

*К.Е. Смирнов<sup>1</sup>, В.Г. Напреенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти

<sup>2</sup> ООО «Центр стратегических инноваций»

## **Разработка и исследование возможности использования сетевых программных средств на основе аппарата недоопределенных вычислений для моделирования экономических процессов на примере страховой деятельности**

Изложены результаты работы по созданию программного обеспечения, расширяющего возможности экономико-математического моделирования. Особенностью разработки является моделирование в многопользовательском режиме с применением аппарата недоопределенных вычислений. Исследования проводились на примере страховой деятельности.

**Ключевые слова:** недоопределенные вычисления, web-технологии, экономико-математическое моделирование, страховая деятельность.

### **I. Введение**

Современная социально-экономическая ситуация в мире в развитии социально-экономических процессов характеризуется высокой степенью нестационарности и неопределенности. Другой важной особенностью управленческой и экономической ситуации, особенно для крупных компаний, является распределенный в пространстве и во времени характер подготовки управленческих решений, в котором участвуют многочисленные коллективы экспертов. Следствием этого стало появление всё большего числа компьютерных программных средств для обеспечения принятия оперативных и стратегических управленческих и экономических решений, которые обычно относят к категории бизнес-аналитики (BI).

В то же время приходится констатировать, что даже самые современные ИТ-инструменты, имеющие мощные средства хранения и обработки данных и развитые дружественные интерфейсы, используют, как правило, традиционные подходы создания экономических моделей, имеющие значительные ограничения при описании реальных экономических процессов. В результате сложилась ситуация, когда мощные и весьма дорогостоящие системы бизнес-аналитики имеют относительно несоразмерно менее мощную интеллектуальную «начинку».

Причиной описанной ситуации, на наш взгляд, является то, что практически единственным применяемым в научных и практических работах подходом к решению экономических задач математическими методами является построение математических моделей экономики на основе частных математических методов (дифференциальные уравнения, статистические и вероятностные методы и т.д.). Отличительной особенностью такого подхода является необходимость подбора для каждого класса экономических задач своего частного математического аппарата, что в значительном числе случаев не даёт возможности охватить всей сложности моделируемых процессов, а для широкого класса задач, связанных с недоопределенностью данных или плохой формализуемостью процессов, вообще получить хотя бы какое-то решение. Аналогичная ситуация характерна не только для экономики, но и для техники, а также других сфер человеческой деятельности, для которых фактор недоопределённости играет существенную роль. В работе страховых компаний влияние недоопределенности особенно заметно. Недоопределенными являются, например, такие существенные для страхования показатели, как ущерб от страхового случая и число страховых договоров, которые могут быть затронуты одним страховым случаем.

Целью настоящей работы является программная реализация и первичное исследование возможности применения принципиально иной технологии решения экономических задач на модельном примере деятельности страховой компании, основанной на применении математического аппарата недоопределенных моделей (Н-моделей) [1, 2] в многопользовательской сетевой обста-

новке. Применение разработанного в России аппарата Н-моделей, который относится к бурно развиваемому в мире направлению технологии «программирования в ограничениях» [3], благодаря его уникальным свойствам становится кардинальным выходом из описанной выше ситуации для весьма широкого класса научных и практических задач. Принципиальное отличие использования аппарата Н-моделей от описанного традиционного подхода в том, что он, благодаря универсальности этого аппарата для решения широкого класса математических задач, позволяет строить сложные разнородные компьютерные модели на единой программной основе и отказаться от разработки частных вычислительных алгоритмов при построении моделей. Метод Н-моделей уже показал свою эффективность для решения ряда экономических задач, в частности при моделировании инвестиционных проектов и моделировании региональной экономики [4].

Вместе с тем программное обеспечение Н-моделей, которое до настоящего времени использовалось для решения экономических задач, имело ограниченные функциональные характеристики, которые затрудняли построение сложных математических моделей. Это относится, в частности, к случаю, когда в процессе создания модели участвует не один человек, а коллектив разработчиков, в общем случае связанных между собой компьютерной сетью. Другим фактором являлось отсутствие привычного дружественного интерфейса. В данной работе разработана соответствующая многопользовательская программная система на основе аппарата Н-моделей, работающая в сетях Интранет и Интернет с привычным для экономистов интерфейсом, а также исследована принципиальная возможность ее применения для коллективного моделирования страховой деятельности.

