

**ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА МОДЕЛИРОВАНИЯ
МЕДИКО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ****А. Б. Столбов (Иркутск)**

В настоящее время моделирование взаимодействия экологических и экономических систем с учетом здоровья населения представляет значительный интерес во всем мире. Одним из ключевых этапов моделирования является разработка математических моделей исследуемых систем. Построение медико-эколо-экономических моделей (МЭЭМ) является сложной задачей, вызванной междисциплинарным характером предметной области (ПрО) и отсутствием общепризнанных формальных принципов к их разработке. Математическое описание системы МЭЭМ представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Основная часть моделей и принципов их построения представлена в монографиях [1, 2, 3]. Результаты такого моделирования востребованы не только в научной среде, но и при разработке социально-экономической политики регионов разных уровней (страна, область, город).

Каждая конкретная МЭЭМ является результатом совместной работы коллектива экспертов и специалистов в области математического моделирования. В ходе такой работы могут применяться стандартные методы построения математических моделей; методы, характерные для исследуемой ПрО [1, 2, 3]; а также основанные на опыте коллектива разработчиков эвристические приемы, учитывающие специфические особенности конкретных ситуаций (наличие данных для моделирования, структура показателей моделей, возможность проведения натуральных экспериментов) и обеспечивающие выбор подходящих в сложившихся условиях методов моделирования. Поэтому возникает задача сохранения опыта построения МЭЭМ с целью его дальнейшего использования при проектировании и реализации других моделей. Для решения этой задачи предлагается обеспечить возможность формализации принципов построения модели в виде продукционных правил.

Существующие автоматизированные средства моделирования (AnyLogic, iThink, PowerSim, MVS) не предоставляют возможность самостоятельно задавать логику построения модели. Основной задачей, решаемой этими средствами автоматизации, является построение непротиворечивой и эффективной (по времени и/или точности) машинной модели, соответствующей заданной постановке, а также многовариантные расчеты с целью оптимизации и настройки параметров, организация обмена данными между модулями, отображение результатов. Но, так как класс уравнений, с помощью которых происходит моделирование, в нашем случае известен, то проблемы композиции разнородных компонент не существует. Поэтому основное внимание уделяется автоматизации процесса формирования моделей, который включает следующие этапы: выбор структуры основных показателей модели, выбор методов идентификации, формирование сценариев для задания поведения экзогенных переменных, проведение многовариантных расчетов и их анализ. Еще одним препятствием при применении существующих средств автоматизации моделирования является то, что в случае МЭЭМ требуется иная, чем для технических систем, схема идентификации, основанная на наблюдении не множества реализаций поведения динамического объекта в целом [1,2], а на экспериментах с отдельными его элементами, с которыми связаны те или иные параметры или группы параметров модели. Эти эксперименты могут быть как натурными, так и моделироваться.

В результате в рамках существующих автоматизированных средств моделирования сложно отразить специфические методы идентификации, формирования и анализа сценариев, характерных МЭЭ системам. Для решения некоторых подзадач эти методы могут быть

реализованы в виде отдельных модулей, но при этом ограничится возможность использования опыта модельера и эксперта в виде формализованных правил; увеличивается время, требуемое для отражения незначительных изменений в постановках задачи.

Постановка задачи формирования медико-эколого-экономических моделей

Под задачей формирования МЭЭМ понимается преобразование формализованных экспертных знаний специалиста-предметника, представленных в логической модели предметной области (ЛМПО), в знания о математической модели (ЗММ). Типовые процедуры, возникающие при формировании моделей для конкретных классов задач, будем называть процедурами формирования моделей (ПФМ). Под такими процедурами понимаются набор элементарных ходов, традиционно совершаемых модельером и экспертом на каждом этапе процесса построения МЭЭМ. Общая схема формирования математической модели представлена на рис. 1.

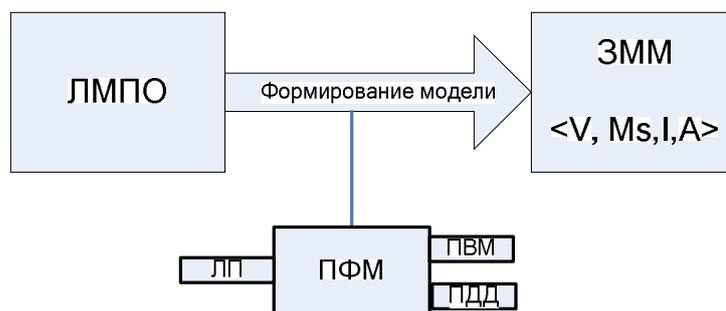


Рис. 1. Формирование математической модели

Логическая модель предметной области (ЛМПО) содержит описание предметной области с точки зрения эксперта-предметника. В ЛМПО знания носят описательный характер и организованы в виде фреймов. С их помощью эксперт-предметник описывает основные элементы и отношения исследуемой системы. При этом не предполагается, что эксперт должен иметь представление о способах построения математической модели. Основные объекты ЛМПО представляются в БЗ следующими фреймами:

1. Факторы – элементы, образующие моделируемую систему. На основании того, взаимодействие каких факторов пользователь хочет исследовать, определяются переменные модели.
2. Измерения – это отношение, которое устанавливает тип шкалы и единицы измерений для некоторого фактора.
3. Причинно-следственные отношения, которые используются, когда необходимо показать, что один фактор зависит от другого.
4. Структурные отношения, которые используются, когда необходимо разделить факторы по группам.
5. Функциональные отношения показывают вид математической функции, которой можно описать связь между факторами.

