

И. З. Мухаметзянов, докт. физ.-мат. наук, профессор Уфимского государственного нефтяного технического университета, miz2004@yandex.ru

В. П. Мешалкин, докт. техн. наук, член-корр. РАН, профессор, директор МИЛРТИ, зав. каф. Логистики и экономической информатики РХТУ им. Д. И. Менделеева, г. Москва, clogist@muctr.ru

Имитационная многоагентная нечетко-логическая модель принятия маркетинговых решений промышленного предприятия в условиях неопределенности

Рассмотрена задача создания инструментальной системы поддержки принятия маркетинговых решений промышленного предприятия в условиях неопределенности. Предлагается использовать методологию многоагентного программирования для ситуационного моделирования функционирования рынка как сложной социально-экономической системы, а также процедуры нечеткого логического вывода для обработки неопределенной информации. Рассмотрены примеры ситуационных стратегий и принятия рациональных маркетинговых решений для рынка нефтегазового сервиса.

Ключевые слова: многоагентная модель рынка, методы принятия решений, нечеткая логика.

Введение

Модель системы управления является наиболее важным элементом в системах поддержки принятия решений и определяет эффективность решения. Современные тенденции развития таких моделей характеризуются все большим использованием индуктивных механизмов рассуждения, основанных на precedентах или прототипических случаях и не использующих знания предметной области для deductивных выводов. Данное исследование проводится на основе интеграции парадигмы многоагентных систем в качестве модели системы управления, построенной на основе индуктивных рассуждений агентов, и инструментов нечеткого логического вывода для обработки неопределенной информации.

Многоагентная модель рынка

Рассматривается рынок с небольшим числом конкурирующих предприятий, кото-

рые удовлетворяют долю рыночного спроса на продукцию широкого спектра и борются за максимальную прибыль и сохранение доли рынка. Поведение каждого предприятия обуславливается выбранной стратегией ценообразования, объема выпуска продукции и достижения других целей в зависимости от состояния и стратегии всех участников рынка с определением компромиссных решений, направленных на захват, удержание и стабилизацию рынка в условиях конкурентной борьбы. Покупатели в своих предпочтениях неоднородны, что отражается множеством точек в n -мерном пространстве описания продукта. Продавцы характеризуются собственными функциями затрат и выбора альтернатив. Показатели спроса покупателей зависят от характера и объема предложения и маркетинговой политики, вида и цены продукта, социального капитала.

Каждый из участников рынка в состоянии ограничить возможности конкурента своим маркетинговым решением, воздействуя на условия обращения товаров на рынке.

Маркетинговые решения относятся к выбору цены, организации рекламной деятельности, формированию свойств продукта и другим аспектам.

Динамика поведения продавцов и покупателей рынка непредсказуема, и его состояние нельзя прогнозировать ни аналитическими методами, ни путем логического анализа в условиях неопределенности, нечеткой или неполной информации. Состояние рынка является результатом сложной многошаговой деятельности большого числа его активных участников, а сам рынок представляет собой пример социально-экономической системы, взаимодействующей с окружающей средой.

Для формализованного описания деятельности продавцов и покупателей (активных участников или агентов рынка) предлагается использовать методологию многоагентного программирования для ситуационной модели функционирования рынка как сложной социально-экономической системы. Ее активными элементами (субъектами) являются агенты-продавцы, агенты-покупатели, а также внешние факторные агенты, к которым относятся рыночная ситуация и окружающая социально-экономическая среда [1–4]. При таком подходе многоагентная модель функционирования рынка может быть представлена в виде обобщенного кортежа фреймов как специальных моделей представления знаний [2, 5, 6]:

Market = <*Agent*, *Market_Char*, *Ambient*>, (1)

где *Agent* — агенты — участники рынка; *Market_Char* — характеристики рыночных ситуаций; *Ambient* — характеристики внешней социально-экономической среды для рынка.

Каждый фрейм [2, 5, 6] представляет собой сложную семантическую структуру, отображающую смысловое словесное описание в структурно-классифицированной форме иерархических знаний о каком-либо интересующем понятии (объекте, субъекте, операции, состоянии или событии) со-

циально-экономической, технологической или технической системы. Фрейм любого понятия состоит из совокупности выделенных блоков-вопросов, отображающих определенное свойство этого понятия, и блоков-ответов, отображающих различные характеристики проявления этого свойства.