## II. Выбор аппарата моделирования

Далее будут кратко изложены основные сведения о методе Н-моделей, а затем обоснован выбор данного аппарата для моделирования.

Недоопределенность — свойство данных и знаний, определяемое как частичное знание о сущности  $x$ , ограниченное информацией о том, что  $x$  принадлежит к некоторому конкретному множеству  $X$ . Уточнение данных об  $x$  приводит к сокращению множества  $X$ , в потенциале стягивающемуся до одного элемента, отображающего полную информацию об  $x$ .

Н-модель представляет собой набор ограничений  $R = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$  над переменными  $x_1, x_2, \dots, x_n$  с областями значений соответственно  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Ограничения могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений и т.п. Методы программирования в ограничениях, в частности метод Н-вычислений, обеспечивают автоматическое нахождение наборов значений  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , принадлежащих областям значений  $A_i, i = 1, 2, \dots, n$ , одновременно удовлетворяющих всем ограничениям из множества  $R$ .

В Н-моделях переменной сопоставляется недоопределенное значение (Н-значение). Это значение — оценка реального значения-денотата на основе доступной в данный момент информации. Н-значение является промежуточным между полной определенностью (точным значением) и полной неопределенностью (всем универсумом). Оно может уточняться при получении более точных данных.

Набор значений переменных удовлетворяет ограничению, если после подстановки таких значений в ограничение значение этого ограничения как булевого выражения есть «истина». Например, значения переменных  $x = -1, y = 1$  удовлетворяют ограничению  $(x + y)/2 \geq xy$ .

Примером Н-модели может служить следующий код:

```
int k; real x, y;
```

```
x^2 + 6.0*x = y - 2^k;
```

```
k*x + 7.7*y = 2.4;
```

```
(k - 1) ^ 2 < 4;
```

```
(ln (y + 2.0*x + 12.0) < (k + 5)) or (y > k^2) -> (x < 0.0) and (y < 1.0);
```

```
(x < 0.0) -> (k > 1);
```

Решение данной Н-модели:  $k = 2; x = -0.658479; y = 0.482722$ .

Перейдем к обоснованию выбора, используемого в работе аппарата моделирования.

Для традиционных математических моделей, применяемых в страховых расчетах, характерны:

- 1) алгоритмичность: разработчик модели должен сформировать алгоритм модели — определить последовательность вычислений, в соответствии с которой должна работать модель;
- 2) целевой характер: модель предназначается для решения конкретной задачи, а изменение задачи моделирования обычно ведет к изменению модели;
- 3) детерминированность системы математических зависимостей — корректной считается модель, содержащая зависимости, обеспечивающие однозначность точного решения, такая модель не может быть ни недоопределена, ни переопределена;
- 4) разделение всех параметров (показателей) на «входные» (аргументы) и «выходные» (функции);
- 5) ограничительный отбор используемой информации — при построении модели отбрасывается информация избыточная, противоречивая и такая, использовать которую затруднительно.

Эти особенности традиционного подхода далеко не во всем отвечают реальным потребностям моделирования экономики вообще и страховой деятельности в частности.

Искусственной является идея алгоритмичности — реальные экономические процессы формируются не в согласии с модельными алгоритмами. Работа по составлению алгоритма затрудняет процесс построения моделей, в итоге моделируемый объект не всегда адекватно отражает свойства реального.

Целевой характер моделей обуславливает необходимость строить все новые и новые модели для описания идентичных по сути экономических ситуаций, поскольку изучение одной и той же ситуации ведет к рассмотрению различных модельных задач.

Детерминированность системы математических зависимостей мешает адекватно отразить характерную для реальных задач неполноту знаний о рассматриваемых при моделировании зависимостях и величинах.

Разграничение «входов» и «выходов», как и трудности отбора используемой информации, осложняют моделирование. Кроме того, в процессе отбора используемой информации нередко возникают ошибки при оценивании полезности информации, а часть полезной информации просто теряется.

