

УДК 519.71:004.94

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О МОДЕРНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ПРОМЫШЛЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Копотева Анна Владимировна,

аспирант кафедры автоматизации технологических процессов
Березниковского филиала ФГБОУ ВПО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»,

Россия, 618404, г. Березники, ул. Тельмана, 7. E-mail: kopoteva_av@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности работы предприятий за счет математически обоснованного внедрения технологических мероприятий.

Цель исследования: разработка и реализация метода принятия решения о внедрении на промышленном предприятии массового производства, действующего в условиях олигополии, технологического мероприятия, предложенного сторонним разработчиком и позволяющего снизить затраты и повысить эффективность деятельности.

Методы исследования. Постановка и решение задачи выполнены в рамках методологии системного анализа; реализационная структура построена в виде дерева решений исходя из перечня участников ситуации и вариантов их поведения; оценка параметров функций затрат производителей отрасли и совокупного спроса выполнена методом регрессионного анализа на основании сведений, имеющихся в годовой финансовой отчетности; задача моделирования взаимодействия предприятий и расчета их прибылей в каждом из исходов решена с использованием теоретико-игрового подхода; оценка вероятностей достижения каждого из возможных исходов по экспертно определенным нечетким вероятностям выбора участниками ситуации вариантов своего поведения выполнена средствами нечеткой арифметики с последующей дефаззификацией результата методом абсциссы центра тяжести; сформированная вероятностно-стоимостная оценочная структура дает возможность принять решение в условиях риска; практическая реализация метода выполнена в виде программного продукта в среде Borland Delphi.

Результаты. Использование разработанного метода при принятии решения в условиях риска по критерию средней ожидаемой прибыли на примере двух предприятий калийной промышленности позволило обосновать выбор наилучшего варианта их поведения в случае мероприятия с определенными характеристиками.

Ключевые слова:

Принятие решений, системный анализ, регрессионный анализ, теоретико-игровой подход, теория нечетких множеств, калийная промышленность.

Введение

Постановка и решение классических задач управления выполняется математическими методами в предположении жестких функциональных связей между управляющими воздействиями и управляемыми показателями, что ограничивает их применение в социально-экономических системах. Кроме того, для учета разных существенных факторов используются разные методы, и одновременное их включение в одну задачу затруднительно. Следовательно, эффективное управление предприятием в современных условиях требует разработки новых и модификации существующих методов принятия решений.

Рассмотрим обоснование принятия решения о внедрении на промышленном предприятии технологического мероприятия, позволяющего снизить себестоимость единицы продукции. В случае массового производства однородного продукта даже небольшое снижение затрат на единицу продукции позволяет получать значительную экономию. Будем предполагать, что предприятие действует в условиях олигополистического рынка, а мероприятие предлагает сторонний разработчик. Реализация ресурсосберегающих мероприятий ведет к повышению эффективности и конкурентоспособности [1]. При этом для обоснования решения о внедрении необходимо спрогнозировать последствия (производственные и финансовые) в случае

внедрения и отказа от него и сравнить варианты. Тесная взаимозависимость производителей-олигополистов приводит к необходимости учета последствий внедрения мероприятия даже на одном предприятии для всей отрасли. Кроме того, одним из неотъемлемых и существенных свойств новых технологий является высокая неопределенность их внедрения и результатов. Таким образом, нашей задачей является разработка и реализация метода обоснованного принятия решения о внедрении на действующем в условиях олигополии промышленном предприятии крупнотоннажного производства технологического мероприятия по снижению себестоимости единицы продукции в условиях неопределенности. Для решения подобных задач применяются различные математические методы. Подробный их обзор с анализом возможностей и недостатков выполнен нами в [2]. Кратко охарактеризуем наиболее распространенные из них.

- Регрессионные модели [3] и временные ряды [4] характеризуются относительной простотой математического аппарата и наличием формальных процедур проверки качества моделей. При этом их реализация требует значительных объемов эмпирических данных, результат имеет статистический характер и зависит от качества исходной информации. Кроме того, результат экстраполяции может оказаться недопустимым.

- Модели дифференциальных уравнений [5], их систем [6], вариационного исчисления и теории оптимального управления [7] имеют развитый математический аппарат, позволяют оптимизировать и прогнозировать исследуемые процессы. Однако использование метода требует значительного уровня математической подготовки исследователя, аналитического решения может не существовать, а непрерывный детерминированный характер результатов не всегда соответствует реальности.
- Системы показателей инновационной активности [8] и инвестиционных проектов [9] являются относительно простыми экономическими методами исследования, дающими возможность сравнения с другими аналогичными объектами. Тем не менее, множественность критериев оценки дает неоднозначные результаты, а детерминированный их характер не всегда соответствует реальности.
- Методы исследования операций [10, 11] отличаются универсальностью и развитостью математического аппарата решения задач оптимизации. Недостатками здесь являются требование жестких функциональных связей между факторами, что не всегда соответствует реальности, а также сложность реализации в задачах большой размерности.
- Теоретико-игровые модели [12–14] позволяют достаточно простыми средствами учитывать несовпадение интересов принимающего решение субъекта и прочих участников ситуации, формировать и оценивать различные сценарии развития ситуации. Однако в случае сложных проблем данный метод отличается высокой трудоемкостью, вследствие чего его использование оказывается экономически нецелесообразно.
- Вероятностные и статистические методы [15] имеют развитый математический аппарат и дают возможность прогнозирования с учетом случайностей в развитии ситуации, а также оценки рисков как меры разброса относительно среднего ожидаемого результата. Однако использование данной группы методов требует освоения достаточно сложной теоретической базы, а также проведения множественных экспериментов/наблюдений.

Математическая формализация любой задачи принятия решения (ЗПР) предполагает построение ее реализационной и оценочной структур [16]. Для определения реализационной структуры необходимо знать возможные варианты поведения (альтернативы) субъекта, принимающего решение, X и возможные состояния среды Y . Отметим, что в теоретико-игровых моделях поведение среды определяют все участники ситуации, интересы которых отличаются от интересов субъекта, принимающего решение. Тогда каждой паре (x, y) , $x \in X$, $y \in Y$ соответствует определенное состояние объекта управления, называемое исходом a из их множества A . Отображение $F: X \times Y \rightarrow A$ декартова про-

изведения множеств альтернатив и состояний среды на множество возможных исходов A и формирует реализационную структуру ЗПР.

Под оценочной структурой ЗПР понимают оценку множества исходов лицом, принимающим решение (ЛПР), исходя из его предпочтений. Наличие такой оценки позволяет ответственному лицу сформулировать критерий оптимальности и выбрать наилучшую для него альтернативу.

В зависимости от содержания оценочной структуры различают принятие решения в условиях [17]:

- определенности (когда данные об объекте управления и среде известны точно);
- неопределенности (когда данные об объекте исследования и среде частично отсутствуют);
- риска (когда данные об объекте исследования и среде описываются вероятностными распределениями).

Постановка и решение сложной ЗПР в системном моделировании предполагает ее декомпозицию [18], т. е. представление в форме нескольких взаимосвязанных частных подзадач, формализуемых в терминах подходящих математических методов. Выбор методов определяется спецификой объекта управления и имеющимися в распоряжении исследователя данными о нем. Агрегация результатов решений частных задач дает реализационную и оценочную структуры исходной задачи.

Постановка и концепция решения задачи о модернизации производства промышленного предприятия

Для определения множеств состояний среды и альтернатив, имеющихся в распоряжении субъекта, принимающего решение, необходимо выявить участников ситуации и варианты их действий. Первым участником в нашем случае является производитель, в интересах которого принимается решение. Вариантами его поведения могут быть приобретение с целью внедрения или отказ от приобретения предложенного мероприятия. С точки зрения формальной постановки ЗПР этот производитель является ЛПР, а имеющиеся в его распоряжении варианты действий – альтернативами, подлежащими оценке с целью выбора оптимальной.

