3.6. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ ПРИ СОЗДАНИИ НОВОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Мищенко А.В., д.э.н., профессор, кафедра логистики факультета логистики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»;
Кошелев П.С., аспирант, кафедра экономики и финансов Негосударственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Институт экономики и предпринимательства»

В настоящей работе рассмотрены приемы многовариантных расчётов при реализации инвестиционного проекта создания производственного предприятия, ориентированного на выпуск инновационной продукции. Изучены детерминированные однопериодные и многопериодные модели инвестиционного проекта создания нового предприятия, а также модели оценки эффективности функционирования такого предприятия в условиях неопределённости и риска. Приведен практический пример использования рассмотренных моделей.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени накоплен богатый инструментарий анализа эффективности инновационных проектов как в финансовом, так и в реальном секторе экономики. Это в первую очередь теория финансовых портфельных инвестиций, теория опционов, оптимизационные модели управления оборотными капиталами торговой фирмы и производственного предприятия, методы оценки эффективности проектов расширения и перепрофилирования предприятия и т.д.

В предлагаемой работе рассмотрены приемы многовариантных расчётов при реализации инвестиционного проекта создания производственного предприятия, ориентированного на выпуск определённых видов инновационной продукции с учетом ограничений на заказ и спрос по данным видам продукции, ограничений на производственные мощности и привлекаемые инвестиционные ресурсы.

Ниже будут рассмотрены как детерминированные однопериодные и многопериодные модели инвестиционного проекта создания нового предприятия, так и модели оценки эффективности функционирования такого предприятия в условиях неопределенности и риска. В последнем случае такие параметры модели, как цена конечной продукции, цена на материальные ресурсы производства, спрос на конечную продукцию, переменные издержки являются прогнозируемыми величинами и, следовательно, возможны некоторые отклонения от их предполагаемых значений.

В этих условиях используются дополнительно такие показатели эффективности проекта как риск доходности выбранной производственной программы, риск перепроизводства и риск упущенной выгоды по каждому виду выпускаемой инновационной продукции.

Однопериодная детерминированная оптимизационная модель создания нового предприятия

Вопрос выбора адекватного управления инвестиционными ресурсами в производственном секторе экономики на сегодняшний день имеет особое значение. Такой выбор важен в первую очередь потому, что те или иные инвестиционные решения оказывают существенное влияние на многие производственные и экономические показатели предприятия в течение нескольких лет. Так, например, приобретение дорогостоящего оборудования связано с иммобилизацией финансовых ресурсов предприятия в течении длительного периода.

Неправильное инвестиционное решение, связанное с необходимостью закупки оборудования для создаваемого предприятия может привести к существенным убыткам, поэтому крупные капиталовложения всегда должны быть обоснованы. Если же инвестиции в основные средства предприятия осуществляются в недостаточном объеме, то существующие производственные мощности могут не обеспечить успешного его развития в условиях рыночной конкуренции.

Недостаток производственной мощности фирмы может привести к потери части рынка в пользу конкурентов, восстановление которого обычно требует больших временных затрат, снижения цен на продукцию, изменения потребительских качеств, что приводит к дополнительным и весьма существенным затратам. С другой стороны, если инвестиции избыточны, это приведет к простою оборудования и, следовательно, неэффективному капиталовложению [1]. При распределении инвестиционных средств необходимо учитывать прогноз спроса на выпускаемую продукцию, что также влияет на виды и количество единиц приобретаемых машин и оборудования.

Рассмотрим, каким образом можно учесть ограничения на инвестируемые финансовые средства, производственные мощности оборудования и спрос на выпускаемую продукцию для ситуации, когда инвестор в результате реализации инвестиционного проекта хотел бы максимизировать прибыль от реализации продукции на заданном временном интервале.

Далее будем предполагать, что жизненный цикл инвестиционного проекта имеет три фазы: прединвестиционную, инвестиционную и эксплуатационную [5]. Первая фаза связана с проведением аналитической работы и оценкой эффективности инвестиционного проекта (в данном случае речь идет о создании предприятия, которое будет выпускать несколько видов инновационной продукции). На второй фазе (в случае принятия положительного решения на первой фазе) непосредственно осуществляется создание предприятия. Временные и финансовые затраты на этой фазе могут быть, например, учтены с использованием методов сетевого планирования. И наконец, на третьей фазе производится выпуск готовой продукции, за счет реализации которой инвестор компенсирует свои затраты и получает прибыль.

Будем считать, что инвестор использует для создания предприятия, которое будет выпускать n видов инновационной продукции, кредит в объеме F. Потребности в материально-сырьевых ресурсах задаются величинами:

$$eij\ (i = 1, 2, ..., n;\ j = 1, 2, ..., L), \qquad (1)$$

где e_{ij} – норма потребления в процессе производства одной единицей продукции вида i материально-сырьевого ресурса вида j;

L – число видов материально-сырьевых ресурсов, используемых при выпуске всех видов продукции.

Время, в течение которого для выпуска одной единицы продукции вида i используется оборудование вида p обозначим через:

$$tip\ (i = 1, 2, ..., n;\ p = 1, 2, ..., K), \qquad (2)$$

где K – число видов оборудования, используемых для выпуска всей номенклатуры продукции предприятия.

Прогнозируемый объем спроса на продукцию вида i в течение жизненного цикла проекта обозначим через:

$$Pti\ (i = 1, 2, ..., n). \qquad (3)$$

Цену реализации одной единицы продукции вида i будем обозначать через a_i , а переменные затраты через b_i , постоянные затраты обозначим через $Z_{пост}$. Тогда задача наиболее эффективного использования инвестиционных ресурсов по критерию максимизации прибыли может быть сформирована следующим образом:

$$\max \sum_{i=1}^{n} (a_i - b_i) x_i - Z_{пост}, \qquad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i \le y_p \tau_p,\ p = 1, 2, \dots, K, \qquad (5)$$

$$d \sum_{p=1}^{K} y_p s_p + \sum_{p=1}^{K} \gamma_p y_p \le F, \qquad (6)$$

$$\begin{aligned} & x_i \ge 0,\ x_i \le Pt_i,\ x_i \in I,\ y_p \ge 0,\ y_p \in I, \\ & i = 1, 2, \dots, n, \\ & p = 1, 2, \dots, K. \end{aligned} \qquad (7)$$

где x_i – объем выпуска продукции вида i;

y_p – количество приобретаемых единиц оборудования вида p.