Несоответствие особенностей традиционного подхода реальным потребностям заставляет искать нетрадиционные подходы, для которых не были бы характерны алгоритмичность, узкоцелевой характер моделей, излишняя определенность, разграничение «входов» и «выходов», сложный отбор информации.

Кроме того, традиционный подход к моделированию страховых расчетов основывается на применении аппарата теории вероятностей. При этом используется моделирование недоопределенности случайностью. Однако использование теории вероятностей связано с определенными ограничениями. Во-первых, требуется знать вероятностные характеристики страховых процессов — такие, как вероятность наступления страхового случая. Во-вторых, случайность — лишь один из видов недоопределенности и в сложных ситуациях страховых расчетов ощущается потребность учесть недоопределенности более общего вида.

В свете сказанного к разработке программных средств моделирования мы предъявляем следующие требования.

1. Система моделирования должна допускать использование и обработку любой информации, имеющей отношение к задаче моделирования: фактических данных, экспертных оценок, теоретических представлений и т.п. Эта информация может быть неполной, избыточной и противоречивой.

2. Информация может одновременно задаваться, рассматриваться и корректироваться разными пользователями (с учетом ограничений, устанавливаемых для каждого пользователя), то есть должен быть обеспечен многопользовательский режим моделирования.

3. Значениями переменных модели считаются некоторые множества. Лишь в частном случае значение числовой переменной понимается как число, а не множество чисел. Поэтому в качестве значений можно использовать недоопределенные (множественные) оценки показателей, рассматривая не отдельные (иногда — весьма многочисленные) решения, а целые области решений.

4. Пользователи должны быть избавлены от необходимости составлять алгоритм расчетов и делить рассматриваемые переменные на «входные» и «выходные». Пользователи должны лишь определить список рассматриваемых переменных и математические условия (уравнения, неравенства), связывающие переменные друг с другом и ограничивающие их значения.

5. К системе рассматриваемых зависимостей не предъявляется требование однозначности решения. Система может быть и недоопределена, и переопределена.

6. С целью максимальных удобств в работе с моделью требуется осуществить интеграцию метода N-моделей со стандартными программными средствами (Microsoft Excel, локальные сетевые средства, Интернет), обеспечить возможность структурного представления N-модели и средств графического отображения данных, а также реализовать многотабличное представление N-модели.

Отметим, что выполнение названных требований придает новизну системе моделирования: известны системы моделирования, выполняющие часть названных требований, но всю совокупность названных требований не выполняет ни одна из известных нам систем.

### III. Разработанная система моделирования

Созданная на основе названных выше требований система имеет клиент-серверную архитектуру и предназначена для совместной работы пользователей (клиентов) с помощью сети (локальной или Интернет). Основным клиентским приложением, с помощью которого пользователь выполняет основные операции по редактированию модели, является табличный процессор. В качестве такого приложения была выбрана программная система Microsoft Excel. Главным назначением данной системы является ввод данных и расчетных зависимостей (рис. 1), их редактирование, отсылка на сервер и отображение полученных данных. Стоит отметить, что Microsoft Excel выполняет функции графической оболочки для работы с моделью, а основные вычислительные операции выполняются с помощью ядра на основе N-вычислений.

Вид страхования	Страховое возмещение по договору	Параметр кумуляции (максимальное возможное число договоров, запрашиваемое одним страховым случаем)	Нетто ставка	Необходимые ликвидные средства собственного удержания
НС	[10000, 11000]	2	0.200%	[10000000, 11000000]
ДМС	[100000, 110000]	10	2.000%	[50000000, 55000000]
Страхование пассажиров	[10000, 11000]	100	2.000%	[50000000, 55000000]
ВЗР	[5000, 7000]	1 000	4.000%	[125000000, 175000000]
Наземный транспорт	15 000	10	0.700%	21 428 571
Воздушный транспорт	10 000	10	0.650%	15 384 615
Водный транспорт	80 000	10	1.200%	66 666 667
Грузы	10 000	10	0.140%	71 428 571
Товары на складе	65 000	10	6.000%	10 833 333
Сельскохозяй. культуры	15 000	10	0.060%	250 000 000
Прочее имущество	10 000	10	0.750%	13 333 333
Финанс. риски	100 000	10	0.500%	200 000 000
Добров. страхование отв-ти автовладельца	18 000	10	0.800%	22 500 000
ОСАГО	25 000	10	0.250%	100 000 000
Ответственность перевозчика	10 000	10	0.400%	25 000 000
Источники повышенной опасности	100 000	10	0.250%	400 000 000
Профессиональная отв-ть	230 000	1	0.300%	76 666 667
Неисполнения обязательств	15 000	2	0.650%	4 615 385
Прочая ответственность	10 000	10	1.200%	8 333 333
Непропорц. перестрахование	100 000	12	0.140%	857 142 857

