

Общероссийский математический портал

С. А. Суслов, М. А. Кондратьев, К. В. Сергеев, Агентное моделирование как средство анализа и прогноза спроса на энергоресурсы,
Пробл. управл., 2010, выпуск 2, 46–52

<https://www.mathnet.ru/pu20>

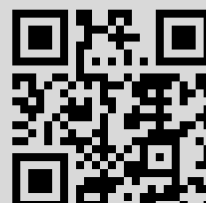
Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<https://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.86

21 мая 2025 г., 08:42:46



АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА СПРОСА НА ЭНЕРГОРЕСУРСЫ

С.А. Суслов, М.А. Кондратьев, К.В. Сергеев

Рассмотрена методика прогнозирования спроса на энергоресурсы на основе имитационной модели. Описаны преимущества применения агентного имитационного моделирования, предложен метод задания агентов-потребителей энергоресурсов в среде имитационного моделирования AnyLogic, разработана методика оценки рисков инвестиционных проектов с помощью имитационного моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентный подход, AnyLogic, прогнозирование спроса на энергоресурсы, управление на основе моделей, оценка рисков, система поддержки принятия решений.

ВВЕДЕНИЕ: ЗАДАЧА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА СПРОСА

При разработке инвестиционных проектов развития систем энергоснабжения один из определяющих факторов экономической эффективности проектов заключается в адекватной оценке прогнозного спроса на энергоресурсы (мазут, уголь, торф, электроэнергия, сжиженный и природный газ и др.). Эта оценка может быть получена на основе кривой эластичности спроса по цене, характеризующей влияние цены энергоресурса на спрос со стороны потребителей. Разница между прогнозным спросом и фактическим потреблением составляет потенциал развития сбыта данного энергоресурса в регионе. В зависимости от значения этого потенциала можно принимать решения о размерах инвестиций в распределительные сети, сроках ввода новых объектов в соответствии с динамикой спроса.

Цель настоящей работы состоит в построении автоматизированной системы поддержки принятия решений (СППР), позволяющей путем параметризации цены энергоресурса алгоритмически построить семейство функций спроса (кривых эластичности спроса по цене) при различных вариантах цен на альтернативное топливо. Выбор объемов потребления напрямую влияет на коммерческий риск при реализации проекта, что указывает на необходимость его прогнозирования.

1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕНОВОЙ ЭЛАСТИЧНОСТИ

Наиболее важная задача, которую необходимо решить в рамках данного исследования, — выбор метода автоматизированного построения кривых эластичности. Можно выделить несколько методов определения ценовой эластичности (см. таблицу).

Рассмотрим, какие из этих методов применимы при создании автоматизированной системы.

Необходимая для статистического анализа информация недоступна при анализе спроса на энергоресурсы. Даже если она доступна по другим регионам, то абстрагирование от региональной специфики сделает невозможным ее использование для принятия решений.

Постановка ценовых экспериментов невозможна в масштабах региона, возможно лишь один раз инвестировать в строительство сети снабжения и узнать — оправдались ли сделанные прогнозы.

Проведение опроса — метод, неприменимый для рынка энергоресурсов. В других областях существует возможность создать опрос на веб-сайте компании, сохранить результаты в базе данных и использовать эту информацию в СППР. Но клиенты-потребители газа или мазута — это в основном не частные лица, а организации, решения в которых принимаются коллегиально группой лиц.

Единственным доступным методом остается математическое моделирование. Предпринято немало попыток описания группового поведения потребителей с помощью математических формул.



Традиционные методы определения ценовой эластичности

Методы	Сложности применения
<p>Обработка статистической информации о продаже товаров на различных рынках или на одном рынке, но в разные моменты времени и по разным ценам</p> <p>Постановка ценовых экспериментов (цены можно менять в течение определенного времени в нескольких магазинах или назначать различные цены на одинаковые товары в нескольких магазинах)</p> <p>Опрос потребителей в целях выяснения, при каких ценах они готовы покупать определенные товары</p> <p>Построение математических моделей, описывающих поведение групп потребителей</p>	<p>Необходима хорошая база данных, приведенная к одинаковым условиям относительно рыночных сегментов, типов потребителей, мест продажи, влияющих на ценовую эластичность</p> <p>Важно сохранять неизменными все остальные факторы. Подобранный эксперимент под силу далеко не всем компаниям, поскольку требуются значительные средства и, кроме того, на продажи помимо цен влияют и другие факторы, которые не поддаются контролю</p> <p>На практике наблюдается существенное отличие между высказываниями потребителей и их реальным поведением на рынке</p> <p>Моделирование поведения человека, перевод на язык формул многих психологических и социальных факторов с выработкой конкретных количественных рекомендаций, интересующих практиков, — трудноразрешимая задача</p>