Рассмотрим формальные отображения блоков-переменных для каждого фрейма, входящего в кортеж (1):

1) *Agent* = {*Ag*₁, ..., *Ag*_n}, где значения блоков-переменных *Ag*_i = [*posi_Ag*_i, *char_Ag*_i, *char_Pr*_i, *stra_Ag*_i], соответственно позиции экономических агентов на рынке; характеристика экономических агентов; характеристика конкурирующих видов продукции и стратегия экономических агентов;

2) *Market_Char* = *Market_Char* (*phase*, *size*, *p_size*, *rate*, *trend*, *distr*), где значения блоков-переменных *phase* — степень развития рынка, баллы; *size* — текущий объем рынка; *p_size* — потенциальный объем рынка; *rate* — оценка темпов роста (динамика емкости рынка) за период полного цикла продукта; *trend* — тенденция развития рынка (рост; стагнация); *distr* — каналы сбыта (уровень и мощность);

3) *Ambient* = *Ambient* (*sta_living*, *lev_econ*), где значения блоков-переменных *sta_living* — уровень жизни населения региона, охватываемого рынком; *lev_econ* — уровень экономического развития региона.

Функционирование рынка, отображаемое моделью (1), является результатом многошагового ситуационного взаимодействия многих активных агентов-субъектов рынка в условиях рыночной ситуации и под воздействием внешней окружающей среды. Рыночную ситуацию, или динамику рынка, можно задать через конечное число правил, приводящих рынок в определенное состояние.

Например, агенты-продавцы должны самостоятельно принять решение о цене, рекламе, свойствах продукта, уровне запасов продукта, образующих возможные умозрительные ситуации, которые можно воспроизвести с помощью имитационной многоагентной модели.

Имитация процедур принятия решений каждым активным агентом проводится на каждом шаге (ходе) ситуационного моделирования с последующим изменением состояния многоагентной модели. Каждой переменной состояния многоагентной модели рынка соответствует рациональное маркетинговое решение в виде некоторого продукционного правила, которое хранится в базе знаний, представленной в кодированном виде (табл. 1). Процедура принятия решений вырабатывает одно или несколько рациональных решений для каждого активного агента на заданный период времени с варьированием цены, рыночных предложений продукта и неценовых факторов в зависимости от условных событий и значений блоков-параметров фреймов *Agent*, *Market_Char*, *Ambient*, используя базу знаний продукционных правил с помощью формальной операции пересечения множеств. Из нескольких вариантов решений выбирается оптимальное по критерию максимума прибыли для каждого агента-продавца в рассматриваемый период.

Пример формального вывода рационального маркетингового решения в виде продукционного правила [*ЕСЛИ* (условие), *ТО* (действие)] для одного из агентов и заданной рыночной ситуации для значений блоков-переменных (*phase=1*, *posi_Ag=0,6*, *sta_living=0*) фреймов *Agent*, *Market_Char* и *Ambient* соответственно с использованием заключений продуктивного правила принятия рационального решения по табл. 1 выглядит следующим образом (см. формулу (2)).

В рассмотренном примере рынок находится на стадии развития, позиции агента-продавца на рынке оцениваются как средние, уровень жизни населения региона — как низкий, рациональное решение (2) означает сохранение объема выпуска продукции и проведение мероприятий по снижению се-

бестоимости продукции для активного агента-продавца, относительно которого проводится принятие решения.

После выработки решений для каждого активного агента-продавца производится оценка всех решений и с учетом фактира конкуренции принимается решение для своего предприятия. Действия, связанные с сотрудничеством и конкуренцией в системе, осуществляются одновременно. Затем следует реализация действия одного или нескольких активных агентов (транзакция), что будет соответствовать новой точке отсчета на временной шкале. В результате реализации действия ситуация на рынке изменяется, поэтому изменяются и значения части блоков-переменных. Относительно всех принятых решений агентов-продавцов производится анализ решения и выявление агента «победителя», на основании чего производится обновление базы знаний продукционных правил принятия рациональных решений.