Рис. 1. Экранная форма модели с отображением интервальных и точных данных. Цифры — условные

Вследствие отличия способа обработки данных недоопределенной модели и их представления от используемого в Microsoft Excel, необходимой явилась разработка модулей, осуществляющих функции формирования недоопределенной модели для ее отсылки на сервер. Отсылка данных на сервер ведется по протоколу HTTP (S) с использованием библиотеки WinHTTP.

Серверная часть системы представляет собой набор модулей, выполняющих обработку полученных от клиента данных, операции по работе с базой данных (БД), взаимодействие с вычислительным ядром на основе недоопределенных вычислений и отсылку результатов вычислений (или извлеченных из БД данных) клиенту. Модули реализованы на языке PHP, для хранения данных используется реляционная БД MySQL. БД хранит данные, используемые в таблицах недоопределенной модели, с целью предоставления многопользовательского доступа к ним, что позволяет выполнять работу по коллективному созданию модели и дальнейшему моделированию. В зависимости от настроек веб-сервера модуль для взаимодействия с вычислительным ядром может быть выполнен на языке PHP или Perl. В последнем случае из основного PHP модуля происходит вызов программы на Perl, которая обращается к вычислительному ядру и возвращает данные о результатах вычислений в основной модуль. Результат работы основного модуля передается по сети в систему Microsoft Excel, и после обработки происходит отображение полученных данных в таблицах.

Реализованная функция многотабличного представления недоопределенной модели позволяет упростить работу по созданию недоопределенной модели с большим числом переменных путём разделения всей модели на блоки, представляемые на отдельных листах (таблицах). Это позволяет также разделить работу по созданию модели между несколькими пользователями, работающими над различными частями модели. При этом отладка частей модели может производиться как независимо от других пользователей, так и с учетом ограничений и значений переменных, внесенных ими в соответствующую часть таблицы. Связь переменных в различных таблицах осуществляется путем установки ссылок на другую таблицу. При необходимости отыскания причин несовместности в моделях большого размера подобное структурное разделение модели на несколько таблиц может заметно ускорить процесс поиска. Также данное средство позволяет оперировать крупными блоками недоопределенной модели, а не только отдельными ограничениями с возможностью подключения блоков, добавленных разными пользователями.

Реализованные в составе программной среды функции коллективной работы над недоопределенной моделью включают сохранение всей модели (или ее части) в БД на веб-сервере и загрузку последней актуальной копии модели (или ее части) из БД в таблицу. В общем случае порядок работы над моделью должен определяться заранее, и он, как правило, сводится к изменению отдельных блоков модели различными пользователями. В ряде случаев рабочие области таблиц различных пользователей могут перекрываться, при этом во избежание конфликтов следует уточнять порядок работы с ними и учитывать необходимость актуализации данных. Работа нескольких пользователей над одной частью модели может проходить, например, при совместной отладке модели или подборе значений показателей.

Функция сохранения всей модели в БД позволяет предоставить текущий вариант модели одного пользователя всем остальным пользователям системы, осуществляя перезапись имеющейся в таблице информации. В то же время сохранение части модели позволяет сохранить в БД блок модели, предназначенный для редактирования конкретным пользователем. Эта функция не затрагивает данные, которые могут редактироваться другими пользователями системы, и предоставляет тем самым возможность последующей актуализации данных при загрузке данных из БД. Операция получения актуальной копии модели (с учетом всех изменений) может быть произведена путем загрузки всей модели в таблицу. При необходимости загрузки только части таблицы данная часть модели может быть выделена в табличном процессоре, после этого с сервера будет получен только данный блок ограничений и значений переменных.

