

УДК 62.50:658.21

**Т. Н. Боровская, к. т. н., доц.; И. С. Колесник, к. т. н.;
В. А. Северилов, к. т. н., доц.; И. И. Михайлова**

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ОБОБЩЕННЫХ СИСТЕМ "ПРОИЗВОДИТЕЛИ – ПРОДУКТЫ – ПОТРЕБИТЕЛИ"

Построена система рабочих моделей распределенной системы "производители – продукты – потребители". В модели имитируется поведение каждого отдельного производителя, потребителя и ритейлера. Проведены исследования на моделях. Получены новые результаты для прямой оценки рисков.

Ключевые слова: *распределенная система, производитель, продукт, потребитель, рабочая модель, имитационное моделирование, спрос, предложение, нечеткий выбор, риски, принятие решений.*

Постановка проблемы. В современном мире гиперпредложений необходимое условие выживания бизнес-единицы – использование компьютерных моделей для прогнозирования и планирования. В экономике США банкротство одной фирмы вызывало еще 30 – 70 банкротств. Для удовлетворительного прогнозирования необходимо моделировать деятельность отдельного производителя определенной отрасли на фоне функционирования всех производителей отрасли и, по возможности, каждого потребителя [1, 2]. Выделим среди под- и псевдопроблем центральную проблему: конструирование имитационных моделей распределенных систем "производители, продукты, потребители" с возможностью моделирования каждого элемента не за 10 – 40 лет, а за 1 – 4 месяца.

Постановка задачи. Цель – разработка рабочей имитационной модели системы "производители, продукты, потребители" (кратко "N×M×K-системы"). Рассматриваем одновременно такие классы объектов:

- *потребитель*, который характеризуется доходом, информированностью – возможностью различать изделия разных производителей и опытом использования продукта, склонностью к потреблению;
- *система потребителей*, характеризующаяся объемом, распределением доходов в данном регионе, насыщенностью рынка, зависимостями вероятности выбора от уровня дохода, рейтинга продукта, "длины и высоты полки" или системой функций спроса;
- *продукт* (марка) на рынке характеризуется себестоимостью, ценой, полезностью, ценностью, функцией предложения;
- *система продуктов и производителей* на рынке;
- *линейка продуктов* – продукты определенного класса, упорядоченные по цене.

Разработка структуры модели «N×M×K-системы»

В работе рассматривается построение модели, которая является "ступенькой" в последовательности моделей:

- ☞ «один (агрегированный) производитель на рынке M продуктов»;
- ☞ «N производителей на однопродуктовом (агрегированном) рынке»;
- ☞ «N производителей на рынке M продуктов».

Потребители рассматривались как монолитно однородная масса, которая имеет одну на всех и на все времена функцию спроса, масса, которая не учится, не общается, не организуется. Для перехода к моделям с имитацией поведения отдельных потребителей и производителей разработана и исследована модель системы:

- ☞ «два производителя на рынке двух альтернатив продукта определенного класса и

потребителя, который учится выбору лучшего продукта». Это называется «рынок с асимметричной информационной структурой», или «рынок лимона». Эти модели позволяют отработать методы, технологии и программные модули для построения обобщенной модели:

☞ «рынок N производителей, M продуктов, K потребителей».

В данном документе рассматриваем множество продуктов одного класса (назначения) с различными ценами и ценностями. Выбираем такой порядок построения модели [3, 5]: словесная модель, графическая модель, рабочая математическая модель, комплексное испытание, сравнение со статистическими данными и коррекция модели. Два последних этапа – фактически один сложный этап, похожий на создание «летучего корабля».

Шаг 1. Словесная модель реальной системы

Покупатель характеризуется доходом, информированностью – возможностью различать изделия разных производителей и опытом использования продукта, наличием у него собственного опыта использования продукта, склонностью к потреблению.

Система покупателей характеризуется объемом данного региона (области притяжения), распределением доходов в данном регионе, насыщенностью рынка, зависимостью вероятности выбора в зависимости от уровня дохода, рейтинга продукта и «длины и высоты полки» или системой функций спроса.

Продукт (марка) на рынке характеризуется себестоимостью, ценой, полезностью и качеством (ценностью), функцией предложения и функцией "клуба потребителей".

