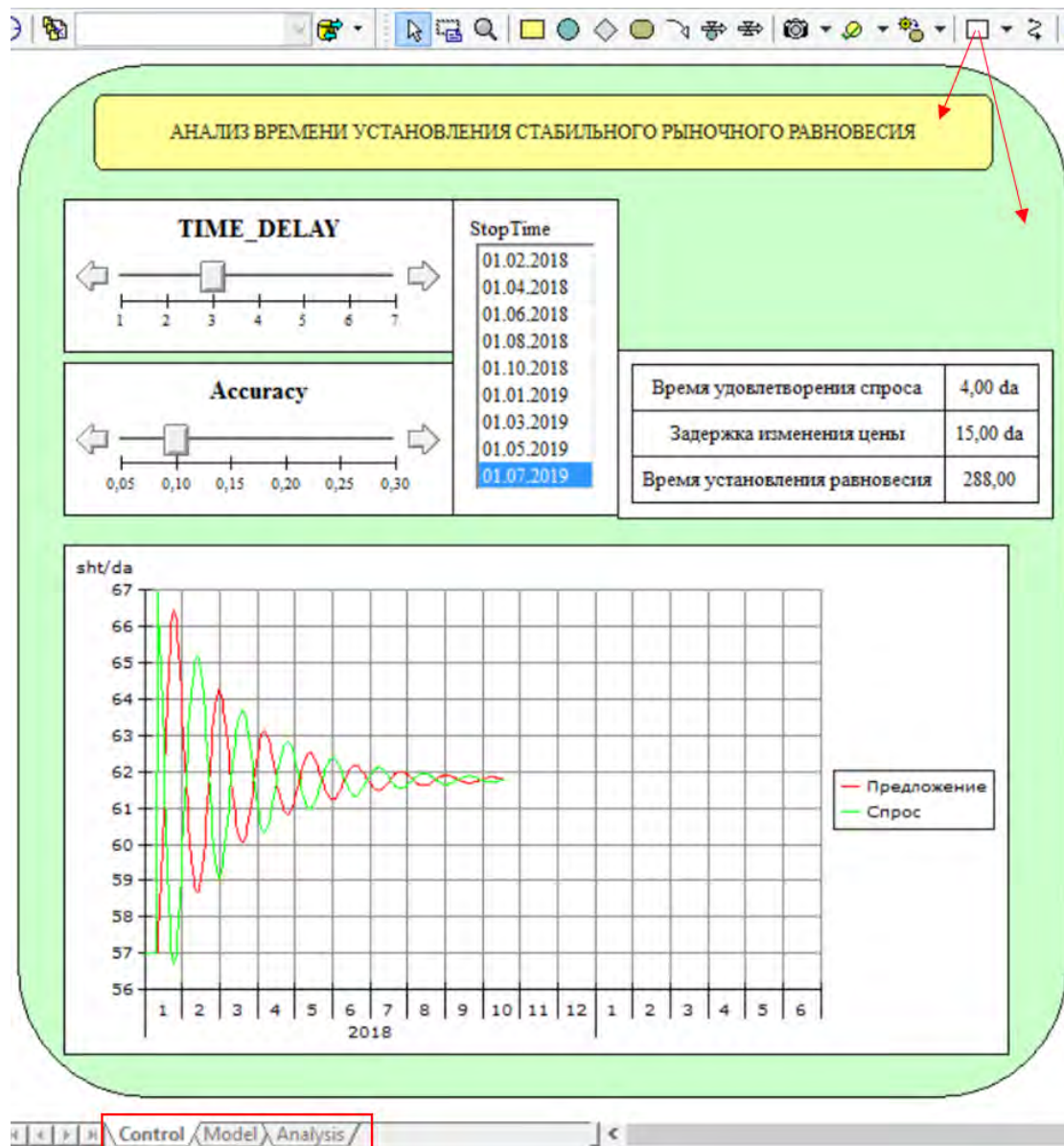


Рис. 61. Настройка интерфейса пользователя

2.3.4. Создание оптимизационного эксперимента

Теперь познакомимся с таким инструментом, как оптимизационный эксперимент. Он применяет генетический алгоритм для поиска оптимума функции (минимум, максимум, попадание в интервал, выходение за интервал и т. д.) за счет изменения выбранных пользователем констант, в установленных пользователем пределах. Желательно для анализа выбирать те константы, на которые может реально повлиять лицо, принимающее решения.

Для начала необходимо создать копию нашего эксперимента в дереве проекта. Клик ПКМ на элементе дерева проекта «Component 1» (рисунок 62) и выбираем «Add Simulation». Переименуем появившийся в дереве элемент «Simulation 2» в «Simulation_For_Optimize».

С помощью значка «+» слева от названия компонента разворачиваем эксперимент и, зайдя в «Shared Diagrams», убеждаемся, что там лежат те же три листа с тем же содержимым, что уже были созданы.

После чего перейдем в дереве проекта в «Analysis Variables» нашего нового эксперимента (рисунок 62).

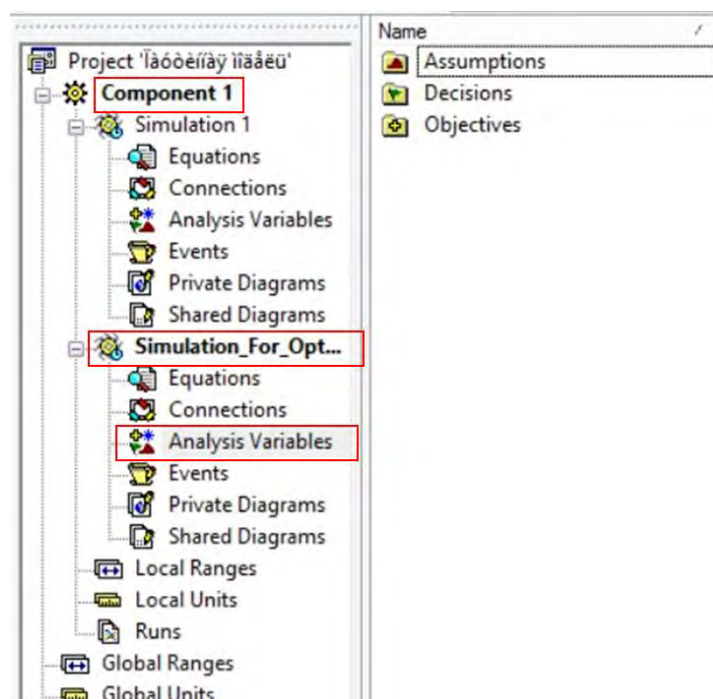


Рис. 62. Раздел анализ переменных для оптимизационного эксперимента

Теперь добавим переменные для анализа. Переменные «Assumptions» не используем – они понадобятся для другого типа экспериментов. Кликаем ПКМ по «Decisions», жмем «Add Decision» и в появившемся окне выберем «Время_удовлетворени_спроса», а затем повторяем действия и добавляем «Задержка_изменения_цены».

Оба элемента появились в разделе «Decisions». Теперь настроим их. Зайдем в свойства и пропишем следующие параметры (рисунки 63-64):

- «Время_удовлетворени_спроса»: «Minimum value» = 2, «Maximum

- value» = 7, «Actual value» оставим без изменений;
- «Задержка_изменения_цены»: «Minimum value» = 2, «Maximum value» = 16,5 и «Actual value» оставим без изменений.

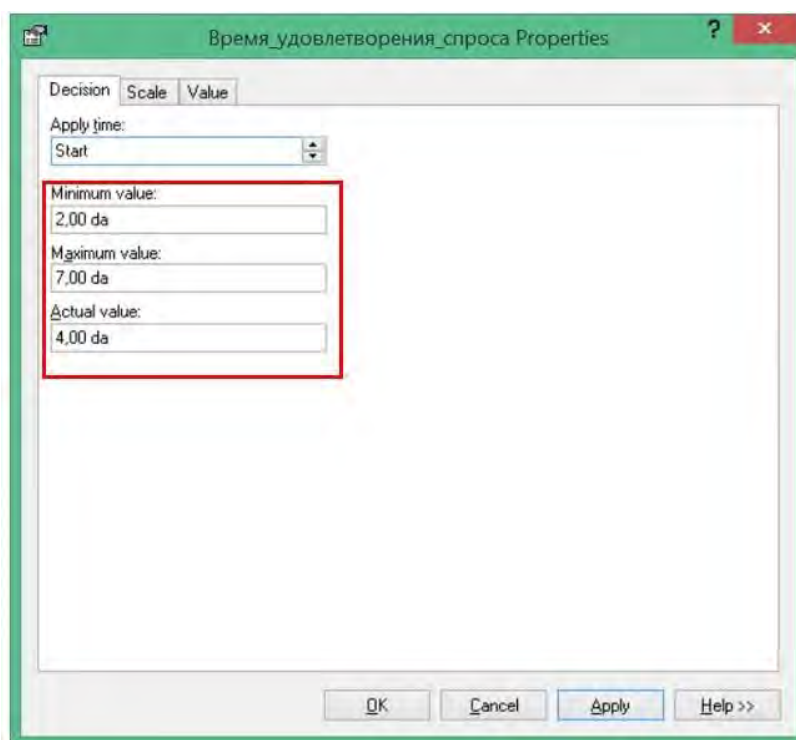


Рис. 63. Настройка переменных Время_удовлетворения_спроса

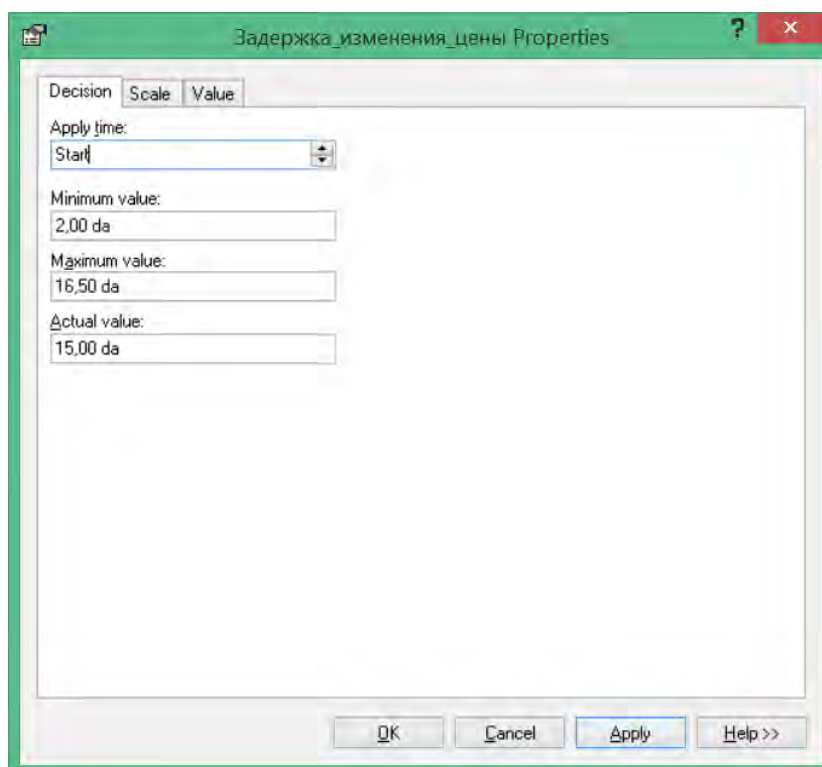


Рис. 64. Настройка переменных Задержка_изменения_цены

Теперь в «Objectives» добавим «SUM_Deviation_this_step» и в его свойствах поменяем «Operator» на Minimum (рисунок 65).

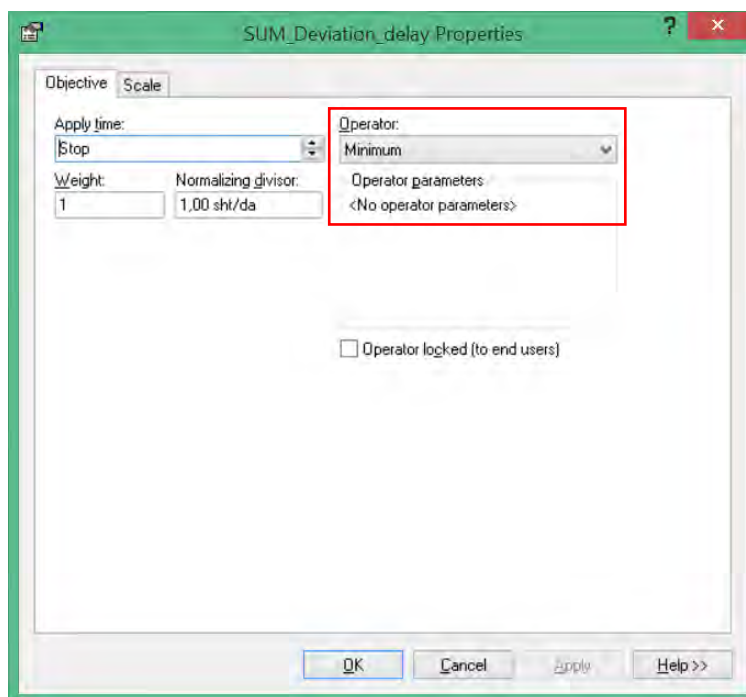


Рис. 65. Настройка переменных для анализа

После этих действий возвращаемся в «Shared Diagram» нашего оптимизационного эксперимента.

На вкладке «Control» с помощью ПКМ добавим в таблицу (где хранится «Время установления равновесия») еще две строки: «Задержка изменения цены» и «Время удовлетворения спроса». В них перетащим с вкладки «Model» соответствующие константы. Это можно сделать, зажав константу ЛКМ и перетащив элемент сначала на вниз, на вкладку «Control», а потом, когда та откроется, на таблицу, в нужную ячейку.

Теперь запустим сам процесс оптимизации. Для этого следует нажать кнопку «Optimize»  в панели над деревом проекта. После чего появится окно настройки и запуска процесса оптимизации (рисунок 66). Оставим его без изменений и нажмем «Finish» ().

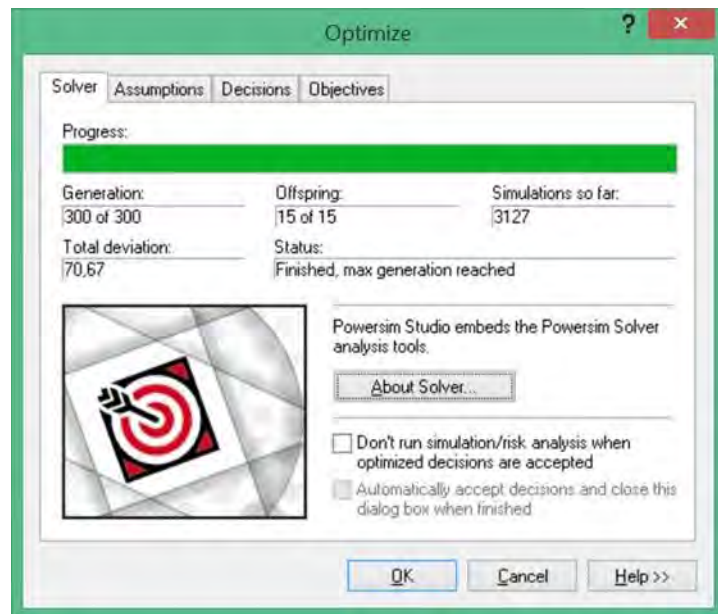


Рис. 66. Окно оптимизации

Процесс сам поменял выбранные нами константы на более оптимальные и совершил прогон модели. На рисунке 67 можно увидеть результат.

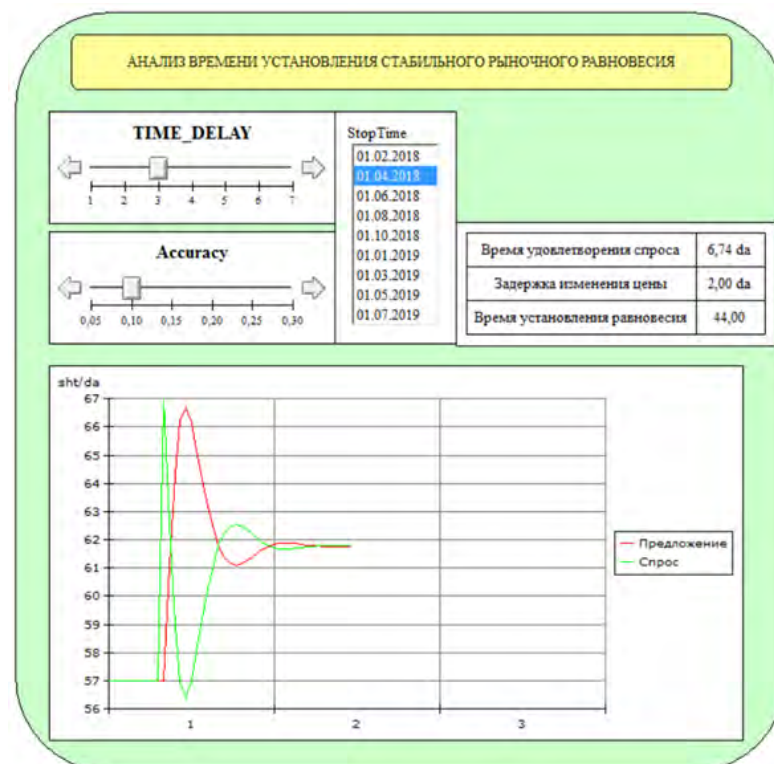


Рис. 67. Модель установления рыночного равновесия с оптимальными параметрами

Получен отличные результат. Видно, что равновесие установлено за 44

шага модели, а при первоначальных параметрах (рисунок 61) на это уходило 288 шагов. И даже при максимально жестких требованиях ($TIME_DELAY = 7$ да, $Assurasy = 0,05$) рынок приходит к стабильному равновесию за 67 шагов. Причем нужно заметить, что это произошло достаточно выгодным образом для поставщиков: срок задержки удовлетворения спроса вырос (а уменьшить его было бы сложнее и накладней), а скорость изменения цены стала очень маленькой (этот параметр легче регулировать быстро, чем поставки).

2.4. ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ПРИМЕРЕ ПОИСКА МИНИМУМА ФУНКЦИИ

Для лучшего понимания сути процесса оптимизационного эксперимента, рассмотрим известный со школы пример поиска минимума функции.

Есть некая функция, которая на заданном участке «a..b» имеет минимум, который необходимо найти с помощью оптимизационного эксперимента.

Для реализации поставленной задачи создадим простой интерфейс (рисунок 68).

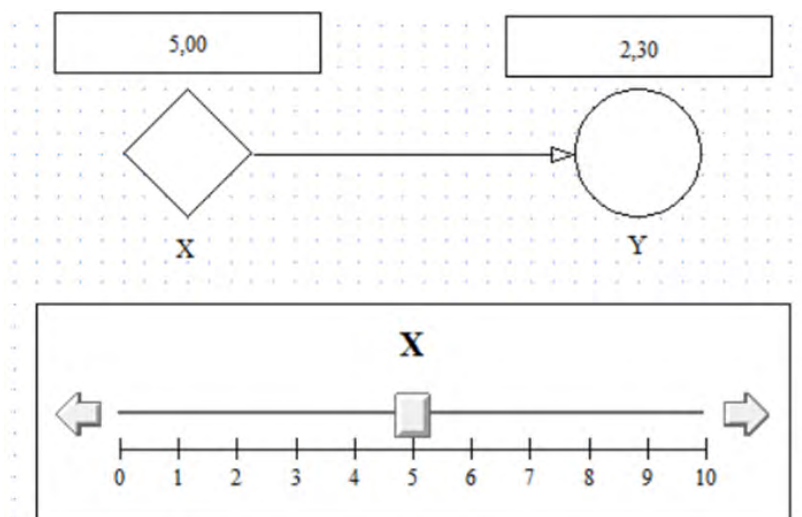


Рис. 68. Оптимизация простой табличной функции

Константа «X» примет значение по умолчанию «5» и диапазон «Scale» – 0..10. В переменной «Y» используем функцию «GRAPH». Зайдем в свойства пе-

ременной и нажмем кнопку « $f(x)$ », которая находится внизу и справа по отношению к окну «Definition». В появившемся окне существующих функций, перейдем в категорию «Interpolation», где выберем «GRAPH». Обратите внимание, что у этой функции есть два типа создания: вкладка «Standart» и вкладка «Graph». Перейдем на вкладку «Graph» и настроим приблизительно таким образом, как на рисунке 69.

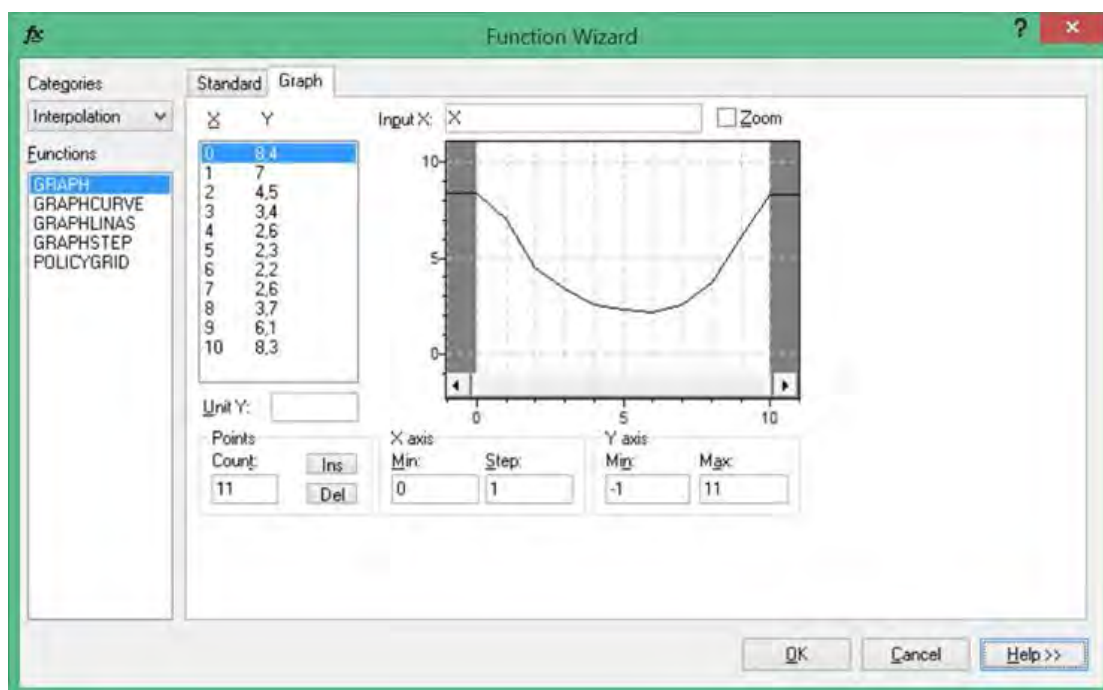


Рис. 69. Графическое задание функции

Возможна приблизительная настройка, потому что параметры «Count», «Min», «Max» необходимо настроить так же, как на рисунке, а вот сами точки графика проще задать мышкой, зажав изначально курсор ЛКМ над точкой, где черная линия пересекает белый лист, а затем двигая мышку вправо и вверх/вниз, можно построить график подобный данному, но не много с другими значениями «Y». Для данного эксперимента это не страшно.

Нажимаем «OK» и в окне «Definition» появится почти сформированное выражение «GRAPH (0;1;{8,4;7;4,5;3,4;2,6;2,3;2,2;2,6;3,7;6,1;8,3//Min:-1;Max:11//})». Но как видно, не совсем полное: не хватает первого параметра, который отвечает за входящее значение «Input». В нашем случае это «X». Введем

его и получим рабочее выражение «GRAPH(X;0;1;{8,4;7,4,5;3,4;2,6;2,3;2,2;2,6;3,7;6,1;8,3//Min:-1;Max:11//})».

Теперь двигая «Slider», которые завязан на константу «X», можно пронаблюдать, как меняется «Y».

Настроим параметры оптимизации. Перейдем в дереве проекта во вкладку «Analysis Variables» и добавим в «Decisions» «X» с параметрами мин/макс – 0/10, в «Objectives» добавим «Y» и установим «Operator» – «Minimum».

Вернемся на «Shared Diagrams» и запустим «Optimize» со стандартными параметрами. В данном примере программа выставили « $X = 6$ » и « $Y = 2,2$ », если открыть окно, в котором задавалась функция, то можно увидеть, что это действительно верный ответ. Функция действительно достигает минимума в точке «6».

Теперь изменим график следующим образом (рисунок 70).

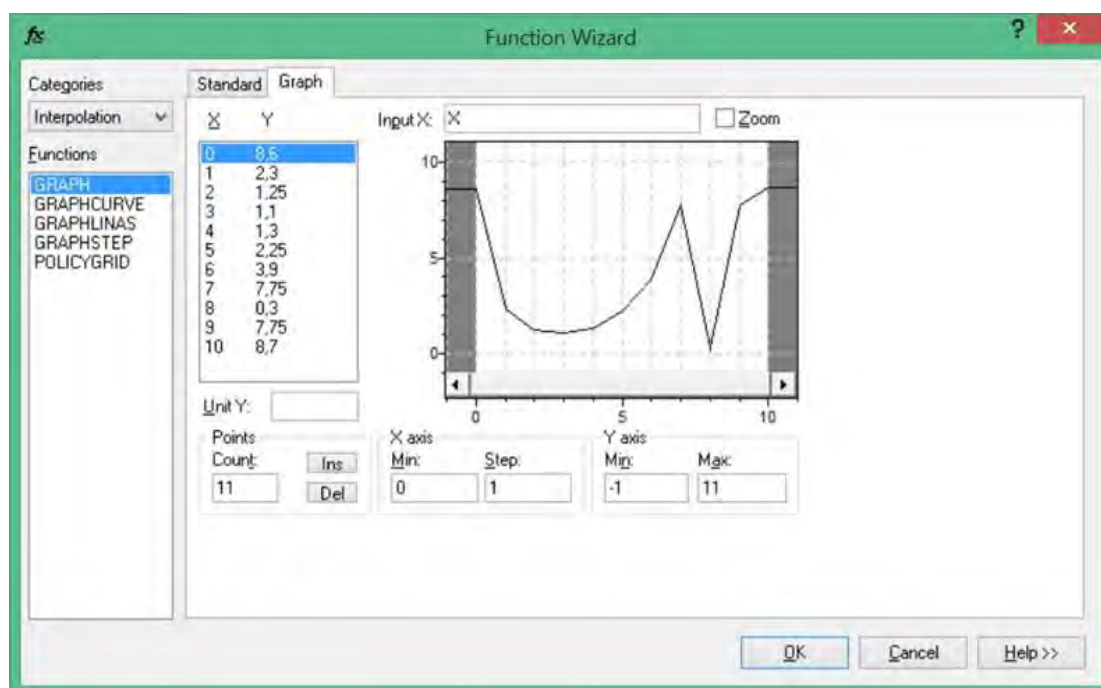


Рис. 70. Функция с резким скачком одной экстремальной точки

По графику четко видно, что минимальной точкой является «8».

