

УДК 519.87

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-150-153

Д. А. Истомина, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
 М. Б. Гитман, доктор физико-математических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

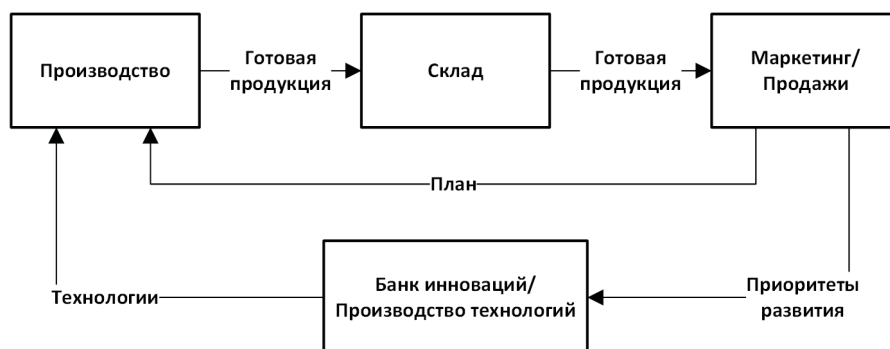
## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИМ РАЗВИТИЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

### Введение

Рассмотрим промышленное предприятие, производящее некоторую номенклатуру продукции. Для его успешного функционирования требуется осуществлять стратегическое развитие, чтобы выпускаемая продукция в наибольшей степени соответствовала изменяющейся конъюнктуре рынка.

Для решения данной задачи рассмотрим создание на предприятии дополнительного производственного контура управления, в котором имеется так называемый банк инноваций, который можно рас-

сматривать в качестве фонда развития производства [1]. Данный контур отвечает за производство технологий посредством реализации инновационных проектов и их последующего внедрения в производство. Внедрение инновационных проектов происходит с возникновением естественного запаздывания – так называемого временного лага [2]. Предполагается, что в наличии имеется значительный перечень инновационных проектов, и основной задачей является выбор таких проектов, которые позволили бы предприятию развиваться в требуемом направлении (рисунок).



Структурная схема предприятия

Рассматриваются следующие последствия разработки и внедрения новых технологий:

1. Уменьшение стоимости производства некоторого перечня производимой продукции.
2. Возможность производства нового вида продукции.
3. Улучшение характеристик производимой продукции.

Таким образом, возникает задача выбора оптимального инновационного проекта для реализации в конкретный момент времени, т. е. возникает задача оптимизации.

### Математическая модель

Каждый элемент схемы (см. рис.) можно описать функцией, которая бы характеризовала непосредственную стоимость функционирования данного элемента, т. е. стоимость преобразования входящих материальных и нематериальных потоков в исходящие в момент времени  $i$ :

– производство:

$$P_i = -\sum \varphi_{ji} - \sum \psi_{ji},$$

где  $\varphi_{ji}$  – совокупная стоимость производства продукции  $j$ -го типа;  $\psi_{ji}$  – совокупная стоимость внедрения инновации  $j$ -го типа;

– склад:

$$S_i = -\sum \chi_{ji},$$

где  $\chi_{ji}$  – совокупная стоимость хранения продукции  $j$ -го типа

– маркетинг/продажи:

$$M_i = -\sum \xi_{ji},$$

где  $\xi_{ji}$  – совокупная выручка от реализации продукции  $j$ -го типа.

– инновационная деятельность:

$$I_i = -\sum \theta_{ji},$$

где  $\theta_{ji}$  – совокупная стоимость разработки инновации  $j$ -го типа

Тогда совокупная прибыль/убыток работы предприятия в момент времени  $i$  представляет собой сумму

$$P_i + S_i + M_i + I_i.$$

Характер изменения стоимости производства продукции и инноваций носит нелинейный характер, так как, например, внедренная инновация может изменить стоимость производства продукции [3]. Поэтому оценивать работу предприятия предлагается при помощи имитационного подхода.

#### Ранжирование инновационных проектов

Для решения задачи ранжирования проектов обозначим комплексный критерий оптимальности (ККО), представляющий собой совокупность перечисленных выше частных критериев оптимальности:

$$\text{ККО} = (\text{КО}_1, \text{КО}_2, \dots, \text{КО}_N).$$

Однако критерии оптимальности могут быть не просто различны по своей физической природе (денежные средства, время, риски), но и оцениваться при помощи разных моделей (математическое ожидание, дисперсия, вероятность). Например, инновационный проект может описываться сроком реализации и объемом финансирования, которые имеют разную размерность и природу.