Знания о математической модели – это знания о структуре моделей, принципах их построения и используемых методах математического моделирования. Множество объектов ЗММ, которые используются в процессе формирования модели, на самом верхнем уровне можно разбить на 4 группы.

1. Множество переменных модели (V). Оно включает в себя эндогенные (определяемые на основе МЭЭМ) и экзогенные переменные.
2. Множество компонент структурных моделей (Ms). На основе Ms с точностью до параметров определяются виды математических соотношений, образующих МЭЭМ.
3. Множество методов идентификации параметров МЭЭМ (I).

4. Множество процедур исследования модели (А), в него для сохранения общности включены и способы решения полученной математической модели.

ПФМ представляются в виде тройки <ЛП, ПДД, ПВМ>, где ПВМ – это выполняемая в некоторой моделирующей подсистеме программная процедура, которая обеспечивает проведение необходимых в процессе формирования модели вычислений: генерация данных на основе имитационных моделей, определение параметров модели, использование численных методов для решения систем уравнений, задающих МЭЭМ и другое; процедуры доступа к данным (ПДД) – процедуры, извлекающие необходимые в процессе формирования модели данные, источниками которых могут быть базы данных; данные, использованные ранее при создании других МЭЭМ или являющиеся результатами вычислений по этим моделям; логические правила (ЛП) – это продукционные правила, моделирующие действия экспертов и модельеров в процессе построения МЭЭМ.

В случае формирования МЭЭМ наибольшее количество ПФМ связано с параметрической идентификацией.

В качестве примера рассмотрим ПФМ «Параметрическая идентификация методом идеализированного эксперимента», которая может быть использована для определения параметра связи между двумя эндогенными переменными в экологическом блоке МЭЭМ методом двухкомпонентного эксперимента. В рассматриваемом случае ПВМ осуществляет вычисление значения параметра по формуле, приведенной в [1]. ЛП определяют условия применимости ПВМ:

- существует ли предметная связь между переменными;
- используется ли подходящий тип математических соотношений для связи переменных (например, метод, рассмотренный в [1], работает для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений);
- имеются ли в наличии нужные данные для расчетов (для этого ЛП, обращаются к ПДД, которые извлекают все доступные данные для рассматриваемых переменных).

Если нужных данных не существует, то производится попытка их сгенерировать через вызов соответствующих ПФМ, отвечающих за генерацию данных для метода двухкомпонентного эксперимента.

Архитектура программной системы. Для решения задачи формирования МЭЭМ была разработана программная система поддержки процесса математического моделирования медико-эколого-экономических систем. Для реализации основных элементов программной системы (рис.2) использовались как собственные разработки авторов, так и широко известные программные средства, которые, если это было необходимо, соответствующим образом модифицировались.

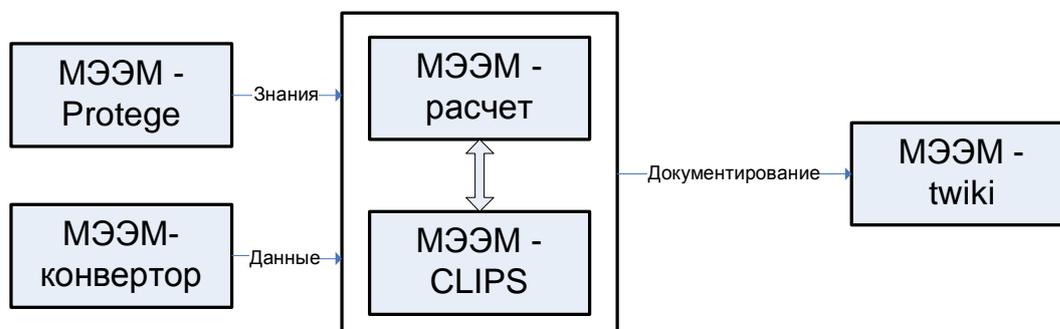


Рис. 2. Основные модули программной системы поддержки процесса математического моделирования

МЭЭМ – Protégé. Для сбора информации от пользователей и экспертов как средство приобретения знаний используется свободно распространяемая программа Protégé-frames [4]. На основе разработанной объектной модели предметной области Protégé предоставляет несколько вариантов графических элементов, с помощью которых возможен ввод информации. В случае описания МЭЭМ ввода знаний экспертом в предметной области происходит преимущественно через визуальный элемент Protégé – GraphWidget, который позволяет в удобной форме отобразить факторы и связывающие их отношения.

