МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ[1]

УДК 338.24

Юрий Владимирович Бородакий,
академик Российской академии наук, д.т.н., профессор, Генеральный директор, ОАО «Концерн «Системпром».
Тел.: (499) 267-20-31
Эл. почта: info@systemprom.ru

Павел Васильевич Кравчук,
д.э.н., профессор, советник генерального директора, ЗАО «ВИВОС-СиОИ».
Тел.: (495) 987-55-61
Эл. почта: p.kravchuk@mail.ru

Михаил Александрович Батьковский,
к.э.н., начальник аналитического отдела, ООО «Ванаг».
Тел.: (495) 386-17-56
Эл. почта: batkovsky@yandex.ru

В статье рассмотрены методологические основы моделирования инновационного развития высокотехнологичного предприятия и экономико-математический инструментарий формирования стратегии данного развития. Использование разработанного инструментария позволяет проводить многовариантные расчеты с целью количественной оценки состояния, в которое перейдет предприятие при реализации управляющих воздействий. Изменяя данные воздействия можно определить состояния предприятия, которые будут близкими к оптимальному, и сравнивать их с целью выбора наиболее эффективной стратегии его инновационного развития.

Ключевые слова: инновационное развитие, высокотехнологичное предприятие, модель, стратегия.

Yuriy V. Borodakiy,
Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctorate of technical Sciences, Professor, General Director, JSC «Concern «Systemprom».
Tel: (499) 267-20-31
E-mail: info@systemprom.ru

Pavel V. Kravchuk,
Doctorate of Economic Sciences, Professor, Adviser to General Director,
CJSC «VIVOSSiOI».
Tel: (495) 987-55-61
E-mail: p.kravchuk@mail.ru

Mikhail A. Batkovskiy,
PhD in Economics, Head of the analytical Department. Co. Ltd «Vanag».
Tel: (499) 386-17-56
E-mail: batkovsky@yandex.ru

SIMULATION OF INNOVATION DEVELOPMENT INNOVATIVE ENTERPRISES

The article describes the methodological foundations of modeling innovative development of high-tech enterprises and economic-mathematical tools forming part of the development strategy. The use of tools developed allows multiple calculations to quantify the state in which the company will go in the implementation of control actions. Changing the exposure data, we can determine the state of the enterprise, which will be close to optimal, and compare them to select the most effective strategy for its innovative development.

Keywords: innovation development, high-tech enterprise, model, strategy.

1. Введение

Закономерности инновационного развития высокотехнологичных предприятий (ВТП) являются достаточно сложными и поэтому их анализ на основе использования эвристических методов исследования крайне затруднителен. Ограничены возможности применения при этом и статистических методов ввиду отсутствия достаточной информационной базы. Данные обстоятельства требуют применения при решении рассматриваемой задачи экономико-математических моделей, позволяющих выявлять существенные факторы, которые определяют стратегию инновационного развития предприятия. Поэтому моделирование инновационного развития ВТП должно заключаться в первую очередь в разработке модели указанной стратегии, учитывающей исходные ресурсы, применяемые технологии, ассортимент и объем выпуска продукции в прогнозируемый период времени, финансовое положение предприятия и другие факторы. Модель инновационной стратегии ВТП должна быть содержательно емкой, но одновременно максимально простой, насколько это позволяет логика моделируемого процесса. Ввиду того, что инновационная стратегия ВТП определяется большим числом характеристик, при разработке ее модели должны выбираться лишь те из них, которые на основе теоретических предпосылок рассматриваются как основные, являются измеряемыми и отвечают задачам моделирования.

2. Методологические основы моделирования инновационного развития высокотехнологичного предприятия

Научной основой моделирования инновационной стратегии ВТП являются инструментальные средства математического анализа, линейного программирования, динамического программирования, теории вероятностей, теории игр, теория массового обслуживания, параметрического программирования, стохастического программирования. Анализ существующего инструментария моделирования инновационного развития различных экономических систем позволил сделать вывод, что для его применения при формировании стратегии инновационного развития ВТП необходима доработка указанного инструментария, основанная на учете специфики данного типа предприятий. Важнейшей проблемой моделирования инновационного развития ВТП является определение его эффективности.