$\tau_p (p = 1, 2, \cdots, K)$ – время беспростойной работы оборудования вида p, которое возможно по техническим требованиям на эксплуатационной фазе проекта, т.е. это календарное время эксплуатационной фазы за вычетом времени на переналадку, регламентное обслуживание и другие виды работ, при проведении которых оборудование вида p не может использоваться в производственном процессе;

s_p – размер производственной площади, необходимой для размещения одной единицы оборудования вида p;

γ_p – цена одной единицы оборудования вида p;

d – цена (покупки или аренды) одного квадратного метра производственного помещения предприятия;

$Z_{пост}$ – постоянные затраты производства;

t_{ip} – время загрузки оборудования вида p при выпуске единицы продукции вида i $(p = 1, 2, ..., K;$ $i = 1, 2, ..., n)$;

I – множество целых чисел.

Предложенная задача (4-7) принадлежит к классу задач целочисленного программирования и может быть решена с использованием методов, используемых в программном пакете ***QSB***. Решением задачи будут компоненты вектора $x = (x_1, ..., x_n)$ и вектора $y = (y_1, ..., y_k)$. Это решение определяет, сколько единиц каждого оборудования необходимо приобрести при реализации инвестиционного проекта по созданию предприятия и какой объем x_i продукции вида i необходимо выпустить, чтобы максимизировать целевую функцию прибыли (4) в задаче (4-7) [3].

В модели (4-7) не учитывается износ оборудования, который произойдет при выпуске продукции, заданной производственной программой $x = (x_1, ..., x_n)$. Будем считать, что T_p задает максимальное время использования оборудования вида p $(p = 1, 2, ..., K)$ в производственном процессе. Тогда при выпуске продукции предприятия в объемах $x = (x_1, ..., x_n)$ время эксплуатации оборудования вида p может быть вычислено по формуле:

$$t_p = \sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i;\ p = 1, 2, \dots, K. \qquad (8)$$

Тогда доля износа оборудования вида p может быть вычислена по формуле:

$$d_p = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i}{T_p y_p},\ p = 1, 2, \dots, K. \qquad (9)$$

где d_p – доля износа оборудования вида p;

y_p – количество единиц оборудования вида p.

В этом случае стоимость износа оборудования, используемого в производственном процессе рассчитывается по формуле:

$$S_t = \sum_{p=1}^{K} \gamma_p y_p \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i}{T_p y_p} \right). \qquad (10)$$

В этих условиях целевая функция (4) с учетом затрат на аренду производственных помещений и износа оборудования будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^{n} (a_i - b_i) x_i - d \sum_{p=1}^{K} y_p S_p - \\ & - \sum_{p=1}^{K} \gamma_p y_p \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i}{T_p y_p} \right) - Z_{пост} \to \max, \end{aligned} \qquad (11)$$

Здесь d – стоимость аренды одного квадратного метра производственного помещения.

В модели (4-7), кроме ограничений по спросу на продукцию $(x_i \le Pt_i; i = 1, 2, \dots, n)$, могут присутствовать ограничения на заказ вида:

$$x_i \ge zak_i\ \ i=1,2,...,n. \qquad (12)$$

Это означает, что продукция вида i должна быть выпущена в объеме не менее чем zak_i $(i = 1, 2, ..., n)$. В этом случае задача (11, 5-7, 12) не всегда имеет решение. В частности, в силу того, что инвестиционных ресурсов в объеме F может оказаться недостаточно, чтобы обеспечить загрузку оборудования и аренду производственной площади в количестве, необходимом для выпуска продукции в объемах не менее zak_i ***(i = 1, 2, ..., n)*** за период времени (***0***; ***T***). В этой ситуации необходимо определить дополнительный объём финансирования, позволяющий выполнить поставленную задачу. Для этого рассмотрим следующую модель:

$$d\sum_{p=1}^{K} y_p S_p + \sum_{p=1}^{K} \gamma_p y_p \to min\ , \qquad (13)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i \le y_p \tau_p,\ p = 1, 2, \dots, K\ , \qquad (14)$$

$$x_i \le Pt_i,\ x_i \ge zak_i,\ x_i \in I,\ y_p \in I\ . \qquad (15)$$

Значение целевой функции обозначим через ***V***, тогда дополнительный объем инвестиций ΔF может быть определен как:

$$\Delta F = V - F\ . \qquad (16)$$

Если период эксплуатационной фазы проекта достаточно велик и составляет год и более, то с учетом темпов инфляции произойдет увеличение цен как на выпускаемую продукцию, так и на материально сырьевые ресурсы производства. Проанализируем, как будет меняться решение задач (4-7) в этом случае.

Анализ устойчивости оптимизационной модели

Будем считать, что с ростом накопленной инфляции цены на конечную продукцию и переменные издержки будут изменяться по следующему закону:

$$a_i(\xi) = a_i(0) + \varphi_i(\xi)\ , \qquad (17)$$

$$b_i(\xi) = b_i(0) + \psi_i(\xi)\ , \qquad (18)$$

i = 1, 2, ..., n.

где $a_i(0)$ – цена единицы продукции вида ***i*** в начальный момент времени;

$a_i(\xi)$ – цена единицы продукции вида ***i*** при уровне накопленной инфляции ξ (в долях);

$\varphi_i(\xi)$ – неубывающая функция ξ;

$b_i(0)$ – переменные издержки при выпуске единицы продукции вида ***i*** в начальный момент времени;

$b_i(\xi)$ – переменные издержки при выпуске единицы продукции при уровне накопленной инфляции ξ;

$\psi_i(\xi)$ – неубывающая функция от уровня накопленной инфляции ξ.