Таким образом, для принятия маркетинговых решений промышленного предприятия предложена методология имитационного многоагентного программирования, позволяющая проводить ситуационное моделирование функционирования рынка как сложной социально-экономической системы, активными элементами-субъектами которой являются активные агенты-продавцы, агенты-покупатели, а также внешние факторные агенты — рыночная ситуация и окружающая социально-экономическая среда.

Процедура нечетко-логического принятия маркетинговых решений в условиях неопределенности

Неопределенность изучаемой социально-экономической маркетинговой системы заложена в рассматриваемых фреймах. Дей-

$$\begin{aligned}
 & \text{If } [(phase=1) \wedge (posi_Ag=0,6) \wedge (sta_living=0)] \text{ Then} \\
 & \quad ((R1 \wedge M1 \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M6)) \cap \\
 & \quad (R1 \wedge M1 \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M6)) \cap \\
 & \quad (R1 \wedge (M1 \vee M2 \vee M5) \vee R3 \wedge M1)) = [R1 \wedge M1]
 \end{aligned} \tag{2}$$

Таблица 1

Фрагмент базы знаний производственных правил

| Значение блок-переменной фрейма | Название | Значение характеристики | Заключение производственного правила принятия рационального решения |
|---------------------------------|-----------------------------------|--|--|
| <i>Market_Char</i> | | | |
| <i>phase</i> | ступень развития рынка | 0 — становление 1 — развитие 2 — насыщение | $R1 \vee R2 \wedge (M1 \vee M3)$ $R1 \wedge M1 \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M6)$ $R1 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M4 \vee M5) \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3)$ |
| <i>p_size</i> | ... | | |
| <i>Agent</i> | | | |
| <i>posi_Ag</i> | позиции активных агентов на рынке | < 0.2 0.2... 0.8 > 0.8 | $R1 \vee R2 \wedge (M1 \vee M3)$ $R1 \wedge M1 \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M6)$ $R1 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M4 \vee M5) \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3)$ |
| <i>char_Ag</i> | ... | | |
| <i>Ambient</i> | | | |
| <i>sta_living</i> | уровень жизни населения | 0 — низкий 1 — средний 2 — высокий | $R1 \wedge (M1 \vee M2 \vee M5) \vee R3 \wedge M1$ $R1 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M4) \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3) \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3 \vee M4 \vee M5) \vee R2 \wedge (M1 \vee M2 \vee M3)$ |
| <i>lev_ecol</i> | ... | | |

где $R1, R2, R3$ — решение активных агентов по выпуску продукции, соответственно сохранение, наращивание и снижение объема выпуска; $M1$ — снижение себестоимости продукции; $M2$ — уменьшение цены продукции за счет снижения себестоимости; $M3$ — улучшение охвата рынка за счет маркетинговых мероприятий; $M4$ — улучшение конкурентных свойств товара; $M5$ — уменьшение цены продукции за счет сокращения нормы прибыли; $M6$ — увеличение цены продукции за счет улучшения эксплуатационных свойств.

Следует отметить, что информация об агентах-представителях ограничена и может быть оценена лишь экспертно и приблизительно, информация о состоянии рынка также обладает неопределенностью в силу непредсказуемости действий участников рынка и предпочтений покупателей.

Выходные переменные (Y) модели принятия маркетинговых решений промышленного предприятия включают такие данные, как объем выпуска продукции, цена, расходы на рекламу и продвижение продаж, расходы на организацию сбыта, качество продукции. Этот перечень фиксирован, в то время как выбор входных переменных (X) есть результат экспертного решения компании на основе знаний рыночной среды ведения своего бизнеса. Предположим, предприятие анализирует следующие входные переменные, определяющие маркетинговые решения.

Данные предприятия: X_1 — объем продаж предыдущего периода; X_2 — прогноз продаж; X_3 — плановые продажи; X_4 — целевая прибыль; X_5 — степень удовлетворенности клиентов.

Данные агентов-конкурентов: X_6 — цены; X_7 — качество продукции; X_8 — реклама; X_9 — расходы на маркетинг; X_{10} — конкурентный уровень.

Данные рынка: X_{11} — объем рынка; X_{12} — сегментация рынка.