Абсолютная экономическая эффективность инновационного развития оценивается, как правило, по его вкладу в целевой функционал деятельности ВТП, характеризующий его миссию, которая определяет предназначение предприятия и позиционирует его место на рынке. Миссия определяет лишь наиболее общие цели, на достижение которых ориентировано предприятие и поэтому является в значительной мере качественной категорией, определяющей стратегические цели его развития, которые на основе использования методики дерева целей должны детализироваться путем их иерархического разбиения.

Структуризация и разработка многоуровневой системы целей – сложная задача, т.к. их иерархия зависит от степени формализации рассматриваемой задачи [1]. При этом необходимо, чтобы цели инновационного развития ВТП были конкретными, ориентиро-

[1] Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 14-06-00018, № 14-06-00028, № 14-06-31133).

ванными на определенный период и адресными. При формировании многоуровневой иерархической системы данных целей целесообразно использовать коэффициенты значимости, которые определяют роль любой цели уровня $i + 1$ в достижении цели уровня i. Указанные коэффициенты необходимо применять для оценки различных инновационных стратегий, их сравнения и выбора оптимальной.

Конкретизировать цели необходимо до уровня управленческих задач, отличающихся возможностью количественных оценок степени их выполнения, т.к. любая инновация подлежит количественной и качественной оценке. Наиболее приемлемы для разработки модели стратегии инновационного развития ВТП методы динамического моделирования, т.к. они позволяют:

– описать возможную динамику моделируемых процессов, а также анализировать ее влияние на показатели, характеризующие различные аспекты инновационного развития предприятия;

– использовать значительное число показателей, характеризующих инновационное развитие ВТП;

– учитывать обратные связи, выражающие причинно-следственные взаимозависимости между данными показателями.

Отмеченные обстоятельства определяют потребность в динамическом подходе к выбору критерия оценки эффективности инновационного развития ВТП, в качестве которого можно использовать показатели, характеризующие достижение максимального прогнозного уровня прибыли за определенный период времени, устойчивость развития ВТП и др. Процесс формирования прогнозов развития высокотехнологичного предприятия можно представить в следующем виде (рис.1).

Ключевой целью формирования прогнозов развития ВТП, с нашей точки зрения, является определение объемов производства, обеспечивающих по выбранному критерию оптимизации получение наилучшего результата при эффективном использовании имеющихся дефицитных ресурсов и максимальной адаптации предприятия к потребностям рынка (государства).

Моделирование инновационного развития ВТП заключается в расчете технико-экономических показателей применительно к определенным точкам прогнозирования (конец каждого года, всего периода прогнозирования и т.д.) на основе различных методов и моделей, применяемых в прогнозировании. В первую очередь, по нашему мнению, необходимо использовать имитационные модели, позволяющие адекватно отражать инновационное развитие ВТП с помощью набора различных параметров и технико-экономических показателей.

Рис. 1. *Процесс формирования прогнозов развития ВТП*

Имитационные модели, как правило, не только являются динамическими, но и достаточно точно отражают объект моделирования. Серьезным достоинством имитационного моделирования является также его соответствие требованиям адаптивности управления, что позволяет объективно оценивать меняющиеся внешние и внутренние условия инновационного развития высокотехнологичного предприятия.

В модели инновационного развития ВТП должны учитываться спросовые ограничения, определяемые согласно имеющимся или прогнозируемым контрактам (договорам), а также оценкам перспектив развития рынка. На базе указанных показателей осуществляется оценка вариантов прогнозируемой стратегии инновационного развития ВТП, сравнение которых позволяет количественно и качественно оценить его альтернативы на базе общих методологических основ.