#### IV. Некоторые пояснения

Формальная переопределенность системы математических зависимостей в рамках рассматриваемого подхода к моделированию не приводит к отсутствию решения лишь тогда, когда су-

ществует фактическая недоопределенность, — систему уравнений, связывающих фиксированное число показателей, можно без потери решения дополнять лишь постольку, поскольку уравнения приближенны и в пределах своей погрешности не конфликтуют одно с другим.

Отказ от алгоритмичности не означает отсутствия в расчетах какого-либо алгоритма. Речь идет лишь о том, что алгоритм перестает быть важной характеристикой и неотъемлемой частью модели и превращается в малосущественную для пользователя особенность вычислительного процесса [5]. Отказ от алгоритмичности в какой-то мере устраняет скрытые противоречия модели и алгоритма: модель описывает реальный объект — алгоритм определяет искусственный процесс вычислений, все показатели модели взаимосвязаны и в этом равноправны — алгоритм предполагает разделение показателей на аргументы и функции, то есть предусматривает явное неравноправие показателей, модель может быть недоопределенной — алгоритм должен быть определен.

Принципиально важно различать неизвестное фактическое значение моделируемого показателя и его недоопределенную оценку, с которой работает модель. Недоопределенность показателей в модели не означает, что эти показатели не могут иметь точного значения, она указывает лишь на то, что мы не знаем, какому из конкретных значений в рамках текущей недоопределенной оценки оно равно.

Результат недоопределенного моделирования выражает согласующуюся с учтенными при моделировании знаниями оценку всей системы взаимосвязанных показателей. Уточнение любого недоопределенного показателя или любой недоопределенной связи показателей уточняет в общем случае все модельные оценки.

Результат недоопределенного моделирования может отсутствовать (нет решения), если используемая информация противоречива.

## V. Содержательная суть модели

С целью исследования возможности применения разработанного программного обеспечения в многопользовательском режиме была создана Н-модель страховой деятельности.

В рассматриваемой модели страховая деятельность описывается как некоторое множество показателей (переменных моделирования), причем в роли этих показателей выступают:

- виды договоров страховой деятельности (используется группировка договоров по видам, родственным с точки зрения моделирования),
- число договоров (всего за год и максимальное по одному страховому случаю),
- страховое возмещение по договору,
- параметры страховых ставок и риска (вероятность страхового случая, рисковая надбавка, ставка нагрузки, доля прибыли в нагрузке, нетто-ставка, брутто-ставка),
- параметры перестрахования (необходимые ликвидные средства собственного удержания при отсутствии перестраховки; доля риска, не требующая перестрахования),
- финансовые сборы страховой компании (годовой сбор нетто-премии, годовой сбор брутто-премии, годовой сбор премиальной нагрузки, годовая прибыль),
- показатели наличия у страховой компании собственных средств (все собственные средства, ликвидные собственные средства и др.),
- дополнительные параметры, включая параметры налогообложения и параметры финансовой эффективности деятельности компании.

На показатели наложены ограничения, в числе которых — нормативные ограничения (коэффициентами рисков, нормами достаточности капитала, параметрами налогов), системные ограничения (например, уравнениями связей параметров страховых ставок и риска), требования к

качеству финансового менеджмента и др. По математической форме ограничения в общем случае могут иметь вид смеси линейных и нелинейных уравнений и неравенств, логических условий (например — условий типа «если..., то...») и условий максимума либо минимума. Возможна ситуация, когда некоторые ограничения имеют вид неявных функций.

Ограничения можно разделить на обязательные (их присутствие в задаче известно заранее) и произвольные (их вид и необходимость учета зависят от задачи моделирования).

Множество ограничений лимитирует множества значений рассматриваемых переменных и связывает эти переменные друг с другом. При этом значения переменных (неоднозначные множественные либо однозначные) зависят одно от другого и от ограничений так, что изменение любого из показателей способно вызвать изменения других показателей. В результате моделирование сводится к отслеживанию того, как изменение одного из показателей либо ограничений влияет на границы других показателей.

