

МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ О ПРИОБРЕТЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ПРОДУКЦИИ

DECISION-MAKING TECHNIQUES OF THE COMPETITIVE INNOVATION PRODUCTS GAINING

*A. Zatonkiy
A. Kopoteva*

Annotation

The issue of mathematical modeling of innovation activity is considered in the article. Brief descriptions of the most common quantitative methods of research and development (R&D) modeling are given and advantages and disadvantages of each of them are listed. The problem of the decision support in manufacturing application of cost-reducing R&D under conditions of data indefiniteness and competition is formulated. As a result game theory, economic analysis and fuzzy sets theory are most appropriate methods for solving the stated problem.

Keywords: innovation activity, decision-making under conditions of data indefiniteness, mathematical modeling, game theory, fuzzy sets theory.

Затонский Андрей Владимирович

*Д.т.н., профессор, Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет, Березниковский филиал*

Копотева Анна Владимировна

*Ст. преподаватель, Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет, Березниковский филиал*

Аннотация

Статья посвящена вопросу математического моделирования последствий инновационной деятельности хозяйствующих субъектов. Кратко охарактеризованы наиболее распространенные количественные методы исследования явления научно-технического прогресса и его результатов, их преимущества и недостатки. Поставлена задача принятия решения о внедрении на предприятии мероприятия по снижению себестоимости в условиях конкуренции и неопределенности исходных данных. Обоснован выбор методов теории игр, экономического анализа и нечетких множеств в качестве наиболее подходящих методов ее решения.

Ключевые слова:

Инновационная деятельность, принятие решений в условиях неопределенности, математическое моделирование, теория игр, теория нечетких множеств.

В настоящее время изучение экономических аспектов научно-технического прогресса (НТП) является одним из приоритетных направлений экономики, поскольку именно он является ведущим фактором экономического роста. Совокупный НТП складывается из отдельных процессов возникновения, развития и проникновения в новые сферы приложения научно-технических новшеств. Каждое такое новшество в своем развитии проходит три стадии [1, с. 588]. Начальная – изобретение, определяемое как первое открытие нового продукта или способа производства и обоснование его жизнеспособности. Следующая – нововведение, представляющее собой первое коммерчески успешное внедрение нового продукта или способа производства некоторым хозяйствующим субъектом. Третья стадия – распространение (диффузия) нововведения, представляет процесс его копирования прочими хозяйствующими субъектами.

Конкурентоспособность экономики страны и ее эффективность определяется склонностью ее промышленности к инновациям и модернизации [2, с.205]. По разным оценкам на долю научно-технического сектора экономики приходится от 70 до 95% прироста ВВП развитых стран [3, с.63]. Как отмечает М. Портер в [2, с.215], ус-

пешно функционируют и развиваются на национальном и международном рынке лишь те хозяйствующие субъекты, которые в процессе своей работы активно осуществляют инновационную стратегию – взаимосвязанную совокупность видов работ по созданию и распространению инноваций [4, с.17]. Реализация подобной стратегии позволяет компании либо обеспечивать большую по сравнению с конкурентами ценность своей продукции для потребителя, либо создать сопоставимую с ними ценность при меньших затратах, либо решить обе задачи одновременно, получая, тем самым, конкурентные преимущества как для самой компании, так и для экономики страны, резидентом которой эта компания является.

Выделение фактора НТП как одного из основных обеспечивающих высокие темпы экономического роста произошло в ходе исследования длинных (кондратьевских) волн экономической конъюнктуры. Изначально наличие таких волн связывались самим Кондратьевым с цикличностью воспроизводства основных производственных фондов, периодическое обновление которых приводит к длительному отклонению экономики от состояния равновесия, неизбежному при переходе на новую восходящую волну экономического развития [5, с.370],

[3, с.40]. Позже Й. Шумпетер [6, с.159], [3, с.40] связал наличие таких колебаний с инновационной деятельностью производителей. Попытки сформулировать первые математические модели НТП относят к началу сороковых годов XX века, [7, с.26], а в качестве отдельной отрасли управления, получившей название технологического прогнозирования, система методов моделирования и прогнозирования НТП сложилось примерно в 1960 году.

Инновационная деятельность различных хозяйствующих субъектов может осуществляться либо путем самостоятельной разработки соответствующих новшеств, либо путем их освоения (заимствования) извне [8, с.91]. Необходимость аргументированного и обоснованного выбора наиболее рационального способа приобретения новшества, одного из нескольких альтернативных инновационных проектов, а также принятия либо отклонения конкретного проекта и количественной оценки его результативности, предполагает наличие соответствующих теоретической базы и математического инструментария.

