МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра экономики предпринимательства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«*МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ*»

Уровень подготовки
высшее образование - магистратура
(высшее образование - бакалавриат; высшее образование – специалитет, магистратура)

Направление подготовки (специальность)
38.04.01 Экономика
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Направленность подготовки (профиль, специализация)
Экономика и финансы фирмы
(наименование профиля подготовки, специализации)

Квалификация (степень) выпускника
_____магистр_____

Составители: Исмагилова Л. А., Бухарбаева Л. Я.

1. Построение и анализ функциональной модели экономической системы

Методические указания по лабораторной работе №1.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДСТВАМИ BPWIN/ERWIN

ВВЕДЕНИЕ

BPWin (ERWIN) позволяет аналитику создавать сложные модели бизнес-процессов. BPWin (ERWIN) поддерживает три методологии - IDEF0, IDEF3 и DFD. Каж-дая из них призвана решать свои специфические задачи. Также можно строить смешанные модели.

Стандарт IDEF0 описывает методику построения функциональной модели пред-метной области. Основу методологии IDEF0 составляет графический язык описания биз-нес-процессов. Идея данной методологии заключается в представлении моделируемого предприятия, организации или процесса в виде совокупности взаимосвязанных работ (функций).

В соответствии с данным стандартом различают следующие виды моделей:

- модель AS-IS, которая описывает состояние моделируемой предметной области на момент создания модели;

в модель TO-BE, описывающая возможное будущее состояние предметной области, которое она перейдёт в результате оптимизации существующей системы и внедрения новых технологий.

Диаграммы потоков данных (диаграммы DFD) используются для того, чтобы до-кументировать механизмы передачи и обработки информации в моделируемой системе. Они обычно строятся для наглядного изображения текущей работы системы документо-оборота организации. Чаще всего диаграммы DFD используют в качестве дополнения мо-дели бизнес-процессов, выполненной в IDEF0.

Модель рассматривается как совокупность процессов (функций, работ), каждая из которых оперирует с некоторым набором данных. Процессы (работы) изображаются в ви-де прямоугольников (блоков), данные (результат работ) - в виде стрелок (дуг).

Функциональная модель IDEF0 представлена совокупностью иерархически упоря-доченных и логически связанных диаграмм. Каждая диаграмма располагается на отдель-ном листе. Можно выделить четыре типа диаграмм:

контекстную диаграмму А-0 (в каждой модели может быть только одна кон-текстная диаграмма);

диаграммы декомпозиции (в том числе диаграмма первого уровня декомпози-ции А0, раскрывающая контекстную);

диаграммы дерева узлов;

диаграммы только для экспозиции (FEO).

Контекстная диаграмма является вершиной древовидной структуры диаграмм и представляет собой самое общее описание системы и ее взаимодействия с внешней средой (как правило, здесь описывается основное назначение моделируемого объекта). После описания системы в целом проводится разбиение ее на крупные фрагменты. Этот процесс называется функциональной декомпозицией, а диаграммы, которые описывают каждый фрагмент и взаимодействие фрагментов, называются диаграммами декомпозиции. После декомпозиции контекстной диаграммы (т.е., получения диаграммы А0) проводится де-композиция каждого блока диаграммы А0 на более мелкие фрагменты и так далее, до дос-тижения нужного уровня подробности описания. **При декомпозиции необходимо соблюдать постепенный переход от общего описания к отдельным процессам**.

СПРАВОЧНО:

После каждого сеанса декомпозиции проводятся сеансы экспертизы - эксперты предметной области (обычно это интервьюируемые аналитиками сотрудники предпри-ятий) указывают на соответствие реальных бизнес-процессов созданным диаграммам. Найденные несоответствия исправляются, и только после прохождения экспертизы без замечаний можно приступать к

следующему сеансу декомпозиции. Так достигается соот-ветствие модели реальным бизнес-процессам на любом и каждом уровне модели. Синтак-сис описания системы в целом и каждого ее фрагмента одинаков во всей модели.

Диаграмма дерева узлов показывает иерархическую зависимость работ, но не взаимосвязи между работами. Диаграмм деревьев узлов может быть в модели сколько угодно, поскольку дерево может быть построено на произвольную глубину и не обяза-тельно с корня.

Диаграммы для экспозиции (FEO) строятся для иллюстрации отдельных фрагмен-тов модели, для иллюстрации альтернативной точки зрения, либо для специальных целей.

Кроме построения модели данное средство позволяет осуществлять стоимостной анализ, основанный на работах (Activity Based Costing, ABC) и анализ, основанный на свойствах, определяемых пользователем (User Defined Properties, UDP).

ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ

Тема работы: ***Декомпозиция и анализ систем с помощью построения системных функциональных моделей.***

Задание по лабораторной работе содержит краткое описание моделируемой пред-метной области. Пример задания приведён в приложении 1.

Порядок выполнения задания:

1) изучить возможности пакета программ BPwin (ERWIN) по построению функцио-нальной модели в стандарте IDEF0;

2) построить модель AS-IS:

- задать название модели, описание, точку зрения;
- построить контекстную модель;
- выполнить декомпозицию модели (2-3 уровня);
- проанализировать модель;

Сделать выводы

1. Построение функциональной модели IDEF0

1.1. Определение свойств модели

Запуск программы осуществляется из меню Пуск - **ERWIN/ERWin Process Modeler/** Создание модели в стандарте IDEF0 начинается с диалога создания модели, в котором задаётся имя модели и выбирается тип модели.

Далее задаются свойства модели (диалог Model Properties). Диалог содержит следую-щие вкладки: Layout, ABC Units, Page Setup, Header/Footer, Shapes, DrawStyle, General, Purpose, Definition, Source, Status, Numbering, Display. Рассмотрим вкладки, которые ис-пользуются для задания основных свойств модели.

General. Вкладка предназначена для задания имени и инициалов автора.

Purpose. Вкладка предназначена для задания цели моделирования (Purpose) и точки зре-ния (Viewpoint).

Цель моделирования должна чётко отвечать на вопрос: что моделируется и для че-го? Текст может строиться по схеме: «Описать … для …» или «Определить … с целью …» и т.п.

Точка зрения определяет ту позицию (должность или роль человека), с которой создаётся и оценивается модель. Так, модель может быть построена с точки зрения руко-водителя или другого должностного лица. Указание точки зрения не обозначает, что мо-делирование функций системы будет осуществляться в том виде, как их представляет данное должностное лицо, без учёта знаний конкретных исполнителей. Точка зрения даёт возможность выделить главное в той информации, которую предоставляют эксперты по конкретным функциям системы.

Существует возможность зафиксировать другие точки зрения с помощью вспомо-гательных диаграмм.

Definition. Вкладка предназначена для задания определения модели (Definition) и области, задающей границы моделируемой системы (Scope).

Определение модели – это текст, содержащий краткое описание модели.

Описание области должно содержать чёткую формулировку того, что необходимо включать в модель, а что можно считать внешним по отношению к ней.

Status. Вкладка предназначена для указания статуса модели. Возможные варианты: черновой вариант, рабочий, окончательный и т.д.

Source. Вкладка предназначена для описания источников информации, используемых при построении модели. Классическими источниками информации являются результаты опро-са экспертов и документальные источники.

Результаты этапа описания свойств модели можно просмотреть в виде отчёта (ме-ню Tools/Reports/Model Report). Отчёт можно экспортировать в MS Word, MS Excel, пред-ставлять в формате HTML.

1.2. Построение контекстной диаграммы

Графическое построение модели начинается с контекстной диаграммы (меню File/New), которая отображает контекст функционирования моделируемой системы как единого целого. В прямоугольнике записывается основная функция (работа) моделируе-мой системы. Стрелками изображают вход, выход, механизм и управление. Пример кон-текстной диаграммы приведён на рис.1.1.

В IDEF0 различают пять типов стрелок.

Вход (стрелка слева) – объект (материал, документ, информация и пр.), который ис-пользуется и преобразуется процессом (работой) для получения результата (выхода).

Очень часто сложно определить, являются ли данные входом или управлением. В этом случае подсказкой может служить то, перерабатываются/изменяются ли дан-ные в работе или нет. Если изменяются – это вход, если нет - управление.

- Управление (стрелка сверху) – это управляющие воздействия (ограничения). В качестве управления могут выступать законы, приказы, инструкции, правила, стратегии, стандарты, методики, технические задания, чертежи и т.п., которыми руководствуется работа. Каждая работа должна иметь хотя бы одну стрелку управления. Управление влияет на ра-боту, но не преобразуется ей. Если цель работы - изменить процедуру или стратегию, то такая процедура или стратегия будет для работы входом.
- Выход (стрелка справа) - это результат функционирования системы. На выходе могут быть продукция, документ, информация и пр., которые производятся работой. Каждая работа должна иметь хотя бы одну стрелку выхода. Работа без результата не имеет смысла.
- Механизм (стрелка снизу) - ресурсы, необходимые для выполнения работы, например персонал предприятия, оборудование и т.д.
- Вызов (Call) - специальная стрелка, указывающая на другую модель работы. Рисуется как исходящая из нижней грани работы. Стрелка вызова используется для указания того, что некоторая работа выполняется за пределами моделируемой системы. Используются в механизме слияния и разделения моделей.
- На контекстной диаграмме необходимо задать **минимум по две стрелки каждого типа** (с каждой стороны функционального блока), кроме стрелок Call.
- Стрелки, которые изображаются на контекстной диаграмме, называются граничными, так как они отображают взаимодействие системы с внешним миром.
- Для внесения на диаграмму граничной стрелки необходимо воспользоваться кнопкой панели инструментов с изображением стрелки: . С помощью мыши отметить точку начала стрелки и точку конца стрелки. Например, для входной стрелки необходимо пе-ренести курсор в левую часть экрана, пока не появится тёмная полоска, а затем – на левую сторону работы. Стрелки управления, механизма и выхода изображаются аналогично.