Запустим «Optimize», со стандартными параметрами. И видим (рисунок 71):

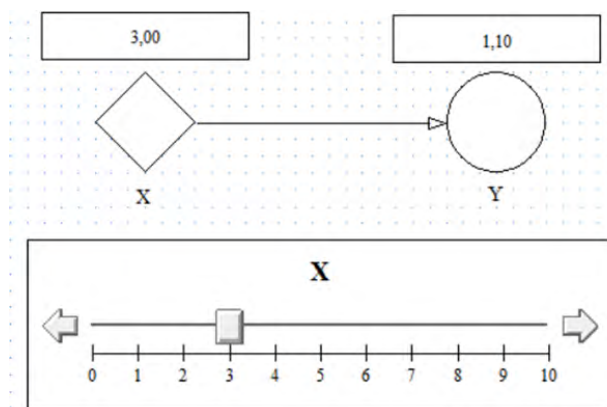


Рис. 71. Результат оптимизации со стандартными параметрами

Ответ далек от реального оптимума. Это недостаток всех эволюционных алгоритмов. Так как они перебирают не все возможные варианты, а лишь часть из них, по определенному правилу, то чем меньше выборка, тем выше вероятность попасть в так называемый «локальный» экстремум. Это случай, когда находится какая-то минимальная точка по всем признакам похожая на экстремум и все точки, лежащие в ее окрестностях, тоже говорят об этом. И в результате получаем ответ далекий от истинного.

Чтобы избежать этого, нужно увеличить количество точек, которые генерируются в каждом поколении так называемого «генетического» алгоритма. При начальных параметрах «Offsprings = 15» и «Parents = 3» в каждом поколении генерируется 15 (сначала произвольных, а затем генерирующихся по определенному правилу) из которых выбирается 3 оптимальных для удовлетворения текущего условия. Затем по определенным правилам из этих трех «родителей» генерируется 15 новых «потомков» для следующего поколения. И так 300 раз. То есть, чтобы увеличить точность поиска экстремума нужно увеличить количество «родителей» и «потомков».

В версии Powersim Studio 7 допускается максимум 20 «родителей» и 100 «потомков». Но это слишком большой объем вычислений, который не всегда нужен. Поэтому прежде чем задавать параметры оптимизации, следует понять характер функции. И если в ней действительно огромное количество резких скачков, как в кардиограмме, то тогда следует выставлять максимальные параметры.

Во всех же более простых случаях, можно обойтись более простыми требованиями.

Зададим 6 «Parents» и 40 «Offspring» и запустим «Optimize». Можно заметить, что обработка происходит дольше, но зато на выходе имеем оптимальную точку «7,94» и минимум «0,75». Что очень близко к верному ответу.

Можно еще поэкспериментировать с параметрами, чтобы добиться лучшего результата. При параметрах 15/100 оптимум был найден идеально.

2.5. СОЗДАНИЕ КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ В МОДЕЛИ «ПЕРЕДВИЖКИ ВОЗРАСТОВ»

Постановка задачи

Построим модель, отражающую изменение численности населения в целом и по возрастам, а также по регионам, которая позволяет отследить динамику этих изменений на различных временных промежутках, а также при различных входных параметрах: коэффициенты рождаемости, коэффициенты смертности, продолжительность возрастного периода, а также начальная численность населения.

Введем следующие предположения:

- население делится на 4 возрастные группы: дети, юноши, люди среднего возраста и пожилые;
- существует два региона: северный и южный;
- воспроизводить потомство способны лишь люди двух возрастных групп: юноши и люди среднего возраста.

Описание модели

От начальной численности рассчитывается (на основании заданных коэффициентов) количество родившихся, количество умерших по всем возрастным группам, а также количество детей, ставших юношами, юношей попавших в среднюю возрастную группу и попавших из средней группы в группу пожилых.

Родившиеся идут во входной поток модели, умершие в выходной, а «постаревшие» являются выходным потоком для категорий с 1-ой по 3-ю, но они же являются входным потоком для категорий со 2-ой по 4-ю соответственно.

Для удобства статистических расчетов будем считать отдельно количество родившихся, умерших, «постаревших», а также общую численность населения.

2.5.1. Формальная постановка задачи

Построим для предложенной ситуации диаграмму причинно-следственных связей (рисунок 72), где У – усиливающий цикл обратной связи, Б – балансирующий цикл обратной связи.

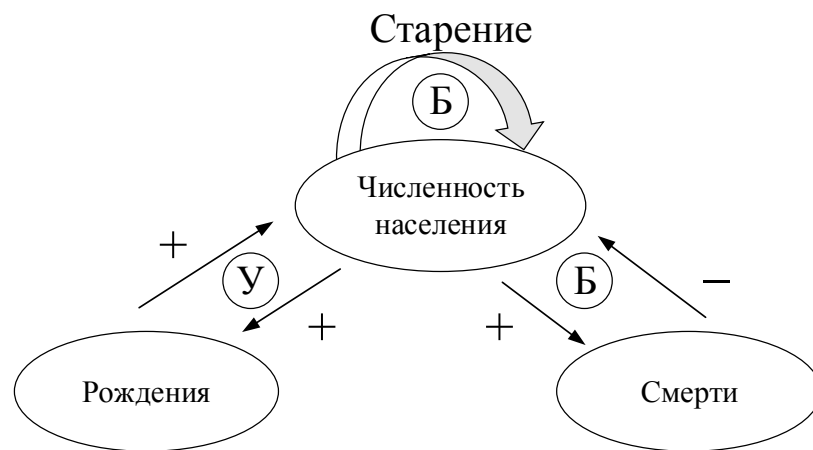


Рис. 72. Диаграмма причинно-следственных связей.

Далее, построим математическую модель. Уровень – численность населения по возрастным группам и регионам (12):

$$P_{ij}^0 = IP_{ij}$$

$$P_{ij}^t = P_{ij}^{t-1} + PG_{ij}^t dt - PD_{ij}^t dt - Ag_{ij}^t dt \quad (12)$$

где $i = \{1; 2; 3; 4\} \equiv \text{Возраст} = \{\text{Children}; \text{Young}; \text{Average}; \text{Elderly}\};$

$j = \{1; 2\} \equiv \text{Region} = \{\text{North}; \text{South}\};$

$t = 1, 2, \dots, T$ – время (по годам).

Популяция людей на начало моделирования (13):

$$IP = \{\{1000; 800\}; \{950; 750\}; \{900; 700\}; \{400; 1000\}\} \quad (13)$$

Общая численность населения (14):

$$TP^t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij}^t, (i = 1 \dots 4, j = 1 \dots 2), \quad (14)$$

Рост населения (15):

$$PG_{ij}^t = \begin{cases} B_{2j}^t + B_{3j}^t, & i = 1 \\ Ag_{(i-1)j}^t, & i = 2 \dots 4 \end{cases}, \quad (15)$$

Количество новорожденных по возрастным группам родителей (16):

$$B_{ij}^t = P_{ij}^t * BR_i, \quad (16)$$

где коэффициенты рождаемости по возрастам родителей (17):

$$BR = \{0; 0,04; 0,01; 0\} \quad (17)$$

Смертность населения (18):

$$PD_{ij}^t = P_{ij}^t * DR_i, \quad (18)$$

где коэффициенты смертности по возрастам (19):

$$DR = \{0,0019; 0,0008; 0,0066; 0,065\} \quad (19)$$

Количество перешедших из одной возрастной категории в другую (20):

$$Ag_{ij}^t = P_{ij}^t / LA_i, (i=1 \dots 3) \quad (20)$$

где длина возрастных периодов (21):

$$LA_i = \{12; 25; 20\} \quad (21)$$

Общее число родившихся (22):

$$TB^t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij}^t, (i = 1 \dots 4, j = 1 \dots 2), \quad (22)$$

Общее число умерших (23):

$$TD^t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n PD_{ij}^t, (i = 1 \dots 4, j = 1 \dots 2), \quad (23)$$

Аналогично процедурам формализации основных зависимостей в предыдущих моделях, проведем формализацию и сведем в таблицу описание элементов модели для проведения последующих экспериментов с моделью передвижки возрастов, которая содержит внутренний контур регулирования (таблица 12).

Таблица 12

Формальное представление модели «Передвижки возрастов»

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измерения	Описание
Глобальные диапазоны				
1	Age	Children; Young; Average; Elderly		
2	Region	North; South		
Уровни				
1	Population P_{ij}^t	Initial_population Dimensions: Age;Region ³¹	реор	Численность населения по различным возрастным группам и регионам
Потоки				
1	Population_growth PG_{ij}^t	FOR(i=Age;j=Region IF(NUMERICAL(i)=1;Births[INDEX(2);j]+ Births[INDEX(3);j] Aging[INDEX(NUMERICAL(i)-1);j])) Dimensions: Age;Region	реор/уг	Новорожденные и люди, которые перешли из групп детского среднего возраст в группы юноши-пожилые, соответственно
2	Population_decline PD_{ij}^t	FOR(i=Age Population[i;]*Death_rate[i]) Dimensions: Age;Region	реор/уг	Количество умирающих по разным возрастным группам
3	Aging Ag_{ij}^t	FOR(i=FIRST(Age)..LAST(Age)-1 Population[i;]*Length_age[i]) Dimensions: FIRST(Age)..LAST(Age)-1;Region	реор/уг	Люди перешедшие в следующую возрастную группу
Переменные				
1	Births B_{ij}^t	FOR(i=FIRST(Age)+1..LAST(Age)-1 Population[i;]*Birth_rate[i]) Dimensions: FIRST(Age)+1..LAST(Age)-1;Region	реор/уг	Количество новорожденных от различных возрастных групп и регионов
2	Total_population TP^t	ARRSUM(Population)	реор	Общее число населения
3	Total_births TB^t	ARRSUM(Births)	реор/уг	Общее число родившихся в год
4	Total_deaths TD^t	ARRSUM(Population_decline)	реор/уг	Общее число умерших в год
Константы				
1	Initial_population IP	{{1000;800};{950;750};{900;700};{400;1000}} Dimensions: Age;Region	реор	Начальная численность населения
2	Birth_rate BR	{0,04; 0,01} Dimensions: FIRST(Age)+1..LAST(Age)-1	1/уг	Коэффициент рождаемости
3	Length_age LA	{12; 25; 20} Dimensions: FIRST(Age)..LAST(Age)-1	уг	Продолжительность возрастных периодов
4	Death_rate DR	{0,0019; 0,0008; 0,0066; 0,065} Dimensions: Age	1/уг	Коэффициенты смертности

³¹ Для переменных, которые являются массивами, будем указывать их размерность. В данном случае – это именованный диапазон, а не нумерованный, для удобства отображения результатов. Настройка этих диапазонов описана в подразделе 2.2 на рисунке 45.

№ п/п	Наименование	Значение	Ед. измерения	Описание
Параметры модели				
1	Единица измерения	годы	—	
2	Начальное время моделирования	01.01.2018	—	
3	Конечное время моделирования	01.01.2118	—	
4	Временной шаг модели	1	год	

2.5.2. Создание структуры модели в Powersim

Для начала проведем настройки проекта и моделирования, согласно последнему блоку таблицы.

Затем в разделе «Global Ranges» настроим именованные диапазоны, необходимые для работы.

Расставим на диаграмме все необходимые для работы элементы и соединим их стрелками информационных связей, подпишем их соответственно нашей таблице. Добавим выражения из столбца «Значение» в «Definition» соответствующих элементов, не забывая менять, где нужно, «Dimensions». В результате получим следующую структуру модели (рисунок 73).

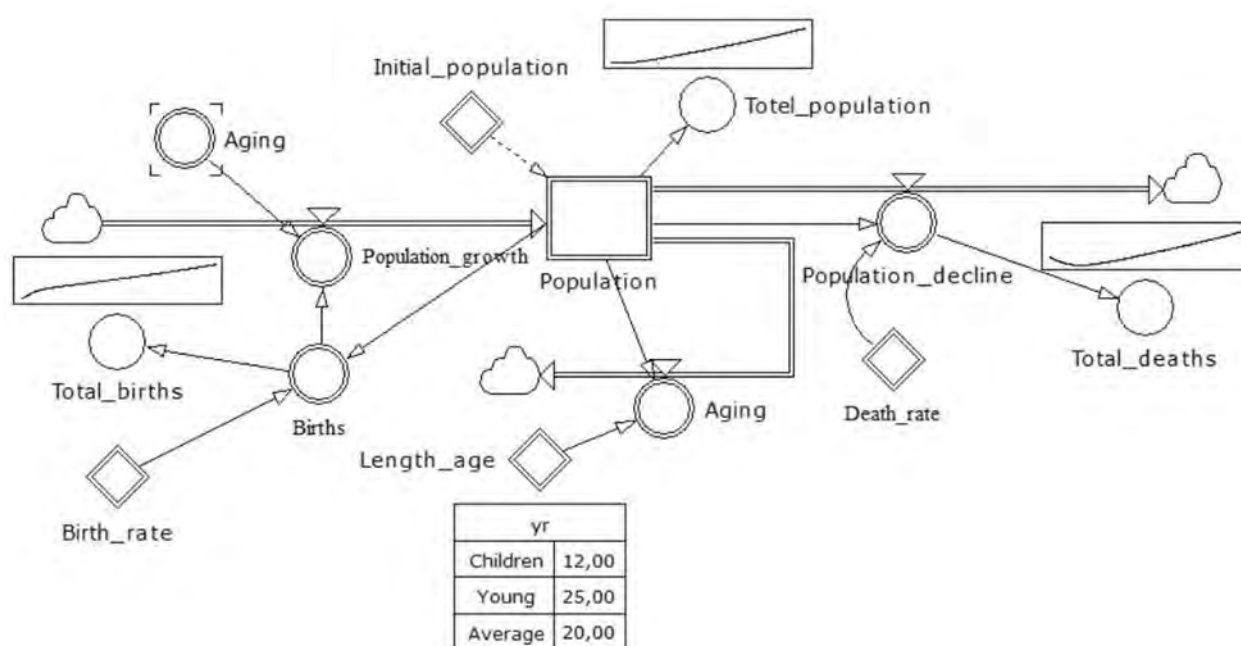


Рис. 73. Модель «передвижки возрастов»

Обратите внимание, чтобы избежать пересечений информационных связей, в которых потом можно запутаться, было применено копирование переменной «Aging». Напомним, что для этого достаточно перетащить элемент зажав Ctrl+Shift.

Также на данной модели мало «Auto Report», так как из-за них рисунок получился бы слишком большим. Но вам следует для удобства и лучшего понимания процесса вывести их все и немного иначе расставить элементы, чтобы репорты не закрывали элементы. Обратите внимание, что репорты можно выводить в двух вариантах: текстовом и графическом. Текстовый покажет конкретные значения, а графический поможет отследить общую тенденцию. Выбор репорта на усмотрение разработчика. Чтобы включить графический режим достаточно кликнуть ПКМ на текстовом репорте и выбрать «Time Graph Auto Report». Либо выбрать его изначально.

Для дальнейшего более наглядного анализа модели построим четыре временных графика: общая численность населения, общая численность родившихся и умерших за год, численность населения по возрастным группам (север), численность населения по возрастным группам (юг). Не забывайте, что графики для массивов не строятся простым перетягиванием элемента, а добавляются поэлементно через «Properties» графика во вкладке «Parameters». В результате прогона получим следующие графики (рисунок 74).

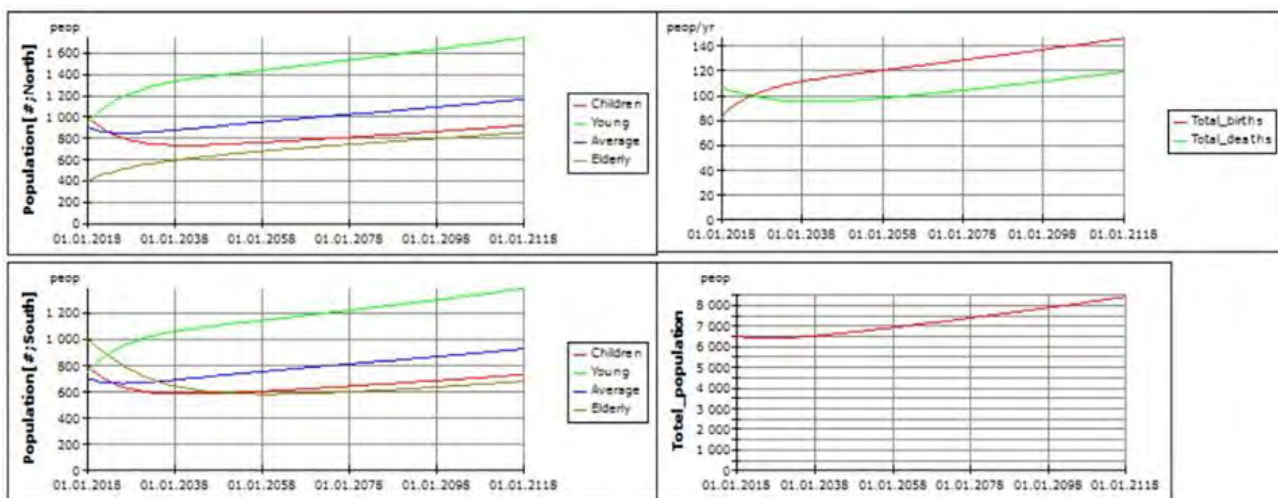


Рис. 74. Результат моделирования

Можно заметить, что после некоторых колебаний в первые 20 лет, все графики выровнялись и приобрели плавную растущую тенденцию.

Интерфейс модели

Назовем вкладку с самой моделью «Model», а вторую «Control».

На «Model» оставим саму структуру модели с вынесенными для наглядности «Auto Report».

На «Control» вынесем построенные графики, а также предусмотрим некоторые элементы управления: контроль длительности прогона и контроль входных констант (коэффициенты рождаемости и смертности, а также длительности возрастных периодов).

Для удобства пользователя добавим еще гиперссылки (рисунок 75) с переходами с листа «Model» на «Control» и обратно. В свойствах гиперссылки на листе «Control» перейдем на вкладку «Hyperlink» и нажмем кнопку «Browse». В появившемся окне выберем свойство «Link to:» = «Target in this project» и выберем соответственно лист «Model», куда необходимо попасть. На листе «Model» сделаем тоже самое, с той лишь разницей, что в конце выберем лист «Control»³².

После расстановки элементов на новой вкладке и подготовки соответствующих подписей (для понимания пользователя), форма управления примет вид, как на рисунке 75.

³² Обратите внимание, что данный инструмент можно использовать и для ссылок на источники в интернете и другие файлы на компьютере.

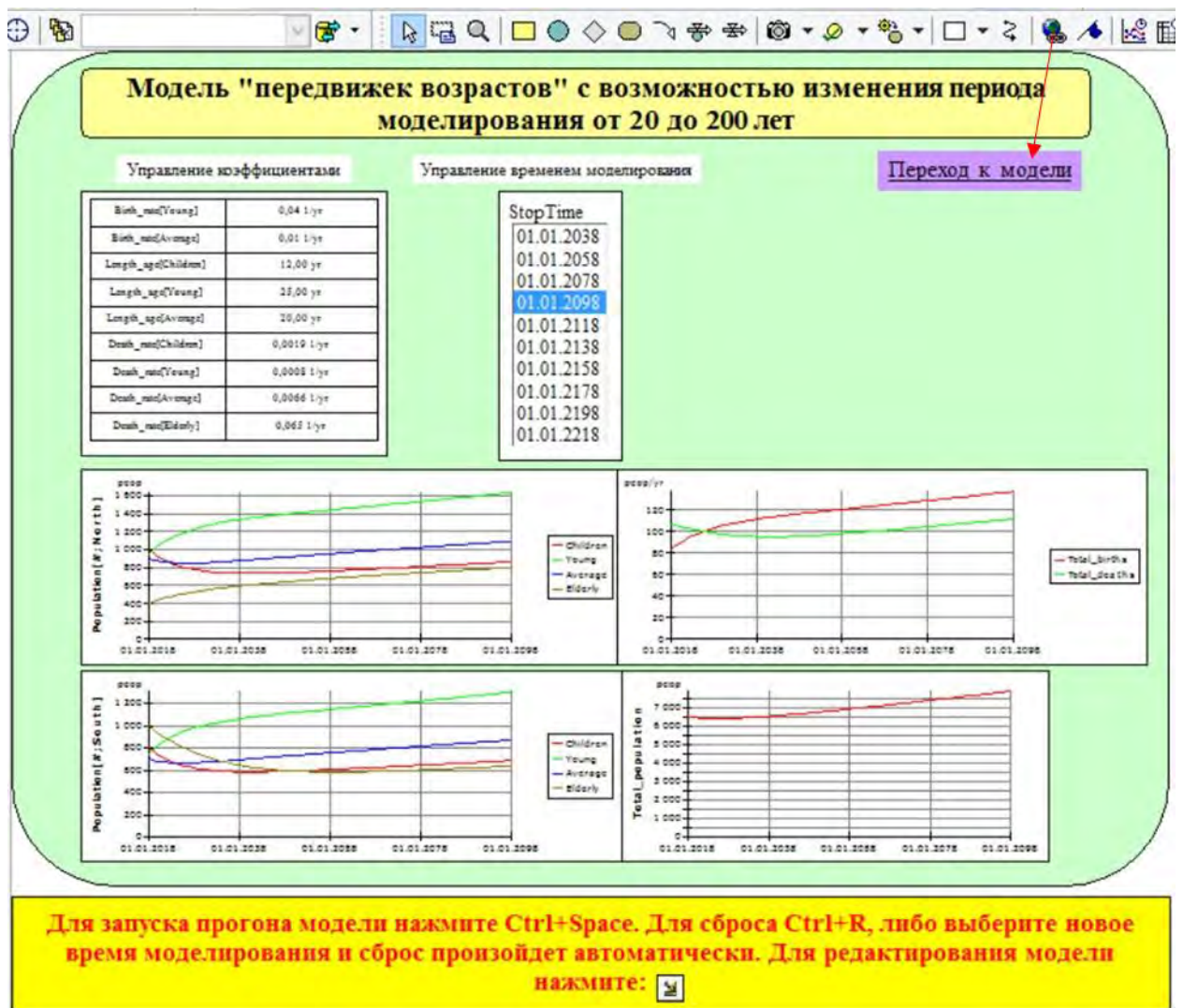


Рис. 75. Форма управления для модели «передвижки возрастов»

2.5.3. Анализ чувствительности модели к входным параметрам

Проведем анализ моделей.

Предположим, что кто-то (скажем правительство) может в некоторой степени влиять на коэффициенты рождаемости и смертности:

- качество жизни;
- социальные выплаты;
- уровень безработицы;
- законы о запрете/разрешении аборт;
- наличие/отсутствие бесплатной медицины;
- качество медицины;

- пенсионные возраст;
- возраст совершеннолетия;
- и т. д.

Через эти и множество других параметров государство может прямо, либо косвенно влиять на уровень рождаемости, смертности и, даже, на длительность возрастных периодов (с юридической точки зрения, но это тоже много значит – особенно для пенсионного возраста).

Теперь выделим ключевой показатель данной модели. Вы можете в дальнейшем проверить влияние на различные показатели, но в данной работе будет рассмотрено общее число людей по всем возрастным группам и регионам – «Total Population».

Необходимо по очереди проверить влияние коэффициентов рождаемости («Birth_rate»), коэффициентов смертности («Death_rate») и длительности возрастных периодов («Length_age») на общее количество людей («Total_population»). Для этого используем инструмент Powersim «Risk Analysis».

Для начала необходимо создать специальную копию моделирования – «Risk Analysis». Для этого в дереве проекта жмем ПКМ над «Component 1» и выбираем «Add Risk Analysis». И в дереве проекта появляется новая ветка моделирования, как при копировании моделирования для оптимизации, только со значком зеленого цвета. Назовем этот анализ рисков «Risk Analysis Birth_rate», развернем его с помощью «+» слева и перейдем в уже знакомый по подразделу 2.3.4 пункт «Analysis Variables», который в данном эксперименте примет немного другой вид (рисунок 76).

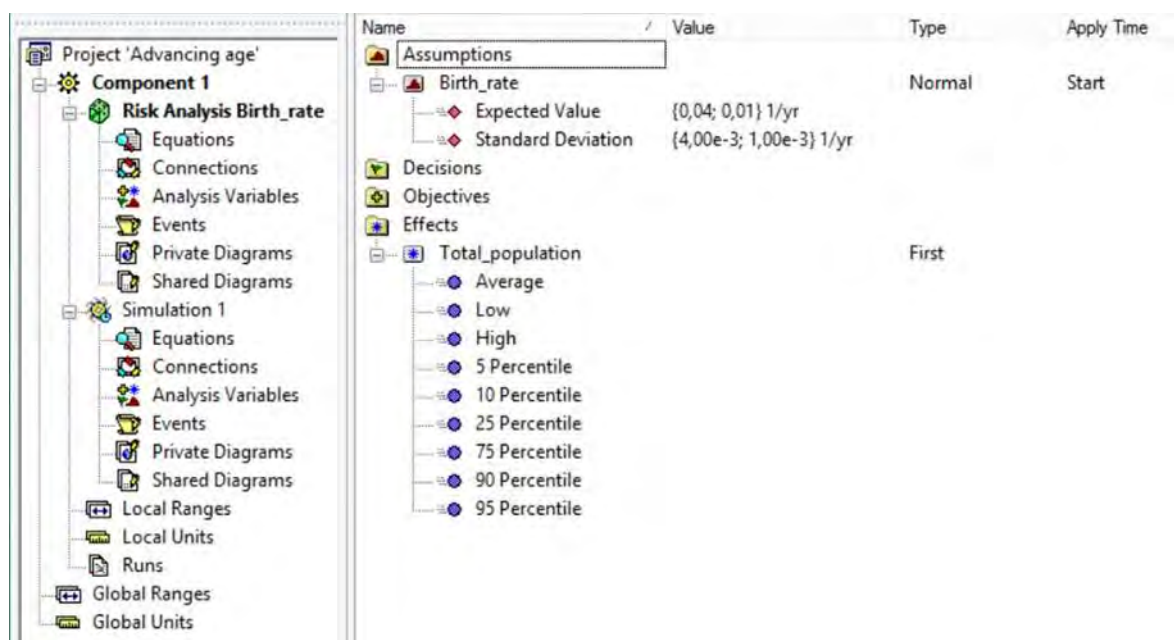


Рис. 76. Настройка переменных для анализа рисков. Переменная «Birth_rate»

Появился новый раздел «Effects». В данном эксперименте не будет использован «Decisions» (решения) и «Objectives» (объекты оптимизации). Нам понадобится добавить предположение «Assumptions». Начнем с «Birth_rate». Добавим его в предположения и не станем менять настройки – оставим предположение о том, что величина имеет нормальное распределение³³. В «Effects» добавим параметр «Total_population», в свойствах которого выставим те параметры, который хотим наблюдать. Выставим их согласно рисунку 76. Таким образом получим графики отклонений исследуемой выходной функции «Total_population», при изменении входного параметра «Births_rate» от минимального, до максимального возможного, а также различные пятипроцентные, десятипроцентные и т. д. отклонения.