Такие переменные, как прогноз продаж, данные конкурентов, рекламы, распределение расходов и др., являются неопределенными переменными, значение которых не может быть известно точно. Но они могут быть интерпретированы как высокое, низкое, связанное с центром или средним значением. Аналогично не может быть определена точно переменная, отражающая

пределную реакцию рынка, так как она основана на оценке или экстраполяции недостоверных данных. Субъективные факторы, такие как конкуренция и конкурентные позиции компаний, для которых количественная оценка основана на чистом суждении экспертов компании и, как следствие, человеческих суждений, следует рассматривать как неопределенные.

Поэтому, учитывая значительную неопределенность информации о конкурентной ситуации на рынке и о внешней социально-экономической среде, необходимо формализовать предметную область, а именно имитируемую ситуацию на рынке, конкурирующие фирмы-агенты в многоагентной модели рынка, отношения между ними и рациональные решения с использованием аппарата теории нечетких множеств на основе событийного аппарата. Предполагается, что любую ситуацию, состоявшуюся или прогнозируемую, или событие на рынке можно представить нечетким множеством, а любое событие имеет тип и нечеткое содержание — совокупность нечетких типизированных множеств, отображающих классификацию событий.

Для обработки неопределенной информации в разрабатываемой процедуре принятия решений использованы методы нечеткого логического вывода и принятия решения в условиях неопределенности. Реализация нечеткого вывода выполнена с использованием алгоритма Мамдани [8], в котором взаимосвязь между заданными в виде нечетких множеств входами $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ и выходом Y определяется нечеткой импликацией

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} (X_i = a_{i,p}) \rightarrow Y = d_j, \quad j = 1, m, \quad (3)$$

где $a_{i,p}$ — нечеткий терм, которым оценивается лингвистическая переменная X_i в строке с номером p ($p = 1, \dots, k$); k — количество строк-конъюнций, в которых выход — лингвистическая переменная Y оценивается термом d ; m — количество термов, используемых для выходной лингвистической переменной Y .

$$a_{i,p} = \int_{x_1}^{x_k} \mu_p(x_i) / x_i, \quad x_i \in [x_i, \bar{x}_i]; \quad (4)$$

$$d_j = \int_{\underline{y}}^{\bar{y}} \mu_d(y) / y, \quad y \in [\underline{y}, \bar{y}],$$

где $\mu_p(x_i)$ и $\mu_d(y)$ — функции принадлежности входа X_i и выхода Y нечеткому терму.

Последовательно используя операцию фазификации, преобразующую фиксированный вектор влияющих факторов X в вектор нечетких множеств \bar{X} , необходимых для выполнения нечеткого логического вывода, нечеткую базу знаний, содержащую информацию о зависимости $Y = f(X)$ в виде нечетких продукционных правил типа «ЕСЛИ (...), ТО (...», позволяющих определять значение выходной переменной в виде нечеткого множества Y , соответствующего нечетким значениям входных переменных X и дефазификатор, преобразуем выходное нечеткое множество \bar{Y} в четкое число Y .

Рассмотрим модельный пример для выходной переменной Q — качество продукции. Экспертная база знаний содержит шесть табличных функций — терм значений параметра Q (табл. 2).

Решения $Q_1(X_1, X_{10})$; $Q_2(X_4)$; $Q_3(X_2, X_3)$; $Q_4(X_6, X_7)$; $Q_5(X_5)$; $Q_6(X_9)$ в зависимости от объема продаж предыдущего периода (X_1), уровня конкуренции (X_{10}), прибыли (X_4), прогноза (X_2), плана продаж (X_3), цены (X_6), качества продукции конкурентов (X_7), удовлетворенности клиентов (X_5) и расходов на маркетинг конкурентов (X_9), построенные на стандартном пятиуровневом классификаторе, выражаются следующими значениями термов лингвистических переменных: VL — очень низкий; L — низкий; M — средний; H — высокий; VH — очень высокий.