Для исследования инновационных процессов и явлений применяются методы качественного и количественного характера, от интуитивного мышления ("Дельфи", "мозговой штурм"), до классических математических моделей и системного анализа. При этом предпочтительным с практической точки зрения оказывается применение методов, которые удовлетворяют следующим требованиям [7, 196]:

- ◆ учет как можно большего количества существенных факторов, влияющих на развитие НТП, и их взаимодействия;
- ◆ чувствительность решения к изменениям факторов;
- ◆ возможность оценки альтернативных решений;
- ◆ экономическая эффективность метода;
- ◆ соответствие результатов моделирования реальной действительности.

Один из фундаментальных принципов современной науки состоит в том, что явление нельзя считать хорошо понятным до тех пор, пока оно не описано посредством количественных характеристик [9, с.9]. Поэтому в рамках данного исследования ограничимся именно математическими методами изучения инновационных процессов и явлений. Коротко охарактеризуем наиболее распространенные их типы, а также их преимущества и недостатки.

1. Регрессионная модель предполагает определение среднего значения объясняемой (зависимой) переменной \check{y} как функции одной или нескольких объясняющих (независимых) переменных

$$x_i, i = \overline{1, m}$$

$$\check{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_m, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p)$$

т.е. представление ее уравнением вида [10, с.43], где

$$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$$

– неизвестные параметры модели, подлежащие определению. Выбор вида функции f осуществляется исходя из теоретических и/или практических соображений, а оценка ее неизвестных параметров – на основании конечной выборки значений

$$\{x_i, \check{y}\}_j, j = \overline{1, n}$$

Практическая реализация метода позволяет прогнозировать значения \check{y} при различных значениях x_i [11, с.282], [12, с.201], [13, с.365]. Методику отличает относительная простота применения, особенно в случае $m=1$ (парный регрессионный анализ), а удачно подобранное уравнение регрессии при $m \geq 2$ (множественный регрессионный анализ) позволяет проанализировать взаимодействие входящих в модель факторов. Кроме того, имеется возможность оценки вариантов решения, получаемых при различных (в том числе не наблюдавшихся на практике) значениях факторов, т.е. продуцируется новая информация об объекте. При этом построение модели требует значительного объема исходных данных, т.к. число эмпирических наблюдений n должно быть в 6–7 раз больше количества неизвестных параметров функции f ([10, с.50]). Тем не менее, даже наличие достаточного объема исходных данных не гарантирует высокого качества построенной модели и, как следствие, адекватного приближения искомой величины \check{y} . Процедура выбора вида функции f и оценки значений ее параметров усложняется по мере роста m , а моделирование процесса на уровнях факторов, выходящих за пределы их значений в выборке, использованной в процессе построения уравнения регрессии, может дать неадекватный прогноз.

В случае если эмпирические данные об изучаемом объекте представляют собой значения объясняемой переменной за несколько последовательных периодов времени, то говорят об одномерном временном ряде

$$y_t, t = \overline{1, n}$$

В отличие от обычных регрессионных моделей он часто характеризуется наличием циклической (например, сезонной) и трендовой составляющих. Устранение циклической компоненты (выравнивание ряда) осуществляется, например, методом скользящей средней, после чего по выровненным данным обычными методами регрессионного анализа строится уравнение тренда в виде

$$\check{y} = f(t)$$

причем единственной объясняющей переменной в нем является время [14, с.144, с.158]. При отсутствии циклической компоненты методика эквивалентна парно-

му регрессионному анализу со свойственными ему достоинствами и недостатками. Выделение сезонной компоненты предполагает осуществление дополнительных действий по определению периода колебаний и сглаживанию ряда, что увеличивает трудоемкость построения модели.

2. Дифференциальным уравнением называют уравнение, в котором неизвестная функция или вектор-функция входит под знаком производной или дифференциала [15, с.9], например

$$\frac{\partial y(\vec{x}, t)}{\partial t} = f(t, \vec{x}, \vec{\beta}, y(\vec{x}, t))$$

Помимо собственно дифференциальных уравнений для моделирования НТП используют их системы, а также оптимизационные задачи вариационного исчисления и теории оптимального управления, где такие уравнения и их системы служат ограничениями [7, с.226], [16, с.48], [17, с.518], [18, с.601]. Такой подход широко распространен, имеет развитый и обоснованный математический аппарат, позволяет получать новую информацию об изучаемом объекте и исследовать взаимодействие определяющих его факторов. Однако практическая реализация методики достаточно сложна, особенно в задачах оптимального управления, а аналитическое решение не всегда существует. Кроме того, детерминированный характер подобных моделей не позволяет учитывать присутствующую любым инновационным процессам неопределенность, а значит, качество прогнозов и выводов, сделанных на их основании, может оказаться неудовлетворительным.