Прочие участники ситуации являются элементами среды и определяют ее поведение. Вторым участником – это разработчик мероприятия, поведение которого можно описать двумя парами действий. Первая из них характеризует возможность достижения заявленного эффекта от внедрения мероприятия, т. е. его реализуемость на практике. Вторая – готовность к повторной продаже мероприятия тем производителям, которым предложение еще не делалось.

Третья группа участников ситуации – это прочие производители отрасли, т. е. конкуренты субъекта, принимающего решение. Отметим, что для решения ЗПР достаточно рассмотреть лишь

тех, обратиться к которым у разработчика имеется реальная возможность. Вариантами поведения каждого производителя в случае обращения к ним разработчика являются приобретение с целью внедрения и отказ от приобретения мероприятия.

Поведение участников, как и последствия их действий, в достаточной степени случайно. Случайность возникает при внедрении реализуемого на практике мероприятия и определяется технологическими особенностями конкретного предприятия, а также квалификацией задействованного персонала. Поскольку оперативно сменить технологию и персонал невозможно, мероприятие может быть внедрено или нет. Успешность внедрения как в собственное производство, так и у конкурентов слабо контролируется ЛПП и определяет стохастический характер задачи.

Таким образом, выявлено три участника и случайная компонента задачи, взаимодействие которых позволяет описать развитие ситуации в виде дерева (рис. 1). Естественной представляется следующая последовательность действий участников ситуации. На нулевом шаге разработчик решает, реальное или неосуществимое мероприятие предлагать производителям, а также к кому из них обращаться в первую очередь. Далее ЛПП на предприятии, куда поступило предложение о приобретении, выбирает, покупать его или нет. Внедрение неосуществимого мероприятия не может быть успешным. Реальное же мероприятие может быть внедрено или нет. После отказа от приобретения, а также после попытки внедрения разработчик выбирает, предлагать ли мероприятие оставшимся производителям (если нет, то решение окончено), и если да, то кому из них. Далее решение о покупке принимает следующий производитель и т. д. Множество конечных вершин дерева определяет все возможные исходы ситуации и дает искомую

реализационную структуру ЗПР. Путь от корневой до данной конечной вершины определяет последовательность действий участников, приводящую к данному исходу.

После определения множества исходов ситуации возникает задача их стоимостной оценки ЛПП. Согласно экономической теории, основной целью деятельности фирмы является максимизация прибыли [19], поэтому именно прибыль целесообразно выбрать в качестве характеристики исхода. Соответственно, наилучшей будет альтернатива, позволяющая субъекту, принимающему решение, получить максимум прибыли. Для простоты будем рассматривать бухгалтерскую прибыль, определяемую разностью выручки от реализации продукции и общими явными затратами на ее производство и сбыт. Поскольку выручка рассчитывается как произведение объема продукции и цены ее единицы, то для ее вычисления необходимы соответствующие фактические данные о ценах и натуральных объемах реализации в отрасли.

Оценка затрат может быть выполнена методом регрессионного анализа [20, 21]. Существуют линейная, квадратичная и кубическая модели зависимости совокупных затрат от объема выпуска/продаж [22. С. 390]. Неизвестные параметры каждой из них определяются с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [23] по данным о натуральных объемах продаж и совокупных затратах. Необходимые сведения имеются в ежегодных отчетах предприятий, акции которых обращаются на международных фондовых биржах. Выбор вида уравнения осуществляется на основании нескольких критериев:

- соответствие знаков расчетных коэффициентов модельным (в случае несоответствия уравнение непригодно для использования);

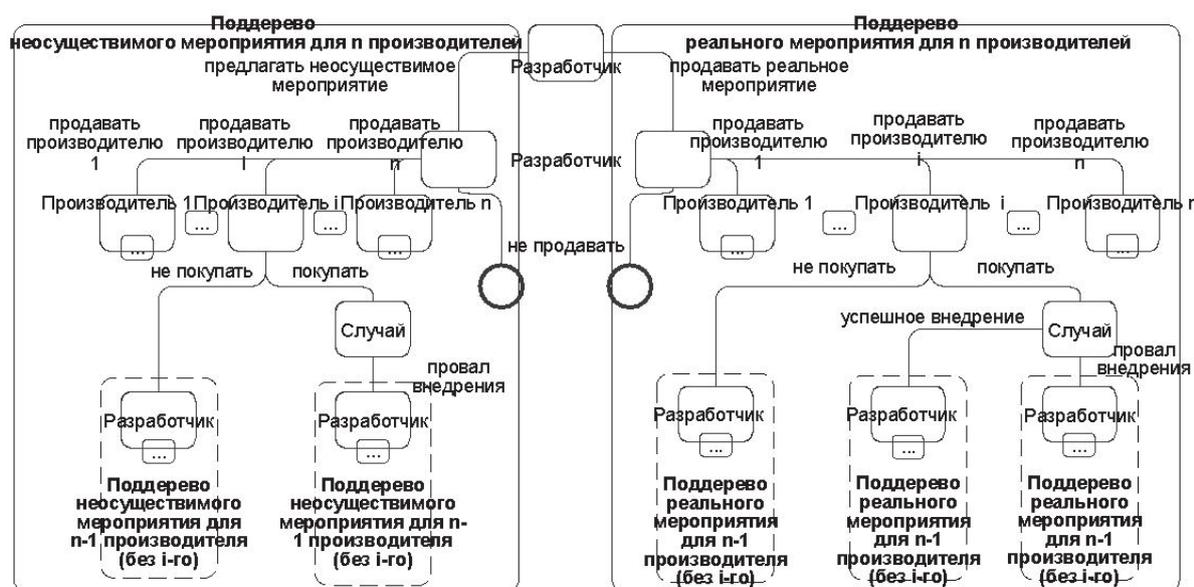


Рис. 1. Схема формирования дерева событий в задаче о модернизации производства

Fig. 1. Diagram of event tree formation in enterprise modernization

- *p*-значение (*p-value*), определяющее вероятность ошибки при отклонении основной статистической гипотезы о неадекватности модели в пользу альтернативной (модель тем лучше, чем данное значение меньше);
- остаточная дисперсия, характеризующая среднюю сумму квадратов отклонений фактических значений затрат от модельных (чем меньше, тем ближе модельные значения к фактическим и качественнее модель);
- коэффициент/индекс детерминации, характеризующий долю разброса зависимой переменной (в нашем случае затрат), «объясненную» моделью (чем ближе эта доля к единице, тем лучше уравнение описывает эмпирические данные).

Выполненное на примере мировой калийной отрасли исследование [24] показало, что наиболее подходящей формой уравнения общих затрат является линейное вида $TC = AVC \cdot Q + TFC$, где TC – совокупные затраты производителя в стоимостном выражении (USD); AVC – средние переменные затраты в стоимостном выражении (USD); Q – объем продаж в натуральном выражении; TFC – общие постоянные затраты в стоимостном выражении (USD). Рассчитанные по статистическим данным значения AVC и TFC используются в качестве оценок затрат на предприятиях отрасли до внедрения предложенного исследователем мероприятия. В соответствии с определенными ранее вариантами действий участников, затраты каждого из производителей могут:

- оставаться неизменными в случае отказа производителя от приобретения мероприятия;
- измениться по суммам TFC и AVC после успешного внедрения мероприятия в соответствии с заявленными исследователем уровнями;
- измениться по сумме TFC после провала внедрения мероприятия на сумму стоимостей приобретения, попытки внедрения и ликвидации последствий его провала.