Существуют классические модели, решающие задачу потребительского выбора. Они учитывают в основном бюджетные ограничения и не позволяют описать специфику товарной категории.

Кроме того, потребители действуют в обществе, поэтому на их выбор воздействуют факторы, которые определяются бизнес-окружением. Одним из таких факторов — влияние других компаний. В бизнес-среде, где общаются руководители компаний и другие лица, принимающие решения, часто существует устоявшееся мнение, которое утверждает, что наиболее выгодно использование одного из конкурирующих энергоресурсов. Не всегда это мнение экономически обоснованно, часто продукт популярен просто из-за большого числа потребителей, формирующих его популярность.

Другой социальный фактор состоит в инертности потребителей при принятии решений. Даже если переход на другой энергоресурс экономически эффективен, на практике такой переход происходит со значительной задержкой. Причины задержки как в самом процессе принятия решения, так и в технических вопросах, связанных с переходом. Крупные компании более инертны, им требуется больше времени на принятие решения о смене энергоресурса. Так как цена ошибки высока, необходимо дать технико-экономическое обоснование перехода, согласовать решение с техническими службами, подготовить предприятие к использованию нового энергоресурса. Руководство такого предприятия дважды подумает, прежде чем заменить используемый энергоресурс, даже если это решение позволит компании сократить издержки. Да и сам технологический процесс наладки оборудования на крупных предприятиях занимает больше времени. Более мелкие же компании более мобильны, руководство может быстро принять решение о переходе на другой энергоресурс и поручить техническому персоналу перенастроить процесс.

Чрезвычайно сложно учесть социальные факторы при описании математической модели. Поэтому на практике от формульных зависимостей трудно добиться достаточно стабильных и надежных оценок эластичности для определения на их основе оптимальных цен. По оценкам экспертов точность определения ценовой эластичности этими методами составляет $\pm 25\%$ [1]. Такой значительный разброс может существенно повлиять на конечный результат при решении практических задач. Поэтому авторы предлагают взглянуть на проблему с другой стороны.

2. СОЦИОЭКОНОМИЧЕСКОЕ АГЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Обратимся к истокам экономики. Как утверждает одно из определений, «экономика — это наука, изучающая совокупность производственных и потребительских отношений». Вместе с тем, в сравнении с другими научными дисциплинами стандартная экономическая теория уделяет необычно мало внимания роли взаимодействий в экономике [2, 3].

Экономико-математические методы появились задолго до создания компьютерных технологий. Это не могло не наложить отпечаток на классические теории. Вместо того чтобы строить модели отношений между взаимодействующими субъектами в обществе, ученые делали многочисленные попытки обобщить эти взаимодействия до макроуровня, который хорошо описывался доступным в то время математическим аппаратом.

Методы компьютерного имитационного моделирования получили значительное развитие в последние десятилетия. Последним достижением в этой области стало «агентное моделирование». Появилась возможность описывать социально-экономические взаимодействия и порождаемые ими процессы практически без упрощений в реалистичном виде.

Отражением результативности этого подхода стало выделение в последние годы в составе различных общественных научных дисциплин самостоятельных направлений: «вычислительная экономика» (computational economics), «вычислительная социология» (computational sociology) и др. [4].

Современное направление развития имитационного моделирования в общественных науках в существенной степени выглядит как формирование агентных подходов к представлению поведения социально-экономических систем и создание соответствующих моделирующих комплексов. Уже стало достаточно популярным новое научное направление «Agent-based Computational Economics» (ACE), развивающее методологию компьютерных модельных исследований экономических процессов в виде динамических систем взаимодействующих агентов [2–4].

3. АГЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Вернемся к задаче построения кривых эластичности. Поведение потребителей энергоресурсов в условиях рыночной экономики невозможно адекватно отразить без моделирования процессов принятия решений о переходе на более выгодный энергоресурс. Должны учитываться дополнительные затраты, экономическая целесообразность такого перехода, инерционность, мнения других участников рынка и др.

Для учета этих факторов будем представлять потребителей энергоресурсов как индивидов, функционирующих на рынке энергоресурсов, рационально выбирая лучшие средства для достижения своих целей, учитывая при этом и другие, в том числе и социальные, факторы. Такие индивиды являются единицами, принимающими решения, — агентами. Процессы, происходящие на рынке энергоресурсов, будут рассматриваться в модели как интегральная сумма всех индивидуальных решений агентов. С использованием агентного подхода оказывается возможным учесть в модели основное предположение социэкономике, которое состоит в том, что люди принимают решения не только чисто рационально, но и на основе своих ценностных установок и эмоций [3]. Агентный подход позволяет формализовать в модели множество факторов, которые оказывают влияние на принятие потребителями подобных решений, что, в конечном счете, сказывается на объемах и сроках переходов потребителей от использования одного энергоресурса к использованию другого, эквивалентного ресурса. Этот подход также позволяет учесть различные виды энергоресурсов и технические характеристики потребителей произвольного региона.

В разработанной модели агенты — это активные объекты, которые характеризуют поведение некоторого множества однотипных потребителей энергоресурсов со сходным поведением при принятии решений в условиях рыночной экономики. Можно считать, что сходное поведение имеют потребители, находящиеся в одинаковых экономических и социальных условиях. Поэтому определим агента как кластер (некоторое число, множество) потребителей определенного типа. Они используют один и тот же вид энергоресурсов со сравнимыми объемами потребления и потому имеют одинаковую стратегию поведения на рынке.

Всего в модели учитываются около двадцати предложенных экспертами типов потребителей, которые можно разделить на три подгруппы: население, котельные различной мощности и промышленные предприятия, например, металлургические. Эти три подгруппы представлены в модели соответствующими типами агентов.

Особенности стратегий поведения различных типов потребителей выражаются определенными настройками параметров агентов. Например, некоторые типы агентов могут потреблять не любые типы энергоресурсов, для каждого типа энергоресурса это задается соответствующим бинарным признаком.

В рассматриваемой модели предусмотрено фиксированное число типов энергоресурсов. Представлены три основных вида ресурсов: газ, уголь и мазут, которые в свою очередь делятся на конкретные типы энергоресурсов, например, природный газ, каменный уголь и печное топливо.

Модель построена таким образом, что при необходимости число типов потребителей и типов энергоресурсов может быть задано без внесения изменений в исходный код, а потому такое разбиение по типам не имеет принципиального значения.

В общем случае, использование двумя однотипными потребителями одного и того же вида энергоресурса не гарантирует одинаковую стратегию поведения на рынке этих потребителей. Для отражения возможных различий в стратегиях поведения таких потребителей вводится дополнительная характеристика агента — вид агента. Например, в качестве вида агента можно принять такие градации, как крупный, средний, мелкий и пр.

Таким образом, для каждой из пар «тип потребителя — энергоресурс» создается определенное число агентов-кластеров (рис. 1), в соответствии с разделением потребителей по видам (в текущей версии модели предлагается деление на четыре вида агентов-кластеров).

Такие агенты-кластеры (или просто агенты) характеризуются примерно одинаковыми объемами потребления, так как кластер «крупных» потребителей включает в себя небольшое число таких пот-



Рис. 1. Распределение видов агентов-кластеров в модели

ребителей с большими объемами потребления, а кластер «мелких» потребителей — большое число потребителей с небольшими объемами потребления. Хотя в среднем суммарные объемы потребления для кластеров могут быть приблизительно равны, поведение таких потребителей на рынке обычно отличается: мелкие потребители, как правило, более мобильны, они быстрее принимают решения и быстрее реализуют его, они более подвержены действию социальных факторов. Иными словами, при смене вида энергоресурса их готовность к смене ресурса выше, а инерционность при модернизации оборудования ниже, чем у крупных потребителей.

