



В.Д. Левчук, И.В. Максимей, С.А. Скиба

Программный комплекс моделирования методами системной динамики

Введение

Как известно, большинство существующих систем имитационного моделирования ориентируются на имитацию сложных систем дискретного типа. Однако существует широкий класс задач, решение которых возможно лишь методами непрерывного моделирования. Так, использование непрерывных моделей очень эффективно при решении задач управления в области исследования информационных систем с обратными связями [1]. Одними из наиболее популярных среди методов непрерывного моделирования являются методы системной динамики. Они успешно применяются в задачах из сферы производства и экономики, торговли и городского хозяйства, из области социальных проблем, проблем экологии и охраны окружающей среды [2-6]. Достоинствами методов системной динамики можно считать относительную простоту проведения имитационных экспериментов с моделью, наличие богатого математического аппарата. Однако без большого преувеличения можно сказать, что методы системной динамики вряд ли оказались бы такими привлекательными для специалистов без языка потоковых диаграмм. Язык потоковых диаграмм дает возможность представлять в наглядной форме значительную часть той же информации, что и системы уравнений модели [7]. Это позволяет более эффективно участвовать в разработке модели экспертам в интересующей предметной области, не требуя от них высокой математической подготовки. Не смотря на то, что язык потоковых диаграмм значительно упрощает процесс построения модели, эта задача остается достаточно трудоемкой, и поэтому актуальна автоматизация ее различных этапов. Существующие средства работы с моделями системной динамики (МСД) не соответствуют уровню развития вычислительной техники и современным требованиям, предъявляемым к системам моделирования. Это является причиной того, что возможность использовать данные методы имеет лишь узкий круг специалистов. Настоящая работа посвящена решению этих проблем.

В работе описывается первая версия предлагаемой системы моделирования КИДОС, в основе которой лежат методы системной динамики. Ставятся задачи дальнейшего расширения возможностей комплекса.

1. Состав и структура СМ КИДОС 1.0.

Общая структура СМ КИДОС 1.0 отображена на рисунке 1. При этом использованы следующие сокращения: СОМО – содержательное описание моделируемого объекта; ППИЭ – построение планов имитационного эксперимента; ПИЭ – планы имитационного эксперимента; ПСД – причинно-следственная диаграмма; ППСД – преобразования причинно-следственной диаграммы в потоковую схему; АН – анализ неудачи преобразования; ВК –

визуальный конструктор; СДУ – система дифференциальных уравнений; УГМ – управляющая программа моделирования; АРЭ – анализ результатов эксперимента; ПД – потоковая диаграмма; УТ – уравнения темпов; М – мониторинг; РЭ – результаты эксперимента; СУТ – составление уравнений темпов.

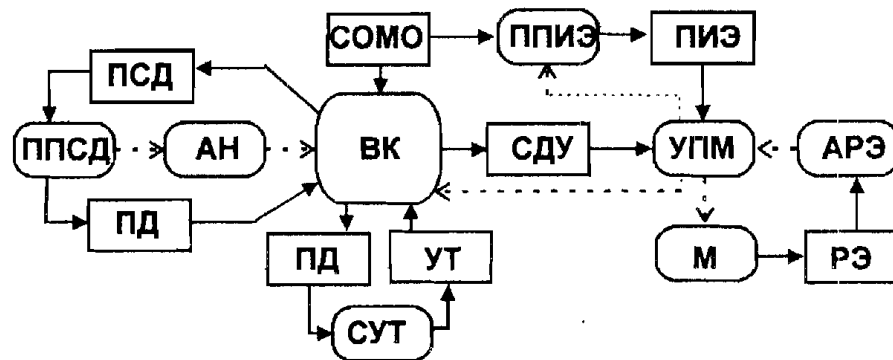


Рис.1. Обозначения: – программный модуль; – данные; – вызов подсистемы; – поток данных.