Взаимодействие производителей отрасли в условиях олигополии, позволяющее определить их объемы реализации и цену единицы продукции, моделируется в рамках игрового подхода. Существуют модели по Курно и Бертрану [25, 26]. В первом случае считается, что участники рынка для получения максимальной прибыли управляют объемами, во втором случае – ценами. Выбор подходящей модели осуществляется, исходя из особенностей отрасли. Считается, что если в отрасли действует несколько производителей приблизительно одинакового размера, продукт однороден, а сговор о ценообразовании отсутствует, то манипулирование ценой маловероятно, спрос на продукцию каждого предприятия представляет собой ломаную линию, состоящую из двух участков прямых [22. С. 508], и используется модель олигополии по Курно. В классическом варианте она позволяет определить объемы продаж всех производителей, максимизирующие их прибыли, в предположе-

ниях, что функция отраслевого спроса линейна, ее параметры известны, средние переменные затраты производителей одинаковы, а объемы производства не ограничены. Для рассматриваемой ЗПР линейная функция спроса неизвестна, МНК-оценки средних переменных затрат производителей не могут считаться одинаковыми, а объем продаж каждого из них ограничен сверху производственной мощностью.

Построение линейной отраслевой функции спроса может быть выполнено путем суммирования ломаных индивидуальных спросов отдельных участников и сглаживания результата линейным трендом.

Расчет оптимальных объемов с учетом различных уровней затрат и производственных мощностей производителей выполним исходя из следующих соображений. Прибыль s -го предприятия π_s , $s = \overline{1, n}$ в случае линейных функций затрат производителей

$$TC_s = TFC_s + Q_s \cdot AVC_s, s = \overline{1, n}$$

и спроса

$$P = P_0 - K \cdot \sum_{s=1}^n Q_s \quad (1)$$

описывается уравнением вида

$$\begin{aligned} \pi_s(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = \\ = \left(P_0 - K \cdot \sum_{i=1}^n Q_i - AVC_s \right) \cdot Q_s - TFC_s, \end{aligned}$$

где n – число производителей отрасли; $P_0 > 0$ и $K > 0$ – параметры спроса. Тогда необходимое условие экстремума (максимума прибыли) s -го предприятия представляет собой линейное уравнение вида

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_s(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)}{\partial Q_s} = \\ = P_0 - K \cdot Q_s - K \cdot \sum_{i=1}^n Q_i - AVC_s = 0, s = \overline{1, n}, \quad (2) \end{aligned}$$

а их совокупность для всех производителей – систему линейных уравнений. Решение этой системы, определяющее оптимальные объемы реализации, имеет вид

$$Q_s^* = \frac{1}{K \cdot (n+1)} \cdot \left(P_0 - n \cdot AVC_s + \sum_{i \neq s} AVC_i \right), s = \overline{1, n}.$$

При этом значения некоторых Q_s^* могут оказаться больше производственных мощностей соответствующих производителей Q_s^{\max} . Возникает необходимость перераспределить излишки на тех участников отрасли, оптимальные объемы которых оказались меньше их производственных мощностей. Для этого превышающие производственные мощности Q_s^* заменяются соответствующими Q_s^{\max} и считаются определенными, а множество производителей распадается на два непересекающихся подмножества. Первое $D = \{i_1, i_2, \dots, i_d\}$ включает тех из них, для которых оптимальные объемы

определены и равны $Q_s^* = Q_s^{\max}$, $s \in D$. Второе $U = \{1, 2, \dots, n\} \setminus D$ включает производителей с подлежащими пересчету объемами реализации. Прибыль производителя второй группы принимает вид

$$\begin{aligned} \pi_s(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) &= \\ &= \left(P_0 - K \cdot \left(\sum_{k \in D} Q_k^* + \sum_{j \in U} Q_j \right) - AVC_s \right) \cdot Q_s - TFC_s, \\ & \quad s \in U, \end{aligned}$$

а необходимое условие –

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_s(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)}{\partial Q_s} &= \\ &= P_0 - K \cdot Q_s - K \cdot \left(\sum_{k \in D} Q_k^* + \sum_{j \in U} Q_j \right) - AVC_s = \\ &= \underbrace{P_0 - K \cdot \sum_{k \in D} Q_k^*}_{P'_0} - K \cdot Q_s - K \cdot \sum_{j \in U} Q_j - AVC_s = 0, \\ & \quad s \in U, \end{aligned}$$

т. е. получается аналогичная (2) задача меньшей размерности. Решение возникающей последовательности задач уменьшающейся размерности позволяет определить оптимальные объемы продаж всех n производителей с учетом ограниченных производственных мощностей и различных уровней средних переменных затрат. Подстановка найденных значений в уравнение спроса (1) дает цену единицы продукции, и в нашем распоряжении оказываются все необходимые данные для расчета прибыли, т. е. стоимостных оценок исходов. Очевидно, что на величину максимальной прибыли влияет целая система факторов. Так, параметры спроса задаются количеством (n) и составом исследуемой группы производителей, их фактическими объемами продаж (Q_s^{act} , $s = \overline{1, n}$), долями рынка w_s^{act} , $s = \overline{1, n}$, производственными мощностями (Q_s^{\max} , $s = \overline{1, n}$) и уровнями затрат (ATC_s^{act} , $s = \overline{1, n}$), а также фактическими ценами единицы продукции (P_s^{act} , $s = \overline{1, n}$), т. е.

$$\text{для } P_0 = P_0 \left(\begin{matrix} Q_1^{act}, \dots, Q_n^{act}, Q_1^{\max}, \dots, Q_n^{\max}, w_1^{act}, \dots, w_n^{act} \\ P_1^{act}, \dots, P_n^{act}, ATC_1^{act}, \dots, ATC_n^{act} \end{matrix} \right)$$

$$\text{и } K = K \left(\begin{matrix} Q_1^{act}, \dots, Q_n^{act}, Q_1^{\max}, \dots, Q_n^{\max}, w_1^{act}, \dots, w_n^{act} \\ P_1^{act}, \dots, P_n^{act}, ATC_1^{act}, \dots, ATC_n^{act} \end{matrix} \right).$$

Параметры спроса, переменные затраты (AVC_s^{act} – до внедрения, $AVC_s^{act} - \Delta AVC$ – после внедрения) всех рассматриваемых участников рынка и их производственные мощности определяют оптимальные объемы продаж, т. е.

$$\begin{aligned} Q_s^* &= Q_s(P_0, K, AVC_1^{act}, \dots, AVC_n^{act}, \Delta AVC, Q_s^{\max}), \\ & \quad s = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Совокупные продажи, в свою очередь, позволяют рассчитать среднеотраслевую цену, т. е.

$$P = P(P_0, K, Q_1^*, \dots, Q_n^*).$$

Наконец, прибыль каждого предприятия определяют найденные объемы и цена, а также фактические затраты с учетом стоимостных характеристик мероприятия, где это необходимо, т. е.

$$\pi_s^* = \pi_s(P, Q_s^*, AVC_s^{act}, \Delta AVC, TFC_s^{act}, \Delta TFC), s = \overline{1, n}.$$

При отсутствии сведений о вероятностях состояний среды наличие значений π_s^* , $s = \overline{1, n}$, позволяет принять решение в условиях неопределенности. Для этого существует ряд подходов:

- принцип доминирования стратегий может быть использован, если при любом состоянии среды один из вариантов поведения, по крайней мере, не хуже другого.
- выдвижение предположения о возможном поведении среды, позволяющей дать каждой имеющейся в распоряжении субъекта, принимающего решение, альтернативе точную числовую оценку.

Возможными вариантами таких предположений являются гипотезы [16. С. 105]:

- а) об одинаковых вероятностях состояний среды (критерий Лапласа);
- б) о наступлении наименее благоприятного для субъекта, принимающего решение, состояния среды (критерий Вальда или максиминный);
- в) о наступлении наиболее благоприятного для субъекта, принимающего решение, состояния среды (критерий крайнего оптимизма или максимаксный);
- г) заключающаяся в ожидании наступления наименее благоприятного состояния среды с субъективно определенной вероятностью λ , а наиболее благоприятного – с вероятностью $1 - \lambda$ (критерий Гурвица);
- д) заключающаяся в выборе наилучшего варианта поведения с точки зрения минимизации потерь субъекта, принимающего решение (критерий Сэвиджа).