Варианты стратегии должны охватывать длительный временной период и включать мероприятия, направленные на обеспечение инновационного развития ВТП: техническое перевооружение предприятия, разработку и внедрение инноваций и т.д.

Для моделирования стратегии инновационного развития ВТП необходимо определить систему показателей, которая не только характеризует его различные варианты, но и имеет возможность своего расширения. В нее необходимо включать лишь те показатели, которые являются измеримыми и рассматриваются как основные, что позволит обеспечить допустимую размерность модели.

Таблица 1

Модель стратегии инновационного развития ВТП

Основные параметры модели развития предприятия ВТП	Варианты развития предприятия ВТП				Оценка параметров прогноза
	X_1	X_2	...	X_n	
Прогнозируемые результаты инновационного развития ВТП	Y_{11}	Y_{21}	...	Y_{n1}	E_1
	Y_{12}	Y_{22}	...	Y_{n2}	E_2
	...	...	...	...	....
	Y_{1m}	Y_{2m}	...	Y_{nm}	E_m
Условия инновационного развития ВТП и его ресурсы (ограничения)	...	...	...	...	...
Критерии оптимальности инновационного развития ВТП	Y_1	Y_2	...	Y_n	*Max, Min*

В противном случае использование модели будет сопряжено с большими вычислительными трудностями, что негативно отразится на точности результатов моделирования [2].

В графическом виде модель стратегии инновационного развития высокотехнологичного предприятия можно представить следующим образом (табл. 1).

В данной модели в качестве альтернативных решений рассматриваются прогнозные варианты инновационного развития высокотехнологичного предприятия (X_1–X_n). Возможные результаты реализации каждого варианта прогноза (например, значения величины прибыли) обозначены Y с индексами n и m. Реальный результат реализации каждого варианта прогноза зависит от параметров внешней и внутренней среды ВТП.

Процесс моделирования стратегии инновационного развития ВТП является целенаправленным и включает следующие основные этапы:

– определение цели моделирования;

– постановка задачи моделирования;

– выбор типа модели;

– построение теоретической модели;

– выбор переменных;

– выбор форм зависимостей между переменными;

– выбор метода нахождения параметров модели;

– проверка на содержательном теоретическом уровне соответствия модели поставленной задаче моделирования.

Специфика моделирования стратегии инновационного развития ВТП объективно требует применения при решении указанной задачи структурного анализа, т.е. ее детализации, начиная с общего описания стратегии до определения отдельных задач, которые должны решаться при ее разработке.

3. Экономико-математическая модель инновационного развития высокотехнологичного предприятия

Ключевую роль при построении модели инновационного развития ВТП играют понятия продуктов (создаваемых предприятием изделий или услуг), ресурсов, производственных процессов, окружающей среды. Совокупность продуктов, учитываемых при разработке инновационной стратегии ВТП, можно представить в виде множества $P_+^N = \{k = k_1, k_2, ..., k_N \;\; k_n \geq 0, n = \overline{1, N}\}$, а ресурсы, используемые ВТП – как элементы множества $k \in P_+^N$. При этом необходимо учитывать, что существуют факторы (ценовой и др.), ограничивающие использование предприятием отдельных видов ресурсов (финансовых, трудовых и др.). Это ограничение может быть формализовано следующим образом: $k \in K$, где $K \subseteq P_+^N$ – множество доступных для ВТП ресурсов. Следует отметить, что границы данного множества могут со временем меняться, т.е. $K = K(t)$. В то же время создаваемая предприятием продукция также является элементом определенного множества продуктов $l \in P_+^N$, компоненты которого соответствуют объему выпуска предприятием конкретных видов продукции. Тогда производственное множество ВТП, которое представляет собой совокупность всех наборов выпускаемой им продукции, можно записать в виде: $L \subset P_+^N$. Структура и границы множества L определяются эндогенными (ресурсным множеством K) и экзогенными (в первую очередь, спросом на определенные виды продукции) факторами. Как и ресурсное, производственное множество может со временем меняться: $L = L(t)$.