Итак, основные характеристики агента:

- тип потребителя;
- тип потребляемого энергоресурса;
- вид потребителя (крупный, мелкий и пр.) — определяет разделение на агенты-кластеры;
- объем потребления энергоресурса;
- коэффициент инерционности (от 0 до 1) — используется для моделирования влияния социального окружения (world of mouth [5]) на принятие решения потребителями в условиях рынка. Инерционность можно трактовать как вероятность перехода потребителя на другой тип ресурса при выполнении необходимых условий перехода (см. далее). Например, при коэффициенте, равном 1, осуществляется переход всех потребителей на новый ресурс. Нулевой коэффициент инерционности соответствует запрету на переходы, промежуточное значение этого коэффициента определяет переход части потребителей на использование соответствующего ресурса;
- другие параметры, характеризующие поведение агента на рынке энергоресурсов (степень доверия к информации, получаемой от других потребителей, — «влияние толпы» и др.).

Рассматриваемая модель в силу специфики задачи является полностью дискретно-событийной.

Дискретой анализа в модели служит один год, поэтому и дискретой времени выбран год, т. е. по окончании года рассчитываются все изменения, которые произошли с объектами модели за этот период. При необходимости, можно задать сколь угодно малую временную дискрету в модели, например, 1 день.

Важное место в агентной модели занимает поведение агента. Поведенческая модель агента используется при принятии им решения о переходе на новый энергоресурс. Данная модель реализована с помощью карты состояний (стейтчарта «behavior»), представленной на рис. 2. Стейтчарты (UML Statecharts, ведущие свое происхождение от карт состояния Харелла) являются основным формализмом, используемым в дискретно-событийном моделировании для задания последовательности событий, происходящих в модельном времени [6].

Агент может находиться в следующих состояниях:

- *stable* — состояние потребления этой категорией потребителей некоторого вида энергоресурса;
- *decisionMaking* — состояние проверки возможности (выгодности, приемлемости и т. п.) перехода на другой вид энергоресурса. Агент переходит в это состояние в конце каждого периода расчета (в конце каждого года). После перехода в это состояние агент оценивает выгоду перехода на использование других видов энергоресурсов. Если переход экономически не выгоден, переход не осуществляется, и происходит возврат агента в стабильное состояние *stable*. Если переход на какие-то энергоресурсы экономически выгоден, происходит переход в состояние *transferReadiness*;
- *transferReadiness* — состояние перехода на использование других видов энергоресурсов. Агент рассчитывает объемы, по которым будет осуществлен переход на использование конкретных видов энергоресурсов в следующем расчетном периоде, проводит сравнительный анализ выгодности переходов на каждый альтернативный энергоресурс, анализ социальной ситуации (какой процент потребителей данного класса уже перешли на этот вид

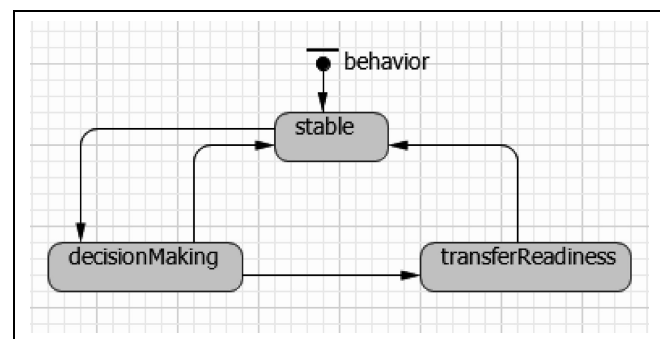


Рис. 2. Карта состояний — поведенческая модель агента

энергоресурса), а также учитывает другие параметры, которые могут влиять на переход. Именно на данном этапе решение о переходе может быть отклонено под влиянием неценовых факторов.

Переходы между состояниями выполняются при следующих условиях:

- из состояния *stable* в состояние *decisionMaking* — по истечении очередного года моделирования при условии, что переходы в модели разрешены;
- из состояния *decisionMaking* в состояние *stable* — если переход ни на один из энергоресурсов не выгоден для агента;
- из состояния *decisionMaking* в состояние *transferReadiness* — если агенту экономически целесообразен переход хотя бы на один из энергоресурсов;
- из состояния *transferReadiness* в состояние *stable* — по завершении всех необходимых подсчетов в состоянии *transferReadiness*. При данном переходе происходит перераспределение использования ресурсов, описывающее переход части потребителей кластера на использование новых видов энергоресурсов.