Но чтобы настроить вывод этих графиков перейдем на «Private Diagrams» текущего эксперимента и на пустой лист перенесем «Time Graph». В его свойствах на вкладке «Parameters» найдем «Analysis»-«Effects»-«Total_population» и

³³ Но в реальных моделях и моделях междисциплинарных и дипломных проектов обязательно необходимо проверять гипотезу о том к какому распределению относится данный входной параметр! И лишь затем настраивать эксперимент рисков.

добавим оттуда все переменные, соответствующие тем эффектам, которые были выбраны для отображения (рисунк 77).

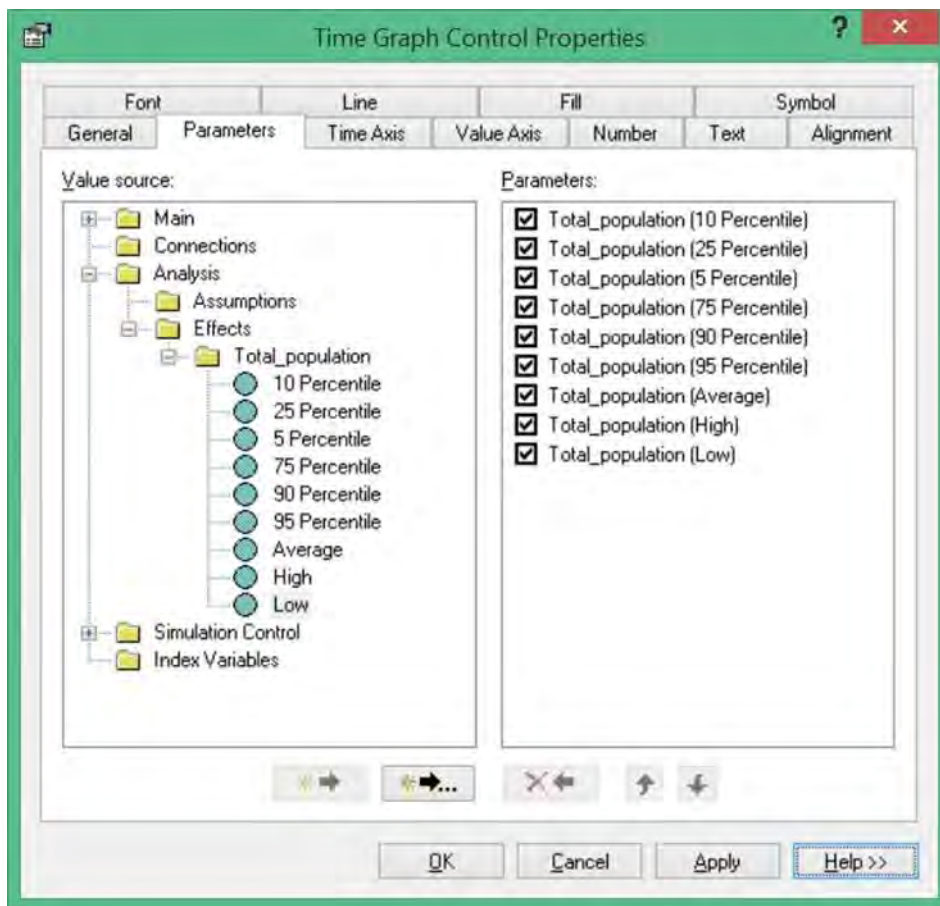


Рис. 77. Настройка графика анализа рисков для константы «Birth_rate»

Теперь можно запустить прогон модели. Автоматически для анализа делается 40 прогонов, но этот параметр можно настроить, нажав ПКМ над «Risk Analysis Birth_rate» и в «Simulation Settings» на вкладке «Risk Analysis» поменять «Run count». Только предварительно выставим на вкладке «Control» интерфейса время прогона 200 лет. На таком временном промежутке будет легче отследить влияние входного параметра.

Процесс может занять достаточно долгое время, которое зависит от количества прогонов, длины времени моделирования, сложности модели и параметров компьютера. Для того, чтобы облегчить ожидание пользователя можно создать «progress bar» с помощью элемента «Slider». Зайдем в свойства элемента и на вкладке «Parameters» в «Simulation Control» выберем «Time». Установим но-

вый элемент на вкладке «Control» проекта, и теперь пользователь может наблюдать, что компьютер не завис, а делает прогон за прогоном. Также с помощью того же инструмента, но используя параметр «Run Index» можно сделать «progress bar» и для наблюдения за количеством прогонов.

После выполнения программы, в разделе «Private Diagrams» появится следующий график (рисунок 78). Надпись «НА ФОРМУ УПРАВЛЕНИЯ» – это гиперссылка для перехода на управляющую панель.



Рис. 78. Разброс функции «Total_population» в зависимости от изменения «Birth_rate»

На графике видно, что даже незначительное изменение «Birth_rate» серьезно влияет на количество людей, а значит модель чувствительна к этому параметру:

- при его минимальных значениях и значениях на 5% больше минимальных количество населения убывает;
- при 10%-ом и 25%-ом увеличении входного параметра от минимальных значений – рост населения становится положительным, но малозначимым (близким к константе);

- при 50%-ом изменении входного параметра – количество населения начинает резко возрастать.

Теперь добавим еще два «Risk Analysis» для анализа чувствительности констант «Death_rate» и «Length_age». В результате получим результаты, как на рисунках 79-80.



Рис. 79. Разброс функции «Total_population» в зависимости от изменения «Death_rate»



Рис. 80. Разброс функции «Total_population» в зависимости от изменения «Length_age»

Из анализа видно, что количество населения также сильно чувствительно к параметру «Length_age» (продолжительность возрастных групп) и менее чувствительно к коэффициентам смертности. Но тут следует учитывать, что коэффициенты смертности величины на несколько порядков меньшие, чем коэффициенты рождаемости, а значит и разброс входного параметра «Death_rate» по нормальному распределению гораздо меньше. Так что чувствительность может быть гораздо выше, если увеличить параметры нормального распределения величины «Death_rate» до величины параметров нормального распределения «Birth_rate».

2.5.4. Оптимизационный эксперимент модели «передвижки возрастов»

Теперь давайте предположим, что при начальном количестве населения 6500 человек, государство хочет оставить население в пределах от 6000 человек до 8000 человек. При уменьшении начнется упадок из-за вымирания, при увеличении за пределы 8000 город не сможет вместить такое количество людей и начнется нехватка рабочих мест, мест для жилья и т.д.

Тогда скопируем обычный эксперимент «Simulation 1» и назовем его «Simulation Optimize».

В «Analysis Variables» добавим в «Decisions» все три группы коэффициентов: «Birth_rate», «Death_rate» и «Length_age». В «Objectives» добавим «Total_population», а в настройках выберем «Operator» «In». И поставим параметры от 6000 до 8000, тем самым требуя, чтобы количество населения лежало в этих пределах.

Перейдем в «Shared Diagrams» и нажмем «Optimize». Выставим параметры «Parents» = 10 и «Offspring» = 70. Запустим эксперимент и после прогона получим (рисунок 81):



Рис. 81. Результат оптимизации модели «передвижки возрастов»

Итак, по графику «Total_population» видно, что требование выполнено и популяция лежит в диапазоне 6000-8000 человек.

В таблице «Управление коэффициентами» можно увидеть при каких коэффициентах можно достигнуть данного результата. Для сравнения выведем параметры оптимизированной модели (рисунок 82а) и обычной (рисунок 82б).

Birth_rate[Young]	0,04 1/yr	Birth_rate[Young]	0,04 1/yr
Birth_rate[Average]	0,0096 1/yr	Birth_rate[Average]	0,01 1/yr
Length_age[Children]	12,38 yr	Length_age[Children]	12,00 yr
Length_age[Young]	23,20 yr	Length_age[Young]	25,00 yr
Length_age[Average]	19,08 yr	Length_age[Average]	20,00 yr
Death_rate[Children]	0,001912 1/yr	Death_rate[Children]	0,0019 1/yr
Death_rate[Young]	0,000754 1/yr	Death_rate[Young]	0,0008 1/yr
Death_rate[Average]	0,006743 1/yr	Death_rate[Average]	0,0066 1/yr
Death_rate[Elderly]	0,064365 1/yr	Death_rate[Elderly]	0,065 1/yr

а) оптимизированные параметры

б) начальные параметры

Рис. 82. Сравнение оптимизированных и стандартных параметров модели

2.5.5. Заключение по результатам построения и анализа модели

Модель «передвижки возрастов» помогает понять общие принципы влияния рождаемости, смертности и процесса старения на общую численность людей.

Рождаемость является входным потоком, смертность – выходным, процесс старения работает как на уменьшение, так и на увеличение, за счет того, что из одних возрастных групп люди убывают, а в другие прибывают.

Анализ чувствительности показал, что все эти три параметра достаточно значимы для изменения численности населения.

Коэффициенты рождаемости имеют отрицательное влияние при минимальных своих значениях и при их увеличении на 5%. При увеличении на 10% и 25% наблюдается положительная тенденция роста населения, но очень плавная. А вот начиная с увеличения входного параметра на 50% от минимально возможного наблюдается резкий скачек роста населения.

Чувствительность к коэффициентам смертности меньше. Но как уже было замечено – это может быть связано с тем, что эти коэффициенты на несколько порядков меньше, чем коэффициенты рождаемости. Но и здесь можно отметить скачкообразное изменение функции при переходе от 90% к 95% величины входного параметра.

Чувствительность к продолжительностям возрастных периодов значима. Она больше чем для коэффициентов смертности, но меньше, чем для коэффициентов рождаемости. При минимальных значениях этой группы параметров наблюдается уменьшение популяции людей в городе. При 5% и 10% увеличения показателя от минимального также наблюдается уменьшение популяции. А вот при 25% увеличения входных параметров наблюдается резкий скачек функции роста в область положительной тенденции роста. Следующий резкий скачек функции наблюдается при переходе от 90% увеличения входных параметров к 95%. Для реализации задачи: оставить населения в заданных пределах (6000-8000) – был применен оптимизационный эксперимент, который помог опреде-

лить входные параметры, при которых поставленное требование будет выполняться. Сравнение начальных параметров с параметрами после оптимизации можно увидеть на рисунке 82.

2.6. РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ОБСЛУЖИВАНИЯ КЛИЕНТОВ РЕСТОРАНА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВСТРОЕННЫХ ФУНКЦИЙ POWERSIM STUDIO 7.0

Принято решение повысить качество обслуживания клиентов ресторана путем ввода в основные процессы предприятия электронного меню, как информационного приложения. При этом обоснование управленческого решения выполнить с использованием прогнозной системно-динамической модели оценки изменения эффективности обслуживания после ввода в действие электронного меню.

Цель: создание аналитической системы поддержки принятия решений в управлении процессами обслуживания клиентов ресторана применительно к задаче прогнозирования изменения интенсивности обслуживания клиентов, основанной на расширении системно-динамического подхода к обоснованию внедрения в деятельность предприятия информационных приложений.

Задачи:

1. Выполнить описание процессов объекта моделирования – системы управления процессами обслуживания клиентов ресторана в условиях перехода на электронное меню.
2. Разработать системно-динамическую модель для прогнозирования изменения интенсивности обслуживания клиентов ресторана в концепции «As-Is» и «To-Be».
3. Интерпретировать прогнозные значения полученных изменений интенсивности обслуживания клиентов ресторана с использованием электронного меню на основе результатов имитационного моделирования, как обоснования эффективности внедрения информационного приложения.

Описание основных этапов

Этап 1: «Аналитическая система управления процессами обслуживания клиентов ресторана с использованием электронного меню».

Выдвигается гипотеза о том, что информационное приложение – электронное меню в ресторане, может значительно повысить эффективность обслуживания за счёт увеличения объема обслуженных клиентов, которые, как правило, неравномерно распределены в период работы ресторана ввиду отсутствия обратной связи и информации о наличии очереди, свободных каналов обслуживания и т.д. Основные параметры управления – прогноз поступления заявок на обслуживание до и после ввода в действие электронного меню, изменение скорости выполнения заказов, прогноз количества отказов в системе обслуживания и т.д., позволяют на экспериментальном уровне отследить динамику изменения эффективности процессов обслуживания в ресторане после ввода в действие электронного меню как информационного приложения.

Этап 2: Концептуальные основы моделирования и принятые допущения для описания объекта моделирования.

Моделирование очереди со многими клиентами и серверами (система массового обслуживания) рассматривается на примере очереди с несколькими клиентами, посылающими запрос на обслуживание серверам. Функцию QUEUE (Очередь) в Powersim обеспечивает механизм моделирования процесса «первым вошел, первым вышел» (ФИФО). Например, будем моделировать поток людей (клиентов), приходящих в ресторан для того, чтобы воспользоваться услугами одной единицы обслуживания (столик) при условии неопределенности о наличии мест из числа нескольких единиц обслуживания (серверов). Клиент, приходящий в ресторан вынужден будет стоять в очереди, если все столики заняты. Как только какой-либо официант (сервер) освободится, будет обслужен первый по очереди клиент.

Прежде всего, определим число клиентов и число серверов как два именованных диапазона: *rКлиенты* и *rКассиры*. Для этого используем команду Define

Range (Определение диапазона) в меню Edit (Правка). Определим один поток клиентов и два потока кассиров (серверов). Тогда получим:

- $range\ r_{Клиенты} = 1..1;$
- $range\ r_{Кассиры} = 1..2.$

2.6.1. Концептуальное моделирование и построение моделируемой системы

В средствах имитационного моделирования, поддерживающих системную динамику, внутренние алгоритмы поддерживаются на системном уровне есть встроенные объекты, которые позволяют работать с дискретными потоками, при этом управляя поведением очереди, а также проектировать системы массового обслуживания и более точно прогнозировать состояние системы.

Имитационная модель обслуживания клиентов после внедрения электронного меню, как экспериментальная модель, будет реализована в PowerSim Studio 7.0 с помощью стандартных элементов и при условии трансформации базовых элементов модели для задач моделирования системы информационных связей «ресторан-клиенты» или системы взаимодействия.

Применительно к данной задаче, представим моделируемую систему информационного взаимодействия «ресторан-клиенты» при условии организации обслуживания с использованием электронного меню, как показано на рисунке 83.

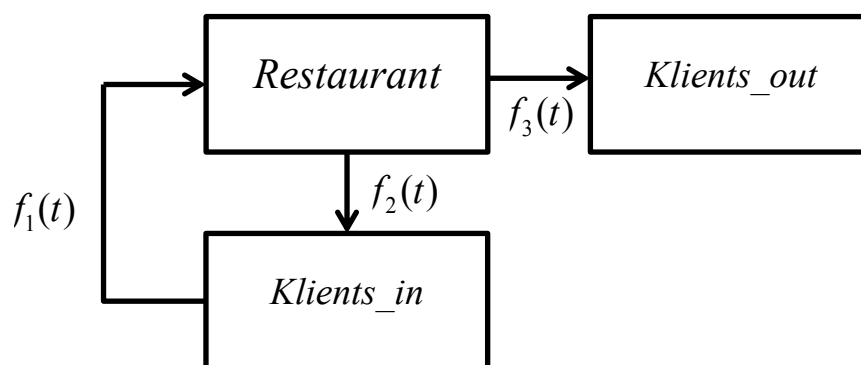


Рис. 83. Моделируемая система обслуживания клиентов ресторана с применением электронного меню

Тогда основное уравнение эффективности ввода электронного меню, которое содержит накопитель заявок (сервер) на обслуживание клиентов ресторана будет иметь вид (24):

$$Klients_in(t) = \int_{t_0}^t ((f_2(\tau) - f_1(\tau) - f_3(\tau))d\tau + Klient_in(t_0) \quad (24)$$

где, $Klient_{in}(t)$ – узлы, накопители эффекта от внедрения электронного меню, которые являются результатом информационного взаимодействия для имеющихся каналов в момент времени t , $t = t_0, \dots, t_n$;

t_0 – начальный момент моделирования;

t_n – конечный момент моделирования;

$f_i(t)$ – дуги (связи) формирующие переменные для темпа регистрации новых заявок в ресторан в момент времени τ и определяющие скорость обслуживания клиентов в момент времени τ с учетом возможности обслуживания, размера очереди, торговой площади и т.д.

Однако для проведения серии имитационных экспериментов необходимо выделить основные бизнес-процессы ресторана и процессы обслуживания с целью формирования базовых и управляемых переменных имитационной модели прогнозирования динамики обслуживания клиентов ресторана при использовании электронного меню.

2.6.2. Экспериментальное моделирование процессов взаимодействия в системе «ресторан-клиенты»

Введем основные допущения и заданные (входные) параметры моделирования процессов взаимодействия клиентов и персонала ресторана: средняя интенсивность потока клиентов в ресторан зависит от времени суток (таблица 13).

Основные допущения и входные значения интервалов обслуживания, как внешние параметры моделирования процессов взаимодействия

Время	Средняя интенсивность потока клиентов (чел/мин)
12:00 – 14:00	0,2
14:00 – 17:00	0,3
17:00 – 19:00	0,4
19:00 – 22:00	0,5
22:00 – 00:00	0,4

Шаг в модели равен 1 минуте. Период моделирования – 12 часов (то есть один рабочий день, 12:00 – 00:00).

Аналитическая система поддержки принятия решения о применении электронного меню, как информационного приложения для клиентов ресторана, позволяет получить прогноз для основных показателей процесса обслуживания и определить, как отразится внедрение электронного меню на эффективности обслуживания клиентов.

Для начала необходимо провести серию экспериментов с системно-динамической моделью, в которой использованы входные данные и величины основных параметров для процессов обслуживания с использованием традиционного бумажного меню.

Классифицируем все величины, используемые в моделировании, следующим образом:

- *уровни* – содержат накапливаемые значения;
- *темпы потоков* – увеличивают/уменьшают значения уровней;
- *переменные* – изменяемые состояния внешней и внутренней среды;
- *константы*.

Классификация и описание переменных представлены в таблице 14.

Величины, используемые в модели

Обозначение	Описание	Единицы измерения
Уровни		
RESTAURANT	Текущее количество клиентов	чел.
Sum_in	Количество клиентов, пришедших в ресторан на протяжении моделируемого рабочего дня	чел.
Sum_klients_in	Количество клиентов, пришедших в ресторан, обслуженных в тот же момент. Величина, накапливаемая на протяжении дня	чел.
Sum_klients_out	Количество клиентов, обслуженных в ресторане с начала рабочего дня	чел.
Sum_otkaz	Количество клиентов, ушедших из ресторана по причине наличия очереди максимально допустимой длины	чел.
Темпы потоков		
klients_in	Количество клиентов, пришедших в ресторан в текущую минуту и ставших на обслуживание	чел./мин.
klients_out	Количество клиентов, обслуживание которых завершилось в текущую минуту	чел./мин.
in	Количество клиентов, пришедших в ресторан в текущую минуту	чел./мин.
otkaz	Количество клиентов, пришедших в текущую минуту, но покинувших ресторан по причине отсутствия свободных столиков	чел./мин.
Переменные		
intenc_in	Интенсивность входящего потока клиентов	чел./мин.
R	Вспомогательные переменные, используемые для моделирования потока клиентов как случайного процесса	
Константы		
intenc_out	Интенсивность исходящего потока клиентов, т.е. обслуженных клиентов,	чел./мин.

Текущее количество клиентов в ресторане является уровнем. Начальное значение данного уровня = 0, поскольку в момент открытия, в начале рабочего дня, в ресторане нет клиентов. Текущее количество клиентов на интервале обслуживания равному один шаг Δt может быть описано конечно-разностным уравнением (25):

$$\text{Restaurant}(t) = \text{Restaurant}(t - \Delta t) + (\text{klients_in}(t) - \text{klients_out}(t)) \Delta t, \quad (25)$$

где $\text{Restaurant}(t)$ – текущее количество клиентов в ресторане на временном шаге t ;

$\text{Restaurant}(t - \Delta t)$ – текущее количество клиентов в ресторане на временном шаге $t - \Delta t$;

$klients_in(t)$ – количество клиентов на временном шаге t , пришедших в ресторан и ставших на обслуживание;

$klients_out(t)$ – количество клиентов, обслуживание которых завершилось на временном шаге t .

Но принимая значение отрезка $\Delta t = 1$, уравнение (25) примет вид (26):

$$Restaurant(t) = Restaurant(t - 1) + klients_in(t) - klients_out(t), \quad (26)$$

Количество клиентов, пришедших в ресторан на протяжении моделируемого рабочего дня, является накапливаемой величиной, которую представляем в виде уровня (27):

$$Sum_in(t) = Sum_in(t - 1) + in(t), \quad (27)$$

где $Sum_in(t)$ – количество клиентов, пришедших в ресторан на протяжении рабочего дня до временного шага t ;

$in(t)$ – количество клиентов, пришедших в ресторан на временном шаге t .

Количество клиентов, пришедших в ресторан, обслуженных в тот же момент, также является накапливаемой величиной (28):

$$Sum_klients_in(t) = Sum_klients_in(t - 1) + klients_in(t), \quad (28)$$

где $Sum_klients_in(t)$ – количество клиентов, пришедших в ресторан, обслуженных в тот же момент, на протяжении рабочего дня до временного шага t .

Количество клиентов, обслуженных в ресторане (29):

$$Sum_klients_out(t) = Sum_klients_out(t - 1) + klients_out(t), \quad (29)$$

где $Sum_klients_out(t)$ – количество клиентов, обслуженных в ресторане с начала рабочего дня до временного шага t ;

$klients_out(t)$ – количество клиентов, обслуживание которых завершилось на временном шаге t .

Количество клиентов, ушедших из ресторана по причине отсутствия свободных столиков (30):

$$\text{Sum_otkaz}(t) = \text{Sum_otkaz}(t-1) + \text{otkaz}(t), \quad (30)$$

где $\text{Sum_otkaz}(t)$ – количество клиентов, ушедших из ресторана по причине отсутствия свободных столиков, с начала рабочего дня до временного шага t ;

$\text{otkaz}(t)$ – количество клиентов, пришедших на временном шаге t , но покинувших ресторан по причине отсутствия свободных столиков.

Количество клиентов, пришедших в ресторан на временном шаге t (31):

$$\text{in}(t) = \text{IF} (R_1 < \text{intenc_in}(t), 1, 0), \quad (31)$$

где R – вспомогательная переменная, которая является случайной величиной, равномерно распределенной на интервале $(0, 1)$;

$\text{intenc_in}(t)$ – интенсивность входящего потока клиентов, зависящая от времени суток (32):

$$\begin{aligned} \text{intenc_in}(t) = & (t < 121) * 0,2 + ((t > 120) \text{ and } (t < 301)) * 0,3 + ((t > 300) \text{ and} \\ & \text{and } (t < 421)) * 0,4 + ((t > 420) \text{ and } (t < 601)) * 0,5 + (t > 600) * 0,4 \end{aligned} \quad (32)$$

Количество клиентов на временном шаге t , пришедших в ресторан и ставших на обслуживание или в очередь на обслуживание (33):

$$\text{klients_in}(t) = \text{IF} (\text{Restaurant} < 15, \text{in}, 0) \quad (33)$$

Количество клиентов, обслуживание которых завершилось на временном шаге t (34):

$$\text{klients_out}(t) = \text{IF} (\text{Restaurant} > 0, \text{IF} (R < \text{intenc_out}, 1, 0), 0) \quad (34)$$

intenc_out – интенсивность исходящего потока клиентов.

Количество клиентов, пришедших на временном шаге t , но покинувших ресторан по причине отсутствия свободных мест (35):

$$\text{otkaz}(t) = \text{in}(t) - \text{klients_in}(t) \quad (35)$$

Разработанная модель в виде диаграммы процессов на экспериментальном уровне реализована в программе Powersim. Вид модели представлен на рисунке 84.

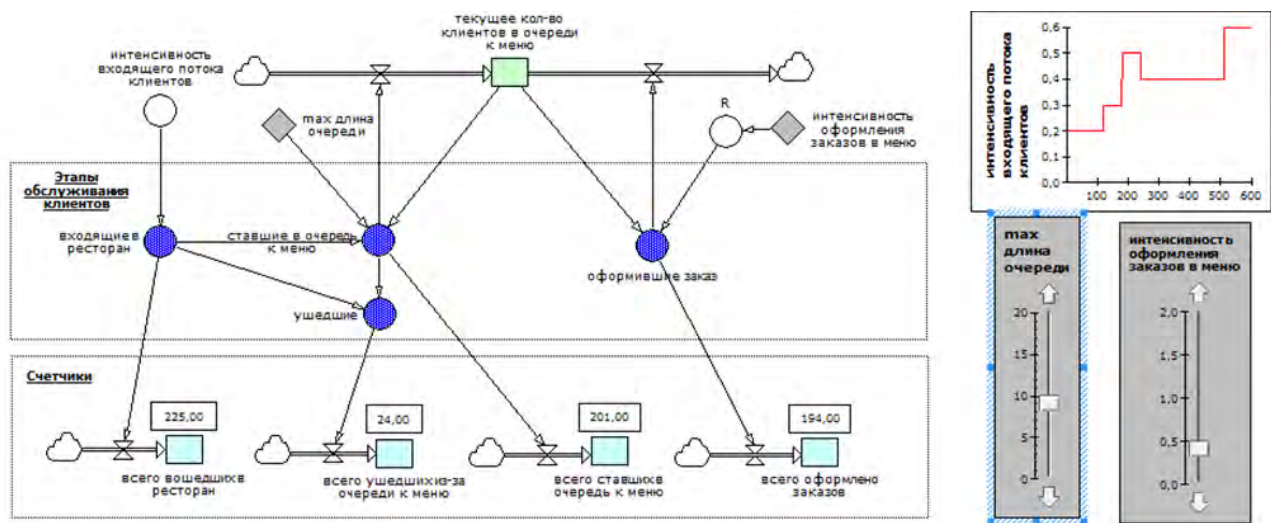


Рис. 84. Архитектура взаимодействия процессов обслуживания гостей в ресторане

На рисунке 85 приведена динамика величин:

- количество клиентов, пришедших в ресторан с начала моделируемого рабочего дня (Sum_in);
- количество клиентов, пришедших в ресторан, обслуженных в тот же момент (Sum_klients_in);
- количество клиентов, обслуженных в ресторан (Sum_klients_out);
- количество клиентов, ушедших из ресторана по причине отсутствия свободных столиков (Sum_otkaz).