Рисунок отражает схему вызова модулей системы и обмен данными между этими модулями. На рисунке можно заметить основную структурную особенность программного комплекса. Главное назначение ВК – это построение графических схем. Однако на этапе построения модели визуальный конструктор, кроме основных своих функций, выполняет еще и роль ядра или управляющей программы. Это совмещение связано с тем, что на различных этапах построения модели удобно пользоваться различными средствами визуализации, входящими в ВК. Актуальность визуализации обусловлена спецификой методов разработки моделей системной динамики. Эти методы можно охарактеризовать как способы структуризации дифференциальных моделей, базирующиеся на концепции потоковой стратификации систем [7]. В рамках этой концепции системная динамика предлагает две нормативные схемы формирования общей структуры моделей. Эти схемы представляют собой два различных пути решения одной и той же задачи. Исследователю предоставляется возможность выбора конкретного пути. Рассмотрим этапы обеих схем:

Схема 1 (рис. 2). 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. Таким образом осуществляется ограничение модели. Далее выполняется анализ зафиксированных в разработанной диаграмме цепочек причинно-следственных связей и определяются факторы, которые описываются в модели уровнями и темпами. В результате, формируется сеть потоков модели. Выделяется и уточняется в качестве структуры, дополняющей сеть потоков в причинно-следственной диаграмме, информационная сеть модели.

Схема 2 (рис. 3). Выделяется множество основных материальных ингредиентов, динамику которых необходимо отобразить в модели. Таким образом осуществляется обособление модели. Далее для каждой выделенной совокупности однородных элементов системы определяется множество их возможных состояний и устанавливается структура переходов элементов ингредиентов из состояния в состояние. В результате формируется сеть потоков модели. Устанавливается структура причинно-следственных связей ме-

жду уровнями и темпами сети потоков, т. е. разрабатывается структура информационной сети модели.

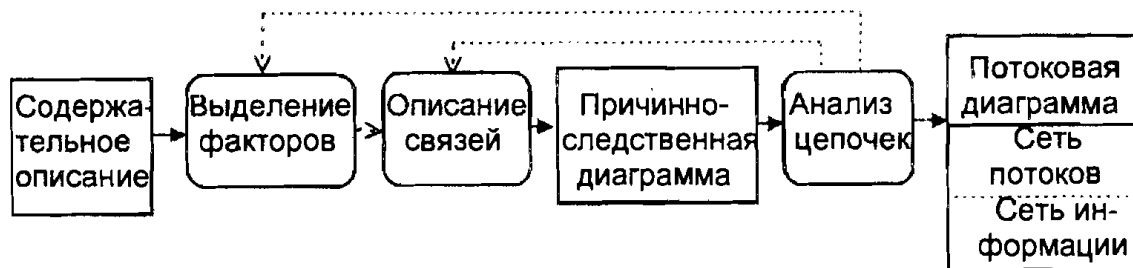


Рис. 2. Схема 1

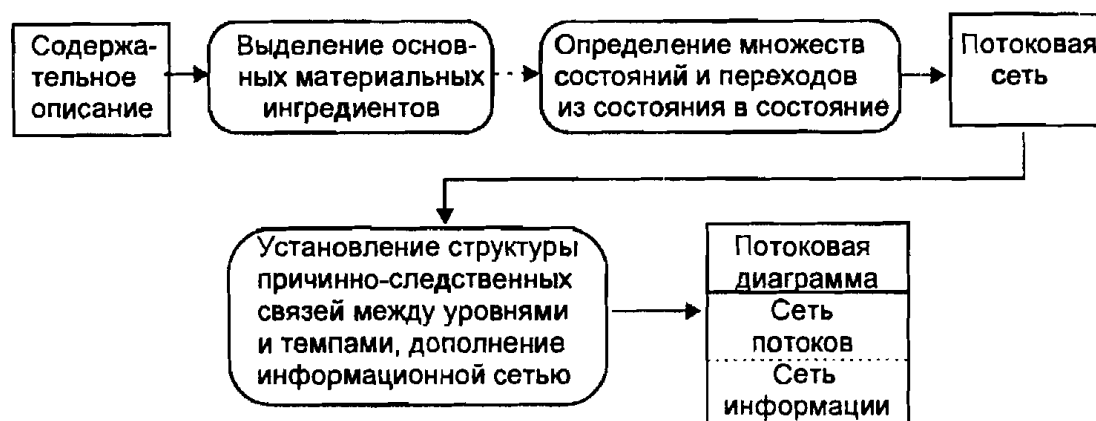


Рис. 3. Схема 2

Эти обе схемы являются лишь общими правилами структуризации системы. Тем не менее, в методическом плане рассмотрение обеих схем целесообразно, поскольку придает средствам формализации моделей системной динамики концептуальное единство [7].