Система продуктов (производителей) на рынке. В определенном сегменте рынка существуют продукты различной цены и качества. Потенциально возможно дать оценку полезности (ценности) продуктов и построить зависимость "цена – ценность". Для моделирования выделенных систем следует сделать такие функциональные модели: модель продаж, модель выбора и обучения потребителей, модель производства, модели потребления и насыщения спроса для разных типов продуктов – разовые, многоразовые, "извечные" и пр.

Шаг 2. Графовая модель системы "продукты – потребители"

Отображаем словесные модели в граф влияния (рис. 1).

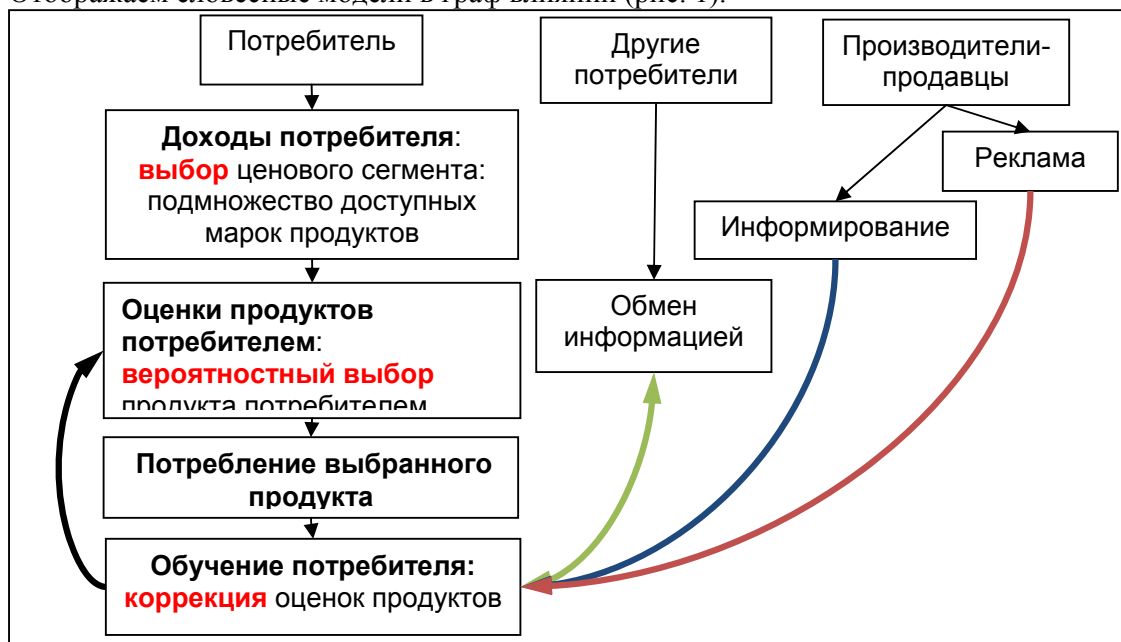


Рис. 1. Схема процесса выбора потребителя

Шаг 3. Выделение и разработка функциональных субмоделей

Модуль "система марок продуктов". Сегодня требования производства и рынка обуславливают необходимость и для производителя, и для ритейлера оперировать с наборами продуктов определенного класса. Это модельные ряды автомобилей, продуктовые линейки для кофе и майонеза и пр. Продукты линейки ранжируются по цене или ценности. Показатель "ценность" является достаточно ситуативным и размытым показателем. На рис. 2 представлен "стенд" для анализа моделей линеек продуктов. Модуль "линейка продуктов" берет "облако точек" на плоскости "цена – ценность", а возвращает зависимости "средняя цена – ценность", "максимальная ценность – цена", "максимум ценности на единицу стоимости".

