

**НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННЫХ
МОДЕЛЕЙ****Г. М. Антонова (Москва)****Введение**

Оптимизация с помощью имитационных моделей выполняется уже более полувека. За несколько десятилетий, начиная со времени выполнения Лос-Аламосского проекта в США [1] и создания первых ЭВМ, разработано огромное количество разнообразных имитационных моделей сложных систем и технологий решения оптимизационных задач. Одна из первых работ в России [2] по оптимизации функционалов, представленных статистическими моделями, проведена В.А Старосельским в 1967 г. Яркие иллюстрации практического применения имитационного моделирования на макроязыке GPSS содержатся уже в широко известной монографии Т. Дж. Шрайбера [3]. От классического примера выбора оптимальных параметров производства для выпуска кирпичей у Т. Дж. Шрайбера до логистических моделей для крупных современных производств – все имитационные модели создаются с целью получения новой информации об изучаемом объекте. Они позволяют выбрать оптимальные (рациональные) параметры или структуру исследуемого объекта, сформировать прогноз поведения объекта в разных условиях, выявить опасные режимы функционирования, оценить границы эффективного функционирования моделируемой системы и т. п.

Примеры оптимизационно-имитационных систем

Разные виды имитационных моделей помогают решать различные задачи. Исключительно популярными в эпоху всеобщей компьютеризации стали компьютерные модели, т.е. реализованные на ЭВМ численные и имитационные модели, полученные алгоритмическими методами на основе результатов теоретических исследований. Пакеты компьютерной математики MatLab, MathCad, Maple, Mathematica, Derive, Reduce и др. позволяют построить компьютерную модель на основе аналитической или численной модели, а затем упростить и ускорить процесс вычислений для выбранных значений параметров. Близость компьютерных моделей к непосредственным участникам производственных процессов увеличивает их полезность. Системы оперативного автоматизированного управления процессами, специализированные системы программирования и моделирования для разработки программ, которые переносятся непосредственно в техническую среду и управляют работой технических средств автоматизации (TRACE MODE 6, ISaGRAF и др.) работают в режиме реального времени и служат инструментом для предсказания и скорейшего устранения возникающих отклонений и нарушений технологического процесса.

Бизнес-модели помогают отразить все экономические особенности функционирования конкретного предприятия, холдинга или кластера. С их помощью выполняется документирование всех элементов производственной деятельности, подробный анализ и разработка структуры бизнес-процессов с учётом всех существующих взаимосвязей со всеми видами используемых ресурсов. С помощью такой модели, опираясь на различные аналитические методы, можно проверить целесообразность выполнения процедур, связанных с выпуском продукции, их оптимальность и прибыльность с точки зрения конечного результата. В современных условиях не только материальные, но и информационные ресурсы оказывают влияние на деятельность фирмы, поэтому моделирование бизнес-процессов обязательно включает модели, связанные с обработкой информации, внедрением электронного бизнеса и т.п.

Задачи планирования развития промышленного производства и регионов в крупных проектах, включающих инвестирование по различным направлениям или инвестирование в пределах одного направления по группе взаимосвязанных объектов, решаются с помощью оптимизации на основе имитационных моделей, включенных в структуру пакета прикладных программ инвестиционного планирования. Такой подход ускоряет поиск решения, сокращает объём имитационных экспериментов и позволяет сравнивать различные варианты финансовых вложений в одинаковых условиях функционирования благодаря наличию модели, которая, естественно, должна быть правильной и адекватной моделируемому объекту.

Эти пакеты прикладных программ содержат ядро, реализующее выбранную модель, и целый ряд дополнительных программных модулей для обработки финансовых отчетных данных, анализа, проверки статистических гипотез, формирования графических иллюстраций к полученным выводам и рекомендациям.