МЭЭМ – конвертор. Данные, используемые при идентификации параметров модели и сценарных расчетах, поступают из разных источников и в разных форматах. Для решения задачи автоматического преобразования информации из разных форматов и типов файлов в форматы программной системы разработан модуль преобразования данных. Информация о том, как интерпретировать данные (в основном, хранимые в Excel), какие интервалы или какие разделительные символы использованы в исходном форматировании, содержится в файлах настроек (XML файл).

МЭЭМ – расчет. Данный модуль основан на программной системе моделирования динамики заболеваемости населения [5]. В рамках интеллектуальной программной системы поддержки процесса МЭЭМ его возможности были значительно расширены. Данный модуль содержит большое количество процедур идентификации параметров МЭЭМ, позволяет проводить многовариантные расчеты и имеет: графический пользовательский интерфейс; программный интерфейс, через который осуществляется доступ к внутренним функциям, необходимым в процессе построения модели (создание и удаление объектов, вычисления, отображение результатов и т.д.).

МЭЭМ – CLIPS. Экспертная система моделирует действия экспертов при построении МЭЭМ. Она управляет процессом формирования модели и активно взаимодействует с модулем *МЭЭМ – расчет*, вызывая ее расчетные процедуры. Для реализации ЭС был выбран CLIPS (C Language Integrated Production System) [6]. CLIPS – это оболочка для построения экспертных систем, использующая для представления знаний продукции и фреймы. CLIPS полностью реализован на языке C, предоставляет интерфейсы для доступа к своим внутренним функциям и содержит механизмы для вызова функций, объявленных во внешних модулях. Исходные тексты программы CLIPS опубликованы в сети Интернет и являются свободными для использования.

МЭЭМ – TWIKI. Одной из важных задач при формировании моделей является документирование процесса их построения. С этой целью разработан модуль *МЭЭМ–TWIKI*. Данный модуль может также использоваться как FAQ система, архив файлов с моделями и средство взаимодействия разработчиков моделей. *МЭЭМ–TWIKI* основан на свободно распространяемой системе TWIKI [7]. В настоящее время модуль *МЭЭМ–TWIKI* находится в стадии наполнения информацией.

Практическое применение. Программная система активно применялась для параметрической идентификации и проведения многовариантных расчетов для разных вариантов медико-эколого-экономических моделей. Для моделей динамики заболеваемости населения городов Иркутской области [4], разработанными совместно с экспертами из Ангарского филиала научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека, рассматривались сценарии внедрения новых технологий на очистных сооружениях ТЭЦ города Ангарска и Ангарской нефтехимической компании. Для моделей хозяйственного развития Азиатской части России (АЧР), разработанных в рамках интеграционных проектов СО РАН № 40 и 79, рассматривались сценарии альтернативного развития АЧР в период с 1959 по 1989 год и предусматривались различные варианты перераспределения инвестиций между отраслями экономики, внедрения новых технологий, снижающих неблагоприятную нагрузку на окружающую среду.

Выводы. Рассмотренная в докладе программная система позволяет автоматизировать процесс разработки моделей медико-эколого-экономических систем на следующих этапах: выбор факторов, для которых создается модель; определение структуры эндогенных и экзогенных переменных; сборка структуры МЭЭМ из модельных блоков; параметрическая идентификация; верификация свойств модели; формирование и расчет сценариев. Это достигается за счет учета специфики как самих моделей (в основном это линейные обыкновенные дифференциальные уравнения), так и моделируемой предметной области. У разработчиков математических моделей появляется возможность, отработав некоторый подход к построению МЭЭМ на базовом объекте, сохранить этот подход в виде продукционных правил. Далее, модифицировав логическую модель предметной области, породить в автоматическом режиме новые модели. Например, разработав модель для некоторого региона, распространять ее на другие с учетом их специфических особенностей. Такой подход значительно сокращает время разработки МЭЭМ.

Литература

1. **Айламазян А. К., Гурман В. И., Дроздовский Э. Е. и др.** Взаимодействие природы и хозяйства Байкальского региона. Новосибирск: Наука, 1981.
2. **Гурман В. И. и др.** Эколого-экономическая стратегия развития региона. Новосибирск: Наука, 1990.
3. **Батурич В. А. и др.** Моделирование и оценка состояния медико-эколого-экономических систем. Новосибирск: Наука, 2005.
4. Официальный сайт Protégé: <http://protege.stanford.edu/>
5. **Ефимова Н. В., Столбов А. Б., Урбанович Д. Е.** Разработка программной системы моделирования динамики заболеваемости населения//Вестник ТГУ. Приложение. 2006. № 18. С. 161–166.
6. Официальный сайт CLIPS: <http://clipsrules.sourceforge.net/>.
7. Официальный сайт TWIKI: <http://www.twiki.org/>

Данная работа выполнена при финансовой поддержке гранта РГНФ № 09-02-00650 и междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 79.