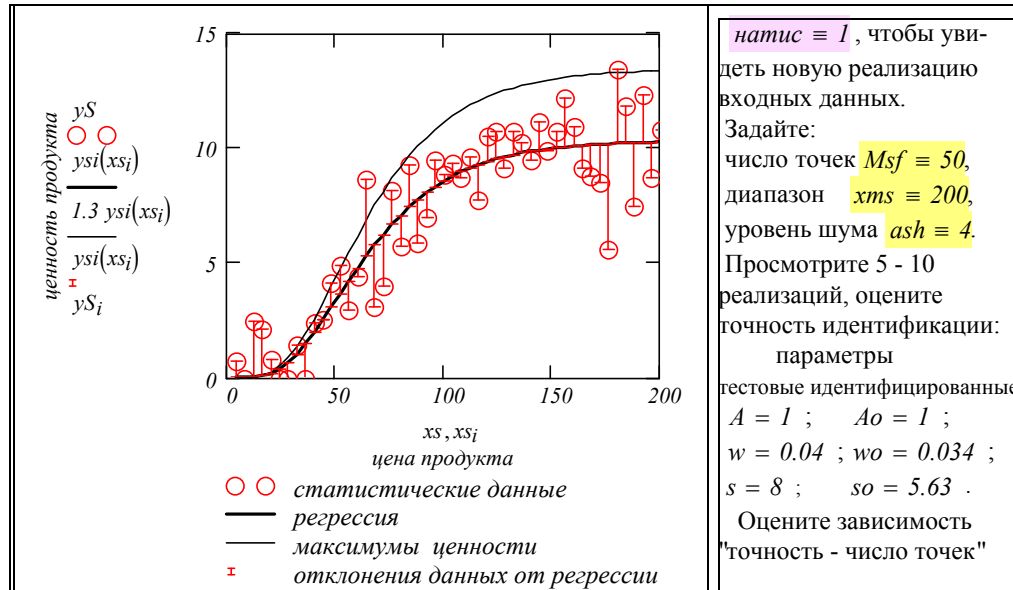


Рис. 2. Система продуктов – «линейка продуктов»

Модуль "выбор потребителя на системе марок продукта". Потребитель с определенным уровнем дохода выбирает, по какой цене и от какого производителя покупать определенный продукт на текущем шаге процесса. В общем случае он не имеет полной информации о ценностях альтернативных продуктов. Из нескольких альтернатив построения модели выбора потребителя выбрана модель двухуровневого выбора: потребитель сначала выбирает ценовой диапазон, а затем в этом диапазоне выбирает конкретный продукт. Используем нечёткую логику: строим функции принадлежности для цели – зависимость показателя "ценность/цена" от цены – и размытое бюджетное ограничение – зависимость от цены. На рис. 3 подана параметризованная функция принадлежности цели и функция принадлежности ограничения по доходу.

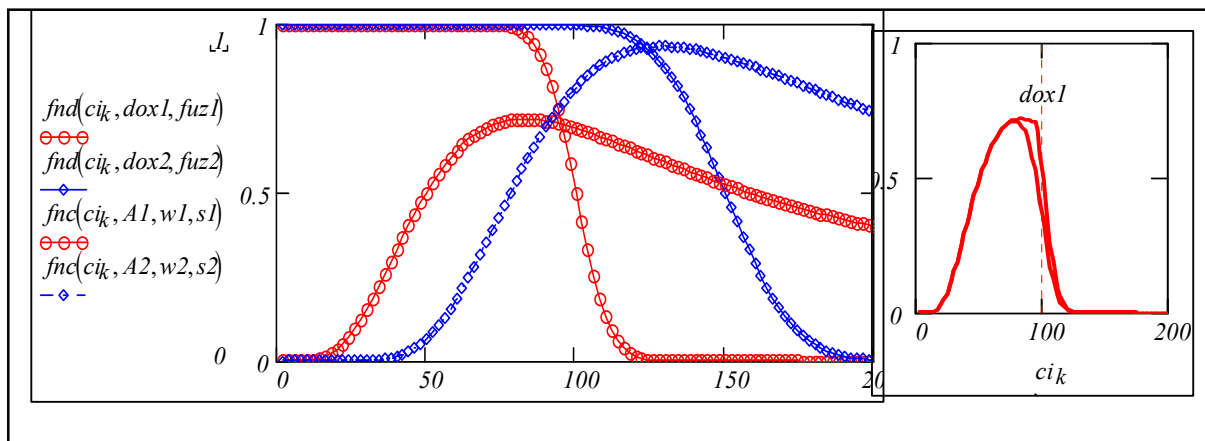


Рис. 3. Примеры функций принадлежности цели и принадлежности ограничений

Свёртка функций принадлежности цели и ограничения. "Свернуть" функции принадлежности цели и ограничений в общую функцию принадлежности можно двумя способами – перемножить функции или взять их минимальное значение для определенной цены. Записываем эти функции для двух наборов параметров:

$$ZFNmak1(cin, dox) := \min(fnd(cin, dox, fuz1), fnc(cin, A1, w1, s1));$$

$$ZFNmul2(cin, dox) := fnd(cin, dox, fuz2) \cdot fnc(cin, A2, w2, s2).$$

Строим графики для этих двух случаев. На рис. 4 поданы результаты работы модуля для потребителей с малым и большим доходом. Этот модуль **выделяет нечеткое подмножество "желаемого-возможных" продуктов**.