Для определения агентов в соответствии с описанным подходом в имитационной модели (ИМ) сделаны следующие предположения и допущения.

- В процессе работы модели число агентов всегда остается постоянным.
- Переход потребителей на использование других видов энергоресурсов моделируется изменением объемов потребляемых ресурсов у агентов, представляющих кластеры соответствующих потребителей. Иными словами, такие переходы представляются «перетеканием объемов» потребления от одного агента-кластера к другому. «Перетекание объемов» потребляемых ресурсов происходит к агентам-кластерам того же вида, т. е. перетекание осуществляется к агенту-кластеру, отличающемуся от данного только типом используемых энергоресурсов.
- Переход может быть осуществлен как на один вид энергоресурсов, так и на несколько, при условии, что это выгодно агенту. Переход выражается в «перетекании» соответствующих долей объема, используемого агентом энергоресурса, к другим агентам.
- При переходе всех потребителей, объединенных в один кластер, на использование других энергоресурсов объем потребления соответствующего агента полагается равным нулю. Агент с нулевым объемом потребления соответствует отсутствию потребителей данного кластера.
- Ввод новых потребителей в процессе функционирования ИМ выражается в наращивании объемов потребления энергоресурсов у агентов с соответствующими параметрами.

- Вероятность перехода (коэффициент инерционности) потребителей типа i с использования ресурса вида j на использование энергоресурсов вида k зависит от объема потребления (другими словами, числа потребителей) для агента такого же вида и типа потребителей, использующих k -й вид энергоресурсов. Иными словами, чем больше потребителей определенного типа используют какой-либо из энергоресурсов, тем выше вероятность того, что потребители данного типа перейдут на использование этого энергоресурса в случае, если это экономически целесообразно.
- Вероятность перехода на использование другого вида энергоресурсов зависит как от разницы цен, так и от коэффициента инерционности. Коэффициент инерционности, в свою очередь, зависит от объемов потребления (см. предыдущий пункт).

Для программной реализации модели необходимо воспользоваться одним из существующих пакетов имитационного моделирования, поддерживающих:

- агентное моделирование;
- дискретно-событийное моделирование;
- объектно-ориентированное «иерархическое» моделирование;
- доступ к базам данных;
- возможность динамической работы с агентами (добавить, удалить, изменить поведение);
- графические структуры для задания поведения агентов (карты состояний, блок-схемы).

Опираясь на сравнительный анализ пакетов [7], в качестве инструментального средства имитационного моделирования была выбрана система имитационного моделирования AnyLogic (www.anylogic.ru).

4. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА

При планировании долгосрочных решений и проведении экономического анализа неизбежны различного вида неопределенности в данных и зависимостях, влияющих на результат анализа. Неопределенность — это неизбежное следствие неполного или неточного представления о параметрах и тенденциях. Неопределенности можно классифицировать на экономические (изменения в экономике страны или предприятия, колебания рыночного спроса, неопределенность рыночных цен и т. п.), политические (изменение политической обстановки и приоритетов государства), финансовые (плохо предсказуемые изменения курсов валют, изменение конъюнктуры рынка, процентных ставок займов и условий инвестирования и т. д.) и др.

При экономическом анализе фактор неопределенности часто игнорируется, и решение принимается на основании анализа детерминированных



моделей в предположении, что все факторы, влияющие на экономическую ситуацию, известны точно. В результате решения, принятые на основании таких моделей, приводят к значительным экономическим потерям. При проведении исследований, цель которых заключается в экономическом прогнозе на несколько лет, необходимо учитывать фактор неопределенности, который неизбежно сопутствует такого рода прогнозам и усложняет анализ.

Сложность анализа моделей, в которых присутствует неопределенность, связана с необходимостью выбора определенных альтернатив и расчетом вероятностей результатов и возможных потерь, т. е. учет неопределенности приводит к анализу риска. Из экономической практики известно, что для получения прибыли в условиях рыночной экономики предприниматель должен идти на риск. Но осознанным риск может быть только в том случае, если предприниматель может количественно оценить предполагаемую прибыль и сопутствующий этой прибыли риск для каждого из возможных вариантов решений. Имитационное моделирование на основе построенной модели позволяет количественно оценить риск, связанный с реализацией проекта по развитию систем энергоснабжения.