4.Для задания имени стрелки необходимо выбрать на палитре инструментов опцию редактирования . Имя стрелки обычно задаётся именем существительным. Имена вновь внесенных стрелок автоматически заносятся в словарь.

В **случае, если русский текст отображается некорректно**, необходимо поменять кодировку, используемую в модели. Для этого можно правой кнопкой мыши кликнуть на объект,

далее выбрать Font (шрифты) и в появившемся диалоговом окне изменить пара-метр Script с Западного на Кириллицу. При необходимости внесения изменений во все сущности модели необходимо отметить галочки в левом нижнем углу диалога. Изменение кодировки также можно осуществить во вкладке Model/Fonts строки меню.

Рис.1.1. Контекстная диаграмма

1.3. Диаграммы декомпозиции

Детализация главной функции системы осуществляется с помощью диаграмм де-композиции, которые строятся по тому же принципу, что и контекстная, но включают большее количество работ. Каждая работа, в свою очередь, может быть декомпозирована.

Работы на диаграммах декомпозиции располагаются по диагонали от левого верх-него угла к правому нижнему. В верхнем углу располагается более важная работа или ра-бота, выполняемая по времени первой.

Все работы в диаграмме декомпозиции связываются между собой с помощью стре-лок. Связи моделируют реальные процессы, относящиеся к объектам, управляющим воз-действиям и механизмам. Пример диаграммы декомпозиции приведён на рис.1.2.

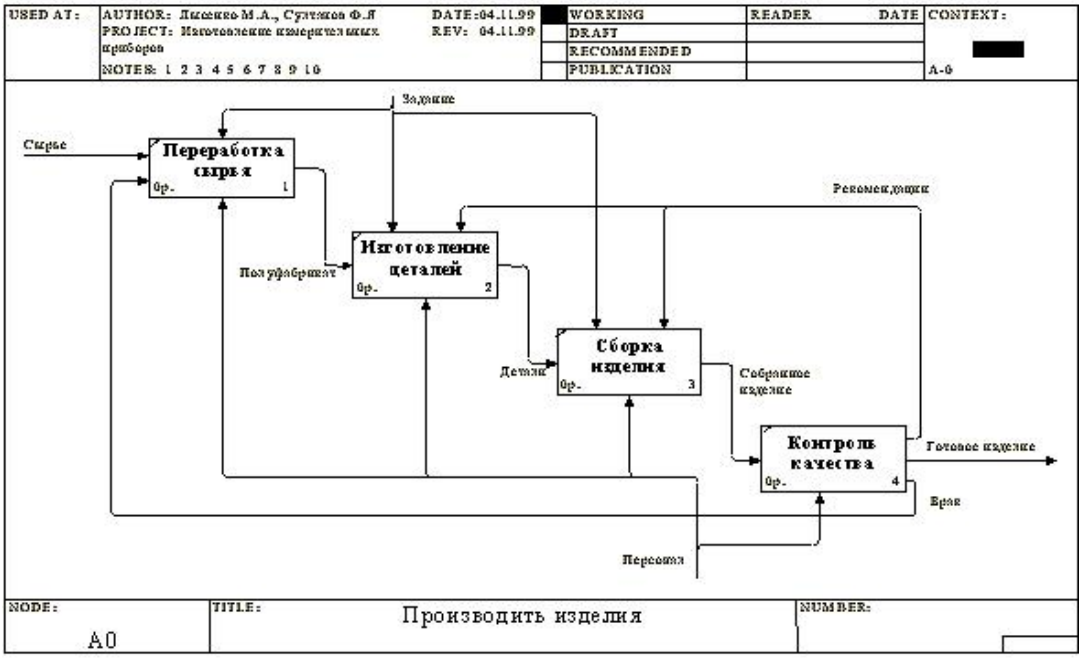

Рис.1.2. Диаграмма декомпозиции

Функциональные блоки автоматически нумеруются (правый нижний угол). Диагональная черта в левом верхнем углу показывает, что работа не декомпозирована.

Для создания диаграммы декомпозиции следует щелкнуть по кнопке и выбрать на диаграмме работу, которую необходимо декомпозировать. В появившемся диалоговом окне указывается вид диаграммы и предполагаемое количество работ. **Рекомендуемое количество блоков на одном листе: от 3 до 6.**

5.Процесс (работу) можно добавить в диаграмму, щелкнув по кнопке на палитре инструментов, а затем по свободному месту на диаграмме. Для внесения имени работы следует щелкнуть по работе правой кнопкой мыши, выбрать в меню пункт Name Editor и в появившемся диалоге внести имя работы.

При декомпозиции работы стрелки автоматически попадают на диаграмму декомпозиции нижнего уровня, но без привязки к конкретным работам. Такие стрелки называются несвязанными граничными стрелками (Unconnected border arrow) и воспринимаются как синтаксическая ошибка.

Подсоединение граничных стрелок к работам производится в режиме редактирования стрелок.

Для связи работ между собой используются внутренние стрелки. Процесс связывания осуществляется в режиме построения стрелок: кнопка → на палитре инструментов.

Различают пять типов внутренних стрелок:

- связь по входу (output-input), когда выход вышестоящей работы соединяется с входом нижестоящей;
- связь по управлению (output-control), когда выход вышестоящей работы соединяется с управлением нижестоящей;
- обратная связь по входу (output-input feedback),, когда выход нижестоящей работы со-единяется с входом вышестоящей;
- обратная связь по управлению (output-control feedback), когда выход нижестоящей рабо-ты соединяется с входом по управлению вышестоящей работы;
- связь выход - механизм (output-mechanism), когда выход одной работы направляется на механизм другой.

Различают явные и неявные стрелки. Явная стрелка имеет источником одну-единственную работу и назначением тоже одну-единственную работу.

1.4. Разветвление и слияние стрелок

Одни и те же данные или объекты, порожденные одной работой, могут использо-ваться сразу в нескольких других работах. С другой стороны, стрелки, порожденные в разных работах, могут представлять собой одинаковые или однородные данные или объ-екты, которые в дальнейшем используются или перерабатываются в одном месте. Для мо-делирования таких ситуаций IDEF0 используются разветвляющиеся и сливающиеся стрелки.

Для разветвления стрелки нужно в режиме редактирования стрелки щелкнуть по фрагменту стрелки и по соответствующему сегменту работы. Для слияния двух стрелок выхода нужно в режиме редактирования стрелки сначала щелкнуть по сегменту выхода работы, а затем по соответствующему фрагменту стрелки.

Имя стрелкам присваивается по следующим правилам:

- если стрелки (стрелка) после разветвления не имеет имени, то именем этих стрелок считается имя стрелки до разветвления;
- не допускается, чтобы стрелка до разветвления и хотя бы одна стрелка после разветвления одновременно не имели имени;
- нельзя, чтобы стрелка после слияния была не именована, если не именована хотя бы од-на стрелка до слияния.

1.5. Тоннелирование стрелок

На диаграммы нижнего уровня можно вносить граничные стрелки. Такие стрелки изображаются в квадратных скобках и автоматически не появляются на диаграмме верхнего уровня. Для их переноса на диаграмму верхнего уровня нужно выбрать кнопку на палитре инструментов или щёлкнуть правой кнопкой мыши по квадратным скобкам граничной стрелки. В диалоге Border Arrow Editor можно выбрать один из возможных ва-риантов тоннелирования:

- миграция на верхний уровень (Resolve it to border arrow);
- тоннелирование на данной диаграмме (Change it to resolved rounded tunnel).

Тоннельная стрелка изображается с круглыми/квадратными стрелками на конце.

Различают два вида тоннелирования:

- «не в родительской диаграмме» (скобки в начале стрелки), то есть малозначимая стрелка не переносится на диаграмму верхнего уровня, а тоннелируется на данной диаграмме;
- «не в дочерней работе» (скобки в конце стрелки), то есть стрелка не изображается на диаграмме нижнего уровня, так как во всех работах нижнего уровня используется одина-ково и под тем же именем, например, один и тот же механизм во всех работах нижнего уровня.

1.6. Рекомендации по построению диаграмм

Для улучшения читабельности диаграмм рекомендуется придерживаться следую-щих правил:

- располагать блоки по диагонали от верхнего левого угла к нижнему правому;
- поддерживать максимально возможное расстояние между стрелками, находящимися на одной стороне работы (Model/Model Properties/Layout/Automatically space arrows);
- максимально увеличить расстояние между работами, поворотами и пересечениями стре-лок;
- если две стрелки проходят параллельно, то по возможности их следует объединить и на-звать одним именем;
- обратные связи по входу рисуются снизу, а обратные связи по управлению - сверху;
- циклические обратные связи лучше не использовать (если необходимость в такой связи возникла, то изобразить её можно только в два приёма: сначала выполнить разветвление, а потом удалить ненужный фрагмент);
- необходимо минимизировать число пересечений, петель и поворотов стрелок.

Часть из перечисленных правил поддерживается системой автоматически, но почти всегда предлагаемый системой порядок можно нарушить, что делать не рекомендуется.

Методические указания к лабораторной работе № 2

Принятие решений в условиях риска: построение дерева решений. Лабораторный практикум по дисциплине «Системный анализ в экономике и управлении» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; сост. Л.В.Ситникова, Н.Е.Колпакова. – Уфа, 2016.- 28 с.