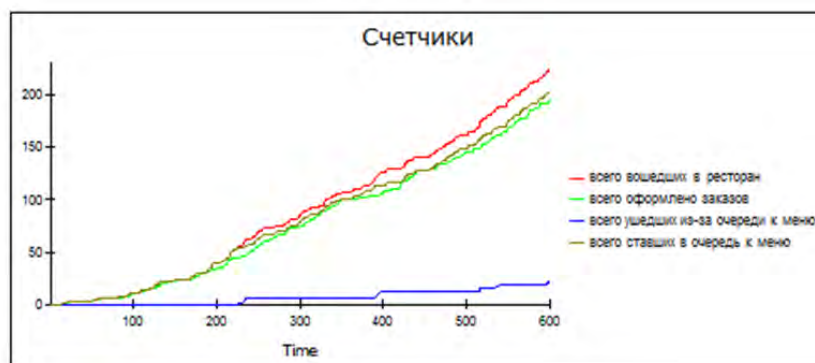


Рис. 85. Динамика обслуживания гостей в ресторане с использованием бумажного меню

Из графика видно, что интенсивный рост необслуженных клиентов происходит в периоды наибольшей интенсивности входящего потока клиентов, в эти же периоды наблюдается частое достижение максимальной наполненности ресторана (рисунок 86).

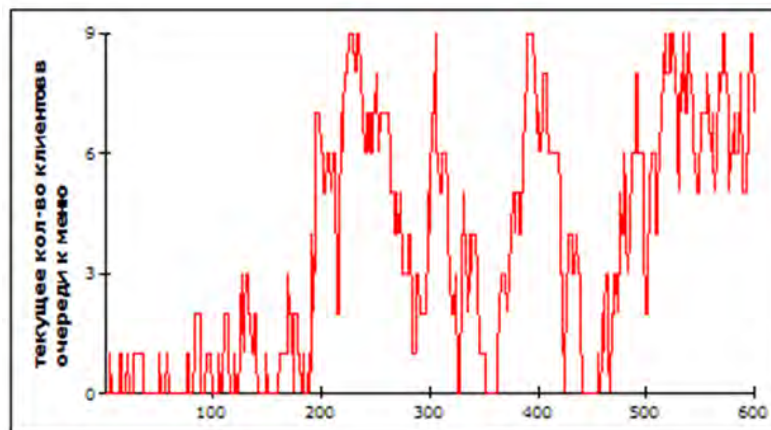


Рис. 86. Количество клиентов в ресторане на протяжении рабочего дня с использованием бумажного меню

По результатам моделирования, итоги одного дня работы ресторана с использованием традиционного бумажного меню следующие (таблица 15):

Таблица 15

Итоги одного дня работы ресторана с использованием бумажного меню

Показатель	Значение
Количество клиентов, пришедших в ресторан (Sum_in)	309 человека
Количество клиентов, пришедших в ресторан, обслуженных в тот же момент (Sum_klients_in)	286 человек
Количество клиентов, обслуженных в ресторане (Sum_klients_out)	259 человека
Количество клиентов, ушедших из ресторана по причине отсутствия свободных столиков (Sum_otkaz)	23 человека

На конец рабочего дня (при $t = 720$) в ресторане присутствовало 27 человек. В 00:00 прекращается поток новых клиентов, а обслуживание клиентов, находящихся в ресторане, продолжается до последнего клиента, поэтому оставшиеся 27 человек будут обслужены. Следовательно, Sum_klients_out = 286.

2.6.3 Оценка эффективности принятия управленческих решений по результатам серии имитационных экспериментов

Чтобы оценить эффективность внедрения электронного меню, необходимо построить системно-динамическую модель с данной системой. Архитектура обслуживания гостей в программном продукте PowerSim Studio 7.0 останется та же (рисунок 84), но согласно выдвинутой гипотезе возможно измениться интенсивность выходящего потока.

На рисунках 87 и 88 представлены динамика обслуживания гостей в ресторане на протяжении рабочего дня после внедрения электронного меню.

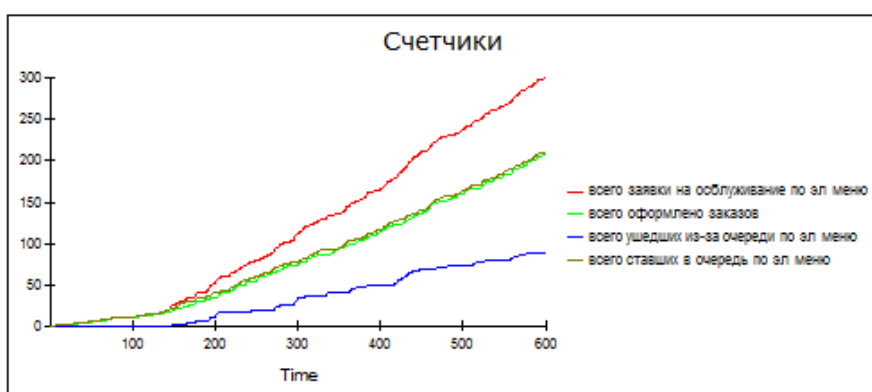


Рис. 87. Динамика обслуживание гостей в ресторане с использованием электронного меню

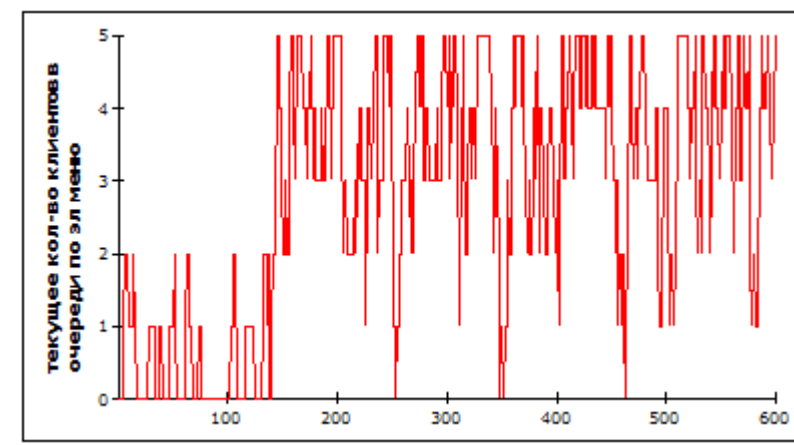


Рис. 88. Количество клиентов в ресторане на протяжении рабочего дня с использованием бумажного меню

По результатам моделирования, итоги одного дня работы ресторана с использованием традиционного электронного меню следующие (таблица 16):

Итоги одного дня работы ресторана с использованием бумажного меню

Показатель	Значение
Количество клиентов, пришедших в ресторан (Sum_in)	325 человека
Количество клиентов, пришедших в ресторан, обслуженных в тот же момент (Sum_klients_in)	305 человек
Количество клиентов, обслуженных в ресторане (Sum_klients_out)	275 человека
Количество клиентов, ушедших из ресторана по причине отсутствия свободных столиков (Sum_otkaz)	20 человека

Исходя из выше предложенных результатов видно, что суммарный поток обслуженных клиентов ресторана увеличился, а количество ушедших из ресторана по причине отсутствия свободных столиков уменьшилось. Это говорит о том, что внедрение электронного меню способствует уменьшению времени на обработку заказов и повышению конверсии клиентов в ресторане, что, соответственно, приведет к увеличению дохода.

2.7. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРОЕКТА ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Принято решение на основе ключевых показателей стратегической карты ИТ-компании в перспективе «обучение и развитие» выполнить разработку и построение имитационной модели управления взаимодействием персонала проектов информатизации.

Цель: создание аналитической системы поддержки принятия кадровых решений в управлении проектами информатизации на основе более совершенной модели анализа данных, основанной на расширении системно-динамического подхода к изучению процессов взаимодействия персонала проектов информатизации.

Задачи:

1. Выполнить описание объекта моделирования – системы управления персоналом проектов информатизации.

2. Разработать системно-динамическую модель для прогнозирования целевого состояния архитектуры процессов взаимодействия персонала проектов информатизации.

3. Интерпретировать прогнозные значения полученных целевых состояний архитектуры процессов взаимодействия персонала проектов на основе результатов имитационного моделирования.

Описание основных этапов

Этап 1: «Аналитическая система управления взаимодействием проектов информатизации».

Выдвигается гипотеза о том, что при неэффективном управлении взаимодействием персонала ключевые показатели эффективности не достигнут целевого значения. Следовательно, организация не выполнит необходимый объем работ по проектам информатизации и понесет убытки. Скорость поступления заявок на проекты, скорость выполнения проектов и т.д., что позволит на экспериментальном уровне отследить динамику целевого состояния архитектуры процессов управления взаимодействием персонала проектов информатизации.

Этап 2: Концептуальные основы моделирования и принятые допущения для описания объекта моделирования.

Разработанная экспериментальная модель отражает цикл управления персоналом проектов ИТ-компании, внутри которого можно наблюдать изменение оставшегося объема работы над проектом с учетом оставшегося времени на его выполнение и текущей производительности работников. На объем оставшейся работы над проектом влияют следующие параметры:

- средняя ежедневная нагрузка;
- средняя производительность труда вновь нанятых и опытных работников;
- доля затрат времени опытных работников на обучение новых, процент и частота увольнений;
- среднее запаздывание найма;

- численность опытных и вновь нанятых работников;
- оставшееся время развития проекта.

Данная модель позволяет отследить динамику целевого состояния архитектуры сегмента управления персоналом проектов информатизации.

В начале, с учетом исходных данных рассчитывается производительность опытных и вновь нанятых работников над проектом, что выполняют работу в данный момент. Параллельно с этим происходит расчет диспропорции числа работников для выполнения оставшегося объема работы над проектом, что в дальнейшем приводит к расчету числа вакансий и вновь нанятых работников с учетом затрат времени опытных работников на обучении новых.

Входными потоками являются дополнительный объем работы, рост числа вакансий, темп найма, скорость обучения и количество всех работников.

Выходными потоками являются темп завершения работы, изменение времени развития, темп найма, скорость обучения и темп увольнения. Поток дополнительный объем работы в зависимости от значения случайного увеличения выполнения добавляют 1000 трудодней к объему общей и оставшейся работы.

Рост числа вакансий зависит от диспропорции числа работников (опытных и вновь нанятых) с количеством дополнительных работников для выполнения заданного объема работы, который задается аналитиком исходя из оставшегося объема работы, времени развития проекта и средней ежедневной нагрузки в трудоднях.

Темп найма зависит от роста числа вакансий с учетом среднего времени запаздывания найма. Скорость обучения зависит от отношения количества вновь нанятых работников к затратам времени на их обучение. Количество всех работников зависит от суммы вновь нанятых и опытных работников и численности работников специальной группы. Темп завершения работы зависит от трудового потенциала работников по проекту.

На рисунке 89 изображена диаграмма причинно-следственных связей модели управления персоналом проектов информатизации.

Этап 3: Архитектура моделируемой системы управления взаимодействием персонала проекта.

На рисунке 90 представлена моделируемая система управления персоналом проекта. В качестве основы для ее разработки использовалась моделируемая система Клебановой Т. С.³⁴, описанная в подразделе 1.7. данного ресурса на рисунке 12.

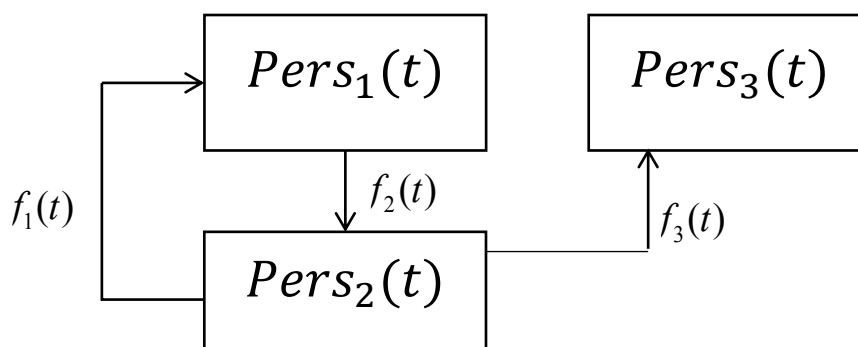


Рис.90. Моделируемая система

$Pers_i(t_0)$ – начальное значение уровней-накопителей эффекта от выполнения работ по проектам информатизации до начала реализации мероприятий по улучшению управления взаимодействием персонала проектов.

$Pers_i(t)$ – узлы, накопители эффекта выполнения работ по проектам информатизации, которые являются результатом притоков и оттоков ресурсов взаимодействия для i -каналов передачи ресурсов на заданном этапе реализации мероприятий по улучшению управления взаимодействием персонала проектов.

$f_i(t)$ – дуги (связи) – потоки ресурсов взаимодействия i -каналов передачи ресурсов, которые рассматриваются, как непрерывные переменные величины, изображены в виде линий стрелок, направление которых определяет положительный результат передачи ресурсов.

Моделируемая система может быть представлена в виде интегрального уравнения (36):

³⁴ Клебанова, Т. С. Моделирование финансовых потоков предприятия в условиях неопределенности: Монография / Т. С. Клебанова, Л. С. Гурьянова, Н. Богониколос, О. Ю.Кононов, А. Я. Берсуцкий.. – Х.: «ИНЖЭК», 2006. -312 с.

$$Pers_2(t) = \int_{t_0}^t [f_2(\tau) - f_1(\tau) - f_3(\tau)] d\tau + Pers_2(t_0) \quad (36)$$

где i – индекс канала передачи ресурсов (знаний, данных) от одного элемента взаимодействия (участника проекта) к другому.

После дифференцирования интеграла по переменному верхнему пределу получаем следующее дифференциальное уравнение (37):

$$\frac{dPers_i}{dt} = f_i^+ - f_i^-, \quad i = \overline{1, n} \quad (37)$$

где f_i^+ – правая часть уравнения, включающая в себя все факторы, вызывающие рост эффективности работы i -го участника проекта $Pers_i$;

f_i^- – включает все факторы, вызывающие снижение эффективности работы i -го участника проекта $Pers_i$.

То есть скорость изменения содержимого уровня-накопителя равна алгебраической сумме интенсивностей притоков и оттоков с учетом их знаков.

Этап 4: Описание базовых и управляемых параметров модели.

Построив моделируемую систему информационного взаимодействия процессов реализации проектов для системы управления персоналом, введём следующие обозначения для построения имитационной модели.

Индексы, используемые в модели:

$t = t_0, t_0 + dt, \dots, T$ – индекс периода (шаг моделирования $(dt) - 1$ день), T – горизонт планирования принят 1 год;

Экзогенные переменные:

$TW(t)$ – общий объем работы в момент времени t ;

$RW(t)$ – объем работы, остающийся по проектам в момент времени t ;

$RTPD(t)$ – остающееся время для развития проектам в момент времени t ;

$Vac(t)$ – число свободных вакансий в ИТ-компании в момент времени t ;

$NRW(t)$ – число работников без соответствующего опыта работы в момент времени t ;

$EW(t)$ – число опытных работников в нулевой момент времени t ;

$TNW(t)$ – общее число человеко-дней, потраченное на работу по проекту в нулевой момент времени t .

Стратегические управляющие параметры модели:

$AVLH$ – среднее время (в днях), необходимое для рекламы вакансий, интервьюирования, отбора и найма новых работников;

$PerL$ – средний процент увольнения;

FL – средняя частота увольнений;

$AvPNE$ – средняя потенциальная производительность труда новых (не опытных) работников;

$AvPEE$ – средняя потенциальная производительность труда опытных (обученных) работников;

$STEWTN$ – доля времени, потраченного персоналом компании на обучение новых работников;

RNE – желаемое количество работников;

$R(t)$ – случайное число от 0,1 до 1.

Приведём формализованную в разностном виде динамику основных показателей модели (эндогенных переменных) в момент времени t .

Общий объем работы (38):

$$TW(t + 1) = TW(t) + AW(t), \quad (38)$$

где $AW(t)$ – темп добавления объема работы по проектам, будет определен ниже.

Объем работы, остающийся по проектам (39):

$$RW(t + 1) = RW(t) + AW(t) - CR(t), \quad (39)$$

где $CR(t)$ – темп завершения работ по проектам, будет определен ниже.

Остающееся время для развития проектов (40):

$$RTPD(t + 1) = RTPD(t) - CDT(t), \quad (40)$$

где $CDT(t)$ – темп, с которым отсчитывается (уменьшается) время развития проектов, будет определен ниже.

Число свободных вакансий (41):

$$Vac(t + 1) = Vac(t) + INVac(t) - RH(t), \quad (41)$$

где $INVac(t)$ – темп регистрирования новых вакансий, будет определен ниже;

$RH(t)$ – скорость найма ИТ-компанией новых сотрудников, будет определена ниже.

Число работников без соответствующего опыта работы (42):

$$NRW(t + 1) = NRW(t) + RH(t) - ST(t), \quad (42)$$

где $ST(t)$ – скорость обучения новых работников, будет определена ниже.

Число опытных работников (43):

$$EW(t + 1) = EW(t) + ST(t) - RD(t), \quad (43)$$

где $RD(t)$ – скорость увольнения работников, будет определена ниже.

Общее число человеко-дней (44):

$$TNW(t + 1) = TNW(t) + ALLE(t), \quad (44)$$

где $ALLE(t)$ – общее число работников компании, будет определено ниже.

Темп добавления объема работы по проектам (45):

$$AW(t) = \begin{cases} 500, \text{ если } RIncr \leq 0,8 \cup t = 50 \\ 500, \text{ если } RIncr \leq 0,8 \cup t = 80 \\ 1000, \text{ если } RIncr > 0,8 \cup t = 50 \\ 0, \text{ иначе} \end{cases}, \quad (45)$$

где $RIncr$ – случайное увеличение дополнительного объема работ по проектам, будет определено ниже.

Темп завершения работ по проектам (46):

$$CR(t) = \min\{WP(t); RW(t)\}, \quad (46)$$

где $WP(t)$ – доля трудовых ресурсов, которую можно использовать для выполнения реальной работы по проектам, будет определена ниже.

Темп, с которым отсчитывается (уменьшается) время развития проектов (47):

$$CDT(t) = 1 \quad (47)$$

Темп регистрирования новых вакансий (48):

$$INVac(t) = \max\{0; DNE(t) - Vac(t)\}, \quad (48)$$

где $DNE(t)$ – диспропорция между имеющимся и необходимым для работы по проектам количеством работников, будет определена ниже.

Скорость найма ИТ-компанией новых сотрудников (49):

$$RH(t) = \begin{cases} INVac(t), & \text{если } t = t + AvLH \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (49)$$

Скорость обучения новых работников (50):

$$St(t) = \frac{NRW(t)}{StudT(t)}, \quad (50)$$

где $StudT(t)$ – среднее время приобретения необходимого опыта новыми работниками, будет определено ниже;

Скорость увольнения работников (51):

$$RD(t) = \begin{cases} [EW(t) * PerL], & \text{если } t \bmod \left(\frac{1}{FL}\right) = 0 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}, \quad (51)$$

Общее число работников компании (52):

$$Alle(t) = EW(t) + NRW(t) \quad (52)$$

Случайное увеличение дополнительного объема работ по проектам (53):

$$RIncr(t) = R(t), \text{ при } t = 1 \quad (53)$$

Текущий потенциал трудовых ресурсов, который можно использовать для выполнения реальной работы по проектам (54):

$$WP(t) = THRP(t) - LRET(t), \quad (54)$$

где $THRP(t)$ – общие производительные возможности трудовых ресурсов ИТ-компании, с учетом сложившейся ситуации с доп. объемом работ, будут определены ниже;

$LRET(t)$ – ежедневные затраты опытных работников для обучения новых работников, будут определены ниже.

Общие производительные возможности трудовых ресурсов ИТ-компании (55):

$$THRP(t) = \begin{cases} \left(\frac{1-0,95}{15} \times (t - 50) + 0,95 \right) \times HRP(t), & \text{если } RIncr \leq 0,8 \cup (t \geq 50 \cup t < 65) \\ \left(\frac{1-0,95}{15} \times (t - 80) + 0,95 \right) \times HRP(t), & \text{если } RIncr \leq 0,8 \cup (t \geq 80 \cup t < 95), \\ \left(\frac{1-0,8}{30} \times (t - 50) + 0,8 \right) \times HRP(t), & \text{если } RIncr > 0,8 \cup (t \geq 50 \cup t < 80) \\ HRP(t), & \text{иначе} \end{cases} \quad (55)$$

где $HRP(t)$ – производительные возможности трудовых ресурсов ИТ-компании, будут определены ниже.

Производительные возможности трудовых ресурсов ИТ-компании (56):

$$HRP(t) = AvPEE \times EW(t) + AvPNE \times NRW(t), \quad (56)$$

Ежедневные затраты опытных работников для обучения новых работников (57):

$$LRET(t) = (AvPNE + AvPEE) \times NRW(t) \times STEWNTN \quad (57)$$

Диспропорция между имеющимся и необходимым для работы по проектам количеством работников (58):

$$DNE(t) = RNE - Alle(t) \quad (58)$$

Средние трудовые затраты на выполнение работ по проектам (59):

$$AvLC(t) = \frac{TW(t)}{Alle(t)} \quad (59)$$

Среднее время приобретения необходимого опыта новыми работниками (60):

$$StudT(t) = \begin{cases} 200, \text{если } STEWTN = 0 \\ 108, \text{если } STEWTN = 0,1 \\ 65, \text{если } STEWTN = 0,2 \\ 40, \text{если } STEWTN = 0,3 \\ 36, \text{если } STEWTN = 0,4 \\ 31, \text{если } STEWTN = 0,5 \\ 30, \text{если } STEWTN = 0,6 \\ 28, \text{если } STEWTN = 0,7 \\ 27, \text{если } STEWTN = 0,8 \\ 26, \text{если } STEWTN = 0,9 \\ 25 \text{ если } STEWTN = 1 \\ 0, \text{иначе} \end{cases} \quad (60)$$

Эффективность обучения работников (61):

$$LE(t) = \begin{cases} 0, \text{если } NRW(t) = 0 \\ \frac{EW(t)}{NRW(t)}, \text{иначе} \end{cases} \quad (61)$$

Целевое значение эффективности обучения работников (62):

$$KLE(t) = \begin{cases} 1, \text{если } LE(t) \geq 10 \\ 0, \text{иначе} \end{cases} \quad (62)$$

Целевое значение текущего потенциала трудовых ресурсов (63):

$$KWP(t) = \begin{cases} 1, \text{если } WP(t) \geq 14 \\ 0, \text{иначе} \end{cases} \quad (63)$$

Границы целевого состояния (64):

$$TS(t) = \begin{cases} 1, KWP(t) + KLE(t) = 2 \\ 0, \text{ иначе} \end{cases} \quad (64)$$

Выше представлены линейные конечно-разностные уравнения, используемые в имитационной модели управления взаимодействием персонала проектов информатизации. В результате построения получим модульную структуру имитационной модели, описанную далее.

Этап 4: Описание базовых и управляемых параметров модели.

В таблице 17 выполнено описание базовых и управляемых параметров модели в терминах системной динамики с обязательным выделением основных параметров модели в уровни, темпы, потоки и константы.