Предлагается решать данную задачу, используя аппарат нечетких множеств [4, с. 244]. Введем специальное нечеткое множество

$$\hat{A} = \bigcup_{u \in U} \frac{\mu_A}{u}.$$

Рассмотрим варианты различных индексов ранжирования.

#### Общие приоритеты развития на уровне всего предприятия

Рассмотрим вариант, когда одинаковые приоритеты применяются ко всем проектам, т. е. функция принадлежности имеет одинаковый вид для всех проектов.

Тогда каждый инновационный проект ( $A$  и  $B$ ) можно описать как

$$\text{ККО}_A = A = (\mu_1(a_1)/a_1, \mu_2(a_2)/a_2, \dots, \mu_n(a_n)/a_n);$$

$$\text{ККО}_B = B = (\mu_1(b_1)/b_1, \mu_2(b_2)/b_2, \dots, \mu_n(b_n)/b_n).$$

В таком случае индекс ранжирования можно определить в виде

$$H(A, B) = \text{sign} \max |C_i|, \quad i = 1, n,$$

где

$$C_i = \mu_i \frac{a_i - b_i}{\max(a_i, b_i)}. \quad (1)$$

Максимальных значений по модулю может оказаться несколько, тогда

$$\lambda = \sum_{i=1}^l \text{sign} \max |C_i|,$$

где  $l$  – количество равных по модулю максимальных значений  $C_i$ .

Получаем

$$\begin{cases} \lambda = 0 \Rightarrow A = B, \\ \lambda > 0 \Rightarrow A > B, \\ \lambda < 0 \Rightarrow A < B. \end{cases}$$

Соответственно,

$$\begin{cases} H(A, B) > 0 \Rightarrow A > B, \\ H(A, B) < 0 \Rightarrow A < B. \end{cases}$$

Тем самым реализована возможность осуществления корректного сравнения инновационных проектов между собой.

#### Различные приоритеты каждого проекта

Может возникнуть потребность изменения функции принадлежности для ряда инновационных проектов. Например, это может быть связано с направленностью развиваемых технологий для продуктов определенного назначения. Тогда каждый проект необходимо описывать парой векторов ( $M, P$ ), где  $M$  – функции принадлежности проекта;  $P$  – численные частные критерии оптимальности.

Рассмотрим проекты  $A$  и  $B$ :

$$\text{ККО}_A = A = (\mu_1^A(a_1)/a_1, \mu_2^A(a_2)/a_2, \dots, \mu_n^A(a_n)/a_n);$$

$$\text{ККО}_B = B = (\mu_1^B(b_1)/b_1, \mu_2^B(b_2)/b_2, \dots, \mu_n^B(b_n)/b_n).$$

Модифицируя формулу (1), получим:

$$C_i = \frac{\mu_i^A a_i - \mu_i^B b_i}{\max(a_i, b_i)}. \quad (2)$$

Таким образом, реализована возможность учета специфики конкретного инновационного проекта в рамках предприятия.

Демонстрационные примеры представлены в конце статьи.

#### Поиск оптимальных параметров управления

Как показано выше, каждый критерий инновационного проекта приоритизируется. Данная приоритизация осуществляется при помощи скалярной функции, которая может иметь любой вид. В базовом виде это константа, т. е. скалярный приоритет, расставляемый экспертами, отвечающими за маркетинг предприятия. Таким образом, задача в простом варианте сводится к поиску такого вектора со значениями компонентов от 0 до 1, который был бы оптимальным при заданных условиях. Рассмотрим варианты поиска оптимальных скаляров.

#### Полный перебор с дискретным шагом

Так как данная задача будет решаться на компьютере, то необходимо предусмотреть алгоритм гене-

рирования всех вариантов за приемлемое время, что является не совсем тривиальной задачей.

Пусть задано количество разбиений каждого из компонентов  $N > 0$ , тогда размер шага равен  $1/N$ . Пусть дана длина искомого вектора  $M$ . Тогда можно применить следующий алгоритм:

- 1) сгенерировать числа от 0 до  $N^M$ ;
- 2) каждое число представить в 11-ричной системе счисления – вектор размерности  $M$ , где каждая цифра находится в диапазоне от  $0_{11}$  до  $10_{11}$  включительно;
- 3) каждую компоненту всех векторов разделить на  $N$ .