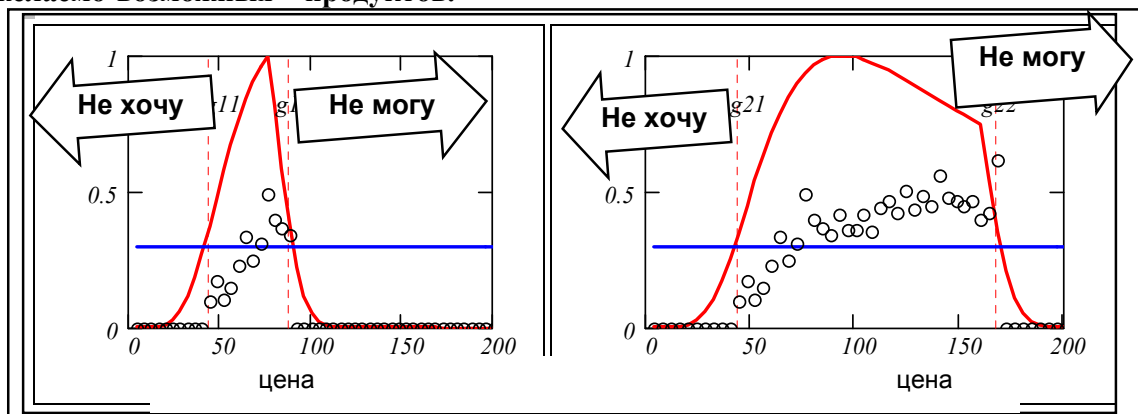


Рис. 4. Контроль функции выделения подмножества доступных продуктов

Модуль "выбор индивида с обучением". Строим три альтернативных модели, каждая из которых может быть приемлемой для некоторых отдельных ситуаций параметров продуктов и потребителей [4]:

- модель 1 на базе статистических данных, на которых идентифицируется более простая модель обучения (со временем оценки продуктов приближаются к "истинным");
- модель 2 на базе допущения о пропорциональности темпа обучения темпам потребления и информационного обмена между потребителями;
- модель 3 базируется на "вычеркивании" "дискредитированных" продуктов.

Имеем M альтернативных продуктов, из которых случайно, с вероятностями пропорциональными "весам" продуктов, выбирается потребителем определенный продукт. Считаем, что существует возможность объективно оценить ценность каждого продукта. В программу имитационного моделирования вводим "истинные оценки ценности". Покупка определенного продукта определенным потребителем вызывает соответствующее изменение индивидуальной "оценки ценности". По результатам потребления "оценка ценности" корректируется в сторону приближения к "истинной оценке".

Модуль "переоценка ценностей" является критическим для программы моделирования Наукові праці ВНТУ, 2010, № 1

системы. Делаем модуль, рассчитанный на векторизацию вычислений. Сначала делаем функцию пользователя для обработки скалярных параметров:

$$dMU := \overrightarrow{dmu(Vyb, Bolv, Nvz)},$$

где Vyb – матрица текущего выбора потребителей, $Bolv$ – матрица, каждый столбец которой – «истинные ценности продуктов», Nvz – матрица неопределённости выбора. Стрелка над выражением – символ векторизации, суть которой – «выполнить заданную функцию одновременно над всеми соответствующими элементами матриц». Функция возвращает матрицу изменений оценок продуктов потребителями по результатам текущего потребления.

Модуль "коррекция оценок ценностей". Снова делаем векторизованную функцию пользователя для обработки скалярных параметров $\overrightarrow{z \min(Mu, dMU)}$. Функция берёт матрицы оценок и приращения оценок и возвращает новую матрицу оценок.