Возможности ВТП по преобразованию имеющихся у него ресурсов в конечную продукцию характеризуются доступными ему технологиями, которые образуют множество $M = \{m_1, m_2,..., m_i,\}$, каждый элемент m_j которого соответствует одному из доступных предприятию технологических процессов и определяет отображение $m_j : K \rightarrow L$. Технологическое множество M может изменяться во времени аналогично ресурсному и производственному множествам: $M = M(t)$. При этом возможно изменение количества его элементов, т.к. технологии могут использоваться на предприятии с любой степенью интенсивности.

Исходные ресурсы и технологии, а также виды и объемы производимой ВТП продукции выбираются в процессе выработки управленческих решений $d(t)$, принимаемых момент времени t и определяющих производственную деятельность предприятия. Метанабор $\Theta(t) = \langle K(t), L(t), M(t)\rangle$ является идентификационным модулем модели инновационного развития ВТП, а элемент $\theta(t) = \langle k(t), l(t), m(t)\rangle$ характеризует текущее состояние предприятия. В соответствии с применяемыми управленческими решениями $d(t)$ динамическая модель инновационного развития ВТП определяет конечную $\left\{\left\langle x(t), y(t), a(t)\right\rangle\right\}_{t_1}^{t_2}$ или бесконечную $\left\{\left\langle x(t), y(t), a(t)\right\rangle\right\}_{t_1}^{\infty}$ последовательность возможных состояний предприятия (в терминологии теории систем – траекторию развития) [3].

В отличие от идентификационной модели, модель внешней среды ВТП содержит ряд внешних для предприятия факторов, которые подвергаются

анализу и прогнозированию, но не могут быть изменены самим предприятием. Поэтому необходимо выделить набор параметров $e_1(t)$, характеризующий инновационное развитие предприятия, и набор параметров $e_2(t)$, отображающий факторы внешней среды: $e(t) = \langle e_1(t), e_2(t)\rangle$. Параметры $e_1(t)$ поддаются влиянию со стороны предприятия, к примеру, ВТП может воздействовать на свое конкурентное окружение, либо, выходя на новый для себя рынок, либо путем создания нового, не существовавшего ранее рынка в случае начала производства принципиально новой инновационной продукции. Параметры $e_2(t)$ соответствуют факторам, на которые ВТП практически не может оказывать существенного влияния. При этом можно предположить, что ВТП в любой момент времени располагает полной и достоверной информацией о состоянии внешней среды и ограничиться описанием ее текущего состояния.

Поскольку прибыль ВТП в момент времени t зависит от параметров, характеризующих его внутреннее состояние и внешнюю среду, функцию прибыли можно записать следующим образом: $\varphi(t) = \varphi(\theta(t), e(t))$. Допустим, что ВТП производит K продуктов, каждый из которых начинал производиться в момент времени t_k и имел свой жизненный цикл. Пусть ВТП в году $(t-1)$ производит k продуктов. Тогда можно ввести понятие годового валового продукта предприятия (ВПП) и представить его в виде [4]:

$$P_{t-1}^{Y} = p_{t-1}^{0} + p_{t-1}^{1} + \dots p_{t-1}^{k-1} \qquad (1)$$

Если допустить, что в момент t производство самого старого продукта (из числа производимых предприятием изделий и услуг) p^0 прекращается и появляется новый продукт, то верно следующее соотношение:

$$P_t^Y = P_{t-1}^Y + \varphi P_{t-1}^Y + \gamma P_{t-1}^Y, \qquad (2)$$

где $\varphi = \varphi(t)$ – темп подготовки к производству нового продукта; $\gamma = \gamma(t)$ – норма выбытия старого продукта в момент t, когда предприятие переходит на производство нового продукта.