#### **Методы безусловной нелинейной оптимизации совместно с методом штрафных функций**

Такие методы можно применять тогда, когда количество инновационных проектов велико, так как на малом количестве проектов изменение целевой функции происходит очень резко. Как следствие, вероятность поиска локального экстремума очень велика.

#### **Демонстрационные примеры**

##### **Общие приоритеты для всех проектов**

Рассмотрим сравнение инновационных проектов с двумя значимыми для нас критериями оптимальности:

- 1) время выхода на рынок ( $\tau$ );
- 2) объем капиталовложений для реализации ( $\varepsilon$ ).

Тогда комплексный критерий оптимальности примет следующий вид:

$$KKO = \left( \frac{\mu_{\tau}(\tau)}{\tau}, \frac{\mu_{\varepsilon}(\varepsilon)}{\varepsilon} \right).$$

Определим количественно данные функции:

$$\mu_{\tau}(\tau) = \begin{cases} 0,8, & \tau < 30 \text{ дней,} \\ 0,1, & \tau \geq 30 \text{ дней;} \end{cases}$$

$$\mu_{\varepsilon}(\varepsilon) = \begin{cases} 0,5, & \varepsilon < 1 \text{ млн руб.,} \\ 0,4, & \varepsilon \geq 1 \text{ млн руб.} \end{cases}$$

Рассмотрим 2 инновационных проекта:

1. Проект разрабатывается за 28 дней с затратами в 2 млн руб.
2. Проект разрабатывается за 40 дней с затратами в 0,5 млн руб.

Используя формулу (1), получаем:

$$C_1 = \frac{0,8 \cdot 28 - 0,1 \cdot 40}{\max(28, 40)} = 0,46;$$

$$C_2 = \frac{0,5 \cdot 0,5 - 0,4 \cdot 2}{\max(0,5, 2)} = -0,275.$$

Итак,  $H(A, B) > 0$ , т. е. первый проект предпочтительнее.

Можно объяснить полученный результат тем, что существует значительная граница по времени – 30 дней, в которые крайне необходимо уложиться

при разработке проекта, т. е. вывод проекта вовремя на рынок компенсирует сэкономленные средства на реализацию (400 % средств во втором случае).

#### **Проект со специфичными приоритетами**

Модифицируя вышеописанный пример, рассмотрим вариант различных приоритетов, зависящих от специфики проекта. Для 1-го проекта оставим функции принадлежности без изменения (те же, что и для других возможных проектов):

$$\mu_{\tau}^1(\tau) = \begin{cases} 0,8, & \tau < 30 \text{ дней,} \\ 0,1, & \tau \geq 30 \text{ дней;} \end{cases}$$

$$\mu_{\varepsilon}^1(\varepsilon) = \begin{cases} 0,5, & \varepsilon < 1 \text{ млн руб.,} \\ 0,4, & \varepsilon \geq 1 \text{ млн руб.} \end{cases}$$

Для 2-го проекта:

$$\mu_{\tau}^2(\tau) = \begin{cases} 0,9, & \tau < 41 \text{ дней,} \\ 0,1, & \tau \geq 41 \text{ дней;} \end{cases}$$

$$\mu_{\varepsilon}^2(\varepsilon) = 0,1.$$

То есть 2-й проект необходимо обязательно закончить в срок (пусть и больший, чем для остальных проектов), несмотря на затраты.

Используя формулу (2), получаем:

$$C_1 = \frac{0,8 \cdot 28 - 0,9 \cdot 40}{\max(28, 40)} = -0,34;$$

$$C_2 = \frac{0,5 \cdot 0,5 - 0,1 \cdot 2}{\max(0,5, 2)} = -0,025.$$

Итак,  $H(A, B) < 0$ , т. е. 2-й проект будет более предпочтителен, так как была учтена его специфика, связанная с областью применения.

#### **Выводы**

Предложена математическая модель инновационного промышленного предприятия. Имитационная модель позволяет осуществлять моделирование стратегического развития предприятия посредством управления пакетом инновационных проектов.

Предложено решение задачи выбора инновационных проектов, которые позволили бы предприятию развиваться в требуемом направлении. Для решения данной задачи был обозначен комплексный критерий оптимальности, представляющий собой совокупность частных критериев оптимальности инновационного проекта. Предложено решение, использующее аппарат нечетких множеств. Частично решена задача оптимизации, т. е. выбора оптимального инновационного проекта для реализации в конкретный момент времени.

В дальнейшем работа может быть продолжена для последующего анализа созданной имитационной модели предприятия на устойчивость развития с течением времени и резких изменениях конъюнктуры рынка.