Приведем пример правила вывода для выходной переменной Q : $Q_1 = \{\text{If } X_1 = \text{"M"} \wedge X_{10} = \text{"H"} \text{ then } Q = \text{"VH"}\}$ для трапециевидной функции принадлежности. Для нормирован-

Таблица 2

Экспертные правила принятия решений для переменной Q (качество продукции)

| Then | | if X_1 | | | | | Then | | if X_6 | | | | |
|-----------------|----|-----------|----|----|----|----|--------------|----|----------|----|----|----|----|
| Q_1 | | VL | L | M | H | VH | Q_4 | | VL | L | M | H | VH |
| And if X_{10} | VL | M | M | M | M | M | And if X_3 | VL | L | L | L | L | L |
| | L | M | M | M | M | M | | L | M | M | M | L | L |
| | M | H | H | H | H | H | | M | H | H | H | M | M |
| | H | VH | VH | VH | VH | VH | | H | VH | VH | VH | H | H |
| Then | | if X_4 | | | | | Then | | if X_5 | | | | |
| Q_2 | | VL | L | M | H | VH | Q_5 | | VL | L | M | H | VH |
| | | L | L | M | H | H | Q_6 | | L | M | M | VH | VH |
| Then | | if X_2 | | | | | Then | | if X_8 | | | | |
| Q_3 | | VL | L | M | H | VH | Q_7 | | VL | L | M | H | VH |
| And if X_5 | VL | M | M | L | L | L | VL | H | M | M | M | L | |
| | L | M | M | L | L | L | VH | H | M | M | M | L | |
| | M | M | M | M | M | M | | | | | | | |
| | H | H | H | H | H | H | | | | | | | |
| Then | | if X_10 | | | | | Then | | if X_9 | | | | |
| Q_4 | | VL | L | M | H | VH | Q_8 | | VL | L | M | H | VH |
| | | L | L | M | H | H | Q_9 | | VH | H | M | M | L |
| Then | | if X_3 | | | | | Q_{10} | | if X_7 | | | | |
| Q_5 | | VL | L | M | H | VH | Q_{11} | | VL | L | M | H | VH |
| | | L | M | M | M | M | Q_{12} | | VH | H | M | M | L |
| Then | | if X_6 | | | | | Q_{13} | | if X_8 | | | | |
| Q_6 | | VL | L | M | H | VH | Q_{14} | | VL | L | M | H | VH |
| | | L | M | M | M | M | Q_{15} | | VH | H | M | M | L |

ных значений входной переменной $X_{10} = 0,77$ функции принадлежности принимают значения $\mu_M(X_1 = 0,42) = 0,6$ и $\mu_H(X_{10} = 0,77) = 0,8$ соответственно (расчет проведен по аналитическому выражению функции). Тогда лингвистическая выходная переменная Q принимает терм-значение «VH» со значением функции принадлежности, определяемой по правилу операций с нечеткими числами:

$$\mu_1 = \mu_{VH}(Q) = \min\{\mu_M(X_1),$$

$$\mu_H(X_{10})\} = \min\{0,6; 0,8\} = 0,6.$$

При следующих заданных текущих входных установках (в нормированном виде):

$$X_1 = 0,27 \text{ (L)}; X_2 = 0,8 \text{ (VH)}; X_3 = 0,68 \text{ (H)};$$

$$X_4 = 0,41 \text{ (M)}; X_5 = 0,5 \text{ (M)};$$

$$X_6 = 0,7 \text{ (H)}; X_7 = 0,7 \text{ (H)}; X_8 = 0,8 \text{ (VH)}; \\ X_9 = 0,5 \text{ (M)}; X_{10} = 0,77 \text{ (H)}.$$

По таблице 2 экспертных правил принятия решений для переменной Q получим: $Q_1(L, H) = VH$; $Q_2(M) = M$; $Q_3(VH, H) = H$; $Q_4(H, H) = H$; $Q_5(M) = M$; $Q_6(M) = M$.

Тогда значения функции принадлежности равны:

$$\mu_1 = \mu_{VH}(Q_1) = \min\{\mu_L(X_1), \mu_{VH}(X_{10})\} = 0,8; \\ \mu_2 = \mu_M(Q_2) = \mu_M(X_4) = 0,6;$$

$$\mu_3 = \mu_H(Q_3) = \min\{\mu_{VH}(X_2), \mu_H(X_3)\} = 0,8; \\ \mu_4 = \mu_H(Q_4) = \min\{\mu_H(X_6), \mu_H(X_7)\} = 1;$$

$$\mu_5 = \mu_M(Q_5) = \mu_M(X_5) = 1; \\ \mu_6 = \mu_M(Q_6) = \mu_M(X_9) = 1.$$

Для нескольких нечетких логических выводов относительно выходного параметра Q проводим дефазификацию по правилу (по методу центра тяжести):

$$Q = \frac{\sum \mu_i \cdot Q_i}{\sum \mu_i}, \quad (5)$$

где Q — абсцисса точки максимума (узловая точка) функции принадлежности, для которой Q принимает соответствующее термическое значение.