3. Наиболее часто встречающимися методами экономического анализа являются системы показателей, характеризующих инновационную деятельность хозяйствующих субъектов, представленные, например, в [19, с.65], [20, с.63] и экономическая оценка инвестиционных проектов ([7, с.295], [21, с.93]). При этом системы показателей в пределах достоверности исходных данных всесторонне и адекватно отражают реальное состояние изучаемых объектов и явлений, позволяют проводить сравнение их между собой и просты в использовании. Однако методы экономического анализа не дают понимания сущности и природы изучаемых явлений, новая информация о них не порождается, а универсальной системы экономических показателей НТП не существует. Кроме того, принятие решения на основании нескольких критериев зачастую оказывается субъективным, поскольку существуют различные методы многокритериальной оптимизации как в условиях определенности, так и неопределенности, дающие различные результаты, и выбор наиболее приемлемого из них определяется предпочтениями конкретного лица, принимающего решение. Использование метода экономической оценки инвестиций позволяет на основании предполага-

емых расходов и доходов достаточно быстро и легко сравнивать между собой различные инновационные проекты и выбрать из них наиболее эффективные, однако в силу высокой степени неопределенности результатов инвестиций такого рода такие оценки могут существенно отличаться от реальных результатов.

4. Методы исследования операций.

Представлены линейным и динамическим программированием, балансовыми и сетевыми моделями и т.п., рассматриваемыми, например, в [22, с.3], [23, с.253], [7, с.330]. Данная группа методов является широко распространенной и универсальной, легко формализуемой, предоставляет возможность исследования взаимодействия факторов, включенных в модель, и получать новую информацию об объекте исследования. При этом решение такого рода задач значительно усложняется по мере роста их размерности, а высокая степень неопределенности условий реализации и результатов инновационных процессов затрудняет их описание в рамках подобных моделей, зачастую отличающихся жесткими функциональными связями входящих в них факторов и параметров, что может привести к результатам, не согласующимся с реальными данными.

5. Вероятностный подход.

Позволяет описать процессы, для которых заранее могут быть определены возможные исходы с известной или неизвестной вероятностью. На начальных этапах исследования возможно моделирование инновационных процессов с помощью цепей Маркова [7, с.281], [24, с.56]. Данный метод достаточно несложен, однако предположение о постоянстве вероятностей перехода процесса распространения нововведения из одного состояния в другое, характерное для данной методики, не соответствует их реальному поведению, поскольку величины таких вероятностей могут как возрастать, так и уменьшаться в зависимости от количества затрачиваемых ресурсов. Применение для целей моделирования диффузии нововведений различных законов распределения одномерных и многомерных случайных величин позволяет описывать такие процессы более точно за счет подбора наиболее подходящего в каждом конкретном случае распределения и его параметров ([7, с.285], [25, с.56]). Такой подход позволяет строить оптимистические, пессимистические и наиболее вероятные сценарии развития инновационных процессов, а также давать количественную характеристику риску как мере их неопределенности. К вероятностным методам относится и метод численного эксперимента Монте-Карло. Данный метод является универсальным, он применим не только для моделирования процессов, подверженных действию случайных факторов, но и для процессов неслучайных, с искусственно сформулированной вероятностной моделью [26, с.7].

Кроме того, достаточно прост алгоритм его программной реализации. При этом его основным недостатком

является высокая погрешность при малом числе испытаний N (порядка $1/\sqrt{N}$), что приводит к значительной трудоемкости получения результатов с высокой точностью. В целом, вероятностные методы имеют развитый математический аппарат, легко формализуемы и при удачном подборе характеризующих инновационные процессы распределений случайных величин и их характеристик позволяют не только адекватно моделировать реальное и прогнозировать возможное поведение таких процессов, но и учитывать связанную со всякой новизной неопределенность. Однако математический аппарат теории вероятностей достаточно сложен, его применение требует определенных знаний и опыта, а процедура подбора вида распределения случайной величины требует либо значительного количества исходной информации, что значительно усложняет процедуру исследования и затрудняет получение результата.