По мнению авторов, наиболее перспективное направление изучения свойств анализируемых процессов и принятия решений на основе имитационных моделей состоит в проведении серии компьютерных экспериментов. Имитационная модель позволяет учесть случайные воздействия (события, переходы, возмущения) и получить реализацию случайного процесса в качестве результата выполнения модели. Применительно к разработанной модели такой режим назван стохастическим.

Стохастический режим реализуется как многократный прогон (число прогонов n задается пользователем) ИМ для выбранного временного диапазона (или конкретного года). Каждый запуск ИМ в таких сериях производится при новых значениях случайных возмущений, выбираемых из предусмотренного множества. В целях реализации этого режима ряд параметров (начальные цены на энергоресурсы, начальный объем потребления энергоресурсов, коэффициент инерционности и др.) моделируются как случайные величины. Их математические ожидания соответствуют параметрам детерминированных режимов, дисперсии (среднеквадратичные отклонения) задаются пользователем. Предусматриваются виды распределений, которые обеспечивают возможность положительных и отрицательных вариаций исходных параметров.

С теоретической точки зрения, получаемые в этих условиях переменные x (например, текущая цена, объем потребления, прибыль, доход и пр.) на

определенном временном интервале могут быть классифицированы как случайные процессы с переменными моментами распределений. Анализ случайных процессов по выборочным данным осуществляется путем анализа сечений таких процессов для конкретных моментов времени t_i . Сечение $x(t_i)$ соответствует случайной величине, множество n значений которой формируется в результате компьютерных экспериментов.

Интерпретация анализируемой переменной $x(t_i)$ в качестве случайной величины позволяет применить в таком анализе мощный арсенал средств математической статистики. Так, для случайной величины $x(t_i)$, где t_i — выбранный год, вычисляются выборочное среднее, выборочная дисперсия или корень из нее (выборочное средне-квадратическое отклонение), для выбранных уровней значимости формируются интервальные оценки. Строятся гистограммы выборочных распределений анализируемых переменных. Гистограммы используются для оценок вероятностей различных ситуаций. Дополнительно, при анализе в процессе реализации стохастического режима переменной X , с помощью которой можно охарактеризовать экономическую эффективность принимаемого решения, могут быть назначены пороговые значения d_0 , d_1 , d_2 и т. д., отражающие границы минимальной и допустимой, критической зон значений X . В качестве такой величины X может выступать один из критериев доходности инвестиционного проекта, например, чистый дисконтированный доход NPV (Net Present Value), внутренняя норма доходности, срок окупаемости инвестиций и т. д.. Вероятности попадания значений X в эти зоны также могут быть вычислены с помощью гистограмм случайной величины X для выбранного интервала времени (рис. 3).

Таким образом может быть достигнута исключительно важная возможность анализа динамики угроз (рисков) эффективного развития проекта, позволяющая выйти на ряд превентивных мер по минимизации рисков. На этой основе может быть создана методика практического применения ИМ в процессе принятия решений.

Инвестиционный проект (результат принятого решения) считается эффективным, если его доходность и риск сбалансированы в приемлемой для участника проекта пропорции. Наиболее интересными и важными сценарии работы ИМ:

- поиск вариантов решений с оптимизацией прибыли при фиксированном уровне риска;
- поиск решений с минимизацией возможных рисков при выборе вариантов решений, дающих гарантированную прибыль.

Разработанная имитационная модель позволяет выполнить такой анализ.

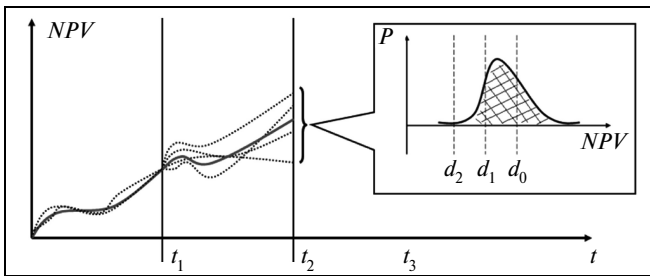


Рис. 3. Количественная оценка рисков: $NPV \leq d_0$ — минимальная угроза; $NPV \leq d_1$ — допустимая угроза; $NPV \leq d_2$ — критическая угроза