## Библиографические ссылки

1. Багриновский К. А. Модели и методы экономической кибернетики. – М. : Экономика, 1973.

2. Симонов П. М. Экономико-математическое моделирование : учеб. пособие : в 2 ч. / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2009. – Ч. 1. – 338 с. : ил.

Получено 18.04.2017

3. Домошницкий А. И., Истомин Д. А., Гитман М. Б. Разработка модели развития инновационного предприятия как динамической системы с эффектом памяти // Прикладная математика и вопросы управления. – 2015. – № 1. – С. 49–59.

4. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ. – М. : Высш. шк., 1989. – 360 с.

УДК 517.977

DOI 10.22213/2413-1172-2017-2-153-156

Г. А. Благодатский, кандидат технических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Д. Е. Докучаев, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРЕЦЕДЕНТОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ТЕХНОЛОГИИ OMG RUP

Важным элементом планирования разработки компьютеризированных систем управления является системное исследование предметной области. Консорциум ведущих разработчиков автоматизированных систем управления OMG ведет активную работу, посвященную разработке лучших техник эффективного создания компьютерных систем [1]. Среди множества техник выделяются RUP – разработка IBM Rational Software. Это технология, использующая UML-моделирование как центральный инструмент создания компьютерных систем [2]. Подобное моделирование призвано решить проблему «кризиса при разработке программного обеспечения», т. е. оценить масштаб системы и необходимые средства для ее реализации [3]. Первое, что необходимо реализовать при данном подходе, – это модель прецедентов предметной области.

Рассмотрим основные черты типового предприятия малого бизнеса сектора пищевой промышленности, осуществляющего производство хлебобулочных изделий. Основной ассортимент представлен  $m = 5$  видами продукции  $\bar{y} = \{y_i\}, i = \overline{1, m}$ , где  $y_1$  – «хлеб пшеничный»;  $y_2$  – «хлеб «Дарницкий»»;  $y_3$  – «батон нарезной»;  $y_4$  – «плетенка с маком»;  $y_5$  – «ромашка с кунжутом». Вес единицы продукции задан вектором  $\bar{w} = \{w_i\}, i = \overline{1, m}$ , где  $\bar{w} = \{0,5; 0,5; 0,3; 0,3; 0,3\}$  кг. Средний объем производства в день задан вектором  $\bar{x} = \{x_i\}, i = \overline{1, m}$ , где  $\bar{x} = \{3000; 1600; 150; 50; 50\}$  единиц. Таким образом, недельное производство продукции можно рассчитать по формуле

$$\bar{Q} = \bar{w} \cdot \bar{x} \cdot T, \quad (1)$$

где  $T$  – количество рабочих дней в неделе.

Положим,  $T = 7$ , тогда  $\bar{Q} = 16625$  кг.

Предприятие находится в одноэтажном кирпичном здании, имеющем в своем составе административные помещения, производственные помещения, склад для сырья и готовой продукции, склад для запасных частей и оборудования. На предприятии используется специальное оборудование: тестомесильная машина, мукопросеиватель, расстоечный шкаф, 2 хлебопекарные печи, весы рычажные. На производстве работают: директор, заместитель директора, технолог, 9 пекарей, 3 водителя, уборщик производственных и офисных помещений, слесарь по ремонту оборудования, электромонтер, мастер по настройке контрольно-измерительных приборов и аппаратуры. Также помещения обслуживаются предприятиями, предоставляющими электроэнергию, тепловую энергию и водоснабжение. В состав транспортных средств предприятия входят 3 автомобиля, которые производят доставку продукции до покупателя. Автомобили обслуживают сторонние предприятия, занимающиеся слесарным ремонтом; взаимодействие с этими предприятиями осуществляется по договору подряда.

Бизнес-процессы предприятия можно разделить на три группы: основные процессы, вспомогательные бизнес-процессы и процессы управления. Также представлены основные актеры, участвующие в процессах. Внутри каждого блока описываются происходящие процессы и взаимосвязи.

Особый интерес для автоматизации данного предприятия представляют собой основные и вспомогательные процессы, состав которых довольно значителен (рис. 1). Необходимо указать, что процессы данной группы автоматизированы лишь частично системой 1С – Бухгалтерия, что позволяет сделать вывод о большом потенциале автоматизации данного направления процессов.

В структуре вспомогательных процессов выделяются «Поставка сырья для производства» (рис. 2) и «Доставка готовой продукции к потребителям» (рис. 3). На процесс «Поставка сырья» накладываются