Б. Использование игрового подхода целесообразно в условиях конфликта интересов, т.е. при наличии двух и более заинтересованных сторон, а также в случаях, когда необходимо учесть влияние среды на возможное поведение изучаемого процесса. Примерами реализации данного подхода являются [7, с.306], [27, с.193], [28, с.119]. К основным преимуществам теории игр относят простоту и удобство в использовании, небольшие объемы исходных данных, возможность оценки альтернативных вариантов развития инновационных процессов, моделирования конкуренции хозяйствующих субъектов. Тем не менее, использование его для изучения сложных проблем с большим числом участников и/или их стратегий и, как следствие, возможных исходов может стать либо вообще неосуществимым, либо неоправданно сложным [7, с.308].

Одним из необходимых условий принятия решений относительно внедрения инновационных продуктов и способов производства является наличие достоверных данных и качественных способов их обработки. НТП характеризуется высокой степенью неопределенности условий его реализации и результатов, проявляющейся в отсутствии или недостаточности информации об использовании инновации другими хозяйствующими субъектами, неточности и/или неполноте имеющихся данных, приближенными оценками экономического эффекта от внедрения и т.п. Поэтому методы, используемые для обоснования решений в области инноваций, должны предоставлять возможность учитывать эту неопределенность. Единственным из рассмотренных выше подходов, применимым для принятия решений в условиях неопределенности, является вероятностный подход. Его применение возможно на поздних стадиях этапа распространения нововведения, когда накоплено достаточно статистических данных о результатах его использования, поскольку только на их основании удастся определить распределение вероятностей и его параметры. Отсутствие статистических данных на стадиях изобретения, новов-

ведения и в начале стадии диффузии приводит к неопределенности не вероятностного типа, успешно описываемой в рамках теории нечетких множеств – аппарата для моделирования человеческих рассуждений и человеческого способа решения задач [29, с.6]. Использование такого метода оправдано в системах, поведение которых в значительной степени определяется суждениями, восприятием и эмоциями человека, в частности, в социально-экономических системах [9, с.6]. Математические методы теории нечетких множеств проще, чем теории вероятностей [30, с.174], точнее отражают многообразие реальной действительности, а также позволяют математически оперировать понятиями, близкими к естественному языку лица, принимающего решение. Поэтому подход, основанный на теории нечетких множеств, позволяет адекватно описывать неопределенность условий и результатов внедрения нововведения и приводит к ее математическому представлению более простого вида, чем моделирование методами теории вероятностей. Его комбинация с экономическим анализом и теорией игр позволяет решать практические экономические задачи принятия решений в области инновационных проектов в условиях неопределенности и конфликта интересов. Далее приведем экономическую постановку возможной задачи принятия решения такого рода.

Рассмотрим рынок некоторого товара, спрос на который в среднесрочной перспективе определен, не зависит от времени, и задается монотонно убывающей функцией от цены вида:

$$Q^D = Q^D(P) \quad (1)$$

тогда для функции (1) существует обратная функция зависимости цены от объема [31, с.114], определяемая как

$$P = P(Q^D) \quad (2)$$

Предположим, что на рынке выбранного товара действуют n продавцов. Совокупное предложение на рынке складывается из их индивидуальных предложений, т.е.

$$Q^S = \sum_{i=1}^n Q_i^S, \quad \text{где}$$

$$Q_i^S, i = \overline{1, n}$$

– предложение i -ой фирмы. Взаимодействие спроса и предложения определяет рыночное равновесие, т.е. равновесные цену и объем продаж. Поскольку в условиях равновесия спрос равен предложению

$$(Q^D = Q^S = \sum_{i=1}^n Q_i^S),$$

в дальнейшем индексы спроса и предложения будем

опускать, т.е. примем

$$Q = Q^D = Q^S = \sum_{i=1}^n Q_i,$$

тогда равновесную цену можно определить из (2) как функцию объемов производств всех фирм:

$$P = P(Q) = P(\sum_{i=1}^n Q_i) = P(Q_1, \dots, Q_n), \quad (3)$$

Функции годовых прибылей фирм зависят от объемов реализации, цены реализации единицы продукции и издержками производства и реализации и определяются как

$$\pi_i = Q_i \cdot (P - VC_i^1) - FC_i, i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где i – номер фирмы;

Q_i – объем производства i -ой фирмы за год;

P – цена единицы продукта на рынке;

VC_i^1 – переменные затраты i -ой фирмы на единицу продукции;

FC_i – общая сумма постоянных затрат i -ой фирмы за год.