На рынке присутствуют две группы пакетов прикладных программ инвестиционного планирования: диагностические пакеты анализа финансовых результатов, полученных за время предыдущей деятельности, с формированием оценок и рекомендаций и пакеты прогнозирования развития в условиях инвестиций с выбором оптимальной стратегии инвестиций. В первой группе можно назвать ППП Audit-Expert («Эксперт Системс»), «ИНЭК-аналитик», «ИНЭК-холдинг» (компания ИНЭК) и ряд других, во второй – ТЭО–Инвест (ИПУ РАН), Альт-Инвест (фирма «Альт Инвест»), COMFAR (Computer Model for Feasibility Analysis and Reporting), PROPSPIN (Project Profile Screening and Pre-appraisal Information system), созданные в UNIDO, и др.

Использование СУБД для решения оптимизационных задач

Использование имитационных моделей для решения оптимизационных задач помимо проблемы адекватности модели требует решения проблемы сбора и хранения исходных данных. Адекватность модели недостижима при корректных алгоритмах обработки информации, но неточных или неполных исходных данных. Учёт динамических изменений ещё более усложняет эту задачу, поскольку требует привязки массивов исходных данных к моментам временной оси. Естественным направлением организации и упорядочения массивов исходных данных и результатов имитационных экспериментов является использование современных систем управления базами данных (СУБД). Однако увеличение масштабов модели резко увеличивает требования к СУБД в составе оптимизационно-имитационной системы.

Подробное описание использования СУБД при оптимизации на основе имитационной модели технической системы приведено в [4]. Для выбора области эффективности системы адаптивного регулирования мощности передатчика организуется автоматический перебор записей с результатами имитационных экспериментов, включающими значения параметров системы и значения выбранных показателей качества системы. Результаты имитационных экспериментов, т.е. промежуточные исходные данные, хранятся в реляционной базе данных и сортируются согласно предположениям о свойствах области эффективности с помощью запросов, составленных в режиме конструктора СУБД Access. В этом случае согласно алгоритму определения приближенного решения в задаче поиска области эффективности динамической стохастической системы велика доля «ручных» операций, что вполне согласуется с выбранным в [4] режимом использования СУБД Access.

Такой способ, однако, совершенно не применим для решения задач использования имитационных моделей при оптимизации человеко-машинных систем, функционирующих на большой территории и включающих огромное количество технических средств и коллективы операторов, инженеров, менеджеров и др. Оптимизация с ис-

пользованием таких моделей стала реальной при современном уровне развития вычислительных средств, языков программирования и алгоритмов моделирования крупномасштабных систем. Адекватная имитационная модель включает три вида элементов: элементы для моделирования технических агрегатов; элементы для описания логистики и финансовых операций; элементы оценки совершенствования организации производственного процесса, т.е. оценки мероприятий по расширению или сокращению производства, смене видов продукции, использованию инвестиций и т.п.

Среди последних достижений в области создания имитационных моделей крупномасштабных систем можно назвать оптимизационно-имитационную систему прогнозирования развития электроэнергетики [5, 6], модель развития нефтегазового комплекса удалённого региона [7] и модели развития предприятий нефтепереработки [8].

В модели [5, 6] исходные данные о предметной области содержат 200–350 тысяч переменных. Система уравнений состоит из 100–150 тысяч уравнений и неравенств. Матрица ограничений включает 1–2 млн. ненулевых элементов. Авторы работы называют алгоритм оптимизации с использованием имитационной модели оптимизационными расчётами, которые опираются на достижения в решении задач линейного программирования и возможности постреляционных баз данных. В постреляционных базах данных поля в записях могут содержать самостоятельные таблицы данных. Перебор при формировании выборки согласно запросу, сформулированному с помощью расширенного языка SQL, осуществляется с увеличенной скоростью, поэтому временные характеристики постреляционных СУБД существенно лучше, чем у реляционных СУБД.

Оптимизационно-имитационная система прогнозирования электроэнергетики создана в ИНЭИ РАН и содержит моделирующий информационный комплекс EPOS (Electric Power Optimization System) и информационно-расчётную систему СтраТЭК на основе многоуровневой иерархической постреляционной СУБД [5,6].