Пусть для термов VL, L, M, H, VH — точки максимума показателя рейтинга качества Q , соответственно 1, 2, 3, 4, 5 (баллы). Тогда из соотношения (5) $Q = 3,65$. С применением правила округления до большего целого $Q = 4$.

Как правило, экспертные решения построены так, чтобы обеспечить согласованность между всеми выходными параметрами маркетинга — в нашем случае между ценой продукции, сбытом и расходами на рекламу. Формально это означает, что правила для термов решений цены и сбыта должны включать найденное значение нечеткой оценки качества в виде, например, $P = F(X_c, Q)$. Это является одним из преимуществ методики «мягких» вычислений. Описанная процедура принятия решения по нечетким данным применяется отдельно для каждого продукта и для каждой торговой площадки путем обработки соответствующих входных переменных и заполнения базы знаний необходимыми данными.

Система нечеткого моделирования, как и любой другой тип моделирования, требует калибровки путем совершенствования базы знаний и подбора функций принадлежности.

Концептуальная модель

Блок-схема концептуальной многоагентной нечетко-логической модели принятия маркетинговых решений в условиях неопределенности представлена на рис. 1.

Комплексная процедура ситуационного анализа рынка как сложной социально-экономической системы в условиях неопределенности включает следующие основные этапы.

Этап 1. Мониторинг внешней и внутренней среды.

Этап 2. Анализ и обработка аналитической, вероятностной и нечеткой информации о состоянии рынка.

Этап 3. Аналитический ситуационный анализ функционирования многоагентной модели рынка.

Этап 4. Выбор оптимальных маркетинговых стратегий в соответствии со спросом на продукцию и предложениями продукции на рынке в текущих и будущих условиях.

Этап 5. Выбор оптимальных решений.

Этап 6. Перенастройка базы знаний.

Этап 7. Подготовка отчетных материалов по результатам вычислительных экспериментов.

Процедура обладает возможностью анализа данных, представленных в верbalной форме с последующей выработкой маркетинговой стратегии для многоагентного конкретного рынка по трем настраиваемым группам факторов, включающим характеристики рынка, участников рынка, социально-экономическую среду. Процедура оценивает параметры маркетинга на время стратегического планирования и имеет обратную связь, позволяющую уточнять базу знаний и правила принятия решений. При этом время планирования соответствует времени обновления продукта на рынке.

Мониторинг внешней и внутренней среды включает сбор, анализ и обработку аналитической, случайной и нечеткой информации. Имитационная многоагентная модель позволяет проводить ситуационный анализ рынка при различных экономических и социальных возмущениях и формализовать взаимодействие и свойства агентов-конкурентов в виде нечетких высказываний в зависимости от состояния других агентов и внешней среды. Выбор оптимальных маркетинговых стратегий осуществляется на основе нечет-