Поскольку в соответствии с (3) равновесная цена есть функция равновесных объемов продаж всех фирм, то прибыль каждой из них (4) в условиях равновесия будет являться функцией

$$Q_i, i = \overline{1, n}$$

вида . (5)

$$\pi_i(Q_1, \dots, Q_n) = Q_i \cdot (P(Q_1, \dots, Q_n) - VC_i^1) - FC_i, i = \overline{1, n}$$

Рациональным поведением фирмы-олигополиста является выбор своего объема производства исходя из условия максимизации прибыли [1, с.577], при этом объемы производства остальных фирмы считаются неизвестными и постоянными, а необходимыми и достаточными условиями экстремума будут:

$$\frac{\partial \pi_i(Q_1, \dots, Q_n)}{\partial Q_i} = 0, \frac{\partial^2 \pi_i(Q_1, \dots, Q_n)}{\partial Q_i^2} < 0, i = \overline{1, n} \quad (6)$$

Обозначим $t_0 = 0$ – момент начала наблюдений,

$$Q_{0i}^*, i = \overline{1, n}$$

– оптимальные объемы производства фирм, сложив-

шиеся на начало исследования, тогда равновесная цена определяется исходя из (3) как

$$P_0 = P(Q_{01}^*, \dots, Q_{0n}^*)$$

а годовую прибыль каждой из фирм в условиях сложившегося на рынке на момент времени равновесия можно определить исходя из (5) как

$$\pi_{0i} = Q_{0i}^* \cdot (P_0 - VC_{0i}^1) - FC_{0i}, i = \overline{1, n} \quad (7)$$

где

VC_{0i}^1 – переменные затраты i -ой фирмы на единицу продукции, сложившиеся в условиях начального (нулевого) рыночного равновесия;

FC_{0i} – общая сумма постоянных затрат i -ой фирмы за год, сложившаяся в условиях начального (нулевого) рыночного равновесия.

При неизменных объемах, цене и затратах годовую прибыль фирм можно считать величиной постоянной, а ее сумму нарастающим итогом за время (горизонт планирования) рассчитывать по формуле

$$\pi_i(t) = \pi_i^0 + \int_0^t \frac{\pi_{0i}}{1+r \cdot t} dt = \pi_i^0 + \int_0^t \frac{Q_{0i}^* \cdot (P_0 - VC_{0i}^1) - FC_{0i}}{1+r \cdot t} dt, i = \overline{1, n}, t \geq 0 \quad (8)$$

где

π_i^0 – прибыль, накопленная i -ой фирмой на момент;

r – ставка дисконтирования.

Предположим теперь, что некий ученый, занимающийся исследованиями в области техники/технологии, используемыми фирмами в процессе производства, разработал инновационный проект, позволяющий снизить себестоимость единицы продукции, и желает продать его фирмам-производителям. Его целью является максимизация личной выгоды (*Inc*). На первом шаге (в момент времени t_1) он должен решить, какой из n фирм и за какую цену C_1 попытаться продать свой проект сначала. При этом слишком высокая цена может повлечь за собой отказ фирмы-производителя внедрять мероприятие, а слишком низкая делает продажу нецелесообразной для ученого. Независимо от результата продажи выбранной на первом шаге фирме, на последующих шагах он может либо не пытаться продать проект одной из оставшихся конкурирующих фирм, либо попытаться это сделать, тогда вновь возникает задача выбора фирмы-производите-

ля и определения оптимальной цены. При этом возможность повторной продажи проекта определяется личными предпочтениями и убеждениями ученого, а также суммой, которую ему фактически заплатят при покупке одной (или несколькими) из фирм его проекта. Если ученый надежен и надеется в дальнейшем сотрудничать с данной фирмой, вероятность того, что он пойдет к ее конкуренту, меньше и наоборот. Если ему заплатили достаточно, и он доволен, то вероятность его обращения с предложением к конкуренту уменьшается, и наоборот. В случае отказа от приобретения в одной фирме и успешного внедрения проекта в другой, имеет смысл попытаться продать проект в первую фирму еще раз.

Возможными вариантами поведения фирм-производителей при обращении к ним ученого будут внедрение проекта в производство или его отклонение.

Стоимость внедрения проекта будет складываться из премии ученого и суммы затрат на внедрение (соответственно C_1 и C_i , $i = 1, n$). Время внедрения для фирм (т.е. промежуток времени, через который мероприятие начнет приносить запланированный экономический эффект) составляет Δt_i .