Строим из этих модулей функцию нормализации матриц оценок продуктов потребителями – модуль $nrmlz2(Mu, Vyb, Bolv, Nvz, Al)$, который берет матрицу текущих оценок продуктов потребителями Mu , текущую матрицу выбора потребителей Vyb , матрицу "истинных оценок продуктов" $Bolv$, матрицу неопределенности оценок продукта потребителем Nvz и матрицу темпов обучения потребителей Al , а возвращает нормализованную матрицу следующего состояния оценок продуктов потребителями (рис. 5).

$$nrmlz2(Mu, Vyb, Bolv, Nvz, Al) := \left. \begin{array}{l} M \leftarrow \overrightarrow{z \min(Mu, dmu(Vyb, Bolv, Nvz), Al)} \\ kk \leftarrow cols(Mu) \\ qq \leftarrow rows(Mu) \\ \text{for } i \in 1..kk \\ \quad \left| \begin{array}{l} nn \leftarrow qq \cdot mean(M^{(i)}) \\ M^{(i)} \leftarrow M^{(i)} \div nn \end{array} \right. \\ M \end{array} \right\}$$

Рис. 5. Модуль коррекции матрицы рейтингов продуктов

Этот чисто технологический модуль обеспечивает удовлетворительное быстроедействие программы моделирования.

Шаг 4. Разработка программы случайного выбора потребителей с обучением

Программа берет вектор параметров, который состоит из таких компонентов:

$$Vpar = \left(\begin{array}{l} "Mf - \text{матрица оценок продуктов потребителями}" \\ "Blv - \text{матрица \"истинной\" ценности продуктов}" \\ "Nevz - \text{матрица разброса оценок продуктов потребителями}" \end{array} \right),$$

возвращает программа вектор, который состоит из таких матриц

$$Vuxid = \left(\begin{array}{l} "Vyb - \text{матрица текущего выбора продуктов потребителями}" \\ "Mf - \text{скорректированная матрица оценок продуктов потребителями}" \end{array} \right).$$

Модуль "распределение потребителей по доходам". Распределение доходов строится на базе статистических данных, на которых идентифицируется теоретическая модель, которая соответствует определенной гипотезе относительно порождающего этот разброс механизма. Обычно эта модель негауссова, даже не унимодальна, если учесть расслоение социума по возрасту, профессиям и пр.

Изменение и перераспределение доходов социума. Для практики важно знать, как изменяются потенциальные объемы рынка для групп потребителей с разными уровнями

доходов. В модели следует отобразить возможные механизмы перераспределения доходов в социуме в разных ситуациях:

- рост или падение национального (регионального) дохода;
- директивный или стихийный рост средней зарплаты для наемных работников;
- изменение распределения доходов через изменение демографической ситуации;
- импульсные изменения доходов (выборы, праздники, бонусы, раздача слонов...);
- локальные изменения зарплаты в отдельных фирмах, корпорациях, отраслях.

Далее использована более простая (для математика, а не экономиста), социально "нейтральная" модель: при изменении национального дохода распределение доходов "определенным образом" **сдвигается** в сторону больших или меньших доходов. Модифицируем модель доходов на базе более простой гипотезы о сдвиге распределения

$$doxpom(x) := d \ln orm(x, mu, roz) \Rightarrow doxpom(x, nd) := d \ln orm(x - nd, mu + 0.1 \cdot nd, roz),$$

где x – уровень дохода, nd – параметр типа "национальный доход на душу населения".

На рис. 6 представлены две серии графиков – распределение потенциальных потребителей и распределение потенциальных доходов рынка по величине дохода потребителей. Отобразим это математической и словесной формулами

$$doxsum(x, nd) := doxpom(x, nd) \cdot x;$$

"суммарный доход категории покупателей с доходом x на единицу дохода (плотность суммарного дохода) = плотность вероятности встретить такого покупателя в выборке "интервал"."доход"".