Методические указания к лабораторной работе № 3

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

1.1. Сложные динамические системы и моделирование

Одна из отличительных черт современного мира- его динамичность. Ускоряющиеся изменения в технологиях, населении, экономической активности преобразовывают наш мир. Последствия нашей деятельности зачастую трудно предсказуемы, усилия, направленные, казалось бы, на решение проблемы, компенсированные непредвиденными реакциями других людей или природы, приводят не к улучшению ситуации, а наоборот, к ее ухудшению. В доказательство этого утверждения приведем несколько примеров:

- активное внедрение компьютерных технологий не приводит к созданию «безбумажного офиса», напротив, потребление бумаги растет;
- активное применение пестицидов и гербицидов в сельском хозяйстве, направленное на повышение урожайности, стимулировало появление стойких вредителей и сорняков, уничтожаемых хищниками, что создало продовольственную цепочку для отравления рыбы, птиц и даже человека.

Поэтому еще с начала XX века была осознана необходимость поиска новых путей мышления и выработки решений в сложных ситуациях. Стал развиваться системный подход- способность воспринимать, видеть проблемную ситуацию или объект управления как систему, т.е. как множество элементов, объединенных разнородными связями друг с другом. Именно эти

связи и порождают сложность, непредсказуемость, «противоинтуитивность» (думаем, что наши действия должны принести благо, улучшение, а получается- наоборот) поведения тех объектов, которыми мы стремимся управлять.

Как можно прийти к восприятию управляемого объекта как системы? Почему возникает неожиданное сопротивление принимаемым нами решениям, которое в конечном счете может привести к неприятным для нас результатам? Как научиться избегать этого, находить решения, приносящие устойчивую пользу?

Одна из причин возникновения сопротивления принимаемым решениям- наша тенденция интерпретировать события как результаты действия более ранней причины, например: «Запас готовой продукции слишком высок, так как неожиданно упали продажи. Продажи упали, так как конкуренты понизили цены. Конкуренты понизили цены, так как….». Такую цепочку можно продолжать долго, и вряд ли мы доберемся до первопричины- скорее просто потеряем интерес к этому процессу. Такое причинно-следственное мировоззрение порождает событийно-ориентированный подход для решения проблемы: мы оцениваем состояние дел и сравниваем с нашими целями. Расхождение между ними определяет проблему. Мы вырабатываем решение и реализуем его. Если фактические показатели приближаются к целевым- проблема решена. Однако нередко бывает, что так нам только кажется. Рассмотрим следующий пример: предположим, что объем продаж нашего предприятия в прошлом квартале был запланирован на уровне 100 млн.руб, в то время как фактические продажи оказались равными 80 млн.руб. Проблема состоит в том, что фактические продажи оказались на 20% меньше запланированных. Мы снижаем цены, чтобы стимулировать потребление. В следующем квартале происходит увеличение продаж, и нам кажется, что проблема решена. Однако конкуренты не дремлют: как только растут продажи у нас, у них они падают, поэтому они тоже, как и мы, снижают цены. В результате наш объем продаж падает снова. Вчерашнее вроде бы успешное решение проводит к усугублению проблемы: продажи опять упали, и цены, по которой мы реализуем продукцию- тоже. Почему так получилось? Потому что при принятии решения мы не учли обратную связь: результаты наших действий вызывают ответные действия других заинтересованных участников, направленные на восстановление нарушенного нами баланса. Поэтому наши действия только частично определяют ситуацию, с которой мы будем иметь дело в будущем, а новая ситуация меняет нашу оценку проблемы и принятых ранее решений.

В настоящее время существует много школ, стремящихся развивать системный подход, и даже утверждается, что развитие системного подхода и системного мышления является определяющим для выживания человечества. Некоторые школы развивают количественные методы системного анализа, другие делают упор на качественные методы. Приложения системного анализа распространяются на все большее количество прикладных проблем. Однако все исследователи согласны с тем, что системное видение проблем- до сих пор редкость.

Проблема системного подхода в современном мире- как двигаться от обобщенных описаний к инструментам, позволяющим вырабатывать действенные решения в реальных сложных ситуациях, изучение которых связано с большими трудностями. «Мы все пассажиры самолета, на котором мы не только летим, но и должны его перепроектировать в полете».

Системное динамическое моделирование- метод исследования и прогнозирования, основанный на описании объекта исследования в виде системы взаимосвязанных показателей сначала на качественном уровне путем разработки когнитивной диаграммы, а затем- количественно, путем разработки потоковой модели. Основоположником этого метода является Дж. Форрестер- профессор Массачусетского университета (США), метод был разработан им в 70-х гг. XX века.

Наиболее известная модель, разработанная и исследованная с использованием метода системной динамики- модель мировой динамики [], прогнозирующая динамику численности населения Земли, уровня загрязнения, уровня развития промышленности, уровня развития сельского хозяйства, уровня запаса природных ресурсов. Параметры модели мировой динамики была определены по данным 1900-1970гг., а прогнозы по ней были рассчитаны до 2100г. Большинство прогнозов, полученных по модели, оказались кризисными в связи с грядущим истощением природных ресурсов, быстрым ростом уровня загрязнения окружающей среды и численности населения земного шара. Публикация результатов моделирования имела

значительный общественный резонанс, привлекла внимание мировой общественности к проблемам загрязнения окружающей среды и дала толчок экологическому движению во всем мире. В дальнейшем модель мировой динамики неоднократно дополнялась, дорабатывалась и исследовалась. В 2004г., спустя 30 лет после публикации первых результатов моделирования, последователями Дж.Форрестера был выполнен анализ соответствия прогнозов фактическим данным за 30 лет. По мнению авторов, анализ показал неплохое совпадение прогнозных значений и фактических данных, что доказывает адекватность модели и правильность сделанных по ней выводов []. Следует сказать, что мнения по поводу корректности модели мировой динамики и обоснованности полученных по ней прогнозов расходятся. В [] приведена весьма основательная критика идей и уравнений, лежащих в основе модели, и предложена авторская точка зрения на перспективы человечества на планете Земля, более оптимистичная, чем прогнозы, полученные по модели Форрестера.

Метод системной динамики основан на идее о том, что сложность, непресказуемость, противоинтуитивность динамики показателей, описывающих состояние интересующего исследователя объекта, порождается многочисленными связями между показателями, их взаимовлиянием друг на друга. Поэтому для понимания и прогнозирования поведения объекта нужно идентифицировать и описать эти связи сначала на качественном уровне путем разработки когнитивной диаграммы, а затем- количественно, путем разработки потоковой модели.

1.2. Построение когнитивных диаграмм

Первым этапом системного динамического моделирования является разработка графической качественной модели, называемой когнитивной диаграммой. Перечислим основные этапы разработки когнитивных диаграмм:

1. Выделение элементов- показателей, характеризующих объект исследования. Показатели изображаются на когнитивной диаграмме в виде надписей.
2. Идентификация связей между элементами, определение типа связи (прямая или обратная), а также связей с временными задержками. Связи изображаются на когнитивной диаграмме в виде стрелок (начало стрелки- показатель- причина, конец стрелки- показатель- следствие). На стрелке ставится знак «+», если связь между показателями прямая, или знак «-», если связь между показателями обратная. Напомним, что показатели связаны прямой связью, если рост одного показателя приводит к росту другого показателя, или, наоборот, снижение одного показателя приводит к снижению другого показателя; показатели связаны обратной связью, если рост одного показателя приводит к снижению другого, или, наоборот, снижение одного показателя приводит к росту другого.
3. Поиск и анализ контуров обратных связей, определение типа контуров (усиливающий или уравновешивающий). Контуром обратных связей называется последовательность связей между элементами системы, начинающаяся и закачивающаяся в одном элементе. Выделяют всего два типа контуров обратных связей: усиливающий (самоукрепляющий, положительный) и уравновешивающий (самоисправляющий, отрицательный).

Отрицательные контуры противодействуют изменениям. Например, более привлекательный для жизни город приводит к большой иммиграции из окружающих областей, что в свою очередь приводит к увеличению безработицы, повышению цен, переполнению школ, детских садов, транспортным пробкам. Все это в итоге приводит к снижению привлекательности города и прекращает иммиграцию. Графически это можно представить следующим образом (рис.1.1).

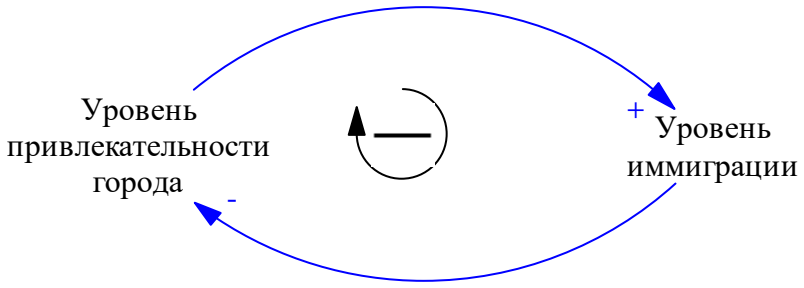

Рис.1.1. Отрицательный контур обратной связи.