Таблица 17

Описание переменных имитационной модели управления персоналом проектов
ИТ-компаний

№ п/п	Наименование	Значение параметра/программный код для ПП PowerSim	Ед. измерения	Описание
Уровни				
1	Общий объем работы $TW(t)$	Остающаяся_работа	трудодень	Объем работы, который необходимо выполнить для завершения проекта
2	Остающаяся работа $RW(t)$	3500	трудодень	Количество трудодней, остающихся по проекту
3	Остающееся время развития проекта $RTPD(t)$	360	да	Отрезок времени, остающийся для развития проекта
4	Вакансии $Vac(t)$	0	чел	Число свободных рабочих мест в ИТ-компаниях
5	Вновь нанятые работники $NRW(t)$	5	чел	Это работники без соответствующего опыта работы
6	Опытные работники $EW(t)$	5	чел	Количество работников, способных к саморазвитию (самосовершенствованию)
7	Общее число трудодней $TNW(t)$	0	чел*да	Общее число человеко-дней, потраченное на работу по проекту в любой точке жизненного цикла проекта

№ п/п	Наименование	Значение параметра/программный код для ПП PowerSim	Ед. измерения	Описание
Потоки				
1	Дополнительный объем работы $AW(t)$	IF(0<Случ_увел AND Случ_увел<=0,8; IF((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP=50;500<<труд день/da>>;IF((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP=80;500<<труд день/da>>;0<<трудодень/da>>));	труд день/da	Темп добавления объема работы по проекту.
Потоки				
1	Дополнительный объем работы $AW(t)$	IF((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP=50;1000<<труд одень/da>>;0<<трудодень/da>>))	труд день/da	Темп добавления объема работы по проекту.
2	Темп завершения работы $CR(t)$	MIN(Работники_для_работы_над_проект ом;Остающаяся_работа/1<<da>>))	труд день/da	Скорость завершения работ по проекту
3	Изменение времени развития $CDT(t)$	IF(Остающееся_время_развития_проекта >Среднее_запаздывание_найма;1;0)	da/da	Темп, с которым отсчитывается (уменьшается) время развития проекта
4	Рост числа вакансий $INVac(t)$	MAX(0<<чел/da>>;(Невязка_числа_работ ников-Вакансии)*1<<1/da>>))	чел/da	Темп регистрирования новых вакансий
5	Темп найма $RH(t)$	DELAYPPL(Пост_числа_вакансий;Средн ее_запаздывание_найма;0<<чел/da>>))	чел/da	Скорость найма компаний новых сотрудников
6	Скорость обучения $St(t)$	Вновь_нанятые_работники/Время_обуче ния	чел/da	Скорость обучения новых работников
7	Темп увольнения $(t)RD$	IF(((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)>1 AND (((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP) MOD(1/(Частота_увольнений*1<<da>>))) =0);ROUND(Опытные_работники*Проце нт_увольнений)/1<<da>>;0<<чел/da>>))	чел/da	Скорость увольнения работников.
8	Все работники $Alle(t)$	Опытные_работники+Вновь_нанятые_ра ботники	чел	Общее число работников компании
Переменные				
1	Случайное увеличе ние $RIncr(t)$	INIT(Рандом)	безраз.	Случайное увеличе ние дополнитель ного объема работ по проекту
2	Рандом $R(t)$	RANDOM(0,1;1)	безраз.	Генерация случай ного числа
3	Работники для ра боты над проектом $WP(t)$	Общий_потенциал_трудовых_ресурсов- Трудовые_ресурсы_занятые_в_обучении	труд день/da	Доля трудовых ре сурсов, которую можно использовать для выполнения ре альной работы по проекту

№ п/п	Наименование	Значение параметра/программный код для ПП PowerSim	Ед. измерения	Описание
4	Общий потенциал трудовых ресурсов <i>THRP(t)</i>	IF(Случ_увел<=0,8; IF(((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)>=50 AND ((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)<65; (((1-0,95)/15)*((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)-50)+0,95)*Потенциал_трудовых_ресурсов; IF(((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)>=80 AND ((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)<95; (((1-0,95)/15)*((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)-80)+0,95)*Потенциал_трудовых_ресурсов; Потенциал_трудовых_ресурсов); IF(Случ_увел>0,8; IF(((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)>=50 AND ((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)<80; (((1-0,8)/30)*((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)-50)+0,8)*Потенциал_трудовых_ресурсов; Потенциал_трудовых_ресурсов); Потенциал_трудовых_ресурсов))	трудодень/da	Общие производительные возможности трудовых ресурсов ИТ-компании, исходя из сложившейся ситуации с доп. объемом работ
5	Потенциал трудовых ресурсов <i>HRP(t)</i>	Средн_произв_труда_вновь_нанятых_работников*Опытные_работники+Средняя_произв_труда_опытных_работников*Вновь_нанятые_работники	трудодень/da	Производительные возможности трудовых ресурсов ИТ-компании
6	Трудовые ресурсы занятые в обучении <i>LRET(t)</i>	(Средн_произв_труда_вновь_нанятых_работников+Средняя_произв_труда_опытных_работников)*Вновь_нанятые_работники*Доля_затрат_времени_опытных_работников_на_обучение_новых	трудодень/da	Ежедневные затраты внутрифирменных трудовых ресурсов для обучения новых работников
7	Невязка числа работников <i>DNE(t)</i>	IF(((CEIL('Желаемое_колво_работников')-Все_работники)/ROUND(Опытные_работники))*1<<чел>> <=1<<чел>>;CEIL('Желаемое_колво_работников')-Все_работники; (CEIL('Желаемое_колво_работников')-Все_работники)/((CEIL('Желаемое_колво_работников')-Все_работники)/ROUND(Опытные_работники)))	чел	Диспропорция между имеющимся и необходимым для работы по проекту количеством работников
8	Средние трудовые затраты на выполнение работ по проекту <i>AvLC(t)</i>	Общий_объем_работы/Все_работники	трудодень/чел	Средние трудовые затраты на выполнение работ по проектам
9	Время обучения <i>StudT(t)</i>	GRAPH(Доля_затрат_времени_опытных_работников_на_обучение_новых;0;0,1;{200;108;65;40;36;31;30;28;27;26;25})*TIMESTEP	da	Среднее время приобретения необходимого опыта новыми работниками
10	Эффективность обучения работников <i>LE(t)</i>	IF(Вновь_нанятые_работники=0<<чел>>;0;Опытные_работники/Вновь_нанятые_работники)	безраз.	Показатель измерения эффективности обучения работников

№ п/п	Наименование	Значение параметра/программный код для ПП PowerSim	Ед. измерения	Описание
11	Целевое значение эффективности обучения работников <i>KLE(t)</i>	IF("Эффективность обучения"=0 OR "Эффективность обучения">=10;1;0)	безраз	Целевое значение эффективности обучения работников
13	Целевое значение текущего потенциала работников <i>KWP(t)</i>	IF(Текущий_потенциал_работников >14<<трудодень/da>>;1;0)	безраз	Целевое значение текущего потенциала работников
14	Границы целевого состояния <i>TS(t)</i>	IF(SUM(ЦЭфф;Цобщ)=2;1;0)	безраз	Границы целевого состояния
Константы				
1	Среднее запаздывание найма <i>AVLH</i>	40	da	Среднее время (в днях), необходимое для рекламы вакансий, интервьюирования, отбора и найма новых работников
2	Процент увольнений <i>PerL</i>	0,1	безраз	Средний процент увольнения
3	Частота увольнений <i>FL</i>	0,01	безраз	Средняя частота увольнений
4	Средняя производительность труда вновь нанятых работников <i>AvPNE</i>	0,3	трудодень/(da*чел)	Средняя потенциальная производительность труда новых (не опытных) работников
5	Средняя производительность труда опытных работников <i>AvPEE</i>	1	трудодень/(da*чел)	Средняя потенциальная производительность труда опытных (обученных) работников
6	Доля затрат времени опытных работников на обучении новых <i>STEWTN</i>	0,2	безраз	Доля времени, потраченного персоналом компании на обучение новых работников
7	Желаемое количество работников <i>DNE</i>	10	чел	Дополнительное количество нанятых работников для выполнения работ по проекту. По умолчанию равняется общей численности работников.
Параметры моделирования				
1	Единица измерения	дни	-	
2	Начальное время моделирования	01.01.2019	-	
3	Конечное время моделирования	01.01.2020	-	
4	Временной шаг модели	1	день	

Графический модуль процессов взаимодействия персонала проектов реализованный в среде имитационного моделирования PowerSim изображен на рисунке 91.

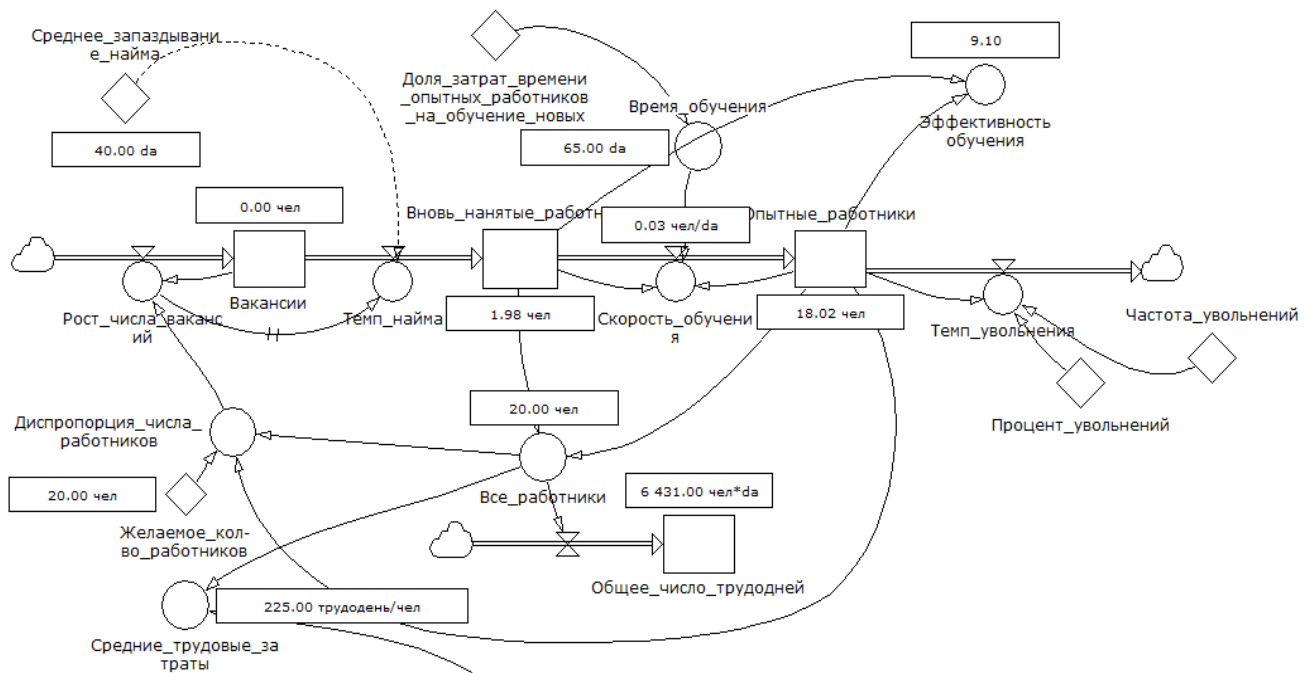


Рис. 91. Модуль оценки эффективности процессов взаимодействия персонала

Модуль жизненного цикла проектов представлен на рисунке 92.

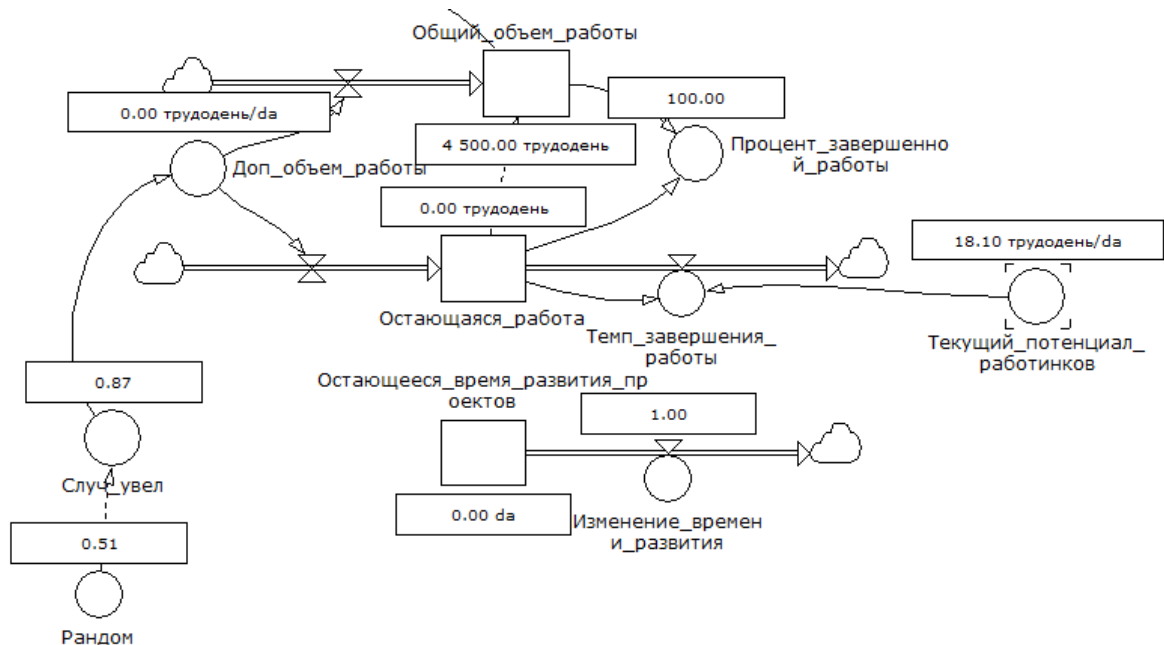


Рис. 92. Модуль прогноза жизненного цикла проектов информатизации

На рисунке 93 изображен модуль расчета эффективности трудовых ресурсов.

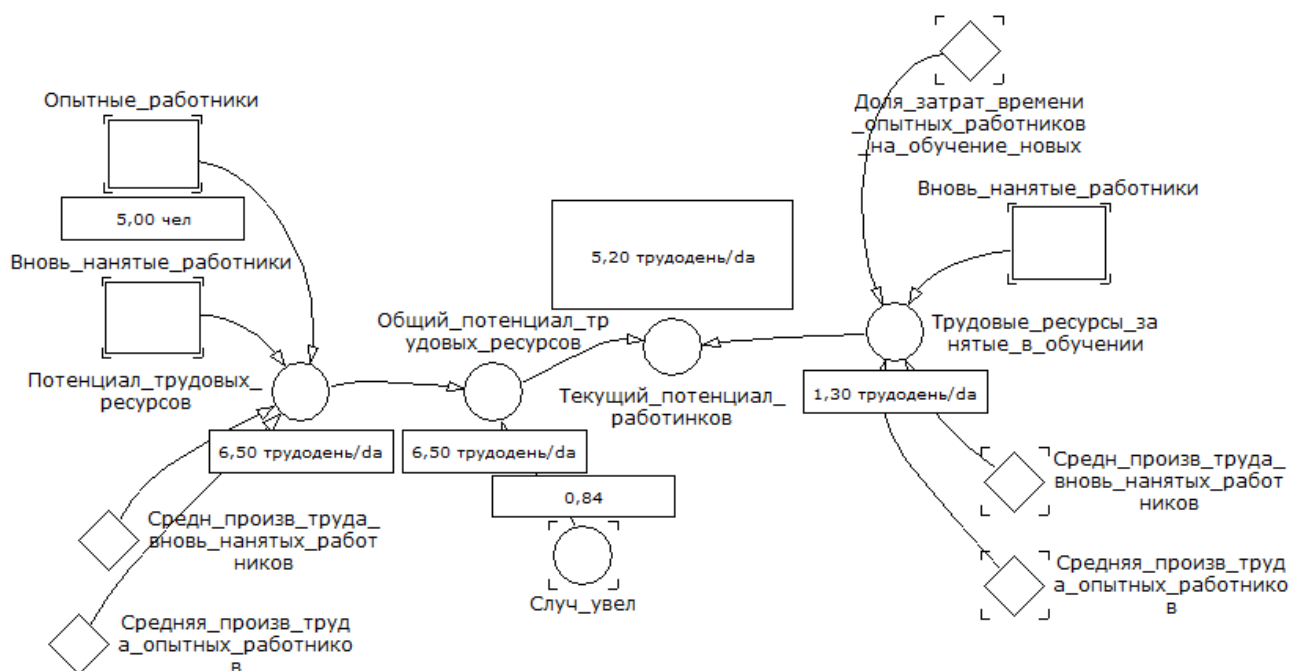


Рис. 93. Модуль расчета эффективности трудовых ресурсов

Модуль определения целевого состояния для ключевых показателей системы управления персоналом проектов представлен на рисунке 94.

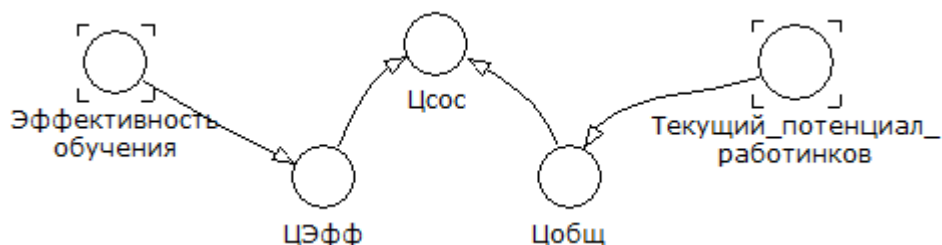


Рис. 94. Модуль определения целевого состояния системы управления персоналом проектов

На рисунке 95 изображена форма управления входными параметрами имитационной модели.

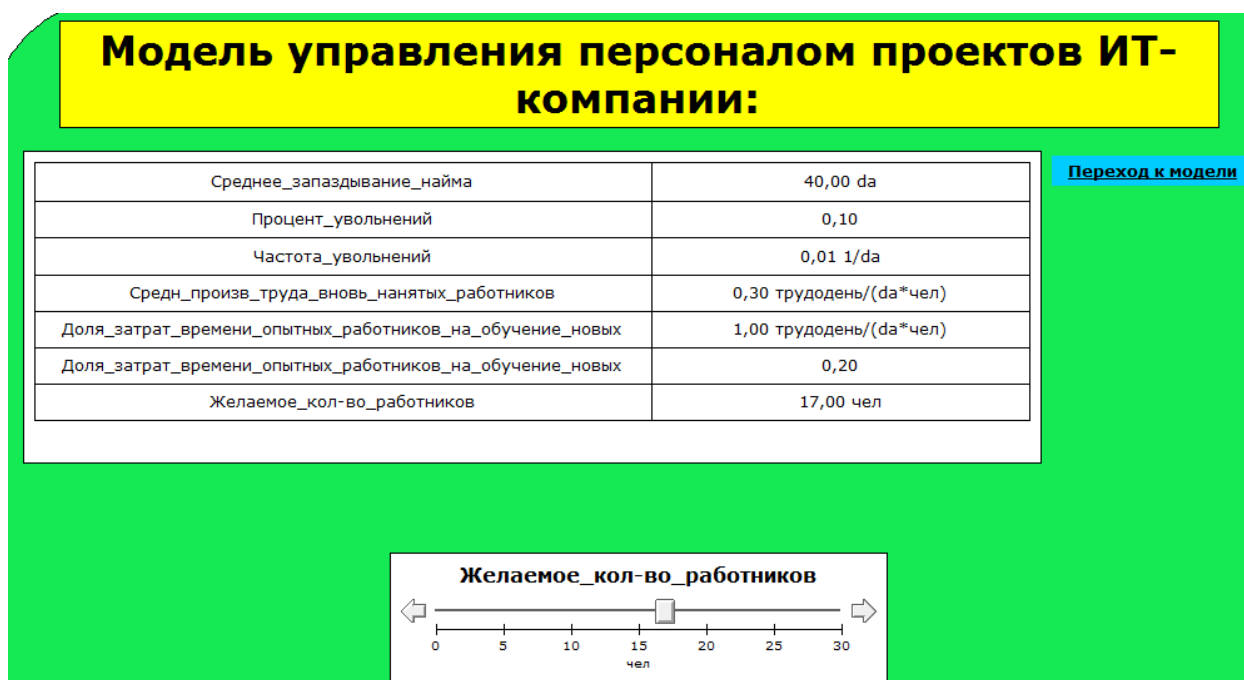


Рис. 95. Панель управления модели «система управления персоналом проектов ИТ-компании»

Этап 4: Экспериментальный уровень моделирования процессов в динамике.

Для проведения первоначального имитационного эксперимента были введены значения входных данных, приведенные в таблице 18.

Таблица 18

Начальные значения входных данных модели (архитектура «As-Is»)

Параметр моделирования	Величина, полученная в ходе эксперимента
Среднее запаздывание найма	40,00 da
Процент увольнений	0,1
Частота увольнений	0,01 1/da
Средняя производительность труда вновь нанятых работников	0,3 трудодень/(da*чел)
Средняя производительность труда опытных работников	1,0 трудодень/(da*чел)
Доля затрат времени опытных работников на обучение новых	0,2
Желаемо количество работников	14,00 чел

Величина вышеперечисленных параметров (кроме желаемого количества работников) определяется путем статистической обработки данных предприятия. Желаемое количество работников задается аналитиком исходя из его субъективной оценки сложившейся ситуации.

Из рисунка 96 видно, что объем работ по проектам уровня «Остающаяся работа» не был выполнен и ключевые показатели эффективности (эффективность обучения и текущий потенциал работников) не достигли своих целевых значений.

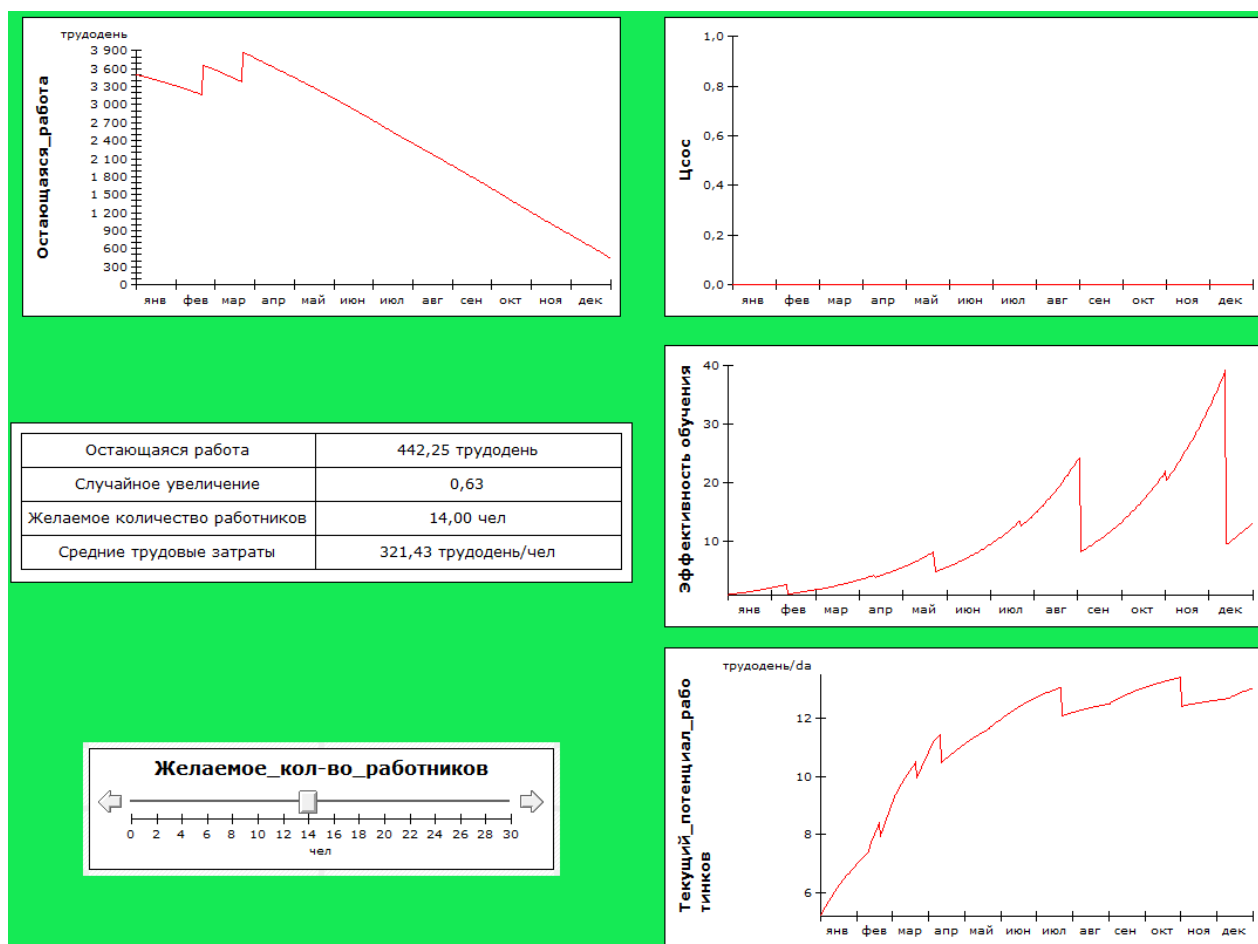


Рис. 96. Результаты моделирования, полученные с использованием исходных входных данных (архитектура «As-Is»)

Для более эффективной работы системы управления персоналом проектов организации необходимо оптимизировать входные параметры таким образом, чтобы при минимальной численности персонала (входной параметр «Желаемое количество работников») и за время, отведенное на выполнение проектов

(«Остающееся время развития проектов»), заданный объем работы (уровень «Остающаяся работа») был выполнен.

Из рисунка 97 видно, что было принято решение увеличить численность работников до 16 человек.

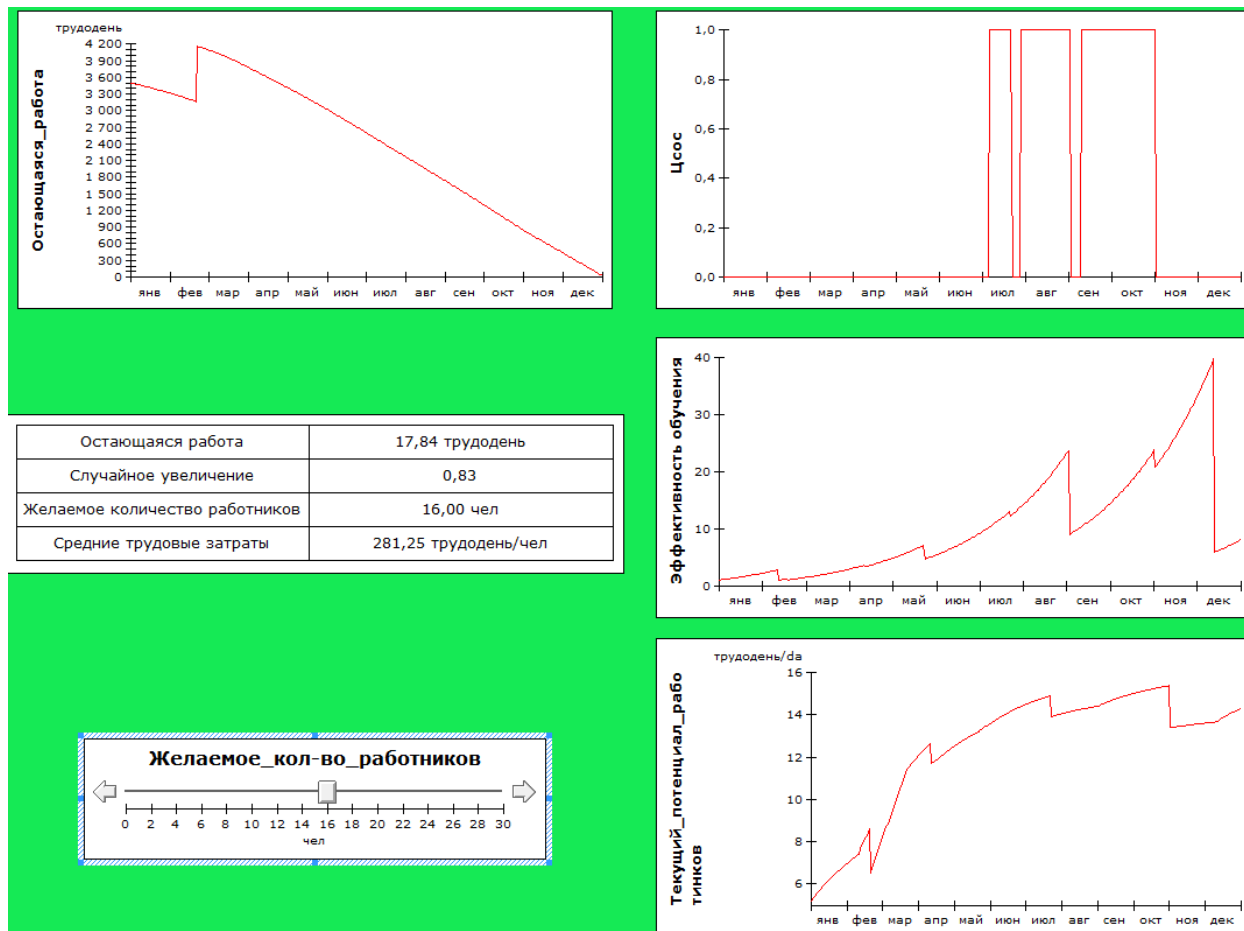


Рис. 97. Результаты моделирования, полученные с использованием оптимизированных входных данных

Результатом принятия данного управленческого решения стало достижение целевого состояния на промежутках между июлем и началом ноября 2020 года. В общей сложности целевое состояние продлится 103 календарных дня. Выход из данного состояния обусловлен снижением уровня текущей производительности работников в связи со случайным увеличением объема работ по проектам. В результате заданный объем работ не был выполнен в срок.

Далее предпринята попытка увеличить численность персонала для выполнения работ по проектам ещё на одну единицу (рисунок 98).