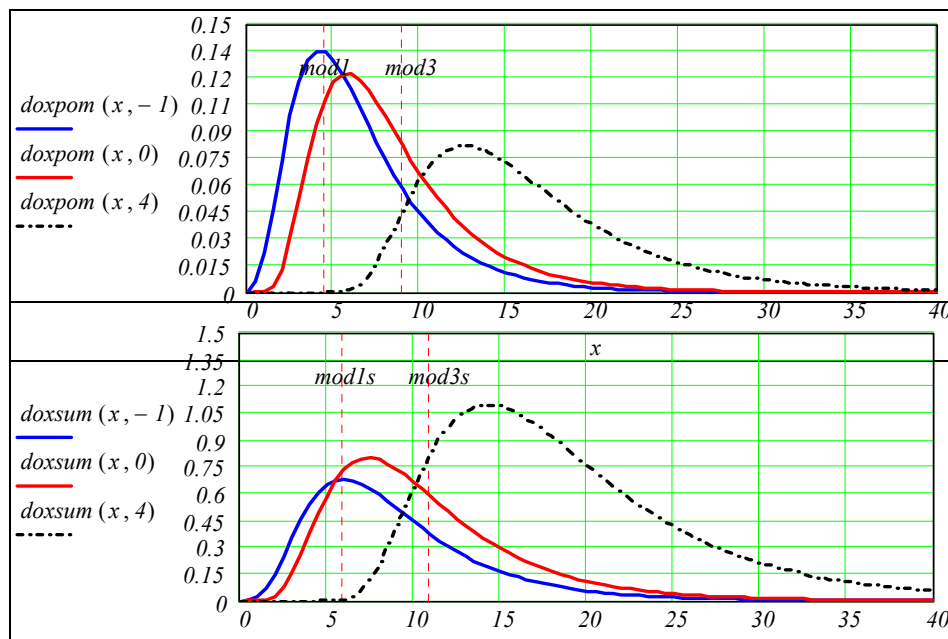


Рис. 6. Распределения потребителей и доходов рынка по уровням дохода потребителя

Модель перераспределения доходов позволяет исследовать ситуации, когда при умеренном (10 – 20%) росте среднего дохода доходы рынка на продукт, который не является обязательным, растут (и падают) на порядки. Для бизнес-единиц важно прогнозировать такие ситуации для своего бизнеса, в частности и такой эффект: при увеличении среднего дохода, продажи дешевых продуктов линейки могут уменьшаться – спрос потребителей сдвигается в сторону более дорогих, качественных, престижных продуктов.

Анализ результатов моделирования

Расширение модели от модели "производители – потребители" до модели "производители, продукты, потребители" требовало создания новых форм упорядочивания результатов моделирования. На рис. 7, 8 представлен комплекс графиков и блоков входных

и исходных данных. На рис. 7 представлено состояние системы в определённый момент времени – состояние распределений выбора каждого потребителя и темпы продаж продуктов линейки. На эти графики наложены «причины» – функция линейки продуктов, ранговое и частотное распределения потребителей по доходам. На рис. 8 представлены переходные процессы темпов продаж продуктов линейки для начального состояния «необученные потребители». Это малая часть системы интерфейсов, но она даёт достаточное визуальное представление распределенной системы.

Обычно считается, что назначение рабочей модели – выдавать все более точные прогнозы (по критерию минимума интегральной квадратичной ошибки) будущего некоторой конкретной системы (корпорации Майкрософт, французского языка, экономики Украины).