Базовые средства СМ КИДОС 1.0 позволяют использовать как первую, так и вторую схему формирования общей структуры модели. В случае выбора **схемы 2** потоковая диаграмма строится непосредственно в ВК. Если же разработчик придерживается **схемы 1**, ВК позволяет предварительно строить причинно-следственную диаграмму. В СМ КИДОС 1.0 представлены средства автоматизации преобразования причинно-следственных диаграмм в потоковые схемы, разработанные на основе методов, описанных в [8]. Они реализуются в модуле ППСД.

Набор средств, представленных в модуле СУТ, используется для дополнения потоковой схемы четкими количественными соотношениями или, выражаясь языком системной динамики, для автоматизации построения уравнений темпов, структура которых описана информационной сетью модели.

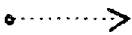
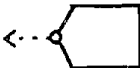
Когда модель построена, роль ядра комплекса начинает играть УПМ. Здесь задаются: параметры модели, начальное состояние, способы и формы отображения откликов модели, метод просчета СДУ, шаг моделирования и другая дополнительная информация. УПМ также реализует ИЭ, в основе которого в данном случае лежит процесс численного дифференцирования. Модуль ППИЭ обеспечивает автоматизацию подготовки планов ИЭ.

2. Технология использования СМ КИДОС.

Первым этапом моделирования методами системной динамики является построение потоковой диаграммы системы. Как отмечалось выше, потоковая диаграмма может быть построена как непосредственно в ВК, так и путем преобразования причинно-следственной диаграммы, которая, в свою очередь, тоже строится с помощью ВК. Таким образом, ВК может работать в двух режимах: построение потоковой диаграммы и построение причинно-следственной диаграммы. Эти режимы отличаются набором используемых базовых компонент и набором внешних средств, доступных разработчику. При построении потоковой диаграммы разработчик может в качестве языка пользоваться базовыми компонентами системной динамики, представленными в таблице 1. При построении причинно-следственной диаграммы доступны только компоненты, необходимые для построения орграфа. В обоих случаях используемые компоненты делятся на две группы: вершины и дуги. Работая с ВК, разработчик выбирает из имеющегося набора вершин необходимые и размещает их на схеме. С каждой вершиной может быть связана дополнительная информация. Вершины могут соединяться дугами, выбранными из соответствующего набора. В случае работы с потоковой диаграммой осуществляется контроль допустимости каждого соединения в соответствии с аксиоматикой системной динамики.

Таблица 1

Название	Условное обозначение		Назначение и условия использования
	Буквенное	Графическое	
Уровень	L		Узел потоковой сети диаграммы. Обозначает переменную состояния модели.
Темп	R		Обозначает скорость изменения переменных состояний (уровней), соединенных потоковой дугой, которая проходит через данный темп. Темп непосредственно может влиять только на уровни.
Потоковая связь	1		Дуга потоковой сети диаграммы. Проходит через темп. Может соединять уровни с источниками и стоками, а также уровни с уровнями. В последнем случае соединяемые уровни должны быть однородными (иметь одинаковые единицы измерения). Если потоковая дуга входит в уровень, это описывает увеличение его значения. Если исходит, он уменьшается.
Озеро	0		Нулевой узел потоковых сетей. Обозначает истоки и стоки потоковой сети.

Информационная связь	F		Дуга информационной сети диаграммы. Может соединять входы (параметры), вспомогательные переменные и уровни с темпами, вспомогательными переменными и выходами. Описывает прямую зависимость. Может соединять разнородные элементы.
Вспомогательная переменная	A		Вместе с дугами информационной связи 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.
Выход	S		Переменные модели, характер изменений которых во времени интересует исследователя.
Вход	C		Параметр модели либо константа.