В зависимости от практических потребностей моделирования могут определяться

- граничные значения и соотношения показателей, отвечающие заданным расчетным условиям;
- оптимальные значения и соотношения показателей, определяемые тем или иным критерием оптимальности;
- любые сочетания одних рассматриваемых показателей (статей баланса, нормативов, показателей финансового рынка и качества менеджмента) в зависимости от других показателей.

В разработанной системе модель представлена в табличной форме, позволяющей осуществлять ввод ограничений и значений переменных, в том числе с несколькими ограничениями для одной ячейки (рис. 2).

	A	B	C	D	E
1	<b>Расчет ликвидных средств собственного удержания</b>				
2	<i>Вид страхования</i>	<i>Страховое возмещение по договору</i>	<i>Параметр кумуляции (максимальное возможное число договоров, затрагиваемое одним страховым случаем)</i>	<i>Нетто ставка</i>	<i>Необходимые ликвидные средства собственного удержания</i>
3	НС				
4	ДМС				
5	Страхование пассажиров				

Рис. 2. Экранная форма модели с отображением расчетных формул. Система позволяет задавать для одной ячейки электронной таблицы несколько расчетных условий, которые должны выполняться совместно

В процессе работы пользователи имеют возможность шаг за шагом уточнять условия расчета, что приводит к уточнению всех ограниченных этими условиями показателей модели (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Значение показателя  
«Прогнозируемый годовой сбор  
страховой премии» на разных шагах  
расчета модели**

Шаг расчета, №	Значение показателя
1	[10000000, 12000000]
2	[10500000, 11300000]
3	[10970000, 11100000]
4	11 000 000

Помимо изложенных выше функций коллективной работы над недоопределенной моделью, разработанная программная среда обеспечивает повышение эффективности работы при уточнении недоопределенных переменных в моделях большого объёма. Так как используемая в модели информация не всегда может быть доступна каждому пользователю (например, из-за территориальной удаленности или отсутствия прав на ее получение), при поступлении новой информации к какому-либо из пользователей последний вносит данные в модель. За счет этого уточняются все переменные (в т.ч. содержащиеся в подмоделях других пользователей), на которые повлияла поступившая информация.

## VI. Заключение

В работе впервые создана экспериментальная многопользовательская программная система для коллективного моделирования экономических процессов в условиях недоопределенности на базе аппарата Н-моделей. Предложен метод многотабличного представления Н-моделей, отличающийся возможностью многопользовательской работы с частями таблицы.

Проведенные модельные эксперименты на материале деятельности страховой компании показывают, что разработанная технология моделирования является весьма удобным средством модельных исследований. Обеспечивается простой и адекватный учет различных недоопределенностей, произвольное наращивание системы отношений между параметрами модели, решение прямых, обратных и смешанных задач, легкое изменение состава «входов» и «выходов» в рамках выбранного списка переменных, учет сложных нелинейных и логических условий (ограничений) и др., что недоступно традиционным методам решения экономических задач.

Разработанное программное обеспечение значительно повышает эффективность работы с моделями большой размерности за счет средств структурного представления модели и функций коллективной работы над моделью.

## Литература

1. Нариньяни А.С., Телерман В.В., Ушаков Д.М., Швецов И.Е. Программирование в ограничениях и недоопределенные модели // Информационные технологии. — 1998. — № 7. — С. 13–22.
2. Напреенко В.Г. Синтез многопараметрических моделей экономики по неполным и противоречивым данным // Труды 8-й международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». — 2006.
3. Nyvonen E. Constrain reasoning based on interval arithmetic: the tolerance propagation approach // Artificial Intelligence. — 1992. — V. 58. — P. 71–112.
4. Напреенко В.Г. Применение технологии Н-моделей к задачам экономики и финансов // Приложение к журн. «Информационные технологии». — 2008. — № 6.
5. Нариньяни А.С. Модель или алгоритм: новая парадигма информационной технологии // Информационные технологии. — 1997. — № 4.

Поступила в редакцию 21.06.2010.