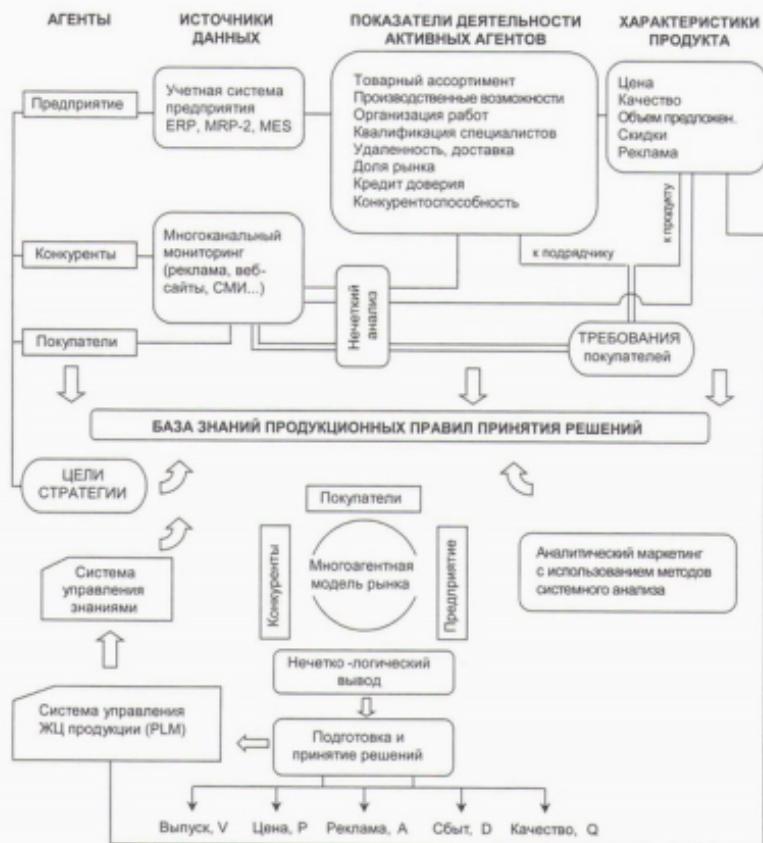


Рис. 1. Блок-схема принятия маркетинговых решений в условиях неопределенности с использованием многоагентной модели рынка

кого принятия решений, что позволяет в условиях неопределенности повысить степень обоснованности принимаемых маркетинговых решений.

Применение модели

Предложенная модель применялась для принятия решений в условиях рынка нефтегазового сервиса на материалах четырех предприятий-конкурентов, предоставляющих услуги. Разыгрывается ситуация, когда предприятия конкурируют в получении в долгосрочной перспективе определенной

доли рынка, а в краткосрочной — в получении контрактов на поставку оборудования по тендеру.

Суть имитационного эксперимента состоит в следующем. Для каждого активного агента и заданной рыночной ситуации устанавливаются значения блоков-параметров фреймов *Agent*, *Market_Char*, *Ambient* для некоторого момента времени. С использованием базы знаний производственных правил выбирается оптимальное решение каждого активного агента-продавца в рассматриваемый период. После выработки решений на основе конкуренции осуществляется

принятие решения для своего предприятия. Относительно всех принятых решений агентов-продавцов производится анализ решения и выявление агента «победителя». Затем реализуются действия одного или нескольких активных агентов (транзакция), что будет соответствовать новой точке отсчета на временной шкале.

На рисунках 2 и 3 представлены результаты изменения доли рынка для четырех компаний при разыгрывании ситуационных стратегий и принятия рациональных маркетинговых решений соотношения цена — качество продукции. Условные моменты времени на графиках соответствуют моментам окончания тендера. Относительная доля рынка после проведения тендера меняется. Рациональные решения агентов-конкурентов направлены на снижение соотношения цена — качество продукции с целью получения большей доли рынка. На рисунке 2 можно наблюдать выравнивание долей рынка для четырех игроков при варьировании соотношения цена—качество для всех игроков. На рисунке 3 представлены графики, отражающие рост доли рынка для двух игроков при их активной стратегии и уменьшение доли рынка двух других агентов при их пассивной стратегии.

В результате реализации действия одного или нескольких активных агентов ситуация на рынке изменяется, поэтому до пе-

рехода к следующему условному моменту времени значения части блок-переменных меняются. На основании рационального решения агента «победителя» производится также обновление базы знаний продукции правил принятия рациональных решений.

При проведении тендера на поставку оборудования выигрывают участники, предлагающие лучшие условия оказания услуг и лучшую цену, которые известны только самому участнику и комиссии. При установлении цены участники исходят прежде всего из цены, которую могут назначить конкуренты, а эта информация является неопределенной. В процессе участия в тендерах конкуренты вынуждены снижать цену по сравнению с ценой предыдущего тендера, и поэтому цена может быть охарактеризована нечетко-логическими методами с учетом итогов предыдущих торгов.

На рисунке 4 представлены результаты ситуационных стратегий ценообразования в условиях проведения тендера на поставку и ремонт нефтепромыслового оборудования с участием указанных выше четырех фирм-конкурентов. По графику можно наблюдать процессы эластичного ценообразования при большом различии исходных цен и отсутствии преимуществ у конкурентов, что согласуется с реальными экономическими предположениями.