Затраты фирм после успешного внедрения мероприятия составят: VC_{1i}^1 – переменные затраты i -ой фирмы на единицу продукции и FC_{1i} – общая сумма постоянных затрат i -ой фирмы за год. Поскольку меняются суммы затрат, меняются оптимальные объемы производства для каждой из фирм, а значит, и равновесная цена, и их прибыли. При этом всегда существует возможность того, что внедряемое мероприятие не принесет желаемого эффекта, а i -я фирма понесет в результате убытки в размере

$$L_i \geq C_i + C_i, i = \overline{1, n}$$

т.е. не меньшем, чем совокупные расходы на внедрение. Такая возможность в значительной степени определяется квалификацией и репутацией ученого, мероприятие предлагающего.

Возникает задача определения наилучшей в смысле максимизации ожидаемого выигрыша стратегии поведения для всех $n+1$ участников. Отметим некоторые принципиальные моменты сформулированной задачи.

1. Заинтересованность ученого и всех фирм-конкурентов в получении максимально возможных выигрышей предполагает наличие в задаче конфликта их интересов. Естественно, каждый из участников не может считать поведение остальных случайным и вынужден учитывать это при принятии собственных наиболее рациональных в сложившихся условиях решений.

2. Стремление участников конфликта к наилучшим для себя результатам требует их четкой формулировки в

форме конкретных сопоставимых экономических показателей. Это подразумевает выработку критерия или системы критериев для каждого из участников, на основании которых различные исходы конфликта могут быть сравнены между собой.

3. В зависимости от реализации в рамках рассматриваемого конфликта нормативного (предполагающего рациональное поведение всех участников конфликта [32, с.32]) или позитивного (отражающего реальное их поведение [32, с.33]) экономического принципа, наиболее эффективное решение конкретного участника может быть различным.

4. Как поведение участников рассмотренного конфликта, так и участвующие в его формальном описании данные являются при принятии решения источниками неопределенности. Так, каждая из фирм не знает точной структуры затрат конкурентов, снижение себестоимости в результате мероприятия индивидуально для каждой из них и может варьироваться от

$$\min VC_{1i}^1 \quad \text{и} \quad \min FC_{1i}$$

в пессимистическом варианте до

$$\max VC_{1i}^1 \quad \text{и} \quad \max FC_{1i}$$

в оптимистическом. Неопределенность может нести и величина вознаграждения ученого – разработчика проекта: его величина для каждой из фирм может изменяться от минимально приемлемого для ученого до максимально возможного для соответствующей фирмы значения. Затруднение представляет также прогноз поведения ученого – он может либо совсем не предлагать внедренный в одной из фирм проект конкурентам, либо предлагать с разной степенью возможности. Неоднозначными могут быть и решения каждой из фирм-конкурентов относительно отклонения либо внедрения предлагаемого ей ученым мероприятия. Кроме того, существует возможность неудачного внедрения инновационного мероприятия в каждой из фирм.

Практическое решение сформулированной проблемы предполагает построение математической модели, адекватно отражающей перечисленные выше особенности. Как отмечалось ранее, для формального описания конфликта интересов фирм-производителей и ученого целесообразно использование теории игр. Одним из возможных представлений игры является ее нормальная, или стратегическая, форма, представляющая собой сочетание трех элементов – множества игроков, множества стратегий каждого из игроков и функций выигрышей, ставящих в соответствие каждому набору стратегий игроков их соответствующие выигрыши [33, с.9]. Принципиальным является определение функций выигрышей в понятных для участников конфликта терминах, т.к. имен-

но их значения в случае того или иного исхода являются критерием его приемлемости для каждого из них. Будем считать, что функциями выигрышей фирм-участников являются их суммарные дисконтированные прибыли нарастающим итогом за рассматриваемый период времени, а выигрышем ученого – его дисконтированный доход, полученный от фирм, внедрявших предложенное им мероприятие, т.е. воспользуемся для их описания стандартными понятиями, принятыми в экономическом анализе.

Для математического описания неопределенности исходных числовых данных задачи воспользуемся методами теории нечетких множеств. Так, представление неизвестных постоянных и переменных затрат конкурентов возможно с помощью нечетких чисел с треугольной функцией принадлежности и носителем, определенным на основании интервальных оценок неизвестных параметров линейной регрессии затрат по объемам продаж. Возможные снижения переменных и постоянных затрат в результате успешного внедрения мероприятия описываются нечеткими числами, носителями которых для каждой фирмы являются интервалы вида

$$\left(\min VC_{li}^1; \max VC_{li}^1 \right) \text{ и } \left(\min FC_{li}; \max FC_{li} \right)$$