Рассмотрим, как меняется целевая функция (4) в ситуации, если $\varphi_i(\xi)$ и $\psi_i(\xi)$ линейны относительно переменной ξ.

Далее будем предполагать, что если темп инфляции (в долях) составляет ξ, то цена единицы продукции меняется как

$$a_i + a_i n_i \xi \quad (i = 1, 2, ..., n). \qquad (19)$$

где n_i — коэффициент, отражающий темп изменения цены с учетом инфляции.

Если $n_i > 1$, то рост цены на продукцию вида ***i*** опережает темп инфляции. Если $n_i < 1$, то рост цены на продукцию вида ***i*** отстает от темпов инфляции. Переменные затраты на единицу продукции вида ***i*** представим следующим образом:

$$b_i = b_i^1 + b_i^2\ , \qquad (20)$$

где b_i^1 – переменные затраты на материально-сырьевые ресурсы;

b_i^2 – прочие переменные затраты.

Тогда увеличение переменных затрат в случае роста цен на материально-сырьевые ресурсы будет выглядеть следующим образом.

Пусть потребление материально-сырьевых ресурсов для выпуска одной единицы продукции вида ***i*** задается величинами $a_{i1}, a_{i2}, \cdots, a_{iL}$, а стоимость одной единицы материально-сырьевого ресурса вида ***j (j = 1, 2, ..., L)*** – величиной β_j. Тогда переменные затраты на всю производственную программу $x = (x_1, \dots, x_n)$ при уровне инфляции ξ можно представить в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i b_i^2 + \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{j=1}^{L} (\beta_j \alpha_{ij} + m_j \beta_j \alpha_{ij} \xi)\ , \qquad (21)$$

где ξ – уровень инфляции;

m_j – коэффициент, отражающий степень изменения цены на материально-сырьевой ресурс ***j***-го вида при инфляции.

С учетом формулы значение целевой функции (4) при темпе инфляции ξ будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{n} (a_i + a_i n_i \xi) x_i - \sum_{i=1}^{n} x_i b_i^2 - \\ - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{j=1}^{L} (\beta_j \alpha_{ij} + m_j \beta_j \alpha_{ij} \xi) - Z_{nocm} \to max\ . \qquad (22)$$

В подобной ситуации возникает следующий вопрос. Если на начальный момент времени эксплуатационной фазы проекта решена оптимизационная задача (4-7), которая определяет количество закупаемого оборудования для вновь создаваемого предприятия и производственную программу, как будет меняться данная программа при линейном росте цен на готовую продукцию и материально-сырьевые ресурсы производства вместе с ростом инфляции?

Чтобы ответить на поставленный вопрос, проведем следующий анализ. С учетом целочисленности решения задачи (4-7) число допустимых решений (допустимых производственных программ) есть множество

$$x = \left\{ x^1, x^2, \cdots, x^N \right\}, \qquad (23)$$

где x^1 **–** одно из допустимых решений $x^1 = \left(x_1^l, \cdots x_n^l \right)$;

(l=1,...,N) и x^m $(1 \le m \le N)$ – оптимальное решение задачи (4-7).

Оценим скорость роста целевой функции (22) при каждом допустимом решении. Для этого определим функцию $f^l(\xi)$ ***(l=1,...,N)*** следующим образом:

$$f^{l}(\xi)=\sum_{i=1}^{n}(a_i+a_i n_i\xi)x_i^{l}-\sum_{i=1}^{n}x_i^{l}b_i^{2}-$$
$$-\sum_{i=1}^{n}x_i^{l}\sum_{j=1}^{L}(\beta_j\alpha_{ij}+m_j\beta_j\alpha_{ij}\xi)-Z_{пост}. \tag{24}$$

Сравнивая (22) и (24) отметим, что $f^{l}(\xi)$ – это значение целевой функции (22) на допустимом решении x^{l}. Нетрудно видеть, что $f^{l}(\xi)$ является линейной функцией ξ при зафиксированной производственной программе и, следовательно, скорость ее роста по ξ определяется величиной первой производной по ξ, т. е. следующим выражением:

$$df^{l}(\xi)/d\xi=$$
$$=\sum_{i=1}^{n}a_i n_i x_i^{l}-\sum_{i=1}^{n}x_i^{l}\sum_{j=1}^{L}m_j\beta_j\alpha_{ij},\ (l=1,2,\dots,N). \tag{25}$$

Далее будем считать, что множество $X=\{x^{1},x^{2},\dots,x^{N}\}$ упорядочено по возрастанию производных:

$(f^{1}(\xi))',(f^{2}(\xi))',\dots,(f^{N}(\xi))'$, т. е.:

$$(f^{1}(\xi))'\le(f^{2}(\xi))'\le,\dots,\le(f^{N}(\xi))'. \tag{26}$$

Поэтому, если оптимальным решением x^{m} исходной задачи (4-7) является решение x^{N}, то оно остается оптимальным и для задачи (22, 5-7) при любом значении $\xi\in(0,\infty)$.