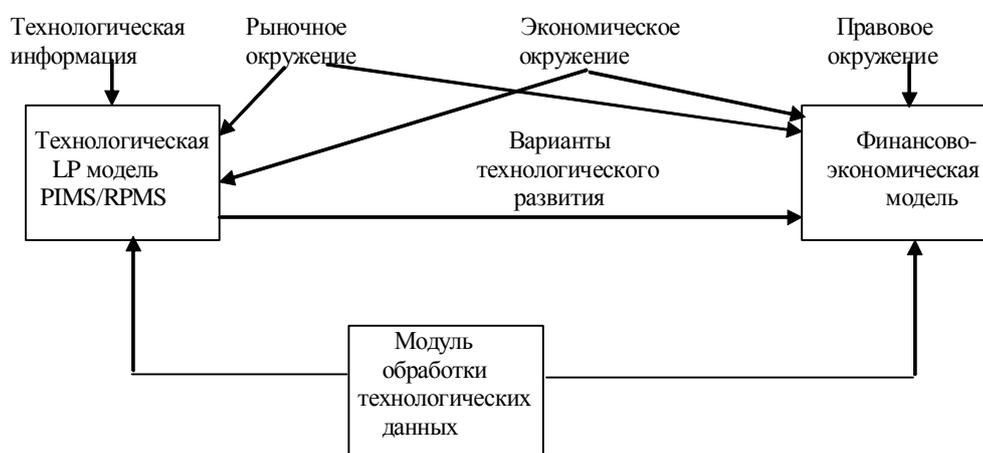
Для оптимизации выбран пакет линейного программирования из открытого программного обеспечения, т.е. пакет GLPK из LPL Free Package GNU.

Возможности этой оптимизационно-имитационной системы позволяют решать актуальные задачи выбора рациональной структуры генерирующих мощностей и оценки инвестиционных решений. Проводится оптимизация предельно детализированных инвестиционных и производственных программ отдельных энергокомпаний и условий снабжения этих компаний топливом на пятилетний период. В составе прогнозных задач реализована оценка эффективности размещения крупных новых электростанций и др.

Задачи развития удалённого региона помогает решать имитационная модель [7]. Оптимизация выполняется методом целочисленного программирования. Разнообразие и объём исходных данных обеспечивают решение задач оценки альтернативных вариантов очерёдности и динамики освоения совокупности месторождений, конкурсного выбора разработчиков для отдельных месторождений, проверки сроков освоения новых месторождений и объёмов необходимого финансирования, анализа возможных потерь. Одновременно согласовываются и уточняются планы социально-экономического развития региона, строительства трубопроводов, предприятий по обработке сырья и т.д.

Имитационная модель [8] для оценки региональных проектов развития предприятий нефтепереработки построена по схеме, показанной на рисунке. Модель включает блок данных для моделирования и оптимизации технологических элементов структуры предприятия и блок бизнес-моделирования и оптимизации финансово-экономической деятельности. Для решения оптимизационных задач авторы использовали методы математического программирования. Адекватность такой оптимизационно-имитационной модели при корректном описании элементов технических средств и технологии производства должна существенно возрасти, но и трудности выбора и реализации алгоритма моделирования и оптимизации, естественно, увеличиваются. Для оценки крупномас-

штабных региональных проектов развития предприятий нефтепереработки необходим большой объём исходных данных, описывающих технические и технологические условия на предприятиях нефтепереработки, финансово-экономические условия их деятельности, предполагаемые инвестиции и текущие потребности рынка.