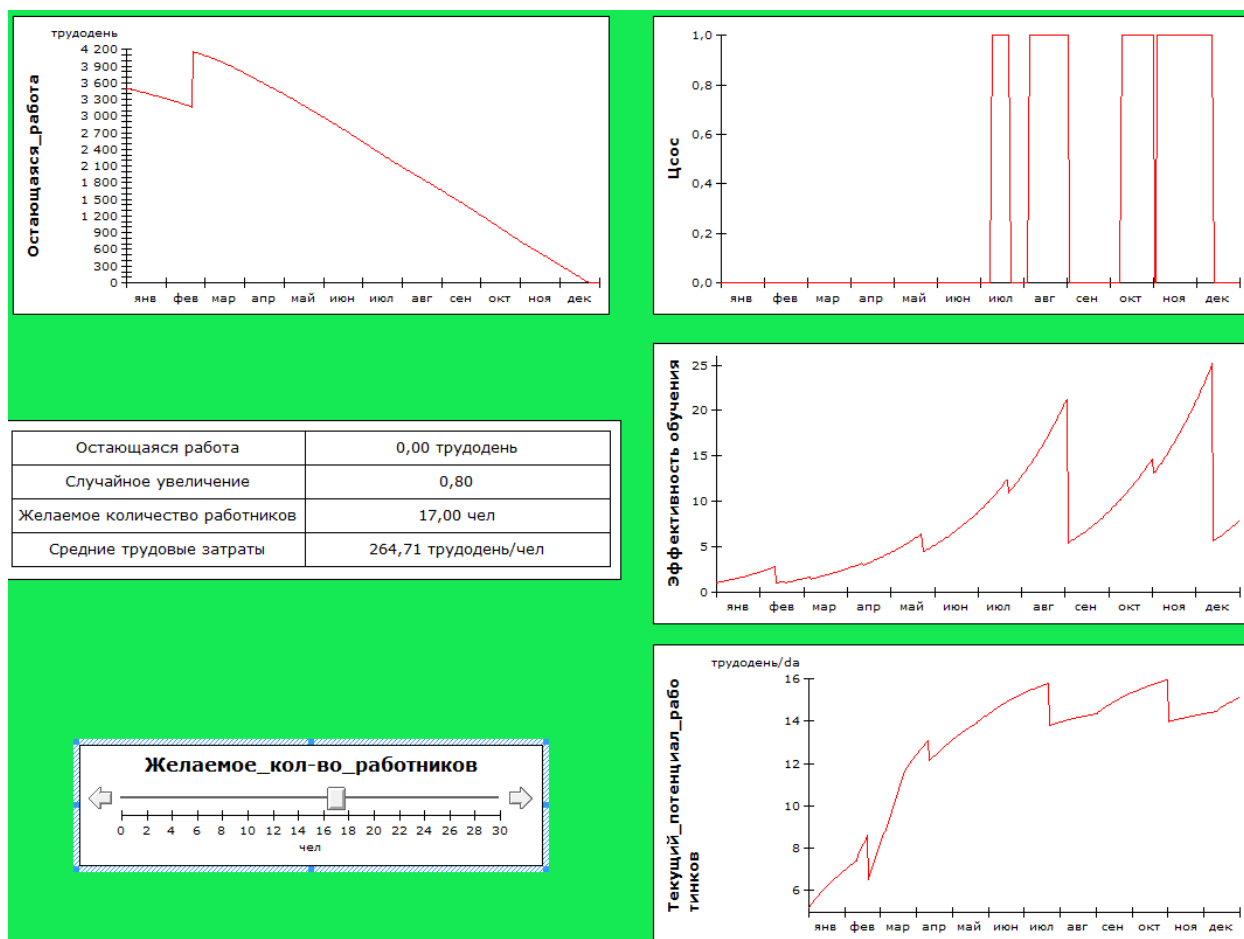


Рис. 98. Результаты моделирования, полученные с использованием оптимизированных входных данных

Результатом принятия данного управленческого решения стало достижение целевого состояния на промежутках между июлем и декабрем 2020 года. В общей сложности целевое состояние продлится 116 календарных дней. Выход из данного состояния между сентябрем и октябрем 2020 года обусловлен снижением уровня эффективности обучения работников в связи с прекращением их найма. В результате оптимизационных мероприятий заданный объем работ по проектам был выполнен до конца года.

После нахождения одного из вариантов целевого состояния системы управления взаимодействием персонала был проведен имитационный эксперимент с увеличением численности персонала до 20 человек (рисунок 99).

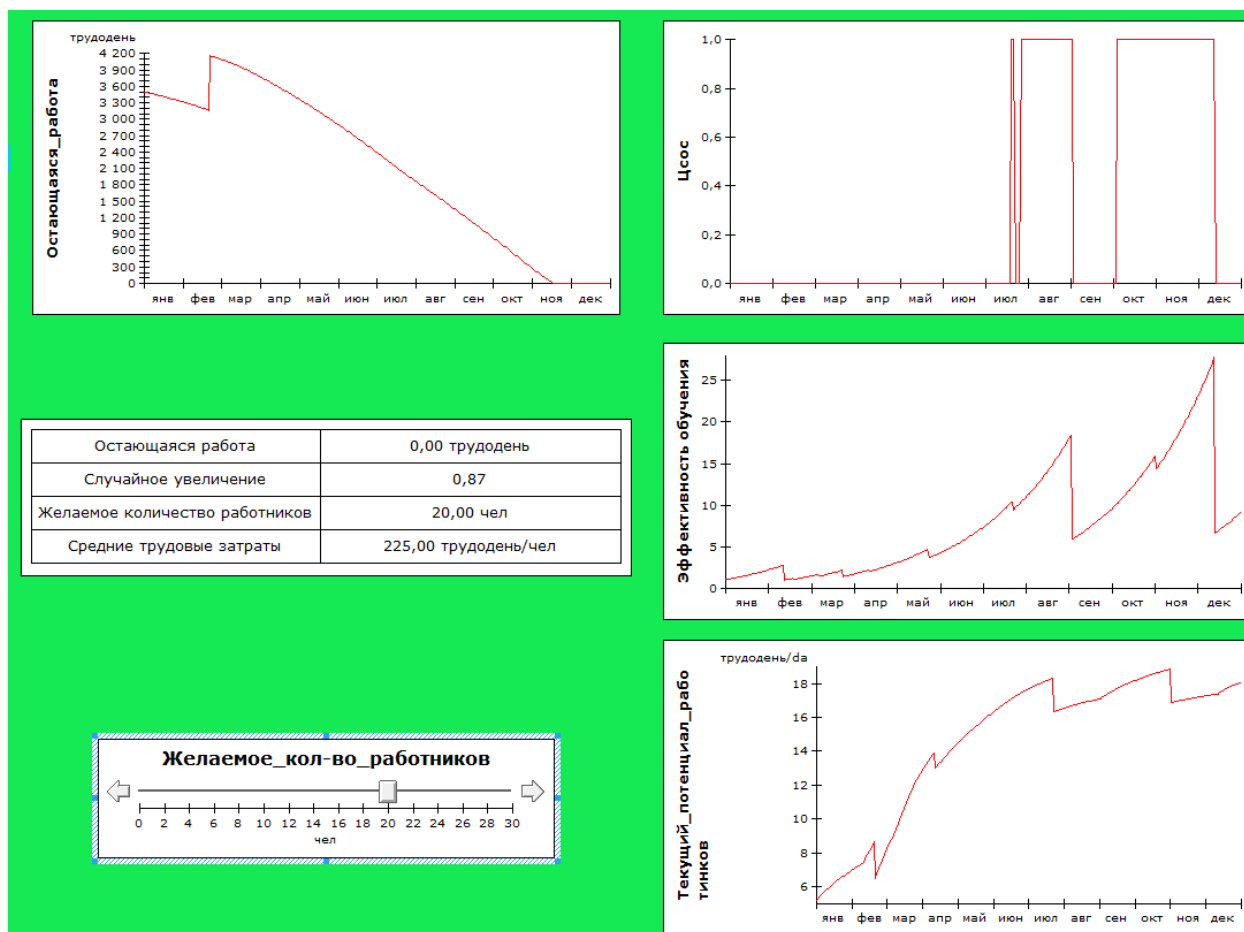


Рис. 99. Результаты моделирования, полученные с использованием оптимизированных входных данных

Результатом принятия данного управленческого решения стало достижение целевого состояния на промежутках между ноябрем и декабрем 2020 года. В общей сложности целевое состояние продлится 108 календарных дней. Выход из целевого состояния обусловлен снижением значения целевого показателя эффективности обучения работников в связи прекращением их найма и обучения. В результате оптимизационных мероприятий заданный объем работ по проектам был выполнен до конца года.

Таким образом, наиболее оптимальные значения целевых показателей были достигнуты при численности персонала равной 17. Значения входных данных, используемые для проведения данного эксперимента представлены в таблице 19.

Оптимизированные значения входных данных модели (архитектура «То-Ве»)

Параметр моделирования	Величина, полученная в ходе эксперимента
Среднее запаздывание найма	40,00 da
Процент увольнений	0,1
Частота увольнений	0,01 1/da
Средняя производительность труда вновь нанятых работников	0,3 трудодень/(da*чел)
Средняя производительность труда опытных работников	1,0 трудодень/(da*чел)
Доля затрат времени опытных работников на обучение новых	0,2
Желаемо количество работников	17,00 чел

Такая численность работников позволяет выполнить заданный объем работы по проектам в течение календарного года с учетом возможного увеличения объема работ.

2.8. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПРОЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

Цель – создание аналитической системы поддержки принятия финансовых решений в управлении проектами информатизации на основе более совершенной модели анализа данных основанной на расширении системно-динамического подхода к изучению процессов взаимодействия в ИТ-компаниях.

Задачи реализации:

1. Выполнить описание объекта моделирования – системы финансового обеспечения проектов информатизации.
2. Разработать системно-динамическую модель для прогнозирования целевого состояния архитектуры процессов управления финансовым обеспечением.
3. Проанализировать результаты применения имитационной модели архитектуры сегмента управления финансовым обеспечением.

Описание основных этапов проекта

Этап 1: «Аналитическая система управления финансовым обеспечением проектов информатизации».

Выдвигается гипотеза о том, что модель управления архитектурой процессов финансового обеспечения проектов информатизации в первую очередь будет зависеть от изменения в динамике таких факторов как доходы и расходы ИТ-компаний, скорость поступления заявок на проекты, скорость выполнения проектов и т.д., что позволит на экспериментальном уровне отследить динамику целевого состояния архитектуры процессов управления финансовым обеспечением проектов информатизации.

Этап 2: Концептуальные основы моделирования и принятые допущения для описания объекта моделирования.

Уровнями модели являются накопленный капитал и количество проектов. Входными потоками являются доход и скорость поступления проектов. Выходными потоками являются расход, налог на прибыль и скорость выполнения проектов. Расходы зависят от фонда оплаты труда, амортизационных отчислений, коммунальных счетов, переменных расходов, которые в свою очередь зависят от дополнительных коммунальных счетов, количества текущих проектов, других расходов, аутсорсинговых расходов, затрат на инфраструктуру и дополнительного фонда оплаты труда. Доход зависит от средней стоимости проекта и количества текущих проектов, которое в свою очередь зависит от накопленного капитала и количества проектов. Налог на прибыль зависит от прибыли, которая зависит от дохода и расхода. Скорость поступления проектов зависит от прибыли, ограничения количества проектов, индекса удовлетворённости клиентов и количества проектов. Скорость выполнения проектов зависит от усиления скорости выполнения проектов, которая зависит от усиления от оптимизации бизнес-процессов, усиления от дополнительного аутсорсинга, усиления от определения потребности в инфраструктуре, усиления от увеличения длительности рабочего дня.

На рисунке 100 изображена диаграмма причинно-следственных связей реализации проектов информатизации.

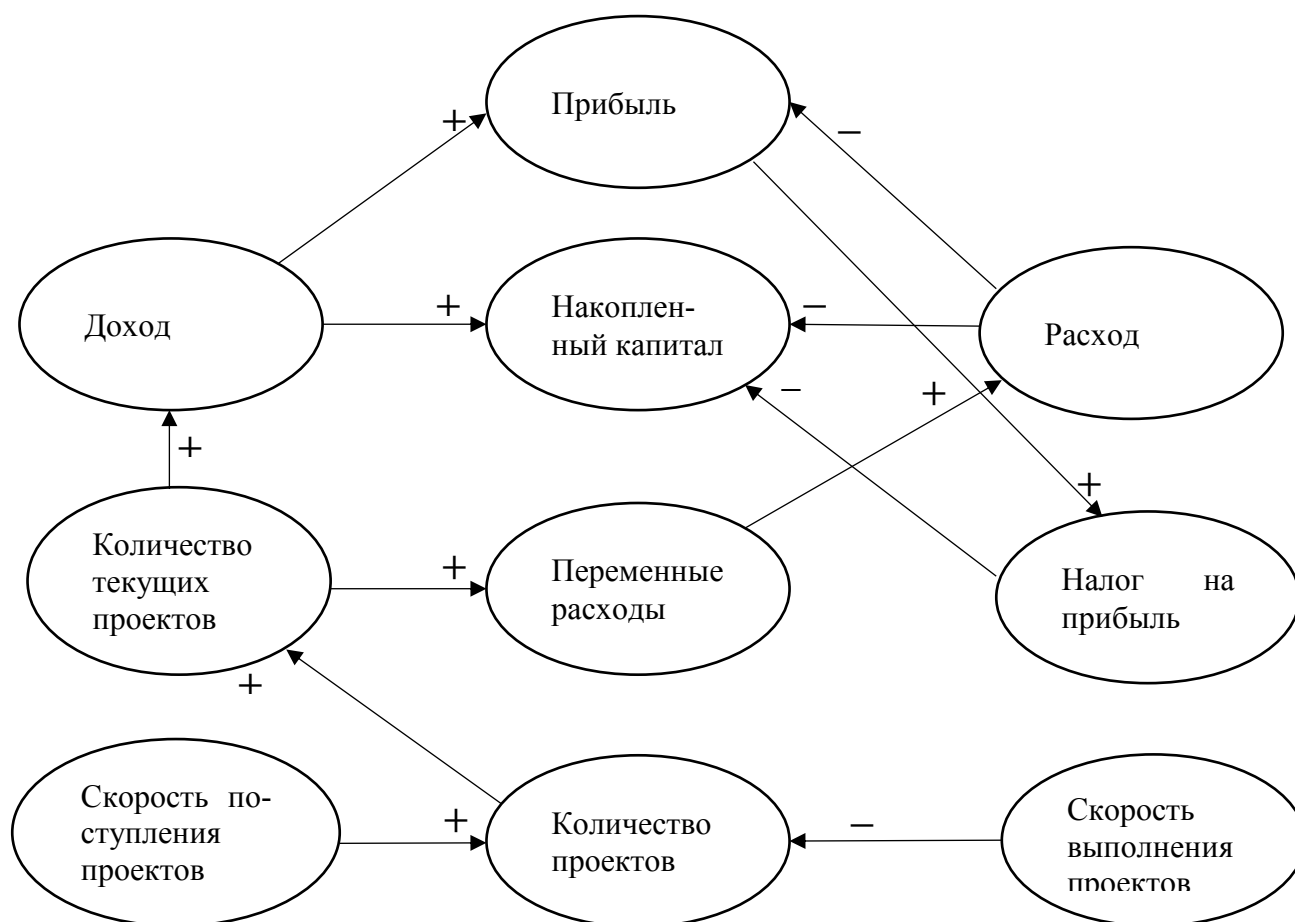


Рис.100. Диаграмма причинно-следственных связей для прогнозирования эффективности проектов информатизации

Этап 3: Архитектура моделируемой системы.

Применительно к рассматриваемой задаче, представим моделируемую систему информационного взаимодействия процессов реализации проектов информатизации при условии управления финансовым обеспечением, как показано на рисунке 101.

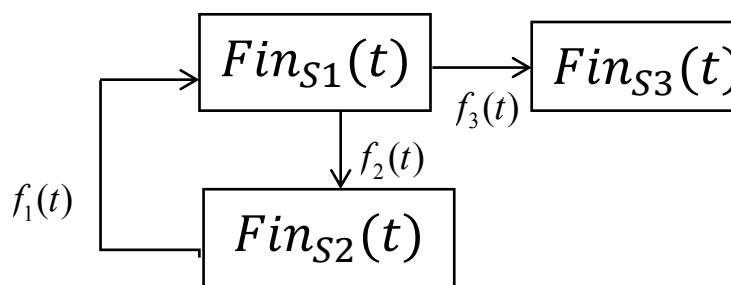


Рис. 101. Моделируемая система

$Fin_{sj}(t_0)$ – начальное значение уровней-накопителей эффекта от выполнения работ по проектам информатизации в j -м сегменте до начала реализации мероприятий по улучшению финансового обеспечения;

$Fin_{sj}(t)$ – узлы, накопители эффекта выполнения работ по проектам информатизации, которые являются результатом притоков и оттоков денежных средств или ресурсов для j -го сегмента системы финансового обеспечения проектов информатизации;

$f_i(t)$ – дуги (связи) – потоки денежных средств i -каналов движения финансовых ресурсов, которые рассматриваются, как непрерывные переменные величины, изображены в виде линий стрелок, направление которых определяет положительный результат движения ресурсов проекта j -го сегмента.

Моделируемая система может быть представлена в виде интегрального уравнения (65):

$$Fin_{sj}(t) = \int_{t_0}^t (f_2(\tau) - f_1(\tau)) d\tau + Fin_i(t_0) \quad (65)$$

где i – индекс канала передачи финансовых ресурсов по каналам взаимодействия участников проекта информатизации;

j – индекс j -го сегмента системы финансового обеспечения проектов информатизации.

После дифференцирования определённого интеграла по переменному верхнему пределу получаем следующее дифференциальное уравнение (66):

$$\frac{dFin_{sj}}{dt} = f_i^+ - f_i^-, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m} \quad (66)$$

то есть скорость изменения содержимого уровня-накопителя равна алгебраической сумме интенсивностей притоков и оттоков с учетом их знаков.

где f_i^+ – правая часть уравнения, включающая в себя все факторы, вызывающие рост эффективности работы j -го сегмента проекта информатизации Fin_{sj} ;

f_i^- – включает все факторы, вызывающие снижение эффективности работы j -го сегмента проекта информатизации Fin_{sj} .

Этап 4: Описание базовых и управляемых параметров модели.

Далее для проведения серии экспериментов необходимо выполнить описание базовых и управляемых параметров модели (таблица 20).

Таблица 20

Параметры модели

№ п/п	Наименование	Значение параметра/программный код для ПП PowerSim	Ед. измерения	Описание
Уровни				
1	NK	0	-	Накопленный капитал
2	KOP	3	-	Количество проектов
Потоки				
1	Dohod	$KolvoProektov * SSP / 1 \ll mo \gg$	RUB/mo	Доход в месяц
2	Rashod	$(AO + Bills + FOT + RP) / 1 \ll mo \gg$	RUB/mo	Расход в месяц
3	NNP	$Pribil * 0,18 / 1 \ll mo \gg$	RUB/mo	Налог на прибыль
4	SPP	$IF(Pribil < 0; 0 / 1 \ll mo \gg; IF(KOP > OKP; 0 / 1 \ll mo \gg; ROUND(IF(IUK < 4; 0; IF(IUK < 6; 1; IF(IUK < 8; 2; 3)))) / 3 \ll mo \gg))$	1/mo	Скорость поступления проектов
5	SVP	$1 / BSVP / 1 \ll mo \gg$	1/mo	Скорость выполнения проектов
Переменные				
1	Pribil	$(Dohod - Rashod) * 1 \ll mo \gg$	RUB	Прибыль
2	CD	Dohod - NNP	RUB	Чистый доход
3	SSP	1200000	RUB	Средняя стоимость проекта
4	STOP	$STOPIF(KolvoProektov = 0)$	-	Остановка цикла
5	KolvoProektov	$IF(NK < 0; 0; ROUND(KOP))$	-	Количество текущих проектов
6	Bills	300000	RUB	Коммунальные счета
7	FOT	646000	RUB	Фонд оплаты труда
8	AO	200000	RUB	Амортизационные отчисления
9	DBills	50000	RUB	Дополнительные коммунальные счета
10	RP	$KolvoProektov * (AR + DBills + DFOT + ZI + DR)$	RUB	Переменные расходы
11	IUK	$ROUND(IF(SVP < (1/9) / 1 \ll mo \gg; 1,25; IF(SVP < (1/8) / 1 \ll mo \gg; 2,5; IF(SVP < (1/7) / 1 \ll mo \gg; 3,75; IF(SVP < (1/6) / 1 \ll mo \gg; 5; IF(SVP < (1/5) / 1 \ll mo \gg; 6,25; IF(SVP < (1/4) / 1 \ll mo \gg; 7,5; IF(SVP < (1/3) / 1 \ll mo \gg; 8,75; 10))))))$	-	Индекс удовлетворенности клиентов

Продолжение таблицы 19

№ п/п	Наименование	Значение параметра/программный код для ПП PowerSim	Ед. измерения	Описание
12	DR	IF(OBP=0;0;170000*((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)/(100/KolvoProektov))	RUB	Другие расходы
13	AR	IF(A=0;100000;250000*((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)/(30/KolvoProektov*15))	RUB	Аутсорсинговые расходы
14	ZI	IF(OPVI=0;300000;450000*((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)/(25*14/KolvoProektov))	RUB	Затраты на инфраструктуру
15	DFOT	IF(PPRD=0;60000;160000*((TIME-STARTTIME)/TIMESTEP)/(35*17/KolvoProektov))	RUB	Дополнительный фонд оплаты труда
16	BOBP	IF(OBP=0;0;-2)	-	Усиление от оптимизации бизнес-процессов
17	BA	IF(A=0;0;-2)	-	Усиление от дополнительного аутсорсинга
18	BOPVI	IF(OPVI=0;0;-2)	-	Усиление от определения потребностей в инфраструктуре
19	BPPRD	IF(PPRD=0;0;-1)	-	Усиление от увеличения продолжительности рабочего дня
20	BSVP	10+BA+BOBP+BOPVI+BPPRD	-	Усиление скорости выполнения проектов
21	KR	IF(Rashod<10000000/1<<mo>>;1;0)	-	Целевое значение расхода
22	KP	IF(Pribil>1700000;1;0)	-	Целевое значение прибыли
23	KD	IF(Dohod>6000000/1<<mo>>;1;0)	-	Целевое значение дохода
24	KCD	IF(CD>6000000/1<<mo>>;1;0)	-	Целевое значение чистого дохода
25	NCS	IF(KCD+KD+KP+KR=4;TRUE;FALSE)	-	Границы целевого состояния
Константы				
1	OKP	25	-	Ограничение количества проектов
2	OBP	0	-	Переключатель оптимизации бизнес-процессов
3	A	0	-	Переключатель дополнительного аутсорсинга

№ п/п	Наименование	Значение параметра/программный код для ПП PowerSim	Ед. измерения	Описание
4	OPVI	0	-	Переключатель определения потребности в инфраструктуре
5	PPRD	0	-	Переключатель увеличения длительности рабочего дня
Параметры модели				
1	Единица измерения	месяцы	-	
2	Начальное время моделирования	08.06.2019	-	
3	Конечное время моделирования	08.06.2029	-	
4	Временной шаг модели	1	месяц	

На рисунке 102 изображена форма управления для имитационной модели, на которой задаются варианты управленческих решений.

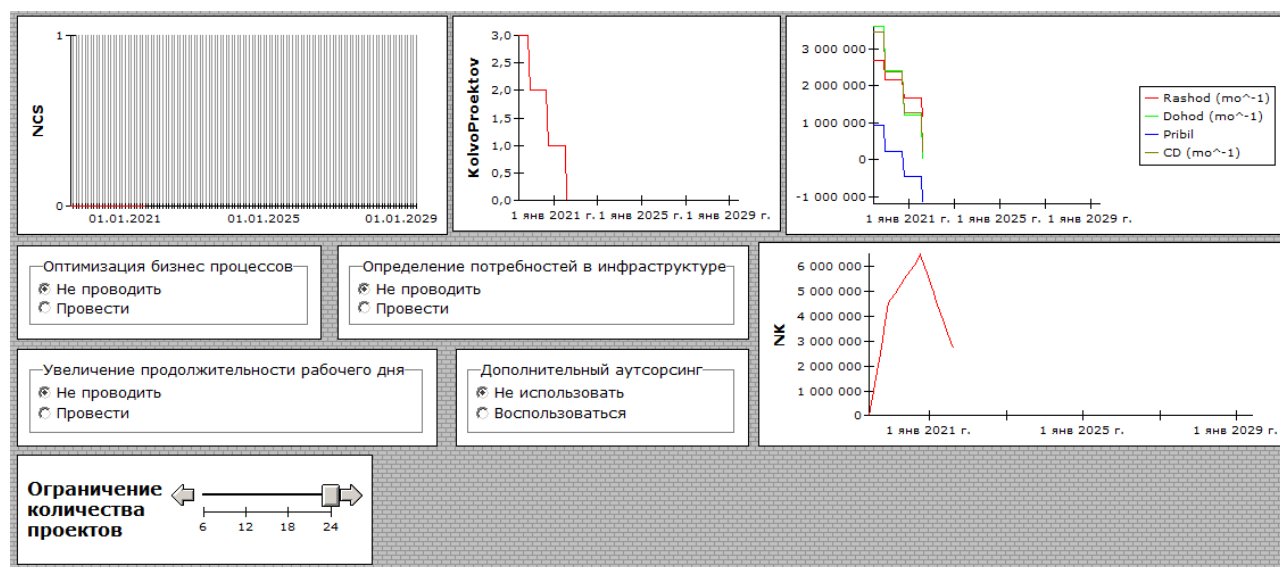


Рис. 102. Форма управления модели

Модель управления финансовым обеспечением проектов информатизации представлена на рисунке 103.