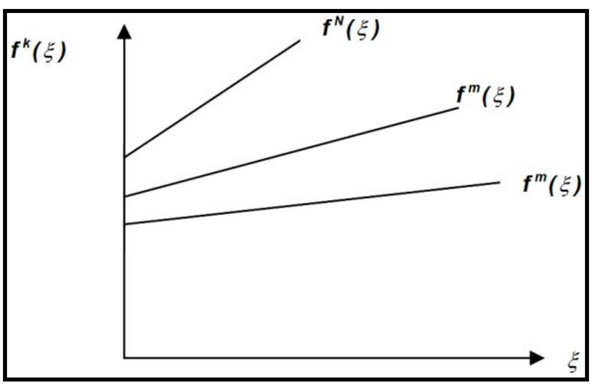

Рис. 1. Ситуация неизменности оптимального решения в условиях инфляции

Рис. 1 дает наглядную графическую интерпретацию последнего утверждения. При $\xi=0$ значение $f^{N}(\xi)>f^{l}(\xi)\ (l=1,2,\dots,N-1)$ в силу оптимальности производственной программы для задачи (4-7). Далее с учетом того, что $(f^{N}(\xi))'>(f^{l}(\xi))'$ $(l=1,2,\dots,N-1)$, значение функции f^{N} (а значит, и значение целевой функции (22) на решении x^{N}) остается наибольшим при любом значении параметра инфляции ξ.

Исследуем ситуацию, когда оптимальным является решение $x^{m}(1\le m<N)$. В этом случае с ростом ξ оптимальное решение задачи (22, 5-7) будет меняться. Это связано с тем, что, начиная с некоторого ξ_k, $k=m+1,\dots N$, будет выполняться:

$$f^{k}(\xi)\ge f^{m}(\xi),\forall\xi\ge\xi_k. \tag{27}$$

Значение ξ_k, при котором $f^{k}(\xi)=f^{m}(\xi)$, можно определить из следующего соотношения:

$$\sum_{i=1}^{n}(a_i+a_i n_i\xi_k)\times x_i^{k}- \tag{28}$$
$$-\sum_{i=1}^{n}-x_i^{k}b_i^{2}-\sum_{i=1}^{n}x_i^{k}*$$
$$*\sum_{j=1}^{L}(\beta_j\alpha_{ij}+m_j\beta_j\alpha_{ij}\xi_k)-Z_{пост}=$$
$$=\sum_{i=1}^{n}(a_i+a_i n_i\xi_k)\times x_i^{m}-\sum_{i=1}^{n}x_i^{m}b_i^{2}-$$
$$-\sum_{i=1}^{n}x_i^{m}\sum_{i=1}^{n}(\beta_j\alpha_{ij}+m_j\beta_j\alpha_{ij}\xi_k)-Z_{пост}.$$

Разрешая последнее уравнение относительно ξ_k при $k=m+1,..,N$, получим:

$$\xi_k=\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i^{k}b_i^{2}-\sum_{i=1}^{n}x_i^{m}b_i^{2}+\sum_{i=1}^{n}x_i^{k}\sum_{j=1}^{L}\beta_j\alpha_{ij}-\sum_{i=1}^{n}x_i^{m}\sum_{j=1}^{L}\beta_j\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^{n}(a_i+a_i n_i)\times x_i^{k}\sum_{i=1}^{n}(a_i+a_i n_i)\times x_i^{m}\sum_{i=1}^{n}x_i^{k}\sum_{j=1}^{L}m_j\beta_j\alpha_{ij}+\sum_{j=1}^{n}x_i^{m}\sum_{j=1}^{m}m_j\beta_j\alpha_{ij}}. \tag{29}$$

Определив все точки ξ_k по формуле, выберем среди них минимальное значение ξ_K, т.е. $\xi_K=\min_{k}\xi_k\ (k=m+1,\dots N\ ;m+1<K\le N)$.

Очевидно, что на интервале изменения инфляции $\xi\in(0,\xi_K)$ оптимальным будет x^{m}. При уровне инфляции более ξ_K оптимальным станет решение x^{K}. Этот факт имеет следующую геометрическую интерпретацию (рис. 2).

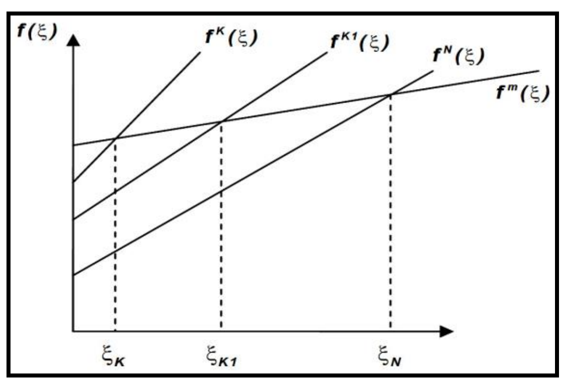

Рис. 2. Определение интервала устойчивости решения

Если **$K<N$**, то при дальнейшем увеличении ξ получим, что для некоторого значения ξ_{K1} $(\xi_{K1}>\xi_K)$:

$f_{K1}(\xi) > f_K(\xi)$ при $K1 > K$, $\xi > \xi_{K1}$ и это означает, что если уровень инфляции будет больше, чем ξ_K, то оптимальным для задачи (22, 5-7) будет уже решение $x^{K1}(K1 > K)$.

Продолжим эту процедуру до тех пор, пока оптимальным не станет решение x^N.

Последующего перехода на другие оптимальные решения не произойдет при дальнейшем увеличении уровня инфляции на интервале (ξ_N, ∞). Это следует из того, что $(f^N(\xi))' > (f^l(\xi))'$ для всех $l = 1, 2, ..., N-1$. Таким образом, доказано следующее утверждение 1.

Утверждение 1. Пусть $X = \{x^1, x^2, ..., x^N\}$ – множество допустимых решений задачи (22, 5-7). Если оптимальным решением (22, 5-7) при $\xi = 0$ является решение x^N, то оно останется оптимальным и для любого уровня инфляции $\xi \in (0, \infty)$.

Если же оптимальным решением задачи (22, 5-7) является решение $x^m (1 \le m < N)$, то существует такое разбиение интервала изменения инфляции (**0, ∞**) на конечное число отрезков (не более чем ***N – m + 1***), что каждому отрезку можно поставить в соответствие одно из допустимых решений множества ***X***, которое будет оставаться оптимальным при изменении инфляции в рамках соответствующего отрезка [3].

Рассмотрим ситуацию, когда меняются цены на конечную продукцию, переменные издержки, цены на оборудование и аренду производственных помещений.