На рис.1.1 показана система из двух элементов- уровень привлекательности города и уровень иммиграции. Связи между элементами изображаются с помощью стрелок, знаки «+» и «-» указывают направление связи- прямая и обратная соответственно. Круговая стрелка со знаком «-» в центре указывает, что в системе имеется уравновешивающий контур обратных связей. Действительно, если уровень привлекательности города возрос, то это приводит к повышению уровня иммиграции. Повышение уровня иммиграции через рост безработицы, переполнение школ, детских садов и т.д. в свою очередь, снижает уровень привлекательности города. Если убрать промежуточные звенья, то получается, что рост уровня привлекательности города приводит в конечном счете к снижению уровня привлекательности города, т.е. в результате срабатывания контура начальное отклонение компенсируется. Рассмотренный пример можно описать более подробно, описав конкретные механизмы (рис.1.2). Такая детализированная схема, включающая несколько контуров обратных связей, является примером когнитивной диаграммы. Перечислим контуры обратных связей в этой когнитивной диаграмме:

1. **Уровень привлекательности города → Уровень иммиграции → Уровень безработицы → Уровень привлекательности города**. Это уравновешивающий контур.

2. **Уровень привлекательности города → Уровень иммиграции → Количество транспорта → Количество транспортных пробок → Уровень привлекательности города**. Этот контур также является уравновешивающим.

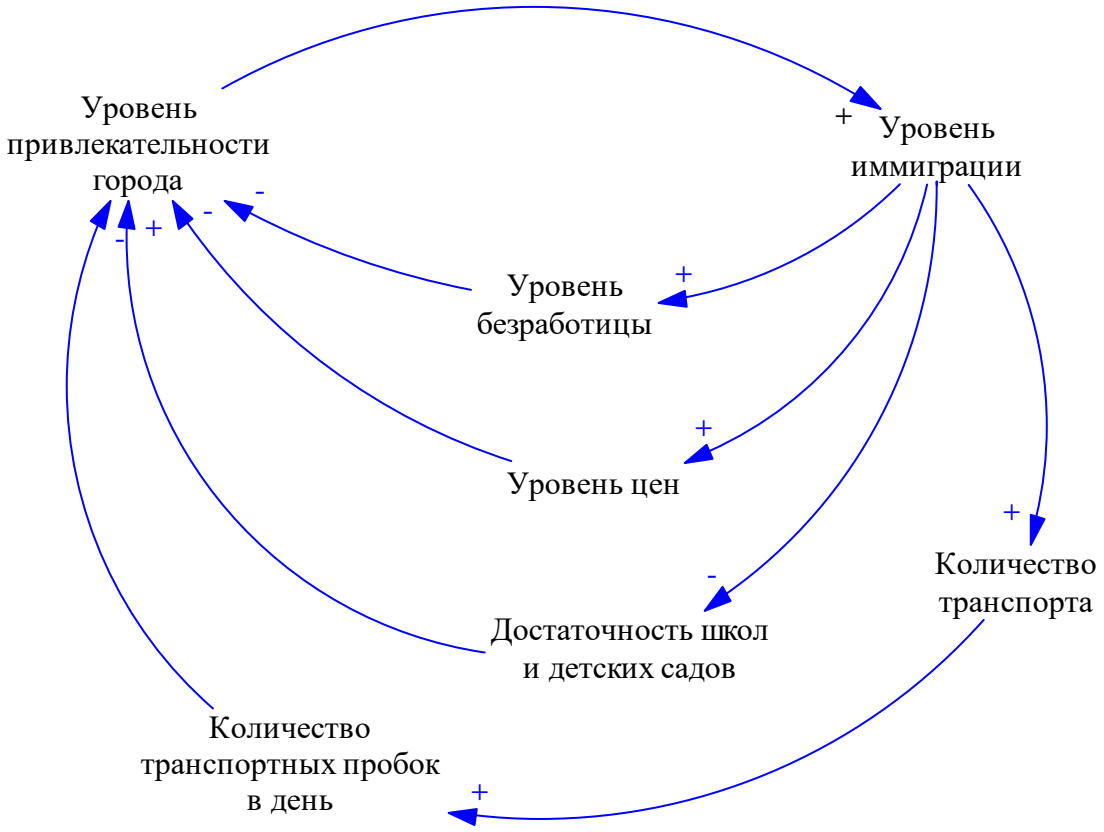

Рис.1.2. Когнитивная диаграмма, описывающая взаимовлияние уровня иммиграции и уровня привлекательности города.

Положительный контур усиливает изменения. Например, чем больше куриц, тем больше яиц, а чем больше яиц, тем еще больше куриц. Графически этот контур можно представить следующим образом (рис.1.3):

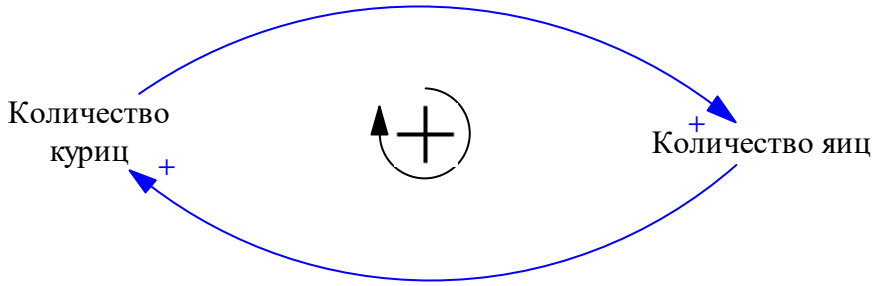

Рис.1.3. Положительный контур обратных связей.

Круговая стрелка со знаком «+» в центре указывает, что в системе имеется усиливающий контур обратных связей. Действительно, если количество куриц увеличивается, то это приводит к увеличению числа яиц. Увеличение числа яиц, в свою очередь, приводит к еще большему увеличению числа куриц. Если убрать промежуточные звенья, то получается, что рост числа куриц приводит в конечном счете к еще большему росту числа куриц, т.е. в результате срабатывания контура начальное отклонение еще больше усиливается. Если бы этот контур была единственным в системе, количество куриц и яиц возрастало бы до бесконечности. Такого на практике не происходит потому, что в системе кроме этого контура присутствуют уравновешивающие контуры, лимитирующие рост, например, чем больше куриц, тем меньше доступной пищи, а чем меньше пищи, тем меньше куриц (рис.1.4).

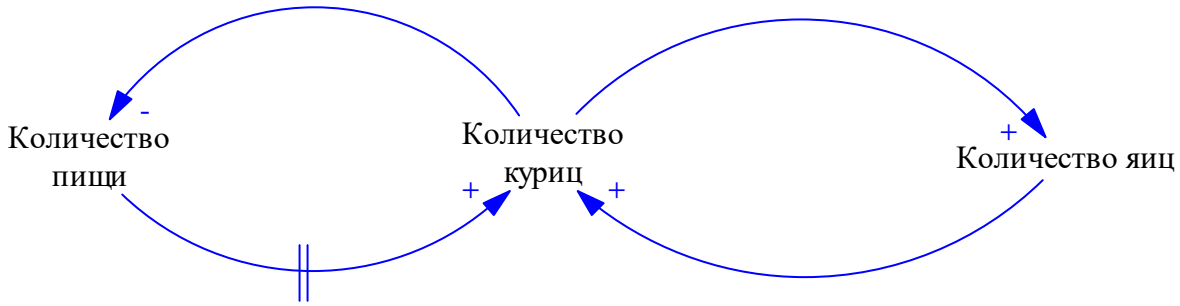

Рис.1.4. Когнитивная диаграмма, описывающая взаимовлияние количества пищи, количества куриц и количества яиц.

Две наклонные черты на связи- символ временной задержки, показывающий, что связь срабатывает не мгновенно, а спустя некоторое время. Для нашей диаграммы это означает, что количество пищи начинает оказывать влияние на количество куриц не сразу, а лишь после того, как будет достигнут некоторый критический уровень соотношения количества пищи и количества куриц.

Важность анализа контуров обратных связей определяется тем, что усиливающие контуры отвечают за развитие системы, переход ее в новое состояние, а уравновешивающие контуры ответственны за устойчивость системы, ее способность парировать внешние воздействия.

Существует формальный критерий, позволяющий определить, является ли контур усиливающим или уравновешивающим: если число знаков «-» на связях контура четно или равно 0, то контур является усиливающим, а если число знаков «-» нечетно, то контур является уравновешивающим.

Когнитивные диаграммы состоят из множества усиливающих и уравновешивающих контуров обратных связей. Несмотря на то, что видов контуров всего два, при описании объекта получиться много таких контуров, к тому же соединенных друг с другом. Кроме того, связи между элементами могут быть нелинейными, а также срабатывать с задержкой. Все это вместе и является причиной сложной, труднопрогнозируемой динамики реальных объектов.

Перечислим основные причины сложности поведения и управления реальными объектами:

1. Любое принимаемое решение влияет на многие контуры обратных связей, приводя как к ожидаемым, так и неожиданным результатам.

2. Из-за тесных связей между показателями решения в прошлом влияют на будущую ситуацию и будущие решения.

3. Результат редко бывает пропорционален причине- связи между показателями носят сложный нелинейный характер.

4. Способность и правила выработки решений изменяются во времени, поскольку прошлый опыт используется для поиска новых путей достижения целей и преодоления препятствий.

5. В сложной системе причина и результат часто отдалены друг от друга как во времени, так и в пространстве, в то время как мы имеем тенденцию искать причину вблизи следствий. Сложность причинно-следственных связей часто неочевидна.

6. Сложность систем, элементами которых мы являемся, может быть выше наших способностей понимать их. Как следствие, многие, на первый взгляд, очевидные, пути решения проблем неудачны, т.к. мы не учитываем сопротивления нашим решениям, которые могут возникать в системах в ответ на наши действия.