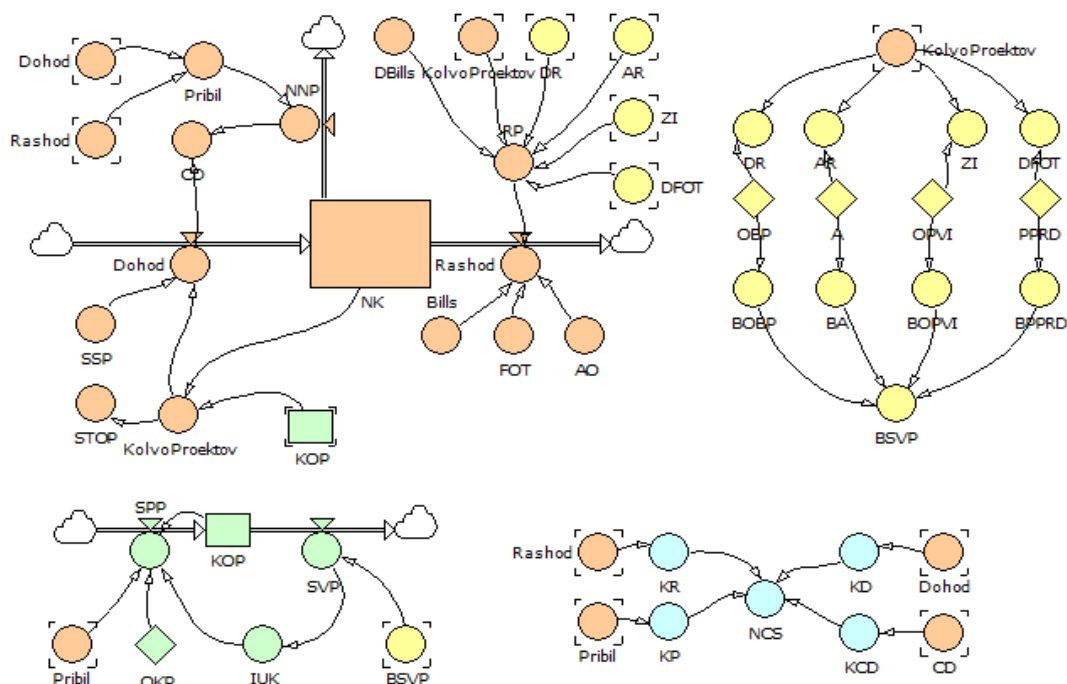


Рис. 103. Модель управления финансовым обеспечением проектов информати-
зации

Разработанная модель отражает управление финансовым обеспечением, факторами основных зависимостей которого являются доход, расход, скорость выполнения проектов и т.д., что позволяет отследить динамику целевого состояния архитектуры процессов управления финансовым обеспечением.

Индексы, используемые в модели:

$t \in \{t_0, t_0 + \Delta t, \dots, t_k\}$ – период, горизонт планирования принят 120 месяцев,

где t_0 – начальный момент времени;

t_k – конечный момент времени;

Δt – шаг моделирования (1 месяц).

Экзогенные переменные:

$NK(t_0)$ – накопленный капитал в нулевой момент времени;

$KOP(t_0)$ – количество проектов в нулевой момент времени;

$SSP(t)$ – средняя стоимость проекта;

$Bills(t)$ – величина коммунальных счетов;

$FOT(t)$ – фонд оплаты труда;

$AO(t)$ – амортизационные отчисления;

$DBills(t)$ – дополнительные коммунальные счета.

Управляющие параметры модели:

$OBP(t)$ – оптимизация бизнес-процессов;

$A(t)$ – дополнительный аутсорсинг;

$OPVI(t)$ – определение потребности в инфраструктуре;

$PPRD(t)$ – увеличение продолжительности рабочего дня;

$OKP(t)$ – ограничение количества проектов.

Приведём динамику основных показателей модели (эндогенных переменных) в момент времени t .

Расходы предприятия (67):

$$Rashod(t) = AO(t) + Bills(t) + FOT(t) + RP(t), \quad (67)$$

где $RP(t)$ – переменные расходы (68):

$$RP(t) = KolvoProektov(t) \cdot (AR(t) + DBills(t) + DFOT(t) + ZI(t) + DR(t)) \quad (68)$$

Количество текущих проектов (69):

$$KolvoProektov(t) = \begin{cases} 0, & NK(t) < 0 \\ KOP(t), & NK(t) \geq 0 \end{cases} \quad (69)$$

Аутсорсинговые расходы (70):

$$AR(t) = \begin{cases} 100000, & A(t) = 0 \\ 555t \cdot KolvoProektov(t), & A(t) \neq 0 \end{cases} \quad (70)$$

Дополнительные расходы на фонд оплаты труда (71):

$$DFOT(t) = \begin{cases} 60000, & PPRD(t) = 0 \\ 268,9t \cdot KolvoProektov(t), & PPRD(t) \neq 0 \end{cases} \quad (71)$$

Затраты на инфраструктуру (72):

$$ZI(t) = \begin{cases} 300000, & OPVI(t) = 0 \\ 1285,714t \cdot KolvoProektov(t), & OPVI(t) \neq 0 \end{cases} \quad (72)$$

Другие расходы (73):

$$DR(t) = \begin{cases} 0, & OBP(t) = 0 \\ 1700t \cdot KolvoProektov(t), & OBP(t) \neq 0 \end{cases} \quad (73)$$

Доходы предприятия (74):

$$Dohod(t) = KolvoProektov(t) \cdot SSP(t) \quad (74)$$

Налог на прибыль (75):

$$NNP(t) = Pribil(t) \cdot 0,18, \quad (75)$$

где $Pribil(t)$ – прибыль (76):

$$Pribil(t) = Dohod(t) - Rashod(t) \quad (76)$$

Скорость поступления проектов (77):

$$SPP(t) = \begin{cases} 0, & Pribil(t) < 0 \vee KOP(t) > OKP(t) \vee IUK(t) < 4 \\ 1, & Pribil(t) \geq 0 \wedge KOP(t) \leq OKP(t) \wedge 4 \leq IUK(t) < 6 \\ 2, & Pribil(t) \geq 0 \wedge KOP(t) \leq OKP(t) \wedge 6 \leq IUK(t) < 8 \\ 3, & Pribil(t) \geq 0 \wedge KOP(t) \leq OKP(t) \wedge IUK(t) \geq 8 \end{cases} \quad (77)$$

где $IUK(t)$ – индекс удовлетворённости клиентов (78):

$$IUK(t) = \begin{cases} 1,25, & SVP(t) < \frac{1}{9} \\ 2,5, & \frac{1}{9} \leq SVP(t) < \frac{1}{8} \\ 3,75, & \frac{1}{8} \leq SVP(t) < \frac{1}{7} \\ 5, & \frac{1}{7} \leq SVP(t) < \frac{1}{6} \\ 6,25, & \frac{1}{6} \leq SVP(t) < \frac{1}{5} \\ 7,5, & \frac{1}{5} \leq SVP(t) < \frac{1}{4} \\ 8,75, & \frac{1}{4} \leq SVP(t) < \frac{1}{3} \\ 10, & SVP(t) \geq \frac{1}{3} \end{cases} \quad (78)$$

Скорость выполнения проектов (79):

$$SVP(t) = \frac{1}{BSVP(t)}, \quad (79)$$

где $BSVP(t)$ – усиление скорости выполнения проектов (80):

$$BSVP(t) = 10 + BA(t) + BOBP(t) + BOPVI(t) + BPPRD(t) \quad (80)$$

Усиление скорости выполнения проектов от дополнительного аутсорсинга (81):

$$BA(t) = \begin{cases} 0, & A(t) = 0 \\ -2, & A(t) \neq 0 \end{cases} \quad (81)$$

Усиление скорости выполнения проектов от оптимизации бизнес-процессов (82):

$$BOBP(t) = \begin{cases} 0, & OBP(t) = 0 \\ -2, & OBP(t) \neq 0 \end{cases} \quad (82)$$

Усиление скорости выполнения проектов от определения потребности в инфраструктуре (83):

$$BOPVI(t) = \begin{cases} 0, & OPVI(t) = 0 \\ -2, & OPVI(t) \neq 0 \end{cases} \quad (83)$$

Усиление скорости выполнения проектов от увеличения продолжительности рабочего дня (84):

$$BPPRD(t) = \begin{cases} 0, & PPRD(t) = 0 \\ -1, & PPRD(t) \neq 0 \end{cases} \quad (84)$$

Целевое значение расхода (85):

$$KR(t) = \begin{cases} 1, & Rashod(t) < 10000000 \\ 0, & Rashod(t) \geq 10000000 \end{cases} \quad (85)$$

Целевое значение прибыли (86):

$$KP(t) = \begin{cases} 1, Pribil(t) > 1700000 \\ 0, Pribil(t) \leq 1700000 \end{cases} \quad (86)$$

Целевое значение дохода (87):

$$KD(t) = \begin{cases} 1, Dohod(t) > 6000000 \\ 0, Dohod(t) \leq 6000000 \end{cases} \quad (87)$$

Целевое значение чистого дохода (88):

$$KCD(t) = \begin{cases} 1, CD(t) > 6000000 \\ 0, CD(t) \leq 6000000 \end{cases} \quad (88)$$

Границы целевого состояния (89):

$$NCS(t) = \begin{cases} 1, KCD(t) + KD(t) + KP(t) + KR(t) = 4 \\ 0, KCD(t) + KD(t) + KP(t) + KR(t) \neq 4 \end{cases} \quad (89)$$

Накопленный капитал (90):

$$NK(t + \Delta t) = NK(t) + Dohod(t) - Rashod(t) \quad (90)$$

Количество проектов (91):

$$KOP(t + \Delta t) = KOP(t) + SPP(t) - SVP(t) \quad (91)$$

Этап 5: Экспериментальный уровень моделирования процессов в динамике.

Предполагается, что при неэффективном финансовом обеспечении, ключевые показатели эффективности не достигнут целевого значения, а значит Предприятие не сделает необходимого минимума проектов информатизации и прекратит свою деятельность.

Из рисунка 104 видно, что все ключевые показатели эффективности не достигают целевых значений из-за чего архитектура процессов управления финансовым обеспечением не достигает целевого состояния. Было принято решение осуществить меры по оптимизации финансового обеспечения.

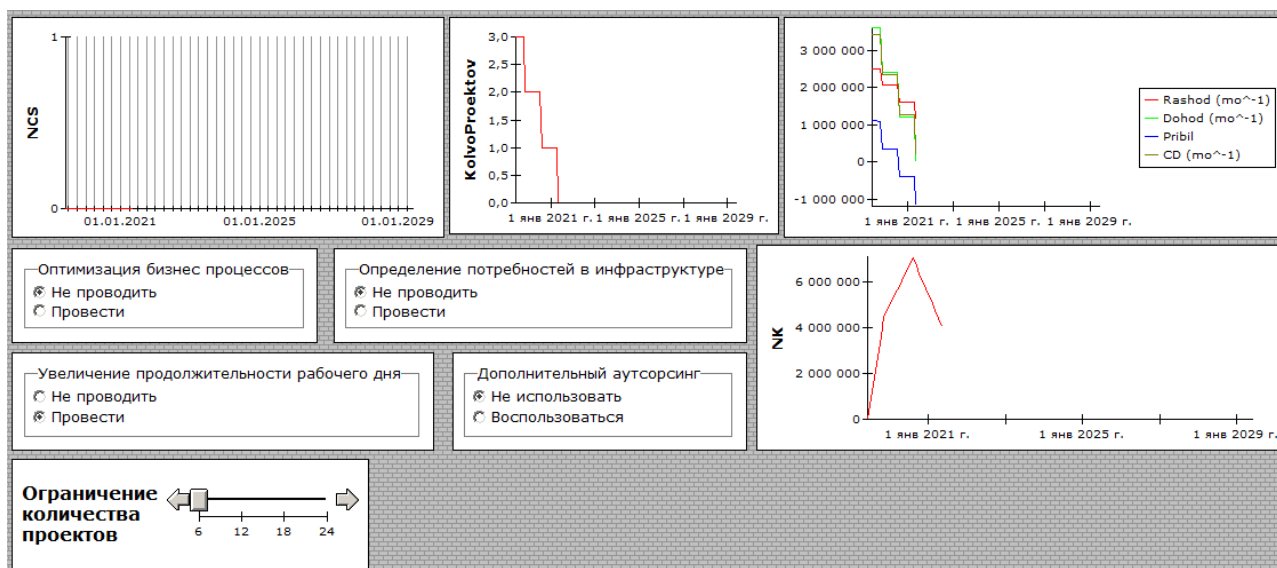


Рис. 104. Результат при неэффективном финансовом планировании

Из рисунка 105 видно, что на управляющей панели ограничение количества проектов не было и был использован дополнительный аутсорсинг, как средство для достижения.

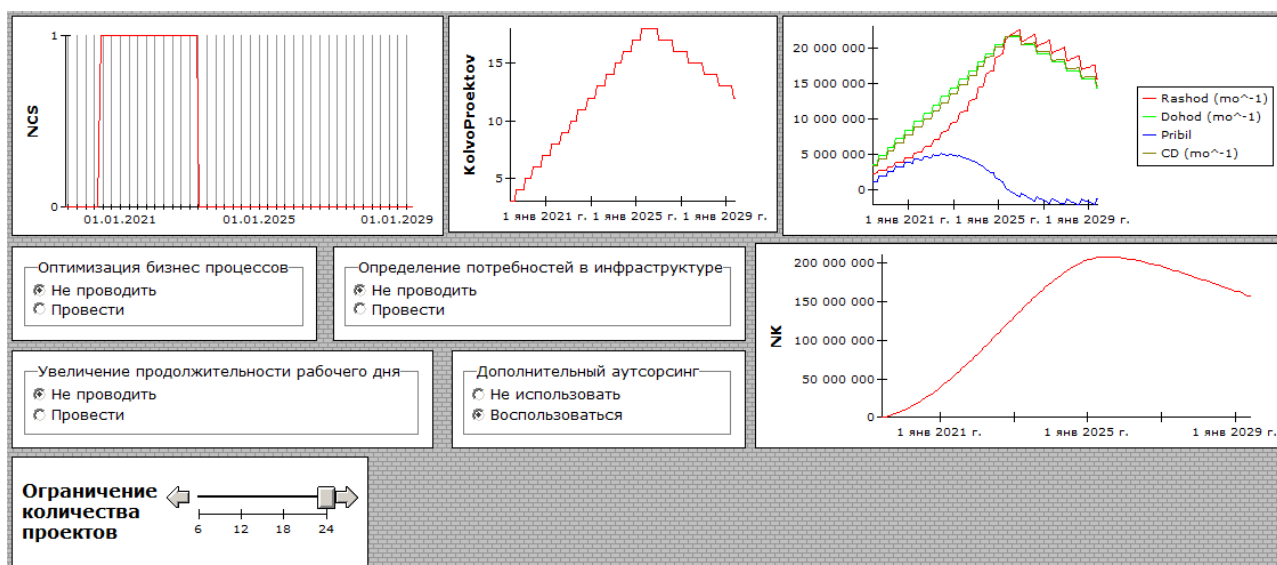


Рис. 105. Результат при проведении мероприятий по оптимизации финансового обеспечения

Результатом проведения данных мероприятий стало целевое состояние, которого достигла архитектура в мае 2020 года, а вышла из него в апреле 2023 года и, таким образом, целевое состояние продлилось 36 месяцев. Выход из целевого состояния обусловлен тем, что в какой-то момент количество проектов начало

стремительно расти и, в связи с этим, возросли затраты на производство услуг по проектам информатизации. На диаграмме количества проектов можно видеть, что на апрель 2023 года выполнялось приблизительно 13 проектов, при этом несмотря на выход из целевого состояния количество проектов росло, до тех пор, пока деятельность предприятия не стала убыточной, однако, накопленного капитала хватало для того, чтобы завершить оставшиеся проекты вплоть до конца конечного времени моделирования.

Из рисунка 106 видно, что на управляющей панели было задано ограничение количества проектов в 12 и был использован дополнительный аутсорсинг, как средство для достижения архитектурой процессов целевого состояния.

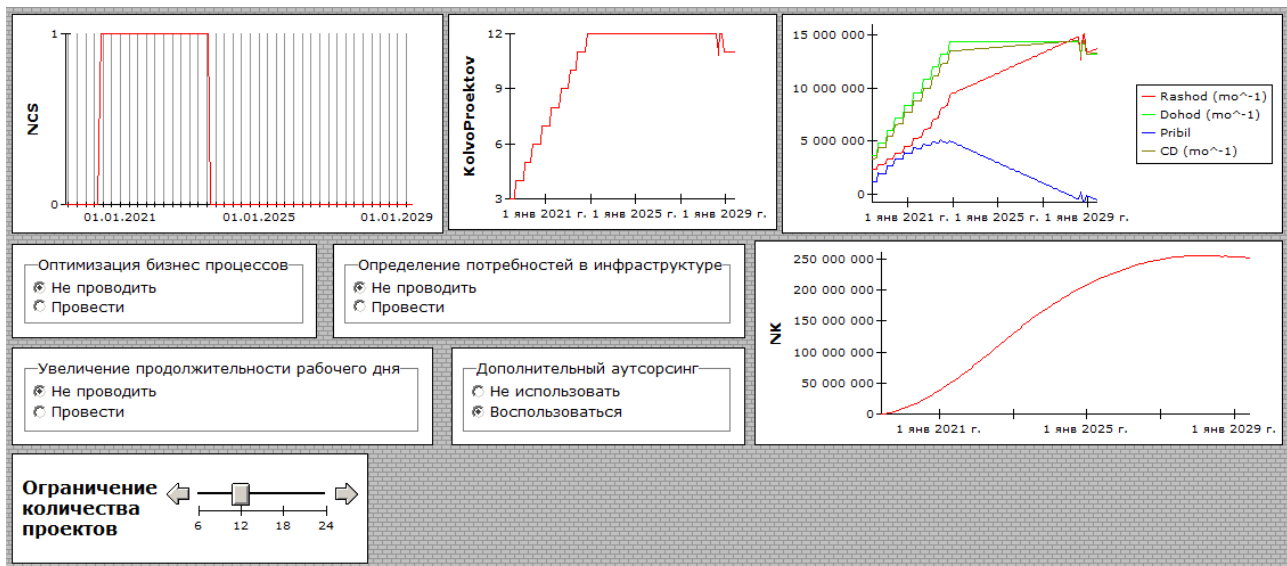


Рис. 106. Результат при проведении мероприятий по оптимизации финансового обеспечения

Результатом проведения данных мероприятий стало целевое состояние, которого архитектура процессов достигла в мае 2020 года, а вышла из него в августе 2023 года. Таким образом, целевое состояние длилось 40 месяцев. Выход из целевого состояния обусловлен ростом количества проектов, из-за которого увеличились расходы на производство услуг по выполнению проектов информатизации. Однако, в отличие от предыдущего варианта применения мероприятий в этом варианте из-за ограничения количества проектов даже после выхода из целевого состояния довольно долгое время предприятие не было убыточным и

только под конец времени моделирования количество проектов информатизации начало уменьшаться.

Из рисунка 107 видно, что на управляющей панели было задано ограничение количества проектов в 6 и был использован дополнительный аутсорсинг, увеличение продолжительности рабочего дня и определение потребностей в инфраструктуре, как средства для достижения архитектурой процессов целевого состояния.

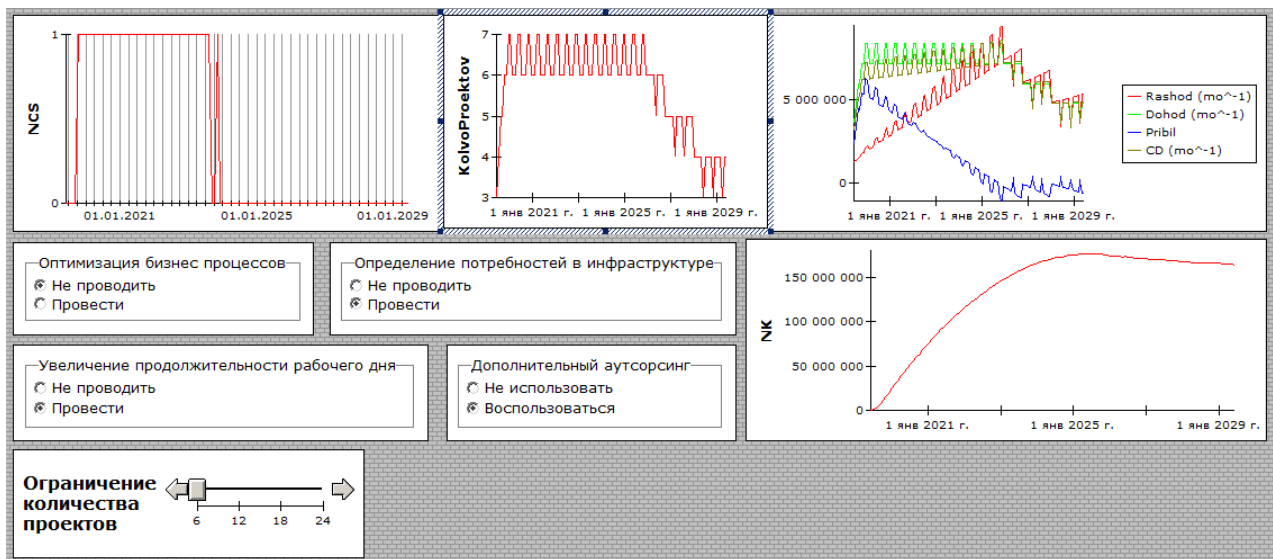


Рис. 107. Результат при проведении мероприятий по оптимизации финансового обеспечения

Результатом проведения данных мероприятий стало целевое состояние, которого архитектура процессов достигла в сентябре 2019 года, а вышла из него в сентябре 2023 года.

Таким образом, целевое состояние длилось 49 месяцев. Выход из целевого состояния обусловлен количеством осуществлённых мероприятий, так как, несмотря на ограничение количества проектов, расходы, связанные с мероприятиями, постоянно росли из-за чего в какой-то момент прибыль от производства услуг по выполнению проектов информатизации вышла за рамки целевого значения.

Отклонение в пользу целевого состояния связано с тем, что выход из целевого состояния попал на выполнение последнего проекта, в связи с чем уменьшились расходы.

Из рисунка 108 видно, что на управляющей панели было задано ограничение количества проектов в 6 и было использовано увеличение продолжительности рабочего дня и определение потребностей в инфраструктуре, как средства для достижения архитектурой процессов целевого состояния.

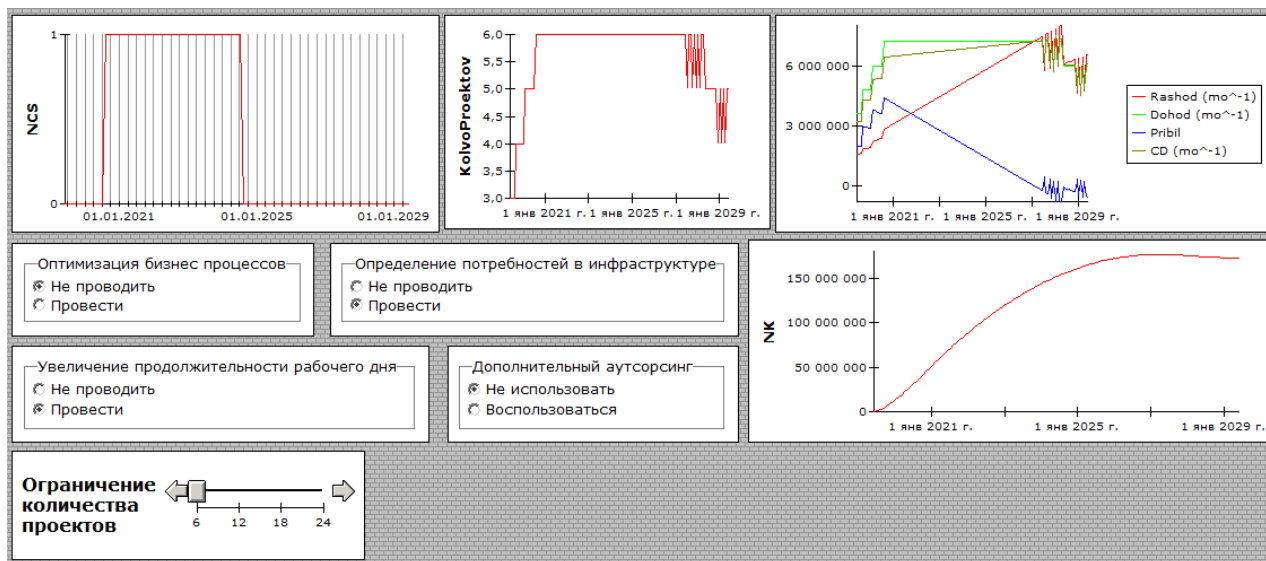


Рис. 108. Результат при проведении мероприятий по оптимизации финансового обеспечения

Результатом проведения данных мероприятий стало целевое состояние, которого архитектура процессов достигла в июле 2020 года, а вышла из него в августе 2024 года. Таким образом, целевое состояние длилось 50 месяцев.

Несмотря на то, что количество задействованных мероприятий в этом варианте меньше, длительность целевого состояния увеличилась на 1 месяц. Это связано с тем, что соотношение стоимости предыдущего набора мероприятий к его эффективности было меньше, чем в этом случае.

Выход из целевого состояния обусловлен тем, что прибыль упала ниже целевого значения. Это связано с тем, что в какой-то момент выполнять данные мероприятия при Результат при проведении мероприятий по оптимизации фи-

нансового обеспечения таком же количестве одновременных проектов стало дороже. При этом деятельность предприятия стало убыточной только через 2 года после выхода из целевого состояния.

Из рисунка 109 видно, что на управляющей панели было задано ограничение количества проектов в 6 и был использован дополнительный аутсорсинг и определение потребностей в инфраструктуре, как средства для достижения архитектуры процессов целевого состояния.

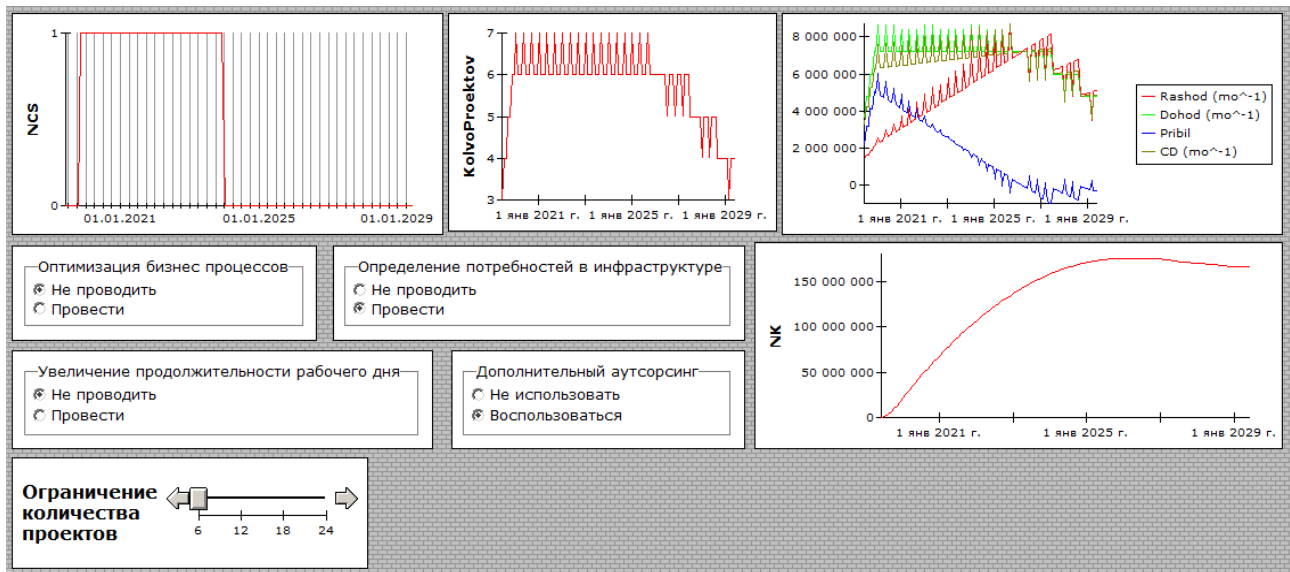


Рис. 109. Результат при проведении мероприятий по оптимизации финансового обеспечения

Результатом проведения данных мероприятий стало целевое состояние, которого архитектура процессов достигла в октябре 2019 года, а вышла из него в январе 2024 года. Таким образом, целевое состояние длилось 52 месяца.