Предполагается, что значения перечисленных параметров меняются линейно относительно уровня инфляции. Тогда целевая функция (4) $f^l(\xi)$ на производственной программе x^l может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} f^l(\xi) &= \sum_{i=1}^{n} (a_i(0) + a_i(0)\xi n_i) x_i^l - \\ &- \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{M} l_{ij} (\beta_j(0) + \beta_j(0)\xi m_j) x_i^l - \\ &- \sum_{i=1}^{n} (b_i^{'}(0) + b_i^{'}(0) q_i \xi) x_i^l - Z_{пост}, \end{aligned} \tag{30}$$

где l_{ij} – количество материально-сырьевого ресурса ***j***, необходимое для выпуска одной единицы продукции вида ***l;***

$b_i^{'}(0)$ – переменные издержки без учёта стоимости материальных ресурсов при выпуске единицы продукции вида ***i***;

q_i – числовой коэффициент, задающий интенсивность роста переменных издержек $b_i(\xi)$ в зависимости от максимальной инфляции ξ.

Соответственно, цены на оборудование вида ***j*** при уровне накопленной инфляции ξ определяются по формуле:

$$\gamma_j(\xi) = \gamma_j(0) + k_j \gamma_j(0)\xi, \tag{31}$$

где $\gamma_j(0)$ – начальные цены на единицу оборудования вида ***j***;

k_j – числовой коэффициент, отражающий степень роста цены на оборудование в зависимости от инфляции.

Цена аренды одного квадратного метра производственного помещения равна соответственно:

$$d(\xi) = d(0) + d(0) p \xi, \tag{32}$$

где p – числовой коэффициент, отражающий степень роста цен на аренду в зависимости от инфляции.

Для определения наибольшего уровня инфляции, при котором начальное решение задачи (4-7) (решение при ξ **= 0)** остается оптимальным, необходимо сначала решить следующее уравнение относительно ξ:

$$\begin{aligned} &(d(0) + d(0)p\xi) \sum_{j=1}^{K} y_j S_j + \\ &+ \sum_{j=1}^{K} (\gamma_j(0) + \gamma_j(0) k_j \xi) y_j = F, \end{aligned} \tag{33}$$

где F – общий объем инвестиций.

Обозначим это решение через ξ^1.

Рассмотрим все возможные положительные решения уравнений:

$$f^l(\xi) = f^j(\xi), \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad j \ne l, \tag{34}$$

где $f^l(\xi) = f^j(\xi)$ – значение целевой функции (4) на производственной программе $x^j = (x_1^j, \dots, x_n^j)$ при уровне накопленной инфляции модели ξ;

$f^l(\xi)$ – значение целевой функции (4) при уровне накопленной инфляции модели ξ на производственной программе $x^l = (x_1^l, \dots, x_n^l)$, являющейся оптимальной при $\xi = 0$.

Обозначим минимальное из решений для приведенных выше уравнений через ξ^2.

Тогда максимальный уровень инфляции ξ, при котором решение задачи (4-7) $x^l = (x_1^l, \dots, x_n^l)$ остаётся неизменным и определяется по формуле:

$$\xi = \min\{\xi^1; \xi^2\}. \tag{35}$$

Справедливость этой формулы следует из того, что при уровне $\xi > \xi^2$ решение $x^l = (x_1^l, \dots, x_n^l)$ перестаёт быть оптимальным, а при $\xi > \xi^1$ решение $x^l = (x_1^l, \dots, x_n^l)$ перестает быть допустимым, так как исходных инвестиционных ресурсов в объеме ***F*** недостаточно для обеспечения необходимой производственной базы предприятия.

Однопериодная модель проекта создания нового предприятия в условиях интервальной оценки переменных затрат и цен на выпускаемую инновационную продукцию

Рассмотрим задачу оптимизации использования кредита в объеме ***F*** при решении задачи (4-7) в ситуации, когда не удается точно оценить переменные издержки b_i ***(i = 1,..., n)*** и цены на выпускаемую продукцию a_i ***(i = 1,..., n)***.

На практике такое вполне возможно из-за того, что период предынвестиционной и инвестиционной фаз проекта суммарно может превышать год и более. Предположим, b_i может принимать любые значения на интервале $\left[b_i^1; b_i^2\right]$, т. е. $b_i \in \left[b_i^1; b_i^2\right]$, а

$a_i \in \left[a_i^1; a_i^2\right]$***, i=1,..., n.***

Обозначим $c_i = a_i - b_i$ ***(i = 1,..., n)***. Очевидно, что в этом случае значения c_i также будут принадлежать некоему интервалу $\left[c_i^1; c_i^2\right]$, при этом $c_i^1 = max\left\{0, a_i^1 - b_i^2\right\}$, а $c_i^2 = max\left\{0, a_i^2 - b_i^1\right\}$, ***i = 1,..., n***.

Рассмотрим задачу (4-7) оптимизации валовой прибыли для вновь создаваемого предприятия, если известно, что маржа по каждому виду выпускаемой продукции принимает все возможные значения на выпуклом многограннике $P = \prod_{i=1}^{n}\left[c_i^1, c_i^2\right]$.

Учитывая, что множество допустимых производственных программ $X = \left\{x^1, \ldots x^N\right\}$ конечно в силу специфики ограничений (5-7), рассмотрим задачу разбиения исходного многогранника ***P*** на множества $M_{n1}, M_{n2}, \ldots M_{nL}$ $(L \le N)$, обладающие следующими свойствами:

- $\bigcup_{j=1}^{L} M_{nj} = P$;
- при изменении маржи $c = (c_1, \ldots c_n)$ на множестве M_{nj} оптимальной остается одна и та же производственная программа x^j.

Для решения данной задачи выясним, какие из производственных программ $x^1, \ldots x^N$ могут быть оптимальными при изменении маржи на многограннике ***P***.