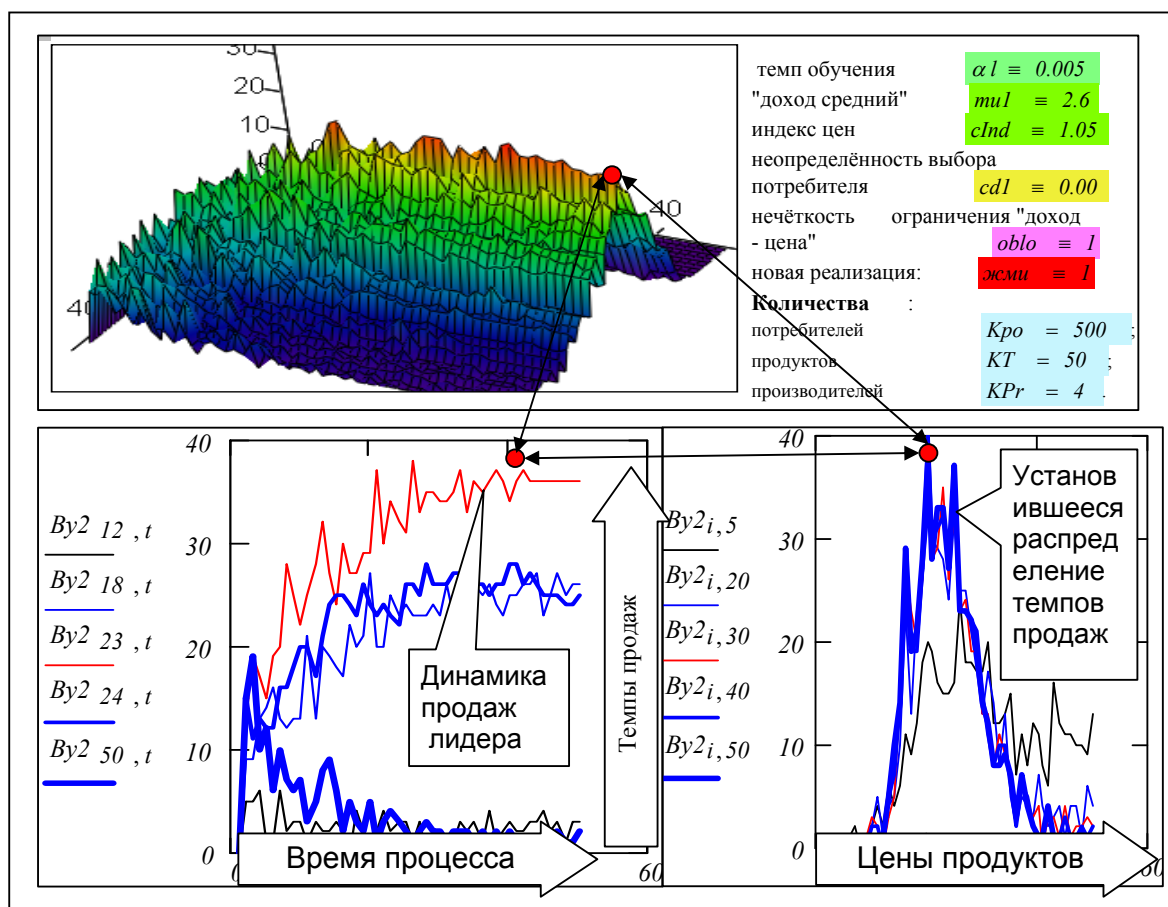
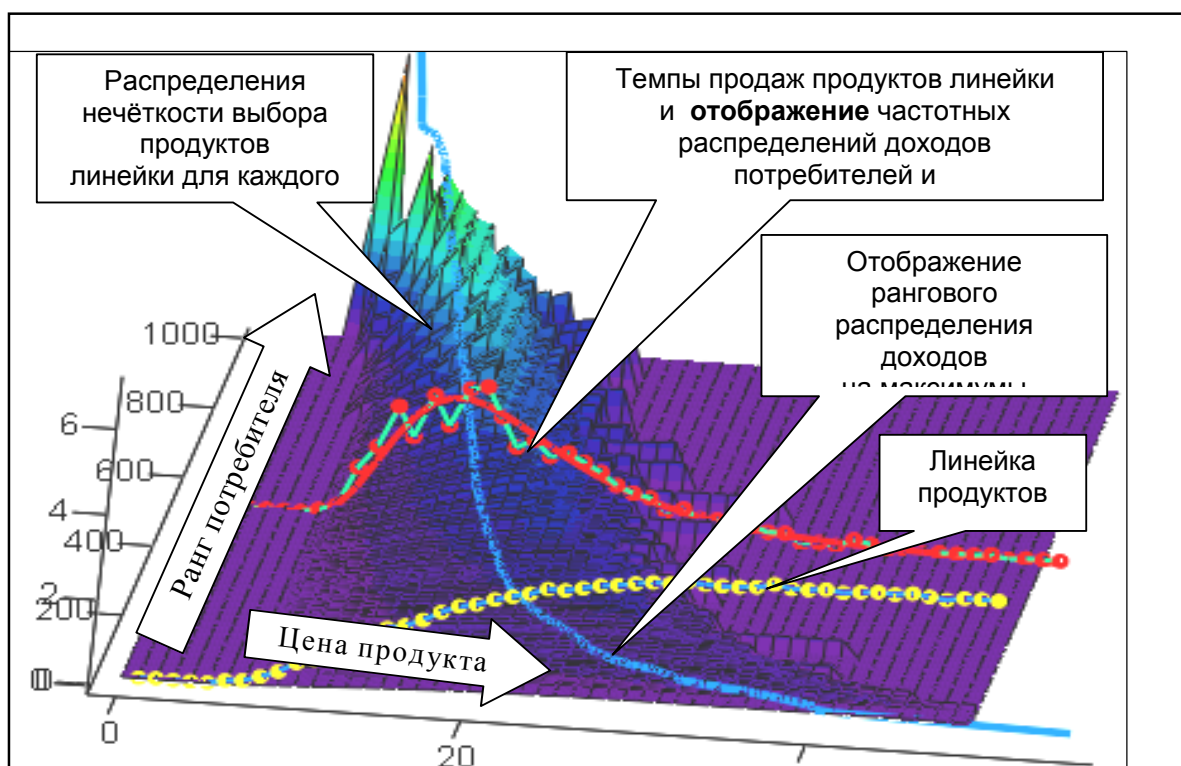
Классики менеджмента и моделирования считают первым назначением модели лучшее понимание менеджером и аналитиком системы, с которой и в которой они работают. Разработанная модель соответствует этому назначению. Уже при настройке и тестировании модели "производители – продукты – потребители" получен ряд новых результатов, которые, на первый взгляд, оказались парадоксальными и невероятными. При анализе и сравнении этих результатов с доступными статистическими для них данными для них были найдены логические оправдания. Приведём список таких результатов, которые могут быть интересными для теории и полезными для практики.