7. Временные задержки в петлях обратных связей приводят к тому, что долговременные реакции системы на наши действия отличаются от кратковременной реакции на них. Поэтому часто после кратковременного улучшения ситуации она снова ухудшается.

1.3. Потоковое моделирование

Рассмотренные выше когнитивные диаграммы позволяют лишь качественно описать связи между показателями, однако непригодны для количественного описания и прогнозирования динамики объекта исследования. Следующим этапом системного динамического моделирования является разработка математической модели, включающей математическое (в виде формул) описание связей между показателями, позволяющей прогнозировать их динамику.

Существует большое количество классов математических моделей, которые можно использовать для моделирования динамики различных объектов. Наиболее часто для описания динамики используются системы дифференциальных уравнений. Так как систему дифференциальных уравнений редко удается решить аналитически, для ее решения используют численные методы.

Мы рассмотрим один метод разработки математических моделей динамики объектов исследования- потоковое моделирование.

Потоковое моделирование основано на четырех основных принципах, в равной мере влияющих на эффективность применения метода.

Принцип 1. Динамику поведения объекта можно свести к изменению значений некоторого числа «уровней», а сами изменения регулировать потоками, наполняющими или исчерпывающими уровни. Уровень аккумулирует некоторое количество, являясь результатом входящих в него и выходящих из него потоков. Уровни описывают состояние объекта в любой момент времени, значения уровней представляют собой информацию, необходимую для принятия решений и обоснования управляющих воздействий. Уровни обеспечивают систему «инерцией» и «памятью».

Изменение уровней вызывается потоками. Поток может иметь фиксированное значение, а может быть управляемым, т.е. зависеть от значений уровней. Поток имеет направление.

Графически потоковую модель представляют в виде потоковой диаграммы. На диаграмме уровни обозначаются прямоугольниками, а потоки- двойными стрелками («труба с заданным направлением»), управляемый поток обозначается двойной стрелкой с вентилем, истоки и стоки за пределами исследуемого объекта обозначаются как «облака». Условные обозначения элементов потоковой диаграммы приведены на рис.2.1.

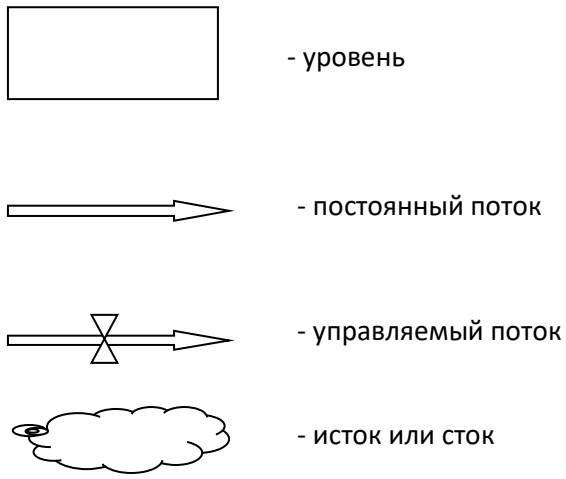

Рис.2.1. Условные обозначения элементов потоковой диаграммы.

Кроме перечисленных элементов, в потоковых диаграммах широко используются вспомогательные переменные, облегчающие понимание модели. Они выглядят как надписи.

Входящие и исходящие стрелки соединяют элементы потоковой диаграммы (потоки, уровни, вспомогательные переменные) друг с другом, отражая, какие переменные используются для вычисления данной переменной (входящие стрелки), а также для вычисления каких переменных используется данная переменная (исходящие стрелки).

Совокупность уровней и потоков, реализующих модель динамики объекта, представляет собой систему, очень похожую на водопровод, состоящий из емкостей (уровней) и соединяющих их труб (потоков). Количество воды в емкости в каждый момент времени будет определяться как количество воды в предыдущий момент времени плюс приток и минус отток за единицу времени. Математически это можно выразить следующим соотношением:

$$L(t+\Delta t) = L(t) + \sum_{i=1}^{r} PIn_i(t) * \Delta t - \sum_{j=1}^{k} POut_j(t) * \Delta t,$$

где $L(t+\Delta t)$- значение уровня в момент времени $t+\Delta t$;

$L(t)$- значение уровня в момент времени t;

$PIn_i(t)$- значение i-го входящего потока в момент времени t;

$POut_j(t)$- значение j-го выходящего потока в момент времени t;

r- количество входящих в уровень потоков;

k- количество выходящих из уровня потоков;

Δt- шаг моделирования.

Из этой формулы следует, что единицы измерения потоков и уровней взаимосвязаны: если уровень измеряется, например, в литрах, то входящие и выходящие из него потоки- в литрах в единицу времени.

Принцип 2. Изменения в системе обусловлены контурами обратной связи. Как уже упоминалось ранее, существует всего два вида контуров- усиливающий и уравновешивающий. Если усиливающие контуры генерируют рост, то уравновешивающие стремятся ограничить его, удержать систему в некотором устойчивом состоянии.

Принцип 3. Воздействие одних уровней на другие может иметь нелинейный характер, т.е. результат непропорционален причине.

Принцип 4. Системная динамика- инструмент исследования динамики сети взаимодействующих потоков и уровней. Его целесообразно применять, лишь когда традиционные подходы оказываются неэффективными.

Перечислим основные этапы потокового моделирования:

1. Анализ когнитивной диаграммы, определение перечня и типа переменных (уровень, поток или вспомогательная переменная) для разрабатываемой потоковой модели.
2. Разработка потоковой диаграммы, определение связей между переменными модели.
3. Математическое (в виде формул) описание расчета одних переменных модели на основании других.

4. Проверка полученной потоковой модели. Наиболее распространенным видом проверки является проверка соответствия между единицами измерения всех переменных модели.

5. Определение начальных значений уровней, шага моделирования и интервала моделирования- отрезка времени, в течение которого будем исследовать динамику переменных модели.

6. Расчет модели, оценка ее адекватности, при необходимости- доработка модели.

7. Проведение экспериментов с моделью для исследования и прогнозирования динамики поведения объекта исследования, поиска наилучших способов решения проблемы и т.д.

2. СИСТЕМНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПАКЕТЕ VENSIM

Знакомство с пакетом VENSIM

2.1.1. Интерфейс программы VENSIM

Программа VENSIM разработана фирмой Ventana Systems (фирма основана в 1985г.). Программа предназначена для разработки и исследования моделей динамики сложных систем с обратными связями. Существует несколько версий программы:

- Vensim PLE (Personal Learning Edition- версия для индивидуального обучения), бесплатная для использования в образовательных целях. Именно эта версия будет использоваться нами в работе. Ее можно скачать с сайта www.vensim.com.

- Vensim PLE Plus- более «продвинутая», но платная версия. Цена за одну копию составляет 169$. При покупке большего числа копий предоставляются существенные скидки.

- Vensim Professional, and DSS- мощное программное обеспечение для разработки и исследования сложных моделей, включая возможности интеграции с другими программами.

Интерфейс программы типичен для программ, работающих под управлением ОС WINDOWS- строка главного меню, под ней- панели инструментов. Основную часть окна занимает белое поле, предназначенное для создания и редактирования модели (рис.2.1).

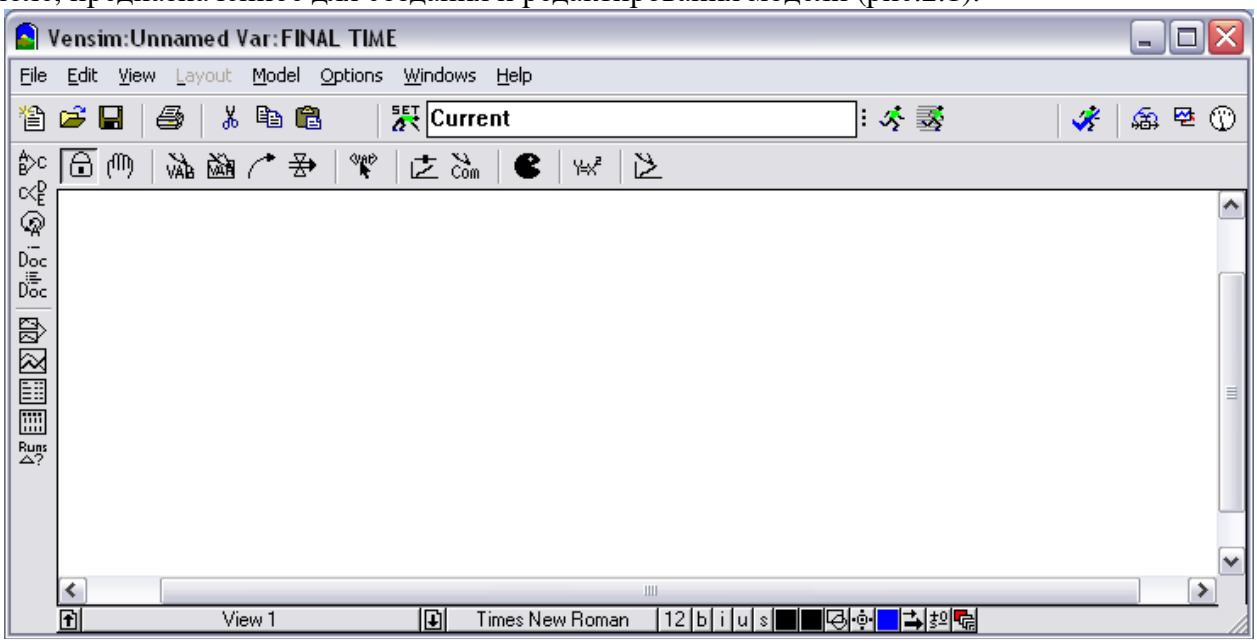

Рис.2.1. Интерфейс программы VENSIM PLE.