Оптимизационно-имитационная система

Состав моделирующих блоков и информационные потоки, показанные на рисунке из [8], можно считать типовыми для современной сложной человеко-машинной системы, если абстрагироваться от предметной области, отражённой в системе PIMS/RPMS (Refinery and Petrochemical Modeling System). Переход к другой системе моделирования технической и технологической подсистем не изменит рассматриваемую структуру оптимизационно-имитационной модели. В предлагаемом виде она позволяет варьировать технические элементы и проверять качество модернизируемой системы или сравнивать предложения по модернизации для выбора наилучшего. При заданных технической и технологической структурах модель позволяет проверять эффективность инвестиций, смены продуктов, оценивать бизнес-планы. Таким образом, включение в имитационную модель технической и технологической подсистем не только повышает степень адекватности, но и расширяет спектр решаемых задач.

Заключение

Таким образом, обзор успешных примеров оптимизации с использованием имитационных моделей показывает, что адекватность модели можно обеспечить путём усложнения её структуры и учёта всех аспектов функционирования сложной системы. Связанная с ней проблема хранения исходных данных и результатов имитационных экспериментов, решение которой позволит ускорить формирование результатов исследования, в современных условиях требует использования СУБД одним из трёх способов.

В первом случае для алгоритмов, которые содержат большую долю плохо формализованных операций, требующих непосредственного участия исследователя, целесообразно выбрать коробочные варианты СУБД.

Во втором случае для оптимизационно-имитационных моделей крупномасштабных систем большой значимости целесообразно выполнить специализированные разработки фрагментов СУБД в составе оптимизационно-имитационной системы. Повы-

шение стоимости разработки будет компенсировано ростом эффективности практического применения созданных сложных моделей.

Третий способ станет возможным, когда появятся энтузиасты, готовые к созданию принципиально новых систем имитационного моделирования, объединяющих операторы моделирования и операторы формирования и обработки записей базы данных, включающей значения входных и выходных переменных, усреднённые результаты имитационного моделирования и другие необходимые сведения. Такие комплексные системы имитационного моделирования дадут новый импульс работам в области имитационного моделирования благодаря увеличению возможностей и скорости обработки результатов имитационных экспериментов.

Литература

1. **Metropolis N., Ulam S.** The Monte-Carlo Method // Journ. Am. Stat. Ass. 1949. Vol. 44, No. 247. P. 335–341.
2. **Старосельский В. А.** Об оптимизации функционалов, заданных статистической моделью // Экономика и математические методы. 1967. Т. 3. Вып. 3. С. 460–461.
3. **Шрайбер Т. Дж.** Моделирование на GPSS. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
4. **Антонова Г. М.** Идентификационный подход в исследовании стохастических систем, представленных имитационными моделями // Труды 2-й межд. конференции «Идентификация систем и задачи управления». М.: Институт проблем управления, 2003. С. 823–837.
5. **Веселов Ф. В., Курилов А. Е., Макарова А. С., Урванцева Л. В.** Проблемы моделирования в актуальных задачах прогнозирования электроэнергетики // Труды 1-й межд. конференции «Управление развитием крупномасштабных систем. MLSD'2007. М.: Институт проблем управления, 2007. С. 164–170.
6. **Курилов А. Е., Рудникова Г. Г., Хоршев А. А.** Инструментальные средства имитационного и оптимизационного моделирования в задачах прогнозирования и развития электроэнергетики // Труды 1-й межд. конференции «Управление развитием крупномасштабных систем. MLSD'2007. М.: Институт проблем управления, 2007. С. 137–145.
7. **Платонова В. Н., Соловьёв М. М.** Моделирование развития нефтегазового комплекса удалённого региона на примере республики Саха (Якутия) // Труды 1-й межд. конференции «Управление развитием крупномасштабных систем. MLSD'2007. М.: Институт проблем управления, 2007. С. 50–58.
8. **Соркин Л. Р., Шишорин Ю. Р., Карибский А. В.** Методология и проблемы разработки крупномасштабных региональных проектов развития предприятий нефтепереработки // Труды 2-й межд. конференции «Управление развитием крупномасштабных систем. MLSD'2008. М.: Институт проблем управления, 2008. С. 41–54.