☞ **Реакция «богатых» и «бедных» рынков на малые колебания уровня цен.** При малом росте цен на определенный класс продуктов, при начальном глобально устоявшемся состоянии, суммарные доходы рынка растут в "богатом" социуме и падают в "бедном".

☞ **«Эрозия» распределения темпов продаж неуправляемой линейки продуктов.** Линейка продуктов локально неустойчива к малым возмущениям ранжирования по цене и ценности. Упрощенно это объясняется так: если в линейке для двух смежных продуктов имеет место инверсное отношение "более дорогой имеет меньшую оценку ценности", то темп продаж лидера будет увеличиваться за счет аутсайдера. При увеличении выборки распределение не сглаживается. Это тема отдельного исследования.

☞ **Простые связи «причины – следствия».** Функция распределения потребителей по доходам и функция «цена – ценность» с достаточной точностью линейно отображаются в частотное распределение темпов продаж продуктов линейки при отсутствии возмущений, а ранговое распределение в – моды (максимумы) распределений нечеткости выбора потребителей, ранжированных по доходам.

Разработанная модель позволила сделать четкие постановки общих задач управления и частных задач оптимального управления линейками продуктов для ритейлера и отдельного производителя. Для ритейлера это управление – расходы ресурсов на смену позиционирования продукта в линейке ритейлера. Для производителя содержание этого управления – расходы ресурсов на увеличение ценности и уменьшение себестоимости продукта.



Практическое значение разработки модели и проведенных исследований – определение направлений сбора данных в реальных системах для построения системы поддержки решений в разработке, производстве и продаже продуктов определённого класса.

Теоретическое значение – определение направлений теоретического обоснования обнаруженных свойств системы, а именно: динамических и статических зависимостей между частотным распределением доходов и распределением темпов продаж, между ранговым распределением доходов и параметрами частотных распределений выбора потребителей. В рамках разработанной модели такие связи являются устойчивыми к изменениям параметров модели. В концептуальном плане продемонстрирована роль концепции «конструирование новых моделей для новых задач» – роль генератора новых знаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нэгл Томас Т. Стратегия и тактика ценообразования. Руководство для принятия решений, приносящих прибыль / Томас Т. Нэгл. — М.: Питер, 2001. — 375 с.
2. Kelly K. New Rules for the New Economy. 10 radical strategies for a connected world. — Penguin books, 1999. — 180 p.
3. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия / Дж. Форрестер. — М.: Прогресс, 1971. — 340 с.
4. Боровська Т. М. Основи теорії управління та дослідження операцій. Навчальний посібник / Т. М. Боровська, І. С. Колесник, В. А. Северілов. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 242 с. — ISBN 978-966-641-275-4.
5. Моделювання та оптимізація у менеджменті: Навчальний посібник / Т. М. Боровська, В. А. Северілов, С. П. Бадьора, І. С. Колесник. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. — 145 с. — ISBN 978-966-641-287-7.

Боровская Таиса Николаевна – к. т. н., доцент кафедры компьютерных систем управления; институт автоматизации, электроники и компьютерных систем управления.

Колесник Ирина Сергеевна – к. т. н., старший преподаватель кафедры вычислительных систем. Винницкий национальный технический университет.

Северілов Виктор Андреевич – к. т. н., доцент кафедры информационных технологий. Винницкий социально-экономический институт.

Михайлова Инна Ивановна – студентка группы 2КС – 05. Винницкий национальный технический университет.