Промежуточный между оптимистическим и пессимистическим вариант с максимальной принадлежностью, равной 1 – снижение затрат до уровней

$$mb VC_{li}^1 \text{ и } mb FC_{li}$$

Вознаграждение ученого определим как нечеткое число с носителем $\left(\min C_i; \max C_i \right)$

(от минимальной цены, за которую ученый согласен продать свою разработку до максимальной, которое предприятие готово за нее предложить) с максимальной принадлежностью в точке

$$mb C_i$$

– некотором компромиссном значении, приемлемом для обоих. Аналогично нечеткими числами могут быть заданы затраты на внедрение мероприятия на каждой из фирм – от

$$\min C_i' \text{ до } \max C_i'$$

в оптимистическом и пессимистическом вариантах соответственно, время внедрения – от

$$\min \Delta t_i \text{ до } \max \Delta t_i$$

убытки в результате неудачного внедрения – от

$$\min L_i \text{ до } \max L_i$$

Непредсказуемость поведения ученого заключается в том, что он может либо совсем не предлагать внедренный в одной из фирм проект конкурентам, либо предлагать с разной степенью возможности, которую можно задать лингвистической переменной с возможным множеством значений {"низкая", "средняя", "высокая"} и соответствующими им функциями принадлежности. Аналогично описывается поведение каждой из фирм-конкурентов, состоящее в принятии или отклонении предложения ученого.

Использование для целей решения сформулированной задачи математического аппарата теории нечетких множеств предполагает реализацию процедуры нахождения наилучшего по критерию ожидаемого выигрыша исхода и стратегии его достижения в виде программного продукта, позволяющего рекомендовать или не рекомендовать проект к реализации в данной конкретной фирме. Такой программный продукт на основании вводимых лицом, принимающим решение, нечетких данных о предлагаемом мероприятии, возможном поведении ученого и конкурентов должен позволять:

- ◆ автоматически строить множество всех возможных исходов конфликта, рассчитывать соответствующие им значения функций выигрышей всех его участников, формировать множество исходов, приемлемых для лиц, принимающих решение, отсекая заведомо неэффективные, и определять как приемлемые, так и наилучший из них по уровню доходности для всех участников конфликта;
- ◆ оценивать вероятность каждого из исходов с целью отсеивания заведомо неприемлемых и выявления реально достижимых из приемлемых по уровню доходности;
- ◆ вырабатывать конкретные рекомендации по достижению оптимального исхода (т.е. разрабатывать стратегию оптимального поведения) в виде четкой рекомендации по принятию либо отклонению предлагаемого мероприятия.