При работе по **схеме 1** необходимо преобразование причинно-следственной диаграммы в потоковую. Этот процесс иногда называют "раскраской" орграфа. Это связано с тем, что промежуточным результатом этого преобразования является знаковый орграф $G(N, A)$, вершины которого "раскрашены" литерами шифров типов уравнений моделей: L – уровень; R – темп; A – вспомогательная переменная; C – вход (константа, параметр, экзогенная переменная); S – выход; а дуги – литерами I – для сети потоков и F – для сети информации. Получив такой орграф, легко перейти к потоковой диаграмме. Подробно методы получения потоковых раскрасок описаны в [8] и в [7].

Построение уравнений темпов модели осуществляется с помощью инструментов, представленных в модуле СУТ. Структура этих уравнений описана информационной сетью потоковой диаграммы. Составление уравнений темпов модели системной динамики представляет собой процесс перевода вербальных описаний взаимозависимостей факторов моделируемой проблемной ситуации на язык четких количественных соотношений. Методы системной динамики, в принципе, не связывают разработчика модели какими-либо жесткими требованиями, предъявляемыми к форме уравнений, за исключением требования корректности системы уравнений разрабатываемой модели. Поэтому нельзя рассматривать процедуры этого процесса как обязательные в любом случае алгоритмы. Вместе с тем, методика применения системной динамики предоставляет разработчикам некоторые общие приемы, облегчающие выбор и обоснование производящих функций темпов. В данную версию программного комплекса включены некоторые из таких приемов, а также набор средств, позволяющих автоматизировать построение производящих функций путем анализа имеющейся статистической информации о существ-

вующих зависимостях. Построив потоковую диаграмму и описав на предложенном языке уравнения темпов, с помощью комплекса получаем имитационную модель системы.

Технология подготовки и проведения эксперимента, используемая в СМ КИДОС 1.0, аналогична описываемой в [9]. Причем, управление имитационным экспериментом обеспечивает модуль УПМ.

Заключение

Таким образом, в первой версии СМ КИДОС реализованы базовые средства визуального конструирования моделей системной динамики. Предложены средства автоматизации построения потоковых диаграмм путем преобразования причинно-следственных графов моделей. Вместе с тем, для более эффективной работы необходимо расширение базовых компонент МСД за счет введения специальных компонент, которые позволят сокращать описания уравнений состояния высоких порядков. Необходимо расширение средств автоматизации построения уравнений темпов. Предполагается дополнить СМ КИДОС возможностью построения дискретно-непрерывных моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Максимей И.В.** Имитационное моделирование на ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. - 232 с.
2. **Иванилов Ю.П., Лотов А.В.** Математические модели в экономике. М.: Наука, 1979. - 304 с.
3. **Имитационное моделирование производственных систем** / Под общ. ред. член-корр. АН СССР **А.А. Вавилова**. М: Машиностроение; Берлин: Техник, 1983. - 416 с.
4. **Форрестер Дж.** Динамика развития города/Пер. с англ. М.: Прогресс, 1974. -287 с.
5. **Форрестер Дж.** Мировая динамика/Пер. с англ. М.: Наука, 1978. -168 с.
6. **Форрестер Дж.** Основы кибернетики предприятия/Пер. с англ. М.: Прогресс, 1971. -340 с.
7. **Технология системного моделирования** // **Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В.Емельянов** и др.; Под общ. ред. **С. В. Емельянова** и др. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. - 520 с.
8. **Burns J.R., Ulgen O.M., Beihts H.M.** An algorithm for converting signed digraphs to Forrester schematics. – IEEE Trans. Syst., Man., Cybern., vol. 9, no. 3, 1979. P.115-124.
9. **Maximiey I.V., Levchuk V.D., Sukach E.I.** Program technological complex of simulation modeling. Applied modeling and simulation. Proceeding International AMSI Conference. Ukraine, September 30. October 2, 1993. AMSI Press. P.40-45.

S U M M A R Y

In the article program complex of Simulation Modeling of continuous system is described on the basis of System Dynamics methods. It is suggested the technology for complex using.