Принцип доминирования стратегий неприменим, если альтернативы несравнимы по Парето, т. е. если выбор одной из них не дает однозначно лучшего по сравнению со второй результата. Критерий Сэвиджа предполагает преобразование выигрыша субъекта, принимающего решение, в его потери от незнания точного состояния среды и выбор того варианта поведения, где наибольшие из этих потерь минимальны. Для его применения каждое из состояний среды должно достигаться при реализации каждой из возможных альтернатив. В рассматриваемой задаче данное условие не выполняется, следовательно, воспользоваться критерием Сэвиджа для ее решения не представляется возможным. Оставшиеся четыре метода позволяют выбрать наилучший в соответствующих предположениях вариант поведения и могут быть использованы для принятия решения.

Стохастический характер исходов позволяет перевести задачу в класс принятия решения в условиях риска. В рассматриваемой задаче получение ЛПР статистической информации о поведе-

нии среды затруднительно по причине уникальности ситуации в случае каждого мероприятия. Однако при отсутствии численных вероятностей действий исследователя и конкурентов могут быть использованы их экспертные оценки в терминах естественного языка вида «довольно низкая», «средняя» и т. п. Математические операции с такими понятиями осуществляются в рамках теории нечетких множеств, предложенной Л. Заде в 1965 г. и получившей широкое распространение, в том числе в управлении и принятии решений [27–29]. В нашем случае ее применение позволяет получить вероятностные оценки исходов. Для этого зададим множество возможных значений вероятностей выбора участниками вариантов своих действий пятиуровневым классификатором вида $PF = \{pf_1 = \text{«низкая»}; pf_2 = \text{«довольно низкая»}; pf_3 = \text{«средняя»}; pf_4 = \text{«довольно высокая»}; pf_5 = \text{«высокая»}\}$. Каждое из значений $pf_k, k=1,5$ определим треугольным нечетким числом с носителем $[0,1]$. Поскольку на начальном шаге исследователю целесообразно пытаться продать мероприятие, вероятность отказа от продажи равна нулю, а на последующих шагах задается в соответствии с принятой классификацией. Вероятность исследователя обратиться с предложением к каждому из n производителей отрасли на нулевом шаге составляет $1/n$, а на последующих шагах задается конструкцией вида $pf_k/(n-i), i=1, n-1$, которую можно представить в виде произведения нечеткого сомножителя $pf_k \in PF$ и действительного сомножителя $1/(n-i)$. Вероятность решения каждого из конкурентов приобрести либо отказываться от приобретения мероприятия определяется в соответствии с введенным классификатором. Вероятность успешного внедрения в случае неосуществимого мероприятия равна нулю, а в случае реального также определяется одним из значений $pf_k \in PF$. Естественным способом определения вероятности достижения произвольного исхода – концевой вершины дерева решений – является произведение вероятностей действий участников, к этой вершине приводящих. Это произведение включает действительные вероятности и нечеткие их значения $pf_k, k=1,5$ в различных положительных целых степенях. Следовательно, нахождение искомой вероятности предполагает реализацию трех арифметических операций с нечеткими числами:

- возведение треугольного нечеткого числа в целую в степень;
- нахождение произведения конечного (не более 5-ти) количества нечетких сомножителей;
- произведение нечеткого и действительного чисел.

Существуют различные способы выполнения операций нечеткой арифметики [30–33]. Наиболее простым и часто используемым из них является метод α -уровней (сечений), т. е. набора значений принадлежности, для каждого из которых определены два крайних значения x таких, что $\mu(x)=\alpha$, который и выбран для практической реализации. Поскольку результирующее произведение является

нечетким числом, выполняется его дефазификация методом центра тяжести. Рассчитанные таким образом для всех концевых вершин дерева решений вероятности образуют вероятностную оценку множества исходов. Отметим, что при выборе ЛПП одного из двух имеющихся в его распоряжении вариантов действий часть потенциально возможных исходов оказывается неосуществимой, т. е. достижимой с нулевой вероятностью, а различные исходы могут иметь одинаковую стоимостную оценку. Поскольку количество исходов ситуации велико, но конечно, характеристика каждой из альтернатив представляет собой дискретную случайную величину, формируемую следующим образом:

- выявляются и упорядочиваются в порядке возрастания все различные значения прибыли, которые могут быть получены ЛПП;
- для каждого из возможных значений прибыли определяется суммарная вероятность его получения.

Полученная таким образом вероятностно-стоимостная оценка обеих альтернатив завершает формирование оценочной структуры ЗПР, что позволяет перейти к принятию решения в условиях риска. В этом случае используется критерий максимизации среднего ожидаемого значения прибыли. Наиболее часто используемыми характеристиками среднего значения дискретной случайной величины являются:

- математическое ожидание, рассчитываемое как сумма произведений значений случайной величины на соответствующие им вероятности;
- мода, определяемая как наиболее вероятное значение дискретной случайной величины.

Следовательно, для целей принятия решения можно максимизировать либо среднее, либо наиболее вероятное значение прибыли, исходя из предпочтений субъекта, принимающего решение.

Таким образом, выбор наилучшего варианта поведения в рассматриваемой ЗПР в рамках классической теории принятия решений в условиях неопределенности и риска может быть осуществлен шестью различными способами. Наиболее подходящий из них выбирается ЛПП. Отметим, что лицам, не склонным к риску, при принятии решения в условиях неопределенности следует выбирать критерий Вальда или Гурвица с показателем пессимизма λ , близким к единице. При принятии решения в условиях риска целесообразно дополнительно исследовать величину среднего квадратического отклонения каждой альтернативы как меры риска ее использования. Наилучшая (дающая максимум прибыли по выбранному критерию) альтернатива и будет искомым решением задачи.

Общая концепция решения задачи принятия решения о внедрении на промышленном предприятии, функционирующем в условиях олигополии, мероприятия по снижению затрат, предложенного сторонним разработчиком, включает пять основных этапов, представленных на рис. 2.

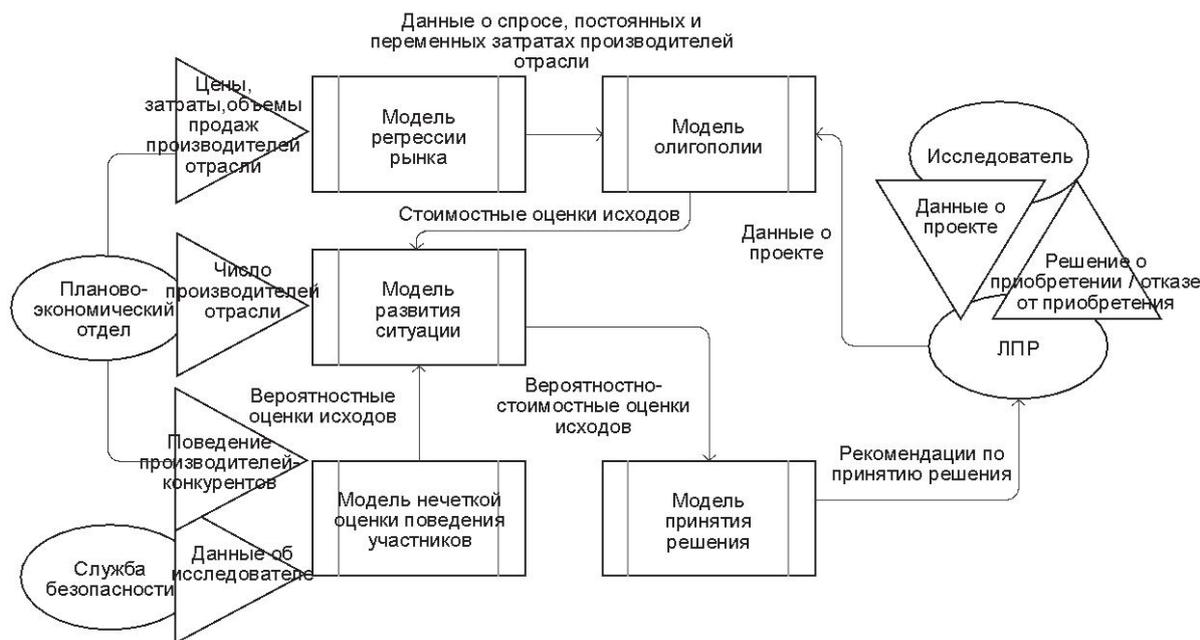


Рис. 2. Концептуальная схема принятия решения о приобретении мероприятия

Fig. 2. Conceptual diagram of making decision on purchasing an arrangement

Здесь модель развития событий формирует реализационную структуру, модели регрессии, олигополии и нечеткой оценки поведения участников – оценочную, а в модели принятия решения осуществляется выбор критерия сравнения альтернатив и определение наилучшей из них в соответствии с этим критерием.