Обозначим значение целевой функции $\sum_{i=1}^{n} c_i x_i^k$ на производственной программе x^k через f^k, т. е. $f^k = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i^k$, и, соответственно, через f_1^k обозначим значение $\sum_{i=1}^{n} c_i^1 x_i^k$, а через f_2^k – значение $\sum_{i=1}^{n} c_i^2 x_i^k$. Вычислим значения f_1^k и f_2^k для всех ***k = = 1, 2..., N***. Далее сформируем множество ***Opt*** производственных программ, которые могут быть оптимальными при каком-либо значении маржи $c \in P$. Для этого выберем производственную программу x^d, удовлетворяющую условию:

$$f_2^d = \max_{k=1,N} f_2^k \qquad (36)$$

и производственную программу x^m, удовлетворяющую условию:

$$f_1^m = \max_{k=1,N} f_1^k . \qquad (37)$$

Производственные программы x^d и x^m включим во множество ***Opt***. Кроме того, включим во множество ***Opt*** все те производственные программы, для которых $f_2^k > f_1^m$ ***(k = 1,2...,N;*** $k \ne d; k \ne m$ ***)***.

Очевидно, что производственная программа $x^j \in$ ***Opt*** будет оптимальной на подмножестве $M_{nj} \in P$, которое задается следующей системой линейных неравенств:

$$c_i^1 \le c_i \le c_i^2, i = 1, 2, \ldots n; \qquad (38)$$

$$\sum_{i=1}^{n} c_i x_i^j \ge \sum_{i=1}^{n} c_i x_i^k, \forall x_k \in Opt; k \ne j. \qquad (39)$$

Очевидно, что множество, заданное этой системой неравенств, является выпуклым многогранником. Таким образом доказано Утверждение 2.

Если в задаче (4-7) маржа по каждому виду выпускаемой продукции изменяется на множестве $P = \prod_{i=1}^{n}\left[c_i^1, c_i^2\right]$, то гиперпараллелепипед ***P*** может быть разбит на конечное число многогранников $M_{n1}, M_{n2}, \ldots M_{nL}$ таким образом, что $\bigcup_{j=1}^{L} M_{nj} = P$ и при изменении маржи $c = (c_1, \ldots c_n)$ на множестве M_{nj} оптимальной остается производственная программа x^j ***(j = 1,2,...L;*** $L \le N$ ***)*** [3].

Однопериодная модель проекта создания нового предприятия с учетом риска

В условиях введенных нами обозначений будем далее считать, что маржа по каждому виду выпускаемой продукции есть случайная величина c_i^l ***(i = = 1,..., n; l = 1,...m)*** с заданным вероятностным распределением $P_l (l = 1, \ldots m)$, $P_l \ge 0$, $\sum_{l=1}^{m} P_l = 1$.

Введем также в рассмотрение следующие дополнительные параметры модели:

r – стоимость аренды каждого квадратного метра производственной площади в час;

T_p ***(p = 1,2,...K)*** – время технологического использования оборудования вида ***p*** до полного его физического износа;

t_{ip} – время использования оборудования вида ***p*** для выпуска единицы продукции вида ***i***.

Оценим затраты, связанные с амортизацией оборудования при выпуске одной единицы продукции вида i:

$$zat_i^{об} = \sum_{p=1}^{K} \frac{t_{ip}}{T_p} \cdot \gamma_p . \quad (40)$$

Аналогично оценим затраты, связанные со стоимостью аренды производственной площади при выпуске одной единицы продукции вида i:

$$zat_i^{п} = r \cdot \sum_{p=1}^{K} S_p \cdot t_{ip} , \quad (41)$$

где s_p – производственная площадь, занимаемая одной единицей оборудования вида p.

Тогда затраты на аренду производственной площади и затраты, связанные с амортизацией оборудования при выпуске одной единицы продукции вида i, вычисляются следующим образом:

$$zat_i = zat_i^{об} + zat_i^{п} . \quad (42)$$

Соответственно, если продукция вида i выпускается в объеме x_i, то эти затраты равны:

$$zt_i = zat_i \cdot x_i . \quad (43)$$

Введем новую переменную z_i, обозначающую долю от общего объема инвестиционных ресурсов V, которая будет потрачена на выпуск продукции вида i $(i = 1, 2, \ldots, n)$:

$$z_i = \frac{zat_i \cdot x_i}{V} , \text{ откуда } x_i = \frac{z_i \cdot V}{zat_i} . \quad (44)$$

Далее, используя в качестве количественной оценки риска проекта дисперсию маржи производственной программы и требуя, чтобы ожидаемое значение маржи производственной программы было не ниже величины mr, сформулируем оптимизационную однопериодную модель проекта создания нового предприятия на минимум риска:

$$\sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2 \cdot z_i^2 + 2\sum_{i=1}^{n} \sum_{i>j} cov_{ij} z_i z_j \to min , \quad (45)$$

где σ_i^2 – дисперсия маржи i-го вида выпускаемой продукции;

cov_{ij} – ковариация маржи i-го и j-го вида выпускаемой продукции;

$$\sum_{i=1}^{n} \overline{C}_i \cdot \frac{z_i \cdot V}{zat_i} \geq mr , \quad (46)$$

где $\overline{c}_i$ – математическое ожидание маржи по i-му виду выпускаемой продукции:

$$\overline{C}_i = \sum_{l=1}^{K} C_i^l \cdot p_l ,$$

$\frac{z_i \cdot V}{zat_i}$ – объем выпуска продукции вида i в производственной программе предприятия $(i = 1, 2, \ldots, n)$.