2.1.2. Разработка когнитивной модели в программе VENSIM

Согласно методологии системного динамического моделирования, первым шагом при построении модели является построение когнитивной диаграммы. Пример когнитивной диаграммы приведен на рис.2.1.

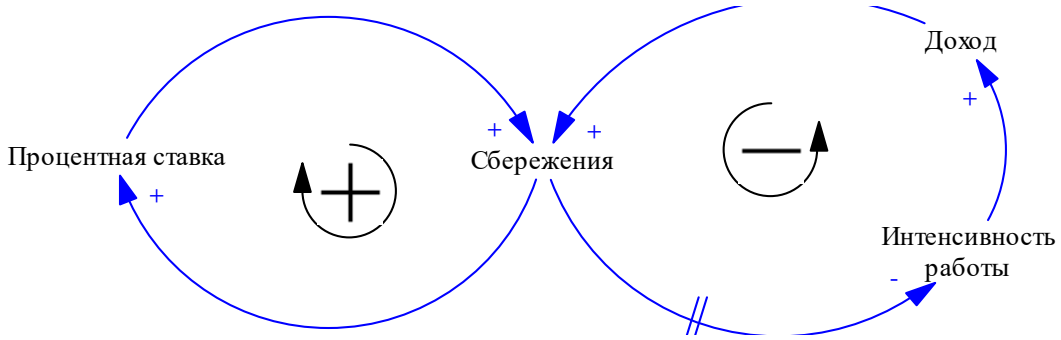

Рис.2.1. Когнитивная диаграмма сбережений индивида.

Данная диаграмма отражает следующие идеи: Сбережения индивида зависят от его дохода, причем зависимость прямая- чем больше доход, тем больше сбережения. Также на размер сбережений оказывает положительное влияние процентная ставка, под которой сбережения индивида хранятся в банке. В свою очередь, процентная ставка прямо зависит от величины сбережений индивида, т.к. обычно чем больше сумма вклада, тем более высокий процент предлагают банки. Доход индивида прямо зависит от интенсивности его труда. В свою очередь, интенсивность труда зависит от величины сбережений индивида, причем связь обратная- чем больше сбережения индивида, тем меньше стимулов у него работать. Кроме того, предполагается, что рост сбережений индивида приводит к снижению интенсивности его труда не сразу, а спустя некоторое время, в течение которого индивид осознает произошедшие перемены и перестраивает свою жизнь.

После построения когнитивной модели выполняется ее анализ. Во- первых, проверяется, все ли элементы и связи между ними приняты во внимание. Во- вторых, выполняется анализ контуров (петель) обратных связей в получившейся модели. В нашем примере контур Сбережения→Процентная ставка→Сбережения- усиливающий: рост сбережений приводит к росту процентной ставки, а рост процентной ставки, в свою очередь, приводит к еще большему росту сбережений. В уравновешивающем контуре начальное увеличение (уменьшение) переменной приводит в конечном счете к ее уменьшению (увеличению), т.е. исходное отклонение компенсируется. Контур Сбережения→Интенсивность работы→Доход→Сбережения- уравновешивающий: рост сбережений снижает интенсивность работы, что приводит к снижению дохода, а это в свою очередь, приводит к уменьшению сбережений. Можно определить тип контура и с помощью формального критерия: если число знаков «-» на стрелках, входящих в контур, равно 0 или четно, то контур усиливающий, иначе уравновешивающий. В нашем примере в контуре Сбережения→ Процентная ставка→Сбережения нет знаков «-», поэтому этот контур является усиливающим, в контуре Сбережения→ Интенсивность работы→ Доход→ Сбережения один знак «-», поэтому этот контур является уравновешивающим.

Построим с помощью программы VENSIM PLE когнитивную диаграмму уровня сбережений индивида, приведенную на рис.2.1.

Для этого выполните следующие шаги:

1. Запустите Vensim PLE.

2. Для ввода переменных Процентная ставка, Сбережения, Доход, Интенсивность работы воспользуйтесь кнопкой на панели инструментов. Для завершения создания переменных нажмите кнопку на панели инструментов.

3. Для рисования стрелок выберите на панели инструментов , щелкните мышью на переменной, из которой должна выходить стрелка, а затем- на переменной, в которую должна входить стрелка. В результате получится прямая стрелка от одной переменной к другой. В центре стрелки будем маленький кружок. Потяните его вверх или вниз- прямая стрелка превратится в дугу.

4. Чтобы поместить символ временной задержки на стрелку, в режиме Передвижение/Изменение размера (т.е. при нажатой кнопке) щелкните мышью на маленьком кружочке, расположенном на стрелке. Стрелка выделится. Затем щелкните правой кнопкой мыши, откроется окно **Настройки стрелки** (Options for Arrow). В этом окошке поставьте галочку

Символ задержки (Delay Mark). Для того, чтобы поместить знак + на стрелку, в том же окошке в разделе **Полярность** (Polarity) щелкните переключатель **+**. Нажмите **ОК**, чтобы закончить настройку параметров стрелки. Аналогичным образом настройте параметры остальных стрелок.

5. Для обозначения положительных и отрицательных контуров обратных связей выберите на панели инструментов инструмент (Комментарий к модели, Sketch Comment) и щелкните мышью внутри контура. Откроется окно **Описание комментария** (Comment Discription). В разделе **Изображение** (Image) выберите **+,** в разделе **Форма** (Shape) выберите форму контура- **Петля по часовой** или **против часовой стрелки** (Loop clkwse, Loop Counter), затем нажмите **ОК**. С помощью инструмента **Комментарий к модели** можно также добавить заголовок модели, а также любые другие надписи.

6. Сохраните модель (**File→Save** или кнопка). Созданную модель можно выделить, скопировать в буфер обмена и вставить как картинку в другой файл, например, в документ Microsoft Word. Попробуйте выполнить эти операции.

7. Vensim PLE представляет три средства для анализа логической структуры причинных циклов: «**Causes Tree- Причинное дерево», «Uses Tree- Дерево использования», «Loops- Петли**». Причинное дерево показывает переменные, влияющие на текущую переменную, дерево использования показывает переменные, на которые влияет текущая переменная, «**Loops- Петли**» же показывают контуры обратных связей, в которых участвует выбранная переменная. Для выбора текущей переменной в режиме щелкните по переменной (например, по переменной Сбережения). В заголовке программы появится имя выбранной переменной. На панели инструментов нажмите кнопку . Откроется окно, показывающее, какие переменные влияют на переменную Сбережения. Закройте это окно и нажмите на панели инструментов кнопку . Откроется окно, показывающее, на какие переменные влияет переменная Сбережения. Закройте это окно и нажмите кнопку на панели инструментов. В открывшемся окне будут перечислены петли обратных связей, в которых участвует переменная Сбережения. Для каждой петли будут перечислены переменные, ее составляющие.

Следующим этапом системного динамического моделирования является разработка **потоковой** модели. Потоковые модели- это количественные модели, включающие 3 вида элементов: потоки, уровни и вспомогательные переменные. Свое название эти модели получили от их гидравлической интерпретации: уровни- это резервуары, в которых накапливается что-либо, например, деньги, потоки- это трубы, по которым что либо, например, те же деньги, втекают, вытекают, перетекают из одного резервуара в другой. Вспомогательные переменные- это дополнительные переменные, используемые для расчета значений уровней и потоков в следующий момент времени.

Построим потоковую модель, описывающую взаимовлияние процентной ставки и сбережений. Потококая диаграмма модели приведен на рис.2.2.

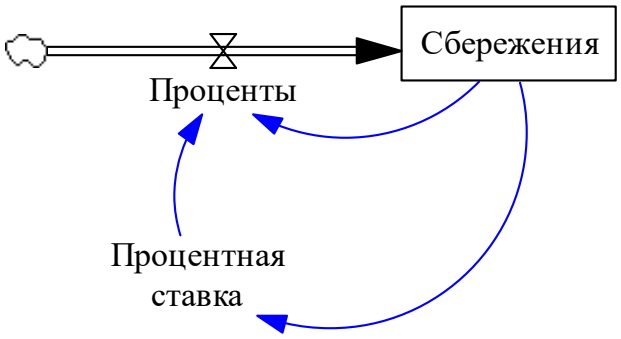

Рис.2.2. Потоковая диаграмма модель взаимовлияния процентной ставки и сбережений.

В нашем примере будет один уровень- сбережения, один поток- проценты, и одна вспомогательная переменная- процентная ставка. Логика модели такова: пусть в начальный момент времени сбережания составляют 120000 рублей. Процентная ставка измененяется по следующему закону: если сбережения меньше 150000, процентная ставка составляет 5% годовых, если сбережения от 150000 до 300000 руб., процентная ставка составляет 8% годовых, если сбережения больше 300000, то процентная ставка становится равной 10% годовых. Проценты

начисляются каждый день, соответственно, шаг моделирования целесообразно выбрать равным 1 день= 1/365 года= 0,0027 года. Цель нашего моделирования- определить, что будет происходить с нашими сбережениями в течение 10 лет.

Создайте в пакете Vensim PLE новый файл. При этом откроется окно настройки параметров модели: initial time (начальное время)=0, final time (время окончания моделирования, или интервал моделирования)= 10, time step (шаг моделирования)=0.0027, Units for Time (единица измерения времени)=Year (Год). Нажмите **ОК**, чтобы закрыть окно настроек параметров модели. В дальнейшем эти настройки можно будет изменить, выбрав в меню пункт **Model→ Setting** (Модель→ Настройка).