Время от времени в связи с ограниченным жизненным циклом выпускаемых продуктов ВТП должно менять структуру своей деятельности. Для этого предприятию необходим инновационный потенциал $IP(t)$. Если $IP(t) > 0$, то ВТП развивается, расширяя и обновляя производство, при $IP(t) < 0$ возникают проблемы адаптации предприятия к потребностям рынка. В этот период предприятие должно выходить на рынок с новым продуктом p_k, что требует привлечения внешних инвестиционных ресурсов. Поэтому инновационное развитие ВТП происходит в определенном диапазоне, границы которого задаются объемом денежных средств, необходимых предприятию, и величиной отдачи на вложенные средства. Нижняя граница данного диапазона определяется взаимосвязанными функциями $R_L(t)$ и $M_L(t)$, а верхняя – $R_H(t)$ и $M_H(t)$. Границы диапазона выступают функциями и других базовых переменных, характеризующих инновационный потенциал ВТП. Будем считать, что потенциал прогнозируемых инновационных изменений задается величиной издержек $C^I(t)$, требуемых для преобразования экзогенных правил:

$$IP(t) = C^I(t) = M(t) \qquad (3)$$

Тогда функцию инновационного преобразования предприятия можно записать в виде:

$$IP(t) = M(t) = f(\mu, H, W, Z), \qquad (4)$$

где $\mu = \omega(H, W, Z)$ – производство продукции (или совокупный доход) ВТП на одного занятого; $H(t)$ – функция, описывающая изменения человеческого капитала предприятия; $W(t)$ – функция изменения основного капитала, $Z(t)$ – технологическая функция.

Развитие ВТП выражается в расширении производственных мощностей, росте прибыли, зарплаты и т.д. Поэтому:

$$M(t) = f[\omega(H, W, Z), H, W, Z) = \\ = \theta(L, K, T) \qquad (5)$$

Для разработки модели стратегии инновационного развития ВТП необходимо определить совокупность инноваций, планируемых к реализации в определенные временные периоды. С этой целью для каждой инновации I, которая потенциально может удовлетворить существующую потребность на рынке, проводится прогнозирование возможных моментов времени выхода на рынок продукта, в котором она может быть реализована. На следующем этапе для каждой выбранной l-ой инновации решается задача по формированию оптимальной производственной программы в разрезе определенных временных периодов. При этом в качестве целевой функции может быть принята получаемая ВТП прибыль в период времени от выведения инновационного продукта на рынок до его морального старения (фактически, речь идет о прогнозе прибыли, которую можно получить в результате создания нового продукта). В этом случае необходимо определить функцию $V_{lm}(t)$, максимизирующую целевую функцию прибыли:

$$\Omega_l = \sum_{m=1}^{M} \int_{t1}^{t5} [P_{lm}(t)V_{lm}(t) - \Delta P_{lm}(t)V_{lm}(t)]dt - \\ - \sum_{m=1}^{M} \int_{t1}^{t5} [PC_{lm}(t)V_{lm}(t) - \Delta PC_{lm}(t)V_{lm}(t)]dt \to \max \qquad (6)$$

при наличии следующей системы ограничений:

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^{M} \gamma_{lmn} V_{lm}(t) \le R_n; \quad n = \overline{1, N} \\ V_{lm}^{\min}(t) \le V_{lm}(t) \le V_{lm}^{\max}(t) \end{cases} \qquad (7)$$

, (7)

где t_1–t_5 – этапы жизненного цикла инновации (инновационного продукта): реализация инновации – t_1, выведение ее на рынок – t_2, упрочнение позиций на рынке – t_3, насыщение рынка – t_4, моральное старение – t_5; $V_{lm}(t)$ – прогнозируемая функция производства (считается, что производится такое количество продукции в некоторый период времени, которое и реализуется) в соответствии с l-ой инновационной идеей для m-го вида комплектности (или ассортимента); $P_{lm}(t)$ – прогнозируемая функция цены продукции m-го вида, в которой реализована l-ая инновация; $PC_{lm}(t)$ – прогнозируемая функция себестоимости производства продукции m-го вида, реализующей l-ую инновацию; $\Delta P_{lm}(t)$, $\Delta PC_{lm}(t)$ – прогнозируемые функции изменения соответственно цены и себестоимости производства продукции m-го вида, реализующей l-ую инновацию; γ_{lmn} – расход n-го вида ресурса на производство m-го