В отличие от классических инвестиционных проектов [9], разработанный нами метод позволяет прогнозировать финансовые последствия модернизации производства с учетом взаимодействия производителей-олигополистов. Моделирование осуществляется на мезо-, а не на макроуровне (как в [7]), что расширяет возможности использования метода при управлении экономикой страны. Кроме того, традиционно предполагается распространение технологий без участия их автора [6], тогда как в нашем случае его действия имеют существенное значение при решении задачи. Также зачастую решается задача оптимизации инвестиций в инновации, разрабатываемые самими предприятиями [13, 14], однако лишь 0,07 % от общего числа организаций в РФ занимаются исследованиями самостоятельно (по данным Всероссийского статистического ежегодника 2013 – в 2012 г. 3566 из 4886400), остальные предпочитают приобретать готовые технологии, что и рассматривается в нашей модели.

Практическая реализация концепции решения задачи о модернизации производства на промышленном предприятии

В силу значительной трудоемкости процесса формирования множества исходов и его вероятностно-стоимостной оценки, особенно при боль-

шом числе участников, для решения задачи возникла необходимость в разработке программного продукта. В качестве программного средства использовался *Borland Delphi 6*. Структура и функциональность программы в соответствии с разработанной концепцией следующие.

Модуль ввода/вывода включает проверку правильности введенных пользователем сведений, формирование массивов данных о производителях отрасли, а также преобразование имеющихся данных для представления их в удобном для дальнейшего использования виде. Пользователь выбирает число участников отрасли и их конкретные наименования, шаг разбивки функций принадлежности на α -уровни при выполнении операций с нечеткими числами. Кроме того, им устанавливаются уровни нечетких вероятностей действий участников, стоимостные характеристики мероприятия (его внедрения и ликвидации последствий в случае неудачи, а также изменение *AVC* и *TFC*, заявленные разработчиком) и метод принятия решения. Сведения о наименованиях производителей отрасли, их затратах, фактических объемах продаж, производственных мощностях и ценах считаются известными и ввода не требуют. Также в модуле реализованы процедуры вывода исходов и их характеристик в текстовый файл и графиков распределений выигрышей субъекта, принимающего решение, в компонент-диаграмму *Chart*.

Для построения дерева исходов в модуле развития ситуации реализована рекурсивная процедура, использующая визуальный компонент *TreeView*. При формировании дерева в поле *Data* каждой его вершины сохраняется ссылка на соответствующую ей вероятность [34].

Модуль нечеткой оценки поведения участников позволяет рассчитать вероятности достижения всех исходов при выборе ЛПП стратегий «приобретение мероприятия» и «отказ от приобретения мероприятия». В нем реализованы операции определения и группировки сомножителей, нечеткой арифметики, дефаззификации и нормирования результирующих вероятностей [35].

Функционально модуль «Регрессия рынка» предполагает сбор и преобразование в удобный для дальнейшего исследования вид сведений об отдельных производителях отрасли и рынке в целом. Значения постоянных на весь выпуск и средних переменных затрат производителей калийной отрасли получены методом регрессионного анализа и внесены в массив сведений об отрасли в модуле ввода/вывода.

Модуль «Олигополия» предназначен для определения максимальных прибылей производителей отрасли. Здесь рассчитываются их затраты в каждом исходе, оптимальные объемы и равновесная цена единицы продукции. На основании полученных данных вычисляются искомые прибыли участников отрасли. Наличие такой оценки позволяет субъекту, принимающему решение, сравнить альтернативы «приобретение» и «отказ от приобретения» и выбрать наилучшую из них.

В модуле «Принятие решения» исходя из полученных значений прибыли и вероятностей их получения рассчитываются оценки финансовых последствий выбора ЛПП стратегий «приобретение» и «отказ от приобретения» предложенного исследователем мероприятия по снижению затрат и производится выбор наиболее предпочтительной альтернативы по выбранному критерию.

Решение задачи о модернизации производства предприятиями калийной отрасли России и Белоруссии

Большинство действующих на территории Березниковско-Соликамского промышленного узла предприятий – ОАО «Уралкалий», занимающийся добычей и переработкой калийных солей, корпорация «ВСМПО «АВИСМА», выпускающая титановую продукцию, производители азотных удобрений ОАО «ОХК «Уралхим» и редкоземельной, титановой и магниевой продукции ОАО «Соликамский магниевый завод» – являются участниками олигополистических рынков. Поэтому предложенная нами модель может быть использована для обоснования принятия решений о внедрении технологических проектов в условиях неопределенности на различных предприятиях и в различных отраслях. Для определенности рассмотрим решение задачи на примере двух из девяти основных производителей мировой калийной отрасли – ОАО «Уралкалий», Россия, Пермский край, и ОАО «Беларуськалий», Республика Беларусь. Совокупные продажи продукции в целом по отрасли в 2013 г. составили чуть больше 49 млн т хлористого калия, или около 16627,5 млн USD, из них примерно

треть приходится на выбранных производителей. ОАО «Уралкалий» – крупнейший участник отрасли на территории РФ – является одним из градообразующих предприятий Березниковско-Соликамского промышленного узла с выручкой, составляющей порядка 12,3 % валового регионального продукта Пермского края (рассчитано по данным 2012 г., данные за 2013 г. в открытом доступе отсутствуют) и 0,15 % валового внутреннего продукта (ВВП) РФ (рассчитано по данным 2013 г.). ОАО «Беларуськалий» является единственным производителем калийных удобрений в Белоруссии с выручкой порядка 2,5 % совокупного ВВП страны. В силу уникальности производств и значимости вклада в экономику каждой из стран моделирование деятельности выбранных хозяйствующих субъектов представляет существенный интерес, а территориальная близость и общность рынков сбыта позволяют рассматривать их как дуополию.

Воспользуемся разработанным методом и программным средством на его основе для принятия решения о внедрении в ОАО «Уралкалий» и ОАО «Беларуськалий» мероприятия с характеристиками, представленными в таблице, в условиях риска по критерию максимума среднего ожидаемого выигрыша. Предполагается, что вознаграждение исследователя составляет 10000 USD, затраты на устранение последствий неудачного внедрения мероприятия – 300000 USD, а вероятности приобретения мероприятия в ОАО «Беларуськалий» и успешного внедрения в случае приобретения в ОАО «Беларуськалий» и «Уралкалий» имеют уровень «средняя».

Результат расчета средних ожидаемых прибылей выбранных производителей при различных сочетаниях нечетких вероятностей осуществимости мероприятия и повторной продажи представлен на рис. 3 и 4, а сравнения альтернатив – на рис. 5.

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что для ОАО «Уралкалий» целесообразно осуществлять внедрение для случаев низкой вероятности повторной продажи и высокой осуществимости, средней и довольно высокой вероятностях повторной продажи и довольно высокой и высокой осуществимости, а также высоких вероятностях повторной продажи и осуществимости. Приобретение мероприятия дает максимум прибыли, равный 1377809942 USD, в случае мероприятия со средней вероятностью повторной продажи, осуществимого с высокой вероятностью. Отказ от приобретения дает максимум прибыли, равный 1377814250 USD, в случае мероприятия с низкими вероятностями повторной продажи и осуществимости. Выбор лучшего варианта позволяет получить в среднем на 22161 USD больше, чем выбор худшего варианта.