С помощью инструмента (Box Variable-Level, Уровень) создайте уровень Сбережения. Затем выберите инструмент , щелкните мышью слева от уровня Сбережения, а затем- внутри уровня Сбережения. В появившемся поле ввода введите название потока- Проценты, и нажмите на панели инструментов кнопку , чтобы выйти из режима создания потока. Теперь создадим дополнительную переменную Процентная ставка. Для этого на панели инструментов выберите инструмент , щелкните мышью на свободном месте и в появившемся поле ввода введите Процентная ставка. Затем на панели инструментов нажмите , чтобы выйти из режима создания переменной.

Теперь определим связи между созданными переменными. Для этого нужно нарисовать стрелки между переменными, непосредственно влияющими друг на друга. Проценты зависят от величины процентной ставки и сбережений. Процентная ставка зависит от величины сбережений. Таким образом, мы должны нарисовать три стрелки. В результате должна получиться следующая модель, показанная на рис.2.2.

После определения связей остается ввести формулы, описывающие законы изменения переменных.

1. Выделите переменную **Процентная ставка** и нажмите правую кнопку мыши. В открывшемся окне настроек нажмите кнопку **Equation** (Уравнение). В поле **=** нужно ввести функцию IF THEN ELSE(Сбережения<=150000, 0.05, IF THEN ELSE(Сбережения>150000:AND:Сбережения<300000, 0.08 , 0.1)). Функция IF THEN ELSE(условие, значение при истинности условия, значение при ложности условия) работает следующим образом: проверяется первый аргумент- истинно или ложно условие. Если условие истинно, то функция возвращает второй аргумент, если условие ложно- то третий аргумент. Функция :AND: «умножает» 2 условия, т.е. если оба условия истинны, то результатом функции :AND: будет истина, во всех остальных случаях результатом функции :AND: будет ложь. Функцию можно сформировать, пользуясь вкладками **Variables** (Переменные, на этой вкладке содержится список переменных, которые соединены исходящими стрелками с данной переменной), **Functions** (Функции, на этой вкладке содержится список встроенных в Vensim функций), **More** (Больше, на этой вкладке сосредоточены логические операторы).

2. Выделите переменную **Проценты** и в поле **=** введите **Сбережения*Процентная ставка**.

3. Выделите переменную **Сбережения** и в поле **=INTEG(** введите переменную **Проценты**, а в поле **Initial Value** (Начальное значение) введите 120000.

Проведем моделирование. Для этого панели инструментов нажмите кнопку (Run, Запустить). если вы все сделали правильно, по появится запрос на перезапись базы Current. Отвечайте Да. На экране промелькнет окошко. Чтобы посмотреть результаты моделирования, выберите одну из переменных и на панели инструментов нажмите кнопку . Откроется окно, показывающее динамику выбранной переменной. Аналогичным образом можно вывести графики динамики остальных переменных модели. Кнопка (causes strip, лента причин) позволяет в одном окне вывести динамику выбранной переменной и всех переменных, непосредственно влияющих на выбранную переменную.

Нажатие на кнопку приводит к появлению окна, в котором будет приведена формула вычисления выбранной переменной. Нажатие на кнопку позволяет вывести окно, в котором приводятся все уравнения модели. Нажатие на кнопку приводит к появлению окна с таблицей, в которой в строчку приводятся значения выбранной переменной в каждый момент времени.

Нажатие на кнопку приводит к появлению окна с таблицей, в которой в столбец приводятся значения выбранной переменной в каждый момент времени.

Разберемся, как же происходит расчет модели. В начальный момент времени t=0 начальное значение переменой- уровня Сбережения равно 120000. В следующий момент времени t=0.0027 рассчитываются сначала значения вспомогательных переменных (в нашем случае- переменной процентная ставка=0,05), затем- значения потоков (в нашем случае- поток Проценты=120000*0,05=6000- проценты в год со 120000 руб., затем- значения уровней (в нашем случае Сбережения=120000+Проценты*0,0027(шаг моделирования)= 120000+16,2=120016,2. После этого переходим к следующему моменту времени t=0.0054. Пересчитываем процентную ставку- Сбережения равны 1200016,2, следовательно, процентная ставка остается равной 0,05. Проценты= 120016,2*0,05= 6000,81, Сбережения= 120016,2+6000,81*0,0027= 120032,402187 и так далее до тех пор, пока t не станет больше времени окончания моделирования (final time, который мы задали равным 10 в самом начале при настройке параметров модели).

Изменим закон изменения процентной ставки: если сбережения меньше 150000, то процентная ставка равна 5%, если сбережения от 150000 до 250000, то процентная ставка 7%, если сбережения больше 250000, то процентная ставка равна 10%. Проведите моделирование, НО при проведении моделирования откажитесь от перезаписи базы current и сохраните результаты моделирования в другой файл, например, в файл current1. После этого просмотрите результаты моделирования. На графиках будут две линии- current и current1, что позволит сравнить динамику переменных при разных законах изменения процентной ставки. Если нужно убрать из графика один из прогонов, нажмите кнопку (Control Panel, Панель управления), в открывшемся окне перейдите на вкладку Datasets и переместите прогон, результаты которого в данный момент не нужны, в левый список. После этого закройте Панель управления и снова просмотрите графики.

Задания для самостоятельной работы:

1. Допустим, индивид копит деньги на машину. Стоимость машины составляет 300000 руб. Глядя на результаты моделирования, полученные ранее, видно, что такая сумма наберется только более чем через 10 лет. Поэтому индивид принял решение откладывать 30% от заработной платы на машину. Заработная плата индивида составляет 15000 руб./мес. Деньги, отложенные с заработной платы, индивид хранит дома (соответственно, на них не начисляются проценты). Нужно построить модель, позволяющую подсчитать, какое время теперь понадобится индивиду, чтобы накопить на машину.

2. Вспомним классические формулы сложного процента, позволяющие рассчитать, сколько денег будет на счете при ежемесячном, ежегодном и ежедневном начислении процентов (S-сумма на счете через n лет, R- годовая процентная ставка, n- количество лет, X- сумма на счете в начальный момент времени):

$S = X * (1 + R)^n$- при ежегодном начислении процентов;

$S = X * (1 + \frac{R}{12})^{n*12}$- при ежемесячном начислении процентов;

$S = X * (1 + \frac{R}{365})^{n*365}$- при ежедневном начислении процентов.

Нужно модифицировать потоковую модель таким образом, чтобы с ее помощью можно было рассчитать S соответственно при ежегодном, ежемесячном, ежедневном начислении процентов. Кроме того, выполнить расчеты по вышеприведенным формулам в Excel и сравнить полученные в Vensim и Excel результаты.

3. Изменить потоковую модель таким образом, чтобы описать динамику сбережений без капитализации процентов, т.е. по формуле простого процента (проценты начисляются только на начальную сумму вклада): $S = X * (1 + nR)$. Выполнить расчет по вышеприведенной формуле в Excel и сравнить полученные в Vensim и Excel результаты.

2. Разработка и исследование потоковой модели «Сарафанного радио» в пакете VENSIM PLE

Задание: Построить модель, описывающую эффект «сарафанного радио». Суть моделируемого явления состоит в следующем: количество продаж нового товара увеличивается, во-первых, за счет того, что потенциальные покупатели принимают решения по покупке товара,

если они общаются с людьми, уже купившими товар, а во-вторых, за счет продаж товара на замену людям, уже покупавшим товар. Потоковая диаграмма модели приведена на рис.2.3.