вида продукции, в которой реализована l-ая инновация; $n = \overline{1, N}$; N – общее количество видов имеющихся ресурсов; R_n – общее количество ресурса вида n; $V_{lm}^{\min}(t)$ - прогнозируемая функция минимальных объемов производства m-го вида продукции, в которой реализована l-ая инновация; $V_{lm}^{\max}(t)$ – функция прогнозируемых объемов потребления m-го вида продукции, в которой реализована l-ая инновация.

После определения совокупности $V_{lm}(t)$ можно на основе хорошо известных методов сформировать прогноз развития производства $V_{lm}^{progn}(t)$, который является основой для выбора стратегии инновационного развития высокотехнологичного предприятия [5].

4. Заключение

Разработанная экономико-математическая модель инновационной стратегии развития ВТП – это гомоморфное отображение ее в виде совокупности логических отношений, уравнений и неравенств, которые отражают группы отношений элементов инновационной стратегии в аналогичных отношениях элементов данной модели. Она определяет последовательность возможных состояний ВТП – траекторий его инновационного развития, которые не могут рассматриваться как строго детерминированные, жестко регламентирующие деятельность ВТП, а лишь характеризует сценарии данного развития, подчиненные достижению стратегических целей предприятия. Применение на практике экономико-математической модели стратегии инновационного развития ВТП позволяет повысить научную обоснованность и эффективность управленческих решений, регулирующих инновационную деятельность высокотехнологичного предприятия в долгосрочном периоде.

Литература

1. Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г. Основы теории систем управления. Исследование и проектирование. – М.: Радио и связь, 2004. – 256 с.

2. Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г., Горелкин Г.А. Эволюция описания систем. // Вопросы радиоэлектроники. Серия СОИУ. 2013, выпуск 2. – С. 5–14

3. Батьковский М.А., Бендиков М.А., Закутнев С.Е. и др. Стратегия развития высокотехнологичных предприятий. / Под ред. Батьковского М.А. – М.: Печатный двор «На Алексеевской», 2004. – 456 с.

4. Авдонин Б.Н., Батьковский А.М., Батьковский М.А. и др. Теоретические основы и инструментарий управления долгосрочным развитием высокотехнологичных предприятий. – М.: МЭСИ, 2011. – 282 с.

5. Батьковский А.М., Батьковский М.А., Кравчук П.В. и др. Методология и инструментарий управления инновационной деятельностью экономических систем в условиях транснационализазии экономики и ее неустойчивого посткризисного развития. – М.: МЭСИ, 2010. – 360 с.

References

1. Borodakiy Y.V., Lobodinskiy Y.G. Fundamentals of the theory of control systems. Research and design. – M.: Radio i svyaz, 2004. – 256 s.

2. Borodakiy Y.V., Lobodinskiy Y.G., Gorelkin G.A. Evolution of the system description. // Voprosy radioelektroniki. Seriya SOIU. 2013, vypusk 2. – S. 5–14

3. Batkovskiy M.A., Bendikov M.A., Zakutnev S.E. etc. The strategy of the development of high-tech enterprises. / Pod red. Batkovskogo M.A. – M.: Pechatnyj dvor «Na Alekseevskoj», 2004. – 456 s.

4. Avdonin B.N., Batkovskiy A.M., Batkovskiy M.A. etc. Theoretical Foundations and tools for managing long-term development of high-tech enterprises. – M.: MESI, 2011. – 282 p.

5. Batkovsky A.M., Batkovsky M.A., Kravchuk P.V. etc. The methodology and tools of innovation management systems in terms of economic transnatsionalizazii economy and its fragile post-crisis development. – M.: MESI, 2010. – 360 p.