В случае рассматриваемого мероприятия альтернатива «отказ от внедрения» является наилучшей в случае ОАО «Беларуськалий» при любых сочетаниях вероятностей повторной продажи и осуществимости. Это означает, что удачное его вне-

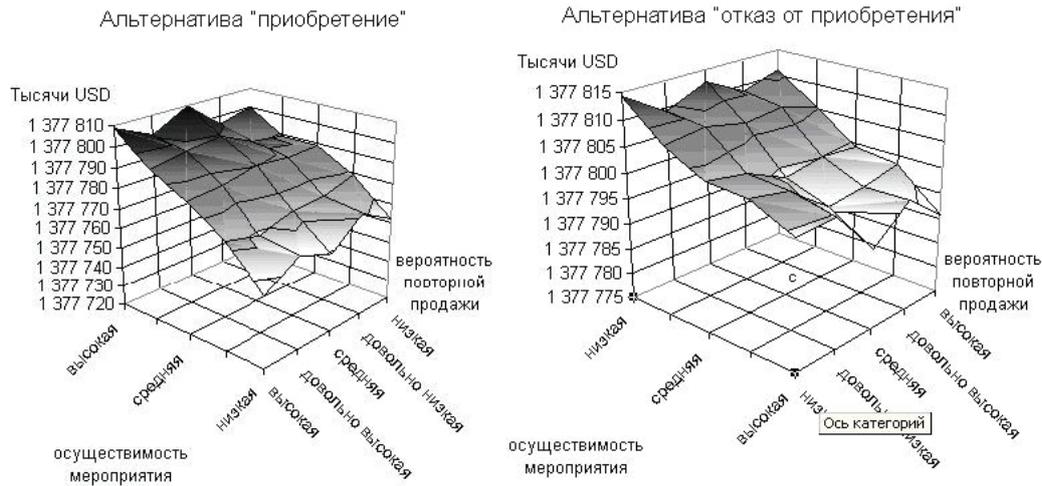


Рис. 3. Прогнозируемая прибыль ОАО «Уралкалий»

Fig. 3. Predicted benefit of «Uralkali»

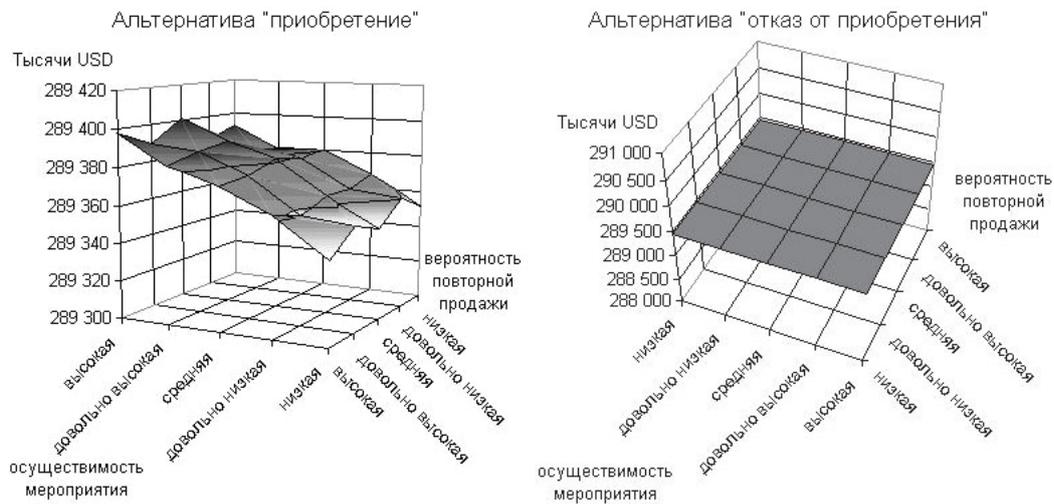


Рис. 4. Прогнозируемая прибыль ОАО «Беларускалий»

Fig. 4. Predicted benefit of «Belaruskali»

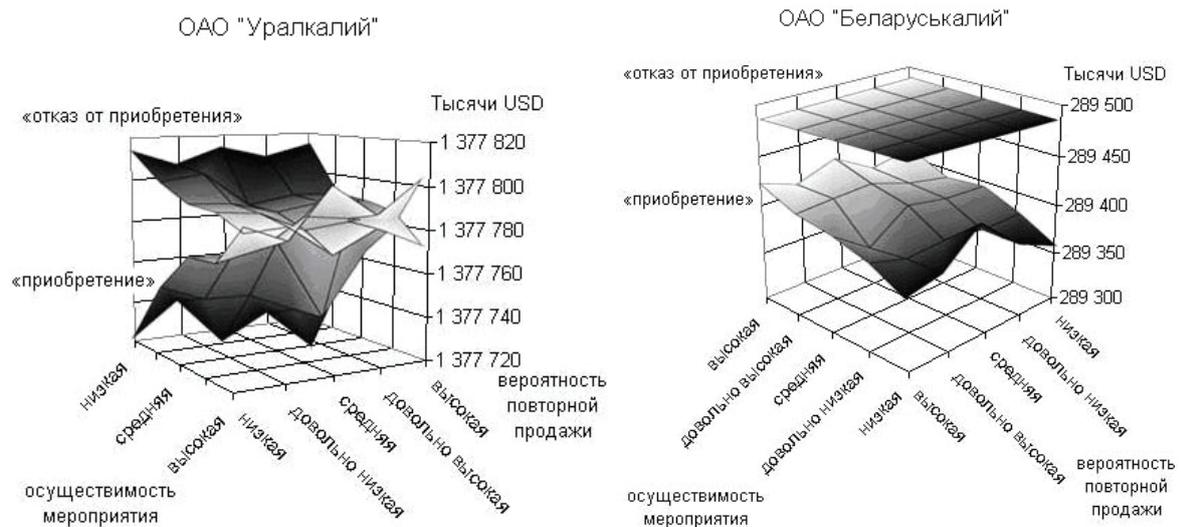


Рис. 5. Сравнение альтернатив «приобретение» и «отказ от приобретения»

Fig. 5. Comparison of alternatives «purchasing» and «reject purchasing»

Таблица. Характеристики внедряемого мероприятия

Table. Characteristics of the arrangement

Показатель Index	Значение Value
Снижение AVC в случае успешного внедрения, USD/т AVC decrease at successful introduction, USD/t	0,0525
Увеличение TFC в случае успешного внедрения, USD TFC increase at successful introduction, USD	48 700
Общие постоянные затраты ОАО «Уралкалий», тыс. USD в год Total fixed costs of «Uralkali», thousands of USD per year	63 613
Средние переменные затраты ОАО «Уралкалий», USD/т Average variable costs of «Uralkali», USD/t	140
Общие постоянные затраты ОАО «Беларуськалий», тыс. USD в год Total fixed costs of «Belaruskalii», thousands of USD per year	306 479
Средние переменные затраты ОАО «Беларуськалий», USD/т Average variable costs of «Belaruskalii», USD/t	182

дрение не дает необходимого для значительного прироста средней ожидаемой прибыли эффекта, а значит, нецелесообразно. Максимум прибыли в случае приобретения достигается при средней вероятности повторной продажи и высокой вероятности осуществимости мероприятия. Отказ от приобретения позволяет предприятию получить постоянную прибыль в размере 289445260 USD. Выбор варианта «отказ от приобретения» позволя-

ет получить в среднем на 71255 USD больше, чем выбор варианта «приобретение».

Заключение

Проведенное на примере ОАО «Уралкалий» и ОАО «Беларуськалий» исследование показало, что предложенный метод позволяет не только прогнозировать финансовые последствия внедрения и отказа от внедрения мероприятия с заявленными характеристиками и принимать обоснованные решения на их основании, но и исследовать влияние различных факторов (в нашем случае, вероятностей) на уровни прибыли производителей отрасли. Такими факторами помимо рассмотренных выше вероятностей являются:

- количество и состав исследуемой группы производителей;
- среднеотраслевая цена единицы продукции;
- фактические объемы продаж производителей;
- производственные мощности производителей;
- фактические затраты производителей;
- стоимостные характеристики мероприятия;
- вероятностные характеристики мероприятия.