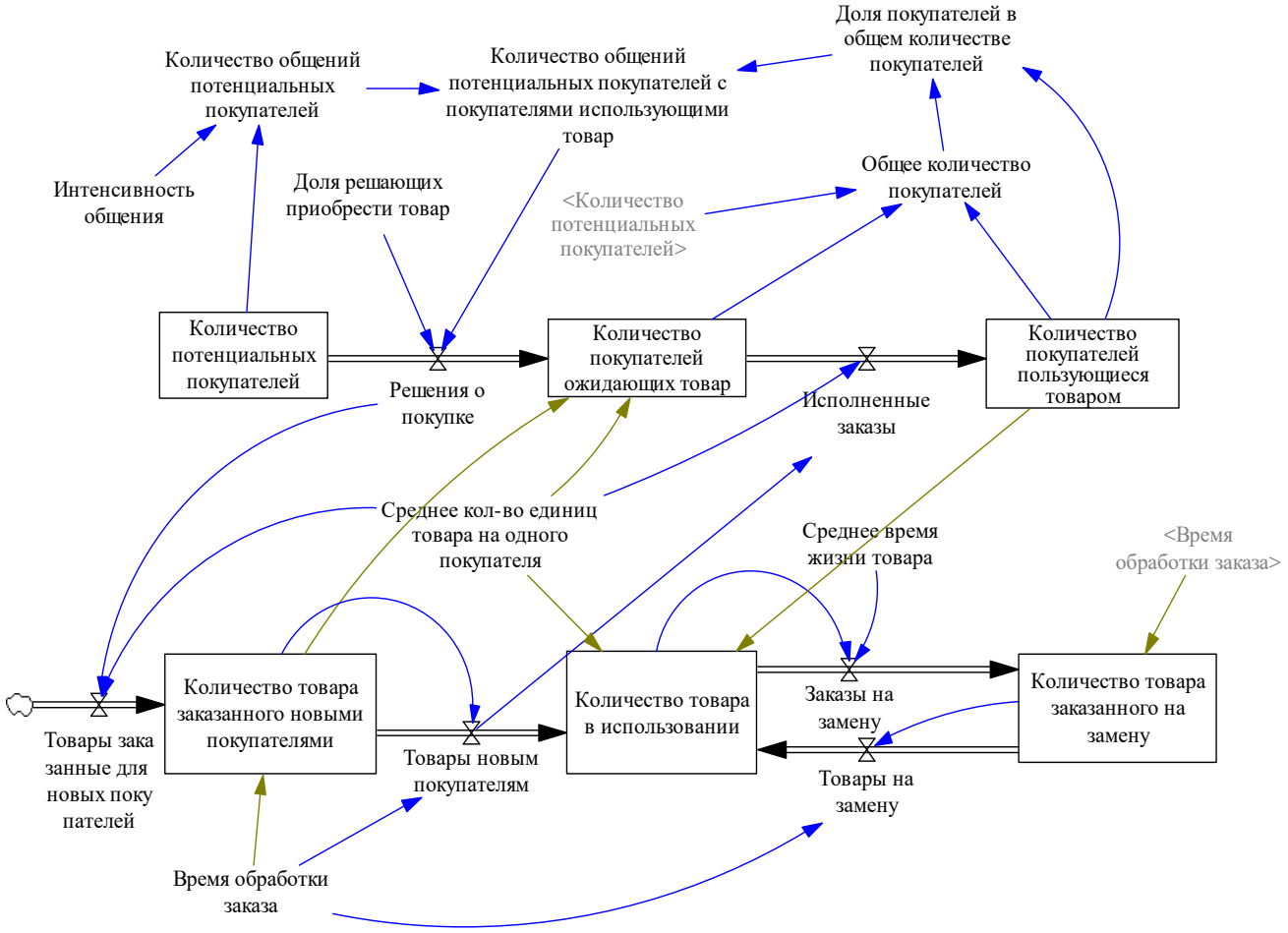

Рис.2.3. Потоковая диаграмма модели сарафанного радио

Уравнения модели:

(01) Время обработки заказа=0.125

Ед. измерения: Год

(02) Доля покупателей в общем количестве покупателей = Количество покупателей пользующиеся товаром/Общее количество покупателей

Ед. измерения: -

(03) Доля решающих приобрести товар = 0.005

Ед. измерения: -

(04) Заказы на замену = Количество товара в использовании/Среднее время жизни товара

Ед. измерения: {ед.товара/год}

(05) Интенсивность общения=500

Ед. измерения: общений/(Год*чел)

(06) Исполненные заказы = Товары новым покупателям/"Среднее кол-во единиц товара на одного покупателя"

Ед. измерения: {чел./год}

(07) Количество общений потенциальных покупателей = Интенсивность общения*Количество потенциальных покупателей

Ед. измерения: общений/Год

(08) Количество общений потенциальных покупателей с покупателями использующими товар =

Количество общений потенциальных покупателей*Доля покупателей в общем количестве покупателей

Ед. измерения: общений/Год

(09) Количество покупателей ожидающих товар = INTEG (Решения о покупке - Исполненные заказы, Количество товара заказанного новыми покупателями/"Среднее кол-во единиц товара на одного покупателя")

Ед. измерения: чел.

(10) Количество покупателей пользующиеся товаром = INTEG (Исполненные заказы,1000)

Ед. измерения: {чел.}

(11) Количество потенциальных покупателей = INTEG (-Решения о покупке,1e+007)

Ед. измерения: {чел.}

(12) Количество товара в использовании = INTEG (Товары новым покупателям - Заказы на замену + Товары на замену, Количество покупателей пользующиеся товаром*Среднее кол-во единиц товара на одного покупателя)

Ед. измерения: {ед.товара}

(13) Количество товара заказанного на замену = INTEG (Заказы на замену - Товары на замену, Время обработки заказа*Заказы на замену)

Ед. измерения: {ед.товара}

(14) Количество товара заказанного новыми покупателями = INTEG (Товары заказанные для новых покупателей-Товары новым покупателям, Товары заказанные для новых покупателей*Время обработки заказа)

Ед. измерения: {ед.товара}

(15) Общее количество покупателей = ACTIVE INITIAL (Количество покупателей ожидающих товар + Количество покупателей пользующиеся товаром + Количество потенциальных покупателей, Количество потенциальных покупателей)

Ед. измерения: {чел.}

(16) Решения о покупке = Количество общений потенциальных покупателей с покупателями использующими товар*Доля решающих приобрести товар

Ед. измерения: {чел./год}

(17) Среднее время жизни товара=2

Ед. измерения: Год

(18) "Среднее кол-во единиц товара на одного покупателя"=1

Ед. измерения: {ед.товара/чел.}

(19) Товары заказанные для новых покупателей =Решения о покупке*Среднее кол-во единиц товара на одного покупателя

Ед. измерения: {ед.товара/год}

(20) Товары на замену = Количество товара заказанного на замену/Время обработки заказа

Ед. измерения: {ед.товара/год}

(21) Товары новым покупателям = Количество товара заказанного новыми покупателями/Время обработки заказа

Ед. измерения: {ед.товара/год}

Описание синтаксиса некоторых используемых функций:

ACTIVE INITIAL (f_1, f_2)- функция, применяемая, если начальное значение переменной надо вычислить по одной формуле, а все последующие- по другой формуле. Начальное значение вычисляется по формуле f_2, все последующие- по формуле f_1.

INTEG (f_1, f_2)- функция, добавляющая к своему предыдущему значению результат вычисления функции f_1*шаг моделирования. Начальное значение задается функцией f_2.

Дополнительные замечания:

На рисунке имеются 2 типа стрелок- черного цвета и серого цвета. Стрелки черного цвета- это стрелки, показывающие переменные, участвующие в вычислении *текущего значения* переменной. Серые стрелки- это стрелки, показывающие переменные, участвующие в вычислении *начального значения* переменной.

По умолчанию серые стрелки на модели не отображаются. Чтобы включить их отображение, выберите в меню Model → Settings (Модель →Настройки), перейдите на вкладку

Sketch (Модель) и поставьте галочку в поле Show initial causes on model diagram (Показать начальные причины на диаграмме модели).

Кроме того, в модели имеются переменные, заключенные в < >. Это так называемые «теневые» переменные- переменные, которые уже есть в модели, но изображаются отдельно, чтобы не перегружать модель большим количеством пересечений стрелок, ухудшающих ее восприятие. Для создания теневой переменной нужно выбрать инструмент , щелкнуть мышью в том месте, где вы планируете поместить теневую переменную, в открывшемся окне Variable to add to sketch (Переменная для добавления в модель) в списке выбрать переменную, «тень» для которой вы создаете, и нажать ОК.

Задания для самостоятельной работы:

1. Рассчитать динамику модели при трех вариантах начальных условий: когда начальное значение переменной «Количество покупателей, пользующихся товаром» равно соответственно 1000, 10000, 100000. Проанализировать графики динамики переменных, сделать выводы.

2. Рассчитать динамику модели при разных значениях времени обработки заказа: 0.125, 0,05, 0,5. Проанализировать графики динамики переменных, сделать выводы.

3. Рассчитать динамику модели при разных значениях среднего времени жизни товара: 1, 2, 3. Проанализировать графики динамики переменных, сделать выводы.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен быть оформлен на листах формата А4 и содержать:

- титульный лист;
- формулировку задания, обоснование необходимости использования метода системного динамического моделирования;
- описание этапов выполнения задания;
- описание системной динамической модели;
- распечатку промежуточных и окончательных результатов моделирования (например, экранных форм с полученными графиками, списком уравнений модели и т.п.);
- интерпретацию результатов моделирования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова основная идея лежит в основе системного динамического моделирования?
2. Кто является основоположником метода системной динамики?
3. Перечислите этапы системного динамического моделирования.
4. Что такое когнитивная диаграмма, каковы этапы ее построения?
5. Дайте определение прямой и обратной связи. Как прямые и обратные связи отображаются на когнитивной диаграмме?
6. Что означает символ || на связи в когнитивной диаграмме?
7. Что такое контур обратных связей? Чем отличается усиливающий контур от уравновешивающего?
8. Назовите формальный критерий, позволяющий определить, является ли контур усиливающим или уравновешивающим.
9. Есть ли различие меду категориями «положительный контур обратной связи» и «усиливающий контур обратной связи»?
10. Перечислите основные причины динамической сложности систем.
11. Перечислите принципы, лежащие в основе потокового моделирования.
12. Что такое потоковая модель, из каких элементов она состоит?
13. Какие графические обозначения используются в потоковом моделировании?
14. Чем уровень отличается от других переменных?
15. Чем поток отличается от остальных переменных?
16. Как связаны единицы измерения уровней и потоков?
17. Где в программе Vensim настраивается временной интервал, на котором будет рассчитываться динамика модели?
18. Что такое шаг моделирования, где он настраивается в программе Vensim?
19. Как в в программе Vensim можно увидеть уравнения модели?
20. Какие в программе Vensim существуют способы изучения взаимосвязей между переменными модели?

21. Как в программе Vensim сохранить результаты предыдущего моделирования и сравнить их с результатами последнего прогона?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: «АСТ», 2003.

2. Медоуз Д. Пределы роста. 30 лет спустя, М.: «Академкнига», 2007.

3. Письма Римскому клубу. http://www.archipelag.ru/ agenda/strateg/future/correspondence