Ограничения на производственные мощности предприятия задаются следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ip} \cdot \frac{z_i V}{zat_i} \leq y_p \cdot \tau_p , \quad (47)$$

Ограничение на объем производственных ресурсов совпадает с аналогичным ограничением для детерминированной модели:

$$d \sum_{p=1}^{K} y_p \cdot S_p + \sum_{p=1}^{K} \gamma_p \cdot y_p \leq V , \quad (48)$$

$$z_i \geq 0; \; 0 \leq \frac{z_i \cdot V}{zat_i} \leq Pt_i; \; y_p \geq 0; \; y_p \in I , \quad (49)$$

где d – стоимость аренды 1 кв. м производственной площади в год;

y_p – количество единиц приобретаемого оборудования вида p;

s_p – площадь, занимаемая одной единицей оборудования вида p;

γ_p – цена единицы оборудования вида p.

Последним ограничением в этой модели является ограничение на суммарные затраты по всем составляющим производственной программы x_i $(i = 1,2,\ldots n)$:

$$\sum_{i=1}^{n} zat_i \cdot x_i \leq V , \quad (50)$$

или, разделив обе части этого неравенства на V, получим [3]:

$$\sum_{i=1}^{n} z_i \leq 1 . \quad (51)$$

Многопериодная модель оценки эффективности инвестиционного проекта

Рассмотрим задачу оптимизации затрат при создании нового предприятия для случая, когда жизненный цикл проекта состоит из нескольких периодов, на каждом из которых существует вполне определенный спрос по каждому виду выпускаемой инновационной продукции.

Обозначим число периодов в жизненном цикле проекта через T. В этом случае задача наиболее эффективного использования инвестиционных ресурсов по критерию максимизации прибыли будет иметь следующий вид:

$$\sum_{t=0}^{T} \sum_{t=1}^{n} a_i^t x_i^t - \sum_{t=0}^{T} \sum_{t=1}^{n} b_i^t x_i^t - \sum_{t=0}^{T} Z_{пост}^t \to max, \quad (52)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i^t \leq y_p \tau_p^t , p = 1, 2, \ldots, K , t = 1, 2, \ldots, T , \quad (53)$$

$$d \sum_{p=1}^{K} y_p s_p + \sum_{p=1}^{K} y_p \gamma_p \leq F , \quad (54)$$

$$x_i^t \leq Pt_i^t ; i = 1, 2, \ldots, n ; t = 1, 2, \ldots, T ,$$

$$x_i^t \geq 0 ; Pt_i^t ; y_p \geq 0 ; y_p \in I; x_i^t \in I , \quad (55)$$

где a_i^t – цена реализации единицы продукции вида i на временном периоде t;

b_i^t – переменные затраты на единицу продукции вида i на временном периоде t;

$Z_{пост}^t$ – постоянные затраты на временном периоде t $(t=1, 2,\ldots,T)$;

γ_p – стоимость одной единицы оборудования вида p;

τ_p^t – эффективное время использования оборудования вида $\boldsymbol{p}$ в период времени $\boldsymbol{t}$;

t_{ip} – время, в течение которого одна единица продукции вида $\boldsymbol{i}$ обрабатывается на оборудовании вида $\boldsymbol{p}$;

Pt_i^t – рыночный спрос на продукцию вида $\boldsymbol{i}$;

x_i^t – объемвыпуска продукции вида $\boldsymbol{i}$ впериод времени $\boldsymbol{t}$;

y_p – количество единиц оборудования вида $\boldsymbol{p}$;

$\boldsymbol{F}$ – объем инвестируемых средств на создание предприятия;

s_p – площадь, занимаемая одной единицей оборудования вида $\boldsymbol{p}$;

d – стоимость одной единицы производственной площади.

С учетом дисконтирования целевая функция (52) будет иметь следующий вид [4]:

$$\sum_{t=0}^{T}\sum_{t=1}^{n}\left[\left(a_i^t x_i^t\right)/\left(1+D\right)^t\right]-$$
$$\sum_{t=0}^{T}\sum_{t=1}^{n}\left[\left(b_i^t x_i^t\right)/\left(1+D\right)^t\right]-\sum_{t=0}^{T} Z_{пост}^t/\left(1+D\right)^t \to max, \tag{56}$$

где $\boldsymbol{D}$ – ставка дисконтирования.

В ситуации, когда необходимо учесть затраты на аренду оборудования и стоимость износа оборудования с учетом (11), целевая функция (52) приобретает следующий вид:

$$\sum_{t=0}^{T}\sum_{i=1}^{n}\left[a_i^t x_i^t \Big/ (1+D)^t\right]-$$
$$-\sum_{t=0}^{T}\sum_{i=1}^{n}\left[b_i^t x_i^t \Big/ (1+D)^t\right]-$$
$$-\sum_{t=0}^{T} Z_{пост}^t \Big/ (1+D)^t - d\sum_{p=1}^{K} y_p S_p -$$
$$-\sum_{t=0}^{T}\sum_{p=1}^{K}\frac{\gamma p Уp}{(1+D)^t}\left(\frac{\sum_{t=1}^{n} t_{ip} x_i^t}{Tp Уp}\right) \to max \tag{57}$$

где $\boldsymbol{d}$ – цена покупки 1 кв. м производственного помещения предприятия.

Рассмотрим ситуацию, когда в многопериодной модели (52-55) присутствует дополнительное ограничение на объем выпуска продукции, заключающееся в том, что по некоторым видам продукции объем выпуска не должен быть ниже чем величина zak_i ***(i = 1, 2, ..., n)***; $zak_i \geq 0$. Это ограничение еще называется требованием на выполнение заказа.

Математически это ограничение определяется следующим образом:

$$x_i^t \geq zak_i^t, i=1,2,\dots,n, t=0,1,2,\dots,T \ . \tag{58}$$

Оптимизационная модель (52-58) не всегда имеет решение, что в частности объясняется тем, что исходных инвестиционных ресурсов может оказаться недостаточно, чтобы обеспечить необходимые производственные мощности для выпуска конечной продукции в объеме не менее $zak_i^t, i=1,2,\dots,n,$ $t=0,1,2,\dots,T$.

В этой ситуации возникает задача определения минимального объема дополнительных инвестиций ΔF , чтобы модель (52-58) имела решение.