В дальнейшем предполагается использование предложенного метода для установления влияния перечисленных факторов на прибыль принимающего решения предприятия и выработки системы рекомендаций по выбору наилучшего варианта поведения для данного их сочетания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портер М.Э. Конкуренция. – М.: ИД «Вильямс», 2005. – 608 с.
2. Затонский А.В., Копотева А.В. Методы принятия решения о приобретении конкурентоспособной инновационной продукции // Научно-практический журнал Современная наука. Актуальные проблемы теории и практики». Серия «Экономика и право». – 2013. – № 3-4. – С. 8-15.
3. Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование. – М.: Экономика, 2011. – 604 с.
4. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977. – 591 с.
5. Варшавский А.Е. Научно-технический прогресс в моделях экономического развития. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 208 с.
6. Полтерович В.М., Хенкин Г.М. Эволюционная модель экономического роста // Экономика и математические методы. – 1989. – Т. XXV. – № 3. – С. 518-531.
7. Tarasyev A.M., Watanabe S. Optimal Dynamics of Innovation in Models of Economic Growth // Journal of Optimized Theory and Application. – 2001. – V. 108. – № 1. – P. 175-203.
8. Варшавский А.Е. Наукоемкие отрасли и высокие технологии: определение, показатели, техническая политика, удельный вес в структуре экономики // Экономическая наука современной России. – 2000. – № 2. – С. 61-83.
9. Харитонов В.В., Молоканов Н.А. Аналитическая модель стратегии саморазвития ядерной энергетики // Экономические стратегии. – 2012. – № 5. – С. 88-98; № 6. – С. 94-107.
10. Семенкин Е.С., Медведев А.В., Ворожейкин А.Ю. Модели и алгоритмы для поддержки принятия решений инвестиционно-го анализа // Вестник Томского государственного университета. – 2006. – № 293. – С. 63-70.

11. Макаров В.Л. Обзор математических моделей экономики с инновациями // Экономика и математические методы. – 2009. – № 1. – С. 3-14.
12. Cefis E., Rosenkranz S., Weitzel U. Effects of coordinated strategies on product and process R&D // Journal of Economics. – 2009. – V. 96. – № 3. – P. 193-222.
13. Шаклеина Н.К. Моделирование конкуренции и кооперации предприятий в инновационных разработках: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Кисловодск, 2012. – 28 с.
14. Морозова Н.В. Моделирование инвестирования в инновационные разработки в условиях олигополистической конкуренции: автореф. дис. ... канд. экон. наук. – Ставрополь, 2012. – 26 с.
15. Аркин В.И. Учет инноваций в моделях экономической динамики: вероятностный подход // Экономика и математические методы. – 2009. – № 1. – С. 30-43.
16. Розен В.В. Математические модели принятия решений в экономике. – М.: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2002. – 288 с.
17. Хемди А.Т. Введение в исследование операций. – М.: ИД «Вильямс», 2005. – 912 с.
18. Теоретические основы системного анализа / Новосельцев В.И. и др. / под ред. В.И. Новосельцева. – М.: Майор, 2006. – 592 с.
19. Бернарке Б., Фрэнк Р. Экономикс. Экспресс-курс. – СПб.: Питер, 2012. – 720 с.
20. Seifbarghya M., Amirib M., Heydari M.. Linear and nonlinear estimation of the cost function of a two-echelon inventory system // Scientia Iranica Industrial Engineering. – 2013. – № 20 (3). – P. 801-810.
21. Cost estimation method for variation management / S. Mirdamadi, A. Etienne, A. Hassan, J.Y. Dantan, A. Siadat // Procedia 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing. – Huddersfield, 18-19.04.2012. – P. 44-53.

22. Сю К.К. Управленческая экономика. – М.: ИНФРА-М, 2000. – 671 с.
23. Доугерти К. Введение в эконометрику. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 432 с.
24. Затонский А.В., Копотева А.В. Регрессионный анализ издержек мировых производителей калийной продукции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 11. – С. 224–234.
25. Xiang Xiaodong, Cao Bing. Multidimensional Game of Cournot–Bertrand Model with Incomplete Information and its Analysis // Procedia Engineering. – 2012. – № 29. – P. 895–902.
26. Hinloopen J., Vandekerckhove J. Dynamic efficiency of Cournot and Bertrand competition: input versus output spillovers // Journal of Economics. – 2009. – V. 98. – № 2. – P. 119–136.
27. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др. / под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
28. Shafabakhsh Gh.A., Hadjihoseinlou M., Taghizadeh S.A. Selecting the appropriate public transportation system to access the Sari International Airport by fuzzy decision making // European transport research review. – 2014. – V. 6. – № 3. – P. 277–285.
29. Yao-Feng Chang, Hiroaki Ishii. Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach to assess the Project Quality Management in Project // Procedia Computer Science. 17th International Conference in Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems – KES2013. – Kitakyushu, 09–11.09.2013. – P. 928–936.
30. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
31. Kaufmann A., Gupta M.M. Introducing to Fuzzy Arithmetic: Theory and Application. – New York, Van Nostrand Reinhold, 1991. – 351 p.
32. Ch.-Ch. Chou. The Canonical Representation of Multiplication Operation on Triangular Fuzzy Numbers // Computers and Mathematics with Applications. – 2003. – № 45. – P. 1601–1610.
33. Mahant S., Chutia R., Baruah H.K. Fuzzy Arithmetic without Using the Method of α -cuts // International Journal of Latest Trends in Computing. – 2010. – V. 1. – № 2. – P. 73–80.
34. Копотева А.В. Алгоритм формирования множества исходов в задаче принятия решений по приобретению инноваций предприятиями // Новый университет. Технические науки. – 2013. – № 11–12. – С. 18–22.
35. Затонский А.В., Копотева А.В. Алгоритм нахождения произведения четких и нечетких вероятностей и его программная реализация // Программные продукты и системы. – 2014. – № 2 (106). – С. 84–88.

Поступила 30.10.2014 г.

UDC 519.71:004.94

DECISION MAKING SUPPORT IN THE TASK OF INDUSTRIAL ENTERPRISE MANUFACTURE MODERNIZATION

Anna V. Kopoteva,

Berezniki branch of Perm National Research Polytechnic University,
7, Telmana Street, Berezniki, 618404, Russia. E-mail: kopoteva_av@mail.ru

The relevance of the issue is caused by the necessity to increase industrial enterprise operational efficiency using mathematically based manufacture modernization decision making method.

The main aim of this study is to develop a decision making technique for industrial enterprise manufacture modernization. The arrangement is assumed to be proposed by a third-party developer. The enterprise is considered to operate as a mass production plant and an oligopoly member.

The methods used in the study. System analysis is used to find the solution; in order to solve the entire problem the situation participants and their possible actions are identified and then used to construct a tree of outcomes; necessary data is collected and an industry demand and its enterprises' cost functions are estimated using simple linear regression; enterprises' optimal profits are evaluated using the game theory Cournot competition model. If there are no probabilities of participants' actions it is possible to make a decision under uncertainty. However if there are natural language expert appraisals of their values each outcome probability can be calculated and a decision under statistical uncertainty can be made by evaluation of those probabilities using fuzzy arithmetic. The decision making technique itself can be performed by maximizing average or most probable profit.

The results. The developed method is applied to decide if a certain innovation should be acquired by a potash industry enterprise. OJSCs «Uralkali» and «Belaruskali» were chosen as potash industry members and for each of them the best courses of action under fuzzy probabilities variation were elaborated.

Key words:

Decision making, system analysis, regression analysis, game theory, fuzzy-set theory, potash industry.