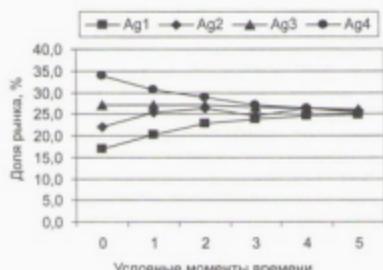


Рис. 2. Изменение доли рынка для четырех игроков при рациональной стратегии соотношения цена—качество для всех игроков

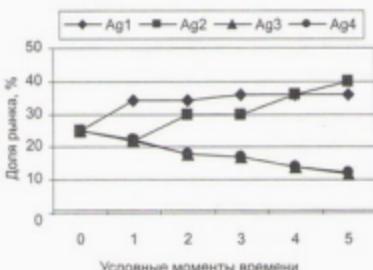


Рис. 3. Изменение доли рынка для четырех игроков при активной стратегии Ag1 и Ag2

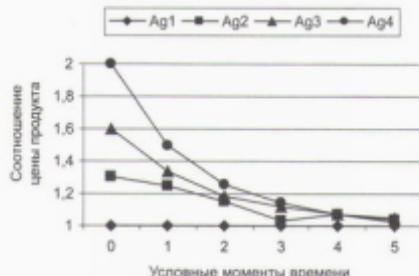


Рис. 4. Стабилизация цен при неизменных условиях на рынке для четырех игроков

Заключение

В работе предложена комплексная процедура ситуационного анализа рынка как сложной социально-экономической системы в условиях неопределенности. Процедура использует в качестве основы имитационную многоагентную нечетко-логическую модель принятия маркетинговых решений промышленным предприятием. В модели применяется методология многоагентного программирования и процедура нечеткого логического вывода и принятия решений в условиях неопределенности.

Предложенный подход повышает обоснованность принимаемых маркетинговых решений. Многоагентную модель, использование нечетких логических методов для обработки нечеткой информации и формирование нечетких логических выводов в контуре системы поддержки принятия решений

можно считать перспективными для оценки ситуационных стратегий и выработки эффективных маркетинговых решений, учитывающих спрос и предложение в условиях многоагентного рынка.

Список литературы

1. Aliev R. A., Fazlollahi B., Vahidov R. M. Soft Computing Based Multi-Agent Marketing Decision Support Systems // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2000. V. 9. P. 1–9.
2. Мешалкин В. П. Экспертные системы в химической технологии. М.: Химия, 1995. — 367 с.
3. Бахтизин А. Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: Изд-во «Экономика», 2008. — 280 с.
4. Ивашкин Ю. А. Агентные технологии моделирования рынка // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 4. С. 165–176.
5. Мешалкин В. П., Образцов А. А. Декомпозиционно-эвристический алгоритм оптимального размещения технологического оборудования химических производств // Известия вузов (серия «Химия и химическая технология»). 2009. № 10 (52). С. 102–105.
6. Мешалкин В. П., Богомолов Б. Б. Принципы разработки экспертной системы оптимальной компоновки оборудования химических производств // ТОХТ. 1994. № 6 (28). С. 638–643.
7. Зайнашева Е. Б., Мухаметзянов И. З. Оценка маркетинговых решений в условиях нечеткой рыночной информации // РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция. 2013. № 2. С. 38–41.
8. Прикладные нечеткие системы / под ред. Т. Тэрэно, К. Асая, М. Сугэно. М.: Мир, 1993. — 368 с.

I. Mukhametzyanov, Dr of Physics & Mathematics, Professor, Ufa State Petroleum Technological University, miz2004@yandex.ru

V. Meshalkin, Dr. Tech. Sci., Professor, D. Mendelev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, clogist@muctr.ru

Simulation multiagent fuzzy logic model for industrial companies marketing decision making under uncertainty

The task of creating a tool-making support system of industrial enterprise marketing decisions under uncertainty. It is proposed to use the methodology for multi-agent programming situational modeling functioning of the market as a complex socio-economic system and fuzzy inference procedures for handling uncertain information. We consider examples of situational strategies and making rational marketing solutions for oil and gas service market.

Keywords: multi-agent market model, decision-making methods, fuzzy logic.