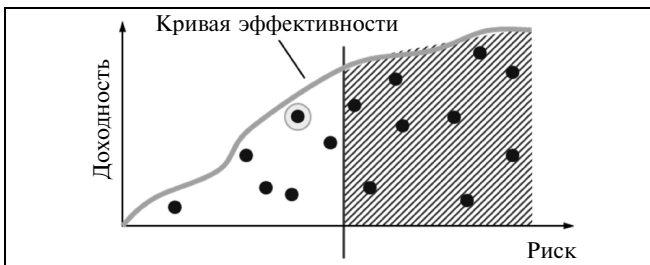


Рис. 4. Альтернатива риска и доходности

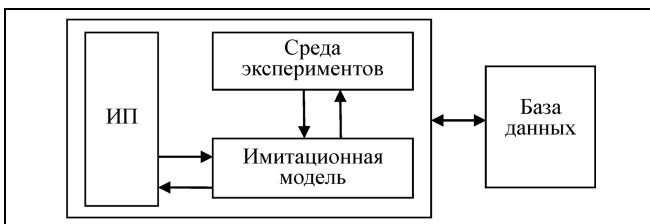


Рис. 5. Структурная схема СППР

На рис. 4 изображены результаты многократного выполнения ИМ. Каждая точка представляет собой результат многократного выполнения ИМ с определенным набором параметров. Результаты отображены в координатах доходности (математическое ожидание прибыли) и риска (вероятность неблагоприятных исходов).

Данный график облегчает решение задачи выбора наилучшего варианта реализации при фиксированном риске. Проведем линию, отображающую заданный уровень риска, отбросим все варианты реализации проекта, риск которых больше заданного, т. е. варианты правее черты (заштрихованы). Выберем среди этого множества вариант с наибольшей доходностью (на рис. 4 обведен кружком) — это и будет искомым наилучшим вариантом реализации при заданном уровне риска. Прodelав эту операцию для разных значений риска, получим кривую эффективности проекта (кривую Марковица).

Описанная методика полностью реализована в модели. С инженерной точки зрения разработан-

ная модель — это информационная система, а точнее, СППР. Информация о регионе хранится в базе данных, модель обращается к базе за исходными данными и для записи результатов. Разработаны средства для экспериментов с моделью: стохастического анализа и оптимизации. Для работы с моделью разработан интерфейс пользователя ИП, поддерживающий несколько режимов. Данная архитектура (рис. 5) является стандартной для СППР, созданной с помощью среды моделирования AnyLogic.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика анализа и прогноза спроса на энергоресурсы в регионе. Методика основана на одном из последних достижений социальной экономики: агентном имитационном моделировании. На основе предложенной методики построена система поддержки принятия решений, позволяющая построить семейство функций спроса и определить эффективность инвестиционного проекта развития сетей энергоснабжения в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьев Д. Максимизация выручки и прибыли // Sales Business. — 2005. — № 10.
2. Kirman A. Interaction, Economic Organisation and Aggregate Activity // Working Paper, GREQAM, EHESS and Universit  d'Aix-Marseille III, Institut Universitaire de France. — 2009.
3. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Компьютерное моделирование искусственных миров. URL: <http://scmai.miem.edu.ru/S/s2.htm> (дата обращения 30.06.09).
4. Паринов С.И. Новые возможности имитационного моделирования социально-экономических систем // Искусственные сообщества. — 2007. — № 3–4. — С. 26–61. URL: http://www.artsoc.ru/docs/Journal/45_r.pdf (дата обращения 30.06.09).
5. Борщев А.В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro. — 2008. — № 3–4. URL: <http://www.gpss.ru/index-h.html> (дата обращения 30.06.09).
6. Картов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006.
7. Лычкина Н.Н. Технологические возможности современных систем моделирования // Банковские технологии. — 2000. — № 9. — С. 60–63.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р.М. Нижегородцевым.

Сулов Сергей Алексеевич — аспирант,
✉ serge.suslov@gmail.com,

Кондратьев Михаил Александрович — студент 6 курса,
✉ kondratyev@dcn.infos.ru,

Сергеев Кирилл Вадимович — студент 6 курса,
✉ sergeev@dcn.infos.ru,

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, ☎ 8 (812) 297-16-39.