REFERENCES

- Porter M.E. *Konkurentsiya* [Competition]. Moscow, Vilyams Publ., 2005. 608 p.
- Zatonsky A.V., Kopoteva A.V. Metody prinyatiya resheniya o priobretenii konkurentosposobnoy innovatsionnoy produktsii [Decision-making techniques of the competitive innovation products gaining]. *Sovremennaya nauka. Aktualnye problemy teorii i praktiki. Ekonomika i pravo*, 2013, no. 3–4, pp. 8–15.
- Kuzyk B.N., Kushlin V.I., Jakovec Ju.V. *Prognozirovanie, strategicheskoe planirovanie i nacionalnoe programmirovaniye* [Forecasting, strategic planning and national programming]. Moscow, Ekonomika Publ., 2011. 604 p.
- Martino J. *Tekhnologicheskoe prognozirovaniye* [Technological forecasting]. Moscow, Progress Publ., 1977. 591 p.
- Varshavsky A.E. *Nauchno-tekhnicheskyy progress v modelyakh ekonomicheskogo razvitiya* [Scientific and technological progress in models of economic development]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1984. 208 p.
- Polterovich V.M., Khenkin G.M. Evolyutsionnaya model ekonomicheskogo rosta [The evolutionary model of economic growth]. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 1989, vol. XXV, no. 3, pp. 518–531.
- Tarashev A.M., Watanabe C. Optimal Dynamics of Innovation in Models of Economic Growth. *Journal of Optimized Theory and Application*, 2001, vol. 108, no. 1, pp. 175–203.
- Varshavsky A.E. Naukoemkie otrasli i vysokie tekhnologii: opredelenie, pokazateli, tekhnicheskaya politika, udelny ves v strukture ekonomiki [High-tech industries and high technology: definition, indicators, technical policy, share in the structure of the economy]. *Ekonomicheskaya nauka sovremennoy Rossii*, 2000, no. 2, pp. 61–83.
- Kharitonov V.V., Molokanov N.A. Analiticheskaya model strategii samorazvitiya yadernoy energetiki [Analytical model of the strategy of self-development of nuclear energy]. *Ekonomicheskie strategii*, 2012, no. 5, pp. 88–98; no. 6, pp. 94–107.
- Semenkin E.S., Medvedev A.V., Vorozheykin A.Yu. Modeli i algoritmy dlya podderzhki prinyatiya resheny investitsionnogo analitika [Models and algorithms for decision making support of investment analyst]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2006, no. 293, pp. 63–70.
- Makarov V.L. Obzor matematicheskikh modeley ekonomiki s innovatsiyami [Review of mathematical models of the economy with innovation]. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 2009, no. 1, pp. 3–14.
- E. Cefis, S. Rosenkranz, U. Weitzel. Effects of coordinated strategies on product and process R&D. *Journal of Economics*, 2009, vol. 96, no. 3, pp.193–222.
- Shakleina N.K. *Modelirovanie konkurentzii i kooperatsii predpriyatiy v innovatsionnykh razrabotkakh*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Simulation of competition and cooperation among enterprises in innovation. Cand. Diss. Abstract]. Kislovodsk, 2012. 28 p.
- Morozova N.V. *Modelirovanie investirovaniya v innovatsionnye razrabotki v usloviyakh oligopolisticheskoy konkurentzii*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Modeling investment in innovation in terms of oligopolistic competition. Cand. Diss. Abstract]. Stavropol, 2012. 26 p.
- Arkin V.I. Uchet innovatsy v modelyakh ekonomicheskoy dinamiki: veroyatnostny podkhod [Accounting for innovation in models of economic dynamics: a probabilistic approach]. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 2009, no. 1, pp. 30–43.
- Rozen V.V. *Matematicheskie modeli prinyatiya resheny v ekonomike* [Mathematical models of decision-making in the economy]. Moscow, Universitet, Vysshaya shkola Publ., 2002. 288 p.
- Hemdi A.T. *Vvedenie v issledovanie operatsy* [Introduction to Operations Research]. Moscow, Vilyams Publ., 2005. 912 p.
- Novoseltsev V.I. *Teoreticheskie osnovy sistemnogo analiza* [Theoretical foundations of the system analysis]. Moscow, Mayor Publ., 2006. 592 p.
- Bernarke B., Frenk R. *Ekonomiks. Ekspres-kurs* [Economics. Express Course]. St. Petersburg, Piter Publ., 2012. 720 p.
- Seifbarghya M., Amirib M., M Heydari. Linear and nonlinear estimation of the cost function of a two-echelon inventory system. *Scientia Iranica Industrial Engineering*, 2013, no. 20 (3), pp. 801–810.
- Mirdamadi S., Etienne A., Hassan A., Dantan J.Y., Siadat A. Cost estimation method for variation management. *Procedia 12th CIRP Conference on Computer Aided Tolerancing*. Huddersfield, 18–19 April 2012, pp. 44–53.
- Sio K.K. *Upravlencheskaya ekonomika* [Managerial Economics]. Moscow, INFRA-M Publ., 2000. 671 p.
- Dougerti K. *Vvedenie v ekonometriku* [Introduction to econometrics]. Moscow, INFRA-M Publ., 2007. 432 p.
- Zatonsky A.V., Kopoteva A.V. Regressionnyy analiz izderzhkek mirovykh proizvoditeley kaliynoy produktsii [Application of regression analysis for world potash producers' cost estimation]. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2013, no. 11, pp. 224–234.
- Xiang Xiaodong, Cao Bing, Multidimensional Game of Cournot–Bertrand Model with Incomplete Information and Its Analysis. *Procedia Engineering*, 2012, no. 29, pp. 895–902.
- Hinloopen J., Vandekerckhove J. Dynamic efficiency of Cournot and Bertrand competition: input versus output spillovers. *Journal of Economics*, 2009, vol. 98, no. 2, pp. 119–136.
- Asai K., Vatada D., Ivai S. *Prikladnye nechetkie sistemy* [Applied Fuzzy Systems]. Ed. by T. Terano, K. Asai, M. Sugjeno. Moscow, Mir Publ., 1993. 368 p.
- Shafabakhsh Gh.A., Hadjihoseinlou M., Taghizadeh S.A. Selecting the appropriate public transportation system to access the Sari International Airport by fuzzy decision making. *European transport research review*, 2014, vol. 6, no. 3, pp. 277–285.
- Yao-Feng Chang, Hiroaki Ishii. Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach to assess the Project Quality Management in Project. *Procedia Computer Science. 17th International Conference in Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems – KES2013*. Kitakyushu, 09–11 September 2013. pp. 928–936.
- Zadeh L. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheny* [The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning]. Moscow, Mir Publ., 1976. 165 p.
- Kaufmann A., Gupta M.M. *Introducing to Fuzzy Arithmetic: Theory and Application*. New York, Van Nostrand Reinhold, 1991. 351 p.
- Ch.-Ch. Chou. The Canonical Representation of Multiplication Operation on Triangular Fuzzy Numbers. *Computers and Mathematics with Applications*, 2003, no. 45, pp. 1601–1610.
- Mahantal S., Chutia R., Baruah H.K. Fuzzy Arithmetic without Using the Method of α -cuts. *International Journal of Latest Trends in Computing*, 2010, vol. 1, no. 2, pp. 73–80.
- Kopoteva A.V. Algoritm formirovaniya mnozhestva iskhodov v zadache prinyatiya resheny po priobreteniyu innovatsy predpriyatiyami [Algorithm of constructing possible outcomes for decision making task in acquiring innovation]. *Novy universitet. Tekhnicheskie nauki*, 2013, no. 11–12, pp. 18–22.
- Zatonsky A.V., Kopoteva A.V. Algoritm nakhozheniya proizvedeniya chetkikh i nechetkikh veroyatnostey i ego programmaya realizatsiya [Explicit and fuzzy probabilities product algorithm and its software implementation]. *Programmnye produkty i sistemy (Software & Systems)*, 2014, no. 2 (106), pp. 84–88.

Received: 30 October 2014.