Несмотря на то, что количество задействованных мероприятий в этом варианте такое же, как и в прошлом, длительность целевого состояния увеличилась на 2 месяца. Это связано с тем, что соотношение стоимости предыдущего набора мероприятий к его эффективности было меньше, чем в этом случае.

Выход из целевого состояния обусловлен тем, что прибыль упала ниже целевого значения. Это связано с тем, что в какой-то момент выполнять данные мероприятия при таком же количестве одновременных проектов стало невыгодно.

Из рисунка 110 видно, что на управляющей панели было задано ограничение количества проектов в 6 и было использовано определение потребностей в инфраструктуре, как средства для достижения архитектурой процессов целевого состояния. Результатом проведения данных мероприятий стало целевое состояние, которого архитектура процессов достигла в мае 2020 года, а вышла из него в январе 2025 года. Таким образом, целевое состояние длилось 57 месяцев.

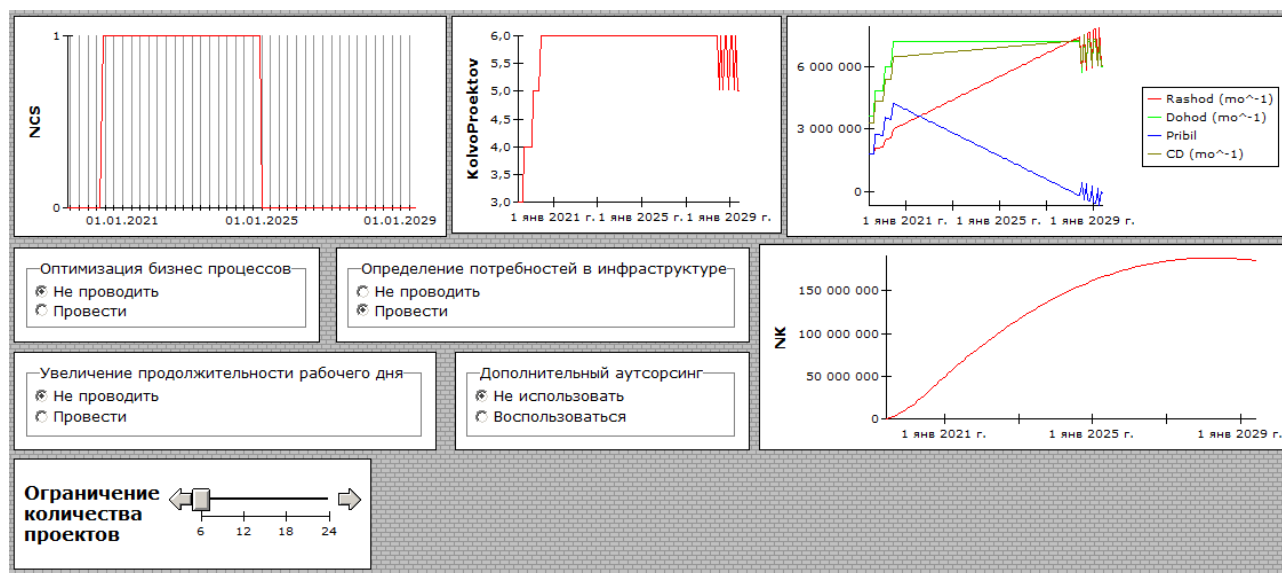


Рис. 110. Результат при проведении мероприятий по оптимизации финансового обеспечения

Несмотря на то, что количество задействованных мероприятий в этом варианте меньше, длительность целевого состояния увеличилась на 5 месяцев. Это связано с тем, что соотношение стоимости предыдущего набора мероприятий к его эффективности было меньше, чем в этом случае. Выход из целевого состояния обусловлен тем, что прибыль упала ниже целевого значения. Это связано с тем, что в какой-то момент выполнять данные мероприятия при таком же количестве одновременных проектов стало невыгодно.

Из рисунка 111 видно, что на управляющей панели было задано ограничение количества проектов в 6 и было использовано увеличение продолжительности рабочего дня и дополнительный аутсорсинг, как средства для достижения архитектурой процессов целевого состояния. Результатом проведения данных мероприятий стало целевое состояние, которого архитектура процессов достигла

в июль 2020 года, а вышла из него в октябре 2025 года. Таким образом, целевое состояние длилось 64 месяца. В данном случае по сравнению с предыдущим вариантом количество задействованных мероприятий больше, но тем не менее соотношение стоимости предыдущего набора мероприятий к его эффективности меньше, чем в этом случае. Таким образом длительность целевого состояния увеличилась на 7 месяцев. Выход из целевого состояния обусловлен тем, что прибыль упала ниже целевого значения. Однако, как можно заметить, деятельность предприятия на конец времени моделирования так и не стала убыточной, то есть степень снижения прибыли в этом случае намного ниже, чем в предыдущих. Также это можно увидеть, если посмотреть на состояние накопленного капитала, которое ещё не завершило рост.



Рис. 111. Результат при проведении мероприятий по оптимизации финансового обеспечения

После анализа полученных результатов по проведённым экспериментам было принято решение осуществить меры по оптимизации финансового обеспечения, а именно ограничение одновременного количества проектов, которые выполняет предприятие, и привлечение дополнительного аутсорсинга.

Итак, по графику статуса целевого состояния на рисунке 112 можно видеть, что архитектура процессов управления финансовым обеспечением достигла целевого состояния в мае 2020 года, а вышла из целевого состояния в мае

2027 года, при этом количество проектов, выполняемых одновременно, не превышало шести, а также уровень накопленного капитала превысил 200 млн. руб. Таким образом, целевое состояние длилось 85 месяцев. В данном случае всё также соотношение стоимости предыдущего набора мероприятий к его эффективности меньше. Таким образом длительность целевого состояния увеличилась на 21 месяц. Выход из целевого состояния обусловлен тем, что прибыль упала ниже целевого значения. Однако, как можно заметить, деятельность предприятия на конец времени моделирования так и не стала убыточной, то есть степень снижения прибыли в этом случае ещё более низкая, чем в предыдущем варианте. Также это можно увидеть, если посмотреть на состояние накопленного капитала, которое ещё не завершило рост.

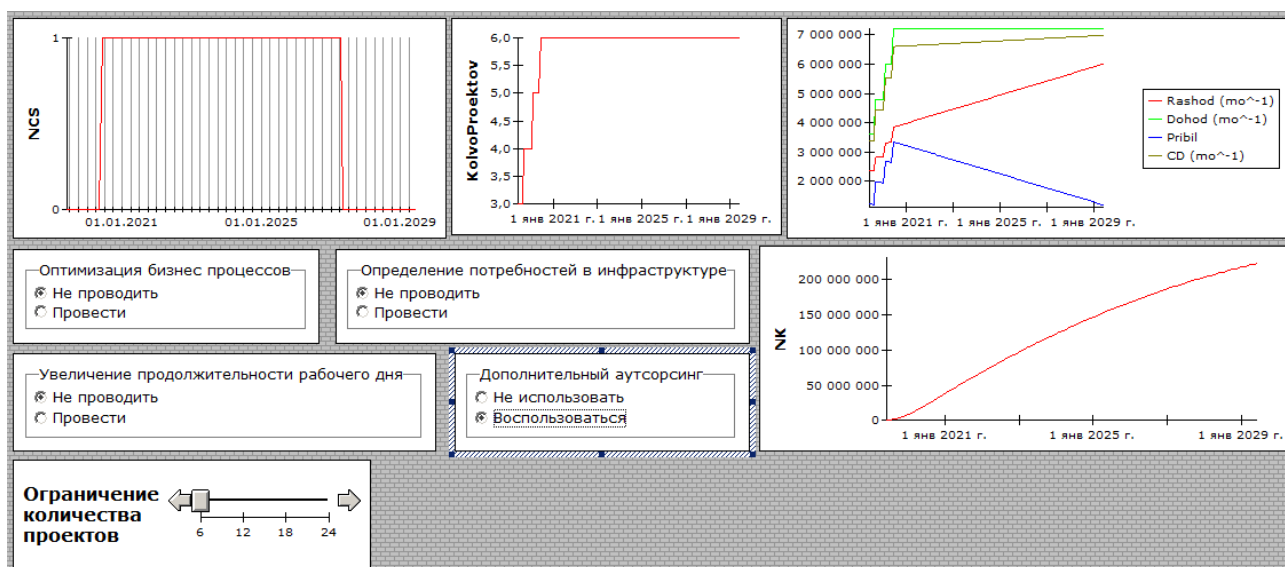


Рис. 112. Результаты оптимизации финансового обеспечения

Преимуществом долгого целевого состояния также является то, что на принятие различных стратегических управленческих решений отводится больше времени.

Контрольные вопросы:

1. Назовите этапы разработки имитационной модели.
2. Что понимается под модельным временем?
3. Какими элементами представлен формальный вид модели?

4. С помощью каких элементов можно управлять моделью?
5. Что такое визуализация экспериментов?
6. Опишите процесс создания оптимизационного эксперимента.
7. Что представляет собой математическая модель?
8. Почему на первом этапе построения имитационной системно-динамической модели строиться диаграмма причинно-следственных связей?

Индивидуальные задания:

1. Разработка модели анализа и управления данными в системе инвестиционного и финансового планирования на предприятии.
2. Разработка системы поддержки логистических процессов в информационной архитектуре торгового предприятия.
3. Проектирование инструментальных маркетинговых средств анализа данных в управлении электронными продажами.
4. Разработка системы принятия решений в управлении взаимодействием участников проекта информатизации интегрированных ИТ-компаний.
5. Разработка и внедрение информационного приложения в бизнес-архитектуру предприятия корпоративного типа.
6. Разработка и внедрение системы информационной поддержки бизнес-процессов в деятельность торговых предприятий.
7. Разработка проектного решения прогнозирования спроса продовольственных товаров социального назначения.
8. Разработка модели диагностики показателей проектов, в системе взаимодействия субъектов информатизации.
9. Разработка модели анализа данных в управлении проектом изменения организационных форм взаимодействия предприятий.

ГЛОССАРИЙ

Агрегирование – это объединение нескольких элементов в единое целое.

Альтернатива – это условное наименование какого-то из возможных (допустимых в соответствии с законами природы и предпочтениями ЛПР) способов достижения цели.

Бизнес-система – связанное и полное множество бизнес-процессов, реализуемых в рамках одной организационно оформленной бизнес-единицы при достижении её целей. Представляет собой категорию процессной модели предприятия, выраженную с помощью системного подхода в рамках процессного управления.

Деятельность – это система целенаправленных и управляемых действий.

Дуги сети – задают возможные переходы элементов узлов из одного состояния в другое.

Желание – субъективная осознанная потребность, соотнесенная с конкретным результатом ее удовлетворения.

Исследование операций (ИО) – дисциплина, занимающаяся разработкой и применением методов нахождения оптимальных решений на основе математического моделирования, статистического моделирования и различных эвристических подходов в различных областях человеческой деятельности.

Контроль – это одна из основных функций управления, представляющая собой процесс обеспечения достижения целей, поставленных организацией, обеспечения реализации принятых управленческих решений.

Концептуальная модель – это логико-математическое описание моделируемой системы в соответствии с формулировкой проблемы.

Лицо, принимающее решение (ЛПР) – один или несколько человек (коллектив), на которых лежит ответственность за принятое решение.

Математическая теория принятия решений в сложных ситуациях (теорией принятия решений, ТПР) – это область исследования, которая занимается разработкой общих методов анализа ситуаций принятия решений. При помощи этих методов вся информация о *проблеме*, включая сведения о предпочтениях

лица, принимающего решение и его отношении к риску, а также суждения о возможных реакциях других субъектов на принятые им решения, используется для получения вывода о том, какой из вариантов решения проблем и задач, а также способов достижения *желаемого* результата, является наилучшим.

Метод (от греч. *methodos* – путь, способ исследования, обучения, изложения) – совокупность приемов и операций познания и практической деятельности; способ достижения определенных результатов в познании и практике. Применение того или иного метода определяется целью познавательной или практической деятельности, предметом изучения или действия и условиями, в которых осуществляется деятельность.

Методы принятия управленческих решений – собирательное название методов, связанных с процессами поиска, анализа, оценки, выбора альтернатив, собственно акта принятия решения, а также организации его исполнения с целью решения проблем.

Моделирование – метод познания, который заключается в представлении предметов, систем, процессов и явлений в виде идеальных абстрактных образов – моделей, и их исследование на основе полученных моделей.

Модель – материальный или идеальный объект, замещающий исследуемую систему и адекватным образом отображающий ее существенные стороны.

Наилучшее решение – та из альтернатив среди имеющихся вариантов достижения цели, которая рассматривается ЛПР как самый главный претендент на звание «решение».

Направленный вычислительный эксперимент – имитационный эксперимент, содержание которого определяется предварительно проведенным аналитическим исследованием и результаты которого достоверны и математически обоснованы.

Общая теория систем – это общенаучная и логико-методологическая концепция исследований объектов, представленных как системы. Общая теория систем тесно связана с системным подходом и является конкретизацией и логико-методологическим выражением его принципов и методов.

Операция – любая целенаправленная деятельность, любой комплекс мероприятий, осуществляемых ЛПР в интересах достижения намеченной цели.

Параметры – относительно постоянные характеристики модели, изменение которых ведет к изменению характера самой модели.

Переменные – это признаки, которые могут иметь разные значения и не влияют на характер модели.

Проблема – разность между желаемым и действительным состояниями объекта, ликвидация которой не является очевидной.

Процесс принятия решений (ПР) – это один из этапов управленческой деятельности, на котором происходит выбор наиболее предпочтительного решения из допустимого множества решений, или упорядочение множества решений по их важности.

Результат – специальная форма представления (описания) наиболее важных для ЛПР характеристик исхода операции.

Решение – это набор управленческих воздействий (действий со стороны лица, принимающего решения) на объект (систему, комплекс и т. д.) управления, позволяющий привести данный объект в желаемое состояние или достичь поставленной перед ним цели. Это результат анализа, прогнозирования, оптимизации и выбора альтернативы из множества вариантов достижения конкретной цели.

Система – это любой выделенный наблюдателем из внешней среды объект, который в рамках определенного временного интервала одновременно рассматривается и как единое целое, и как объединенная в интересах достижения целей совокупность разнородных элементов, находящихся в определенных отношениях друг с другом и со средой.

Система поддержки принятия решений (СППР) (англ. Decision Support System, DSS) – компьютерная автоматизированная система, целью которой является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности.

Системный анализ – прикладное направление теории систем, которое применяется для решения реальных сложных проблем системного характера на основе принципов системного подхода и способов общей теории систем.

Системные аналитики (системотехники) – специалисты, участвующие в разработке сложных решений, требующих использования системного анализа.

Системный подход – это направление философии и методологии науки, специально-научного знания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как сложных систем с многообразными внутрисистемными связями между отдельными элементами и внешними связями с другими системами.

Системные потоковые диаграммы – эффективное средство системного анализа, позволяющее осуществлять декомпозицию сложной системы с последующей композицией, т.е. определяет форму выражения обсуждаемых вопросов, выступает в качестве средства разделения на части задач анализа причинно-следственной структуры моделируемой системы и последующей «сборки» их результатов в целостную картину организации процессов развития системы.

Стохастические системы – это такие системы, динамика которых зависит от случайных факторов, входные, выходные переменные стохастической модели, как правило, описываются как случайные величины, функции, процессы, последовательности.

Стратегическое планирование имитационного эксперимента – это разработка эффективного плана эксперимента, в результате которого либо выясняется взаимосвязь между управляемыми переменными, либо находится комбинация значений управляемых переменных, минимизирующая или максимизирующая отклик (выход) имитационной модели.

Субмодель – это определенная ветвь модели, имеющая собственную точку зрения, которая принимается на основании точки зрения модели и не противоречит ей. Любая модель POWERSIM, связанная с текущей моделью, которую можно редактировать и моделировать независимо.

Тактическое планирование имитационного эксперимента – определение способов проведения имитационных прогонов, намеченных планом эксперимента. Здесь решаются задачи: определение длительности прогона, оценка точности результатов моделирования и др.

Теория принятия управленческих решений (ТПУР) – прикладная управленческая дисциплина, которая изучает методы разработки и реализации управленческих решений.

Темп – это переменная, равная скорости изменения уровня.

Узлы сети – компонент сети потоков (за исключением нулевого узла) – изображают наиболее существенные с точки зрения разработчиков модели состояния выделенных ингредиентов.

Управление – это воздействие на процесс осуществляемой деятельности, которое корректирует его таким образом, чтобы по завершении деятельности поставленная цель оказалась достигнутой.

Факторы – признаки, которые оказывают наиболее существенное влияние на поведение моделируемого объекта.

Цель – субъективный образ несуществующего, но желаемого состояния системы, которое решило бы возникшую проблему; формализованное описание того желаемого состояния, достижение которого отождествляется в сознании ЛПР с решением проблемы.

Эксперт – это специалист, компетентный в решении данной задачи (от латинского слова «expertus» – опытный).

Экспертные системы – специальных человеко-машинные системы, которые на основе использования баз данных и баз знаний о конкретном объекте в зависимости от задаваемых условий функционирования объекта предлагают различные варианты решения проблем.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Критерии оценивания выполнения практических заданий

<i>Критерии оценивания</i>	
«ОТЛИЧНО»	Работа выполнена самостоятельно в полном объеме и в заданный срок*, оформлена с соблюдением установленных требований. Присутствуют собственные обобщения, заключения и обоснованные выводы. *Нарушение срока сдачи работы понижает максимальную оценку до уровня «хорошо».
«ХОРОШО»	Работа выполнена самостоятельно и в заданный срок*, но с незначительными отклонениями от требований к содержанию и оформлению. *Нарушение срока сдачи работы понижает максимальную оценку до уровня «удовлетворительно».
«УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО»	Работа выполнена самостоятельно и в заданный срок*, но с незначительными отклонениями от требований к содержанию и/или с серьезными ошибками в техническом оформлении. *Нарушение срока сдачи работы понижает максимальную оценку до уровня «неудовлетворительно».
«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО»	Работа выполнена не в полном объеме, с серьезными ошибками.
«НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО»	Отсутствие выполненной работы или работа выполнена не самостоятельно.

Критерии оценивания проектной работы

Уровень/оценка	Характеристика	
	содержания	защиты (представления)
Высокий («отлично») 80-100 баллов	содержание работы соответствует теме и требованиям к оформлению проекта; поставленные задачи выполнены в полном объеме; необходимые расчеты и модели выполнены в полном объеме и без ошибок; представлены полные и обоснованные выводы, сформулированы предложения	уверенное и полное представление материала работы в соответствии с регламентом; структурное и последовательное изложение материала; <i>правильные, полные, аргументированные</i> ответы на типовые вопросы и повышенной сложности, <i>а также сформулированы и обоснованы предложения</i>
Повышенный («хорошо») 60-79 баллов	содержание работы соответствует теме и требованиям к оформлению проекта; поставленные задачи выполнены; необходимые расчеты и модели выполнены в полном объеме с малозначительными ошибками; представлены полные выводы, сформулированы предложения; <i>имеются малозначительные ошибки</i>	полно представление материала работы в соответствии с регламентом; последовательное изложение материала; полные ответы на типовые вопросы и повышенной сложности; <i>имеются малозначительные ошибки</i>
Пороговый («удовлетворительно») 40-59 баллов	содержание работы соответствует теме и требованиям к оформлению проекта; расчеты и модели выполнены не в полном объеме, сделаны со значительными ошибками; базовые задачи в работе выполнены; представлены общие выводы	представлен базовый материал; затруднения в ответах на вопросы повышенной сложности
Компетенции не сформированы («неудовлетворительно») менее 40 баллов	содержание работы не соответствует теме; основные поставленные задачи не выполнены; необходимые расчеты и модели не выполнены; выводы отсутствуют или не соответствующие задачам работы; <i>имеются значительные ошибки</i>	незнание основного материала работы; отсутствуют правильные ответы на типовые вопросы

Критерии и шкалы оценивания компетенций в результате прохождения практики при проведении промежуточной аттестации

Шкалы оценивания		Критерии оценивания	Уровень освоения компетенций
«отлично» (80-100 баллов)	«зачтено»	Обучающийся в полном объеме выполнил индивидуальное задание; продемонстрировал глубокую теоретическую и профессионально-прикладную подготовку; грамотно использует профессиональную терминологию – четко, полно, последовательно; ответил на все дополнительные вопросы.	Высокий
«хорошо» (60-79 баллов)		Обучающийся полностью выполнил индивидуальное задание с незначительными недочетами; продемонстрировал достаточное владение теоретическими знаниями и умение применять их на практике; грамотно использует профессиональную терминологию – четко и полно излагает материал, но не всегда последовательно; ответил на большинство дополнительных вопросов.	Повышенный
«удовлетворительно» (40-59 баллов)		Обучающийся выполнил индивидуальное задание, но допустил существенные недочеты; не проявил глубоких знаний теории и умения применять ее на практике; допустил ошибки в решении задач; показал низкий уровень владения профессиональным стилем речи в изложении материала; допустил много неточностей при ответе на дополнительные вопросы.	Пороговый
«неудовлетворительно» (менее 40 баллов)	«не зачтено»	Обучающийся не выполнил индивидуальное задание в полном объеме; владеет фрагментарными знаниями из теории и не умеет применять их на практике; не владеет профессиональным стилем речи; при ответах на дополнительные вопросы допустил множество неправильных ответов.	Компетенции не сформированы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдикеев, Н. М. Системы управления эффективностью бизнеса: учебное пособие / Н. М. Абдикеев, С. Н. Брускин, Т. П., Данько и др.: Под науч. ред. д.т.н., проф. Н. М. Абдикеева и О. В. Китовой. – Москва: ИНФРА-М, 2010. – 282 с.
2. Акопов, А. С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / А. С. Акопов – Москва: Издательство Юрайт, 2016. – 389 с. – Серия: Бакалавр. Академический курс.
3. Аксенов, К. А. Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах: учебное пособие. В 2 ч. Ч.1 / К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 104 с.
4. Асаул, А. Н. и др. Теория и практика принятия решений по выходу организаций из кризиса / А. Н. Асаул, И. П. Князь, Ю. В. Коротаева; под ред. засл. Строит. РВ, д-ра экон. наук, проф. А. Н. Асаула. –СПб: АНО «ИПЭВ», 2007. – 224 с.
5. Богуславская, С. Б. Системное стратегическое управление компанией: подходы и этапы постановки. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 170 с. Раздел 3.1 написан совместно с О. В. Шубиной.
6. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельянова. – Москва: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.: ил.
7. Джексон, П. Введение в экспертные системы: учеб. пособие / П. Джексон; пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2001. – 624 с.
8. Заболотский, В. П. Математические модели в управлении: учебное пособие / В. П. Заболотский, А. А. Оводенко, А. Г. Степанов – СПбГУАП. СПб., 2001. – 196 с.: ил.
9. Каталевский, Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие. – Москва: Издательство Московского университета, 2011. – 304 с., ил.

10. Кизим, Н. А. Адаптивные модели в системах принятия решений: Монография / Под ред. Н. А. Кизима, Т. С. Клебановой. – Х.: ИД «ИНЖЭК», 2007. – 368 с. Русск. яз.
11. Клебанова, Т. С. Когнитивная бизнес-аналитика: Учебник / Под науч. ред. д-ра техн. наук, проф. Н. М. Абдикеева. – Москва: ИНФРА-М, 2014. – 511 с. +CD-R. – (Учебники для программы MBA).
12. Клебанова, Т. С. Моделирование финансовых потоков предприятия в условиях неопределенности: Монография / Т. С. Клебанова, Л. С. Гурьянова, Н. Богониколос, О. Ю. Кононов, А. Я. Берсуцкий. – Х.: «ИНЖЭК», 2006. – 312 с. Русск. яз.
13. Клебанова, Т. С. Моделирование экономической динамики: учебное пособие / Т. С. Клебанова, Н. А. Дубровина, О. Ю. Полякова, Е. В. Раевнева, А. В. Милов, Е. А. Сергиенко– 2-е изд., стереотип. – Х.: Издательский Дом «ИНЖЭК», 2005. – 244 с. Русск. яз.
14. Лычкина, Н. Н. Имитационное моделирование экономических процессов: учебное пособие / Н. Н. Лычкина. – Москва: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 254 с.
15. Никонов, О. И. Математическое моделирование и методы принятия решений: учеб. пособие / О. И. Никонов, С. В. Кругликов, М. А. Медведева. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 100 с.
16. Новиков, Д. А. Методология управления. –Москва: Либроком, 2011. – 128 с. (Серия «Умное управление»).
17. Савин, А. Ю. Круги без границ. Человек, бизнес и информационные технологии как единая система / А. Ю. Савин. – Москва: ООО «Юнайтед Пресс», 2010. – 160 с.
18. Путилов, В. А., Горохов А. В. Системная динамика регионального развития. Монография. Мурманск НИЦ «Пазори», 2201. – 306 с.; ил.
19. Садовничий, В. А., Акаев А. А., Коротаев А. В., Малков С. Ю. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / Научный совет по Программе

фунд. исслед. Президиума российской академии наук «Экономика и социология знания». – М.: ИСПИ РАН, 2012. – (Экономика и социология знания). – 359 с.

20. Сидоренко, В. Н. Системно-динамическое моделирование в среде POWERSIM: Справочник по интерфейсу и функциям. – Москва: МАКС-ПРЕСС, 2001. – 159 с.

21. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – СПб: ООО «Издательство АСТ», 2003. – 379 с.

22. Шаров, Ф.Л. Математические методы исследования в экономике: учебное пособие / под ред. Ф. Л. Шарова. – 3-е изд., доп. и перераб. – Москва: МИЭП, 2010. – 192 с.

Электронный текстовый ресурс

Медведева Марина Александровна, Коломыцева Анна Олеговна,
Вишнякова Алина Юрьевна, Искра Елена Александровна

**СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Подготовка к публикации
Компьютерный набор

Вишнякова А.Ю.
Вишнякова А.Ю.

Рекомендовано Методическим советом УрФУ

Разрешено к публикации _____

Электронный формат – pdf

Объем _____

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Информационный портал УрФУ

www.study.urfu.ru