В результате получаем систему поддержки принятия решений о внедрении на предприятии инновационного мероприятия по снижению себестоимости единицы продукции в условиях рыночной конкуренции, неопределенности исходных данных и возможного поведения участников конфликта. Использование ее при принятии соответствующих управленческих решений позволит сделать математически обоснованный выбор наилучшей стратегии поведения и численно оценить уровень и возможность получения соответствующему реализации этой стратегии исхода прибыли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макконнелл К.Р., Брю С.Л. Экономикс: принципы, проблемы и политика: пер. с 14 англ. изд./ К.Р.Макконнелл, С.Л.Брю. – М.:ИНФРА–М, 2005. – XXXVI, 972 с.
2. Портер М.Э. Конкуренция: пер. с англ. / М.Э.Портер. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. – 608с.
3. Глазьев С.Ю. Стратегия опережающего развития России в условиях глобального кризиса. / С.Ю.Глазьев. – М.: ЗАО "Издательство "Экономика", 2010. – 256с.
4. Инновационный менеджмент / под ред. О.П.Молчановой. – М.: Вита–Пресс, 2001. – 272 с.
5. Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. Избранные труды. / Н.Д.Кондратьев; Международный фонд Н.Д.Кондратьева и др.; Ред. колл. Абалкин Л.И. (пред.) и др.; сост. Яковец Ю.В. – М.: ЗАО "Издательство "Экономика", 2002. – 767с.
6. Шумпетер Й. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия: пер. с нем. / Й. Шумпетер. – М.: ЭКСМО, 2007. – 864 с
7. Янч Э. Прогнозирование научно–технического прогресса: пер. с англ. / Э.Янч. – М.: Прогресс, 1970. – 569с.
8. Стратегия модернизации российской экономики / под ред. В.М. Полтеровича. – СПб.: Алетейя, 2010. – 424с.
8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: пер. с англ. / Л.Заде. – М.: Мир, 1967. – 167с.
10. Эконометрика / И.И.Елисеева, С.В.Курышева, Т.В.Костеева и др.; под ред. И.И.Елисеевой. – М.:Финансы и статистика, 2007. – 576с.
11. Кузык Б.Н., Кушлин В.И., Яковец Ю.В. Прогнозирование, стратегическое планирование и национальное программирование. / Б.Н.Кузык, В.И.Кушлин, Ю.В.Яковец. – М.: Экономика, 2011. – 604с.
12. F. den Butter, J. Mohlmann, P. Wit. Trade and product innovations as sources for productivity increases: an empirical analysis / F. den Butter, J. Mohlmann, P. Wit. – Journal of Productivity analysis, December 2008, Volume 30, Issue 3, pp201–211.
13. N. Apergis, C. Economidou, I. Filippidis. International technology spillovers, human capital and productivity linkages: evidence from the industrial sector. / N. Apergis, C. Economidou, I. Filippidis. – Empirica, November 2009, Volume 36, Issue 4, pp365–387.
14. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование: пер. с англ. / Дж.Мартино. – М.: Прогресс, 1977. – 591с.
15. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление / Л.Э.Эльсгольц. – М.: Наука, 1969. – 424с.
16. Кругликов А.Г. Системный анализ научно–технических нововведений. / А.Г.Кругликов. – М.: Наука, 1991. – 120с.
17. Полтерович В. М., Хенкин Г. М., Эволюционная модель экономического роста. / В.М. Полтерович, Г.М. Хенкин. – Экономика и математические методы, 1989, т. XXV, вып. 3, стр. 518–531.
18. J. Liu. On the Dynamics of Stochastic Diffusion of Manufacturing Technology. / J. Liu. – European Journal of Operational Research, Vol 124, 2000, pp. 601–614.
19. Инновационное развитие: экономика, интеллектуальные ресурсы, управление знаниями / под ред. Б.З.Мильнера. – М.:ИНФРА–М, 2010. – 624с.
20. Варшавский А.Е. Наукоемкие отрасли и высокие технологии: определение, показатели, техническая политика, удельный вес в структуре экономики России / А.Е. Варшавский. – Экономическая наука современной России №2, 2000, стр. 61–83.
21. Харитонов В.В., Молоканов Н.А. Аналитическая модель стратегии саморазвития ядерной энергетики. / В.В. Харитонов, Н.А. Молоканов. – Экономические стратегии №5,6, 2012, стр. 88–98, 94–107.
22. Марков В.Л. Обзор математических моделей с инновациями. / В.Л. Марков. – Экономика и математические методы, 2009, т. 45, №1, стр. 3–14.
23. Исследование операций в экономике. / под ред. Н.Ш.Кремера. – М.: Маркет ДС, 2007. – 408с.
24. Слостников А.Д. Асимптотические свойства переходных процессов в Марковских моделях экономического роста с дискретными инновациями. – Экономика и математические методы, 2009, т. 45 №1, стр. 56–69.
25. Аркин В.И. Учет инноваций в моделях экономической динамики: вероятностный подход. / В.И.Аркин. – Экономика и математические методы, 2009, т. 45, №1, стр. 30–43.
26. Соболев И.М. Метод Монте–Карло. / И.М.Соболев. – М.:Наука. 1968. – 64с.
27. E. Ce?z, S. Rosenkranz, U. Weitzel. Effects of coordinated strategies on product and process R&D. / E. Ce?z, S. Rosenkranz, U. Weitzel. – Journal of Economics, April 2009, Volume 96, Issue 3, pp 193–222.
28. J. Hinloopen, J. Vandekerckhove. Dynamic efficiency of Cournot and Bertrand competition: input versus output spillovers. / J. Hinloopen, J. Vandekerckhove. – Journal of Economics, November 2009, Volume 98, Issue 2, pp 119–136.
29. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. / под ред. Д.А.Поспелова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.–мат. лит., 1986. – 312с.
30. Р. Беллман, Л. Заде. Принятие решений в расплывчатых условиях. / Р. Беллман, Л. Заде. – Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир, 1976., стр. 172–215.
31. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа: в 2–х ч. Часть 1. Учеб. для вузов. – 7–е изд. / В.А. Ильин, Э.Г. Позняк. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 648с.
32. Бернарке Б., Фрэнк Р. Экономикс. Экспресс–курс / Пер. с англ. – СПб.: Питер, 2012. – 720 с.
33. Петросян Л.А., Зенкевич Н.А., Семина Е.А. Теория игр / Л.А.Петросян, Н.А.Зенкевич, Е.А.Семина. – М.: Высш. шк., Книжный дом "Университет", 1998. – 304с.