С этой целью рассмотрим следующую задачу:

$$d\sum_{p=1}^{K} y_p S_p + \sum_{p=1}^{K} y_p \gamma_p \to min , \tag{59}$$

где $\boldsymbol{d}$ – стоимость покупки 1 кв. м производственной площади.

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i^t \leq y_p \tau_p ,$$
$$p=1,2,\dots,K;\ t=0,1,2,\dots,T, \tag{60}$$

$$zak_i^t \leq x_i^t \leq Pt_i^t, i=1,2,\dots,n;$$
$$t=0,1,2,\dots,T,$$

$$y_p \in I; x_i^t \in I . \tag{61}$$

Обозначим значение целевой функции на оптимальном решении задачи (59-61) через $\boldsymbol{V}$. Тогда дополнительный объем финансирования ΔF для разрешимости задачи (52-58) определяется как:

$$\Delta F = V - F . \tag{62}$$

После определения величины ΔF определяется решение задачи (52-58) для ситуации, когда объем инвестиционных ресурсов $\boldsymbol{F = V}$, где $\boldsymbol{V}$ – значение целевой функции на оптимальном решении задачи.

Расчеты по оптимизационной модели управления инвестиционными ресурсами при создании предприятия «Нексус», производящего инновационную бытовую технику

Оптимизационная модель создания предприятия «Нексус»

Рассмотрим использование приведенной выше модели на практическом примере реализации инвестиционного проекта по созданию предприятия «Нексус», деятельность которого преимущественно сосредоточена на выпуске инновационной бытовой техники.

Пусть предприятие, проведя ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок (НИОКР), планирует выпустить пять видов инновационных продуктов – портативные стиральные машины, роботы-пылесосы с оригинальной системой навигации, компактные посудомоечные машины, холодильники с повышенной энергоэффективностью, модульные индукционные плиты. Поскольку данные продукты имеют ряд особенностей, существенно отличающих их от продукции конкурентов и у руководителей инвестиционного проекта нет возможности обратиться к уже имеющемуся опыту реализации аналогичных товаров, данный проект можно рассматривать как в значительной степени рискованный.

Предположим также, что руководство проекта пришло к выводу, что для производства данных изделий необходимо закупить оборудование пяти видов.

1. Машины контактной точечной сварки PUNTA.
2. Шлифовальные станки Stalex BTM-250.
3. Вертикально-фрезерные станки PROMA FPX-25E.
4. Сверлильные установки NI-254.
5. Сварочно-монтажные столы.

Обозначим прогнозируемый объем спроса на продукцию вида i в течение жизненного цикла проекта через Pt_i $(i = 1, 2, ..., n)$.

Цену реализации одной единицы продукции вида i будем обозначать через a_i, а переменные затраты через b_i, постоянные затраты обозначим через $Z_{пост}$.

Тогда задачу наиболее эффективного использования инвестиционных ресурсов по критерию максимизации прибыли сформируем следующим образом:

$$max \sum_{i=1}^{n}(a_i - b_i) \cdot x_i - Z_{пост} \quad , \qquad (63)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i \le y_p \tau_p \quad , p = 1, 2, \ldots, K \quad , \qquad (64)$$

$$d \sum_{p=1}^{K} y_p s_p + \sum_{p=1}^{K} \gamma_p y_p \le F \quad , \qquad (65)$$

$$x_i \ge 0; x_i \le Pt_i; x_i \in I; y_p \ge 0; y_p \in I;$$
$$i = 1, 2, \ldots, n; p = 1, 2, \ldots, K. \qquad (66)$$

Маркетинговые исследования, проведенные руководителями проекта, позволили установить, что ожидаемая рыночная цена составит:

- портативных стиральных машин – 1 000 руб. за шт.,
- роботов-пылесосов – 25 000 руб. за шт.;
- посудомоечных машин – 20 000 руб. за шт.;
- холодильников – 50 000 руб. за шт.;
- модульных индукционных плит – 5 000 руб. за шт.

Переменные затраты фирмы на производство одной портативной стиральной машины, одного робота-пылесоса, одной посудомоечной машины, одного холодильника и одной модульной индукционной плиты известны и равны соответственно 500 руб., 21 000 руб., 17 000 руб., 48 000 руб., 3 000 руб., а постоянные затраты составляют 500 000 руб.

Комплекс исследований, осуществленных руководством проекта, позволили также выяснить, что объем спроса на продукцию предприятия составит 6 000 портативных стиральных машин, 7 000 роботов-пылесосов, 10 000 посудомоечных машин, 2 000 холодильников , 4 000 модульных индукционных плит.

Нормативы времени в часах, которое необходимо затратить на обработку каждого вида продукции приводятся в табл. 1.

Время беспростойной работы оборудования каждого вида, которое возможно по техническим требованиям на эксплуатационной фазе проекта, составляет 6 ч для машин контактной точечной сварки PUNTA, 6,20 ч для шлифовальных станков Stalex BTM-250, 6,50 часа для вертикально-фрезерных станков PROMA FPX-25E, 7,20 ч для сверлильных установок NI-254 и 8 ч для сварочно-монтажных столов.

Таблица 1

НОРМАТИВ ВРЕМЕНИ НА ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОДУКЦИИ

часы

Вид оборудования	Вид продукции				
	Портативная стиральная машина	Робот-пылесос	Посудомоечная машина	Холодильник	Модульная индукционная плита
Машина контактной точечной сварки PUNTA	1,10	2,50	1,50	5,50	3,10
Шлифовальный станок Stalex BTM-250	2,10	3,50	2,15	6,10	3,50
Вертикально-фрезерный станок PROMA FPX-25E	0,40	1,10	0,50	1,20	0,30
Сверлильная установка NI-254	1,40	3,10	2,10	6,05	3,20
Сварочно-монтажный стол	2,50	4,20	2,40	6,40	4,10

Размер производственной площади, необходимой для размещения одной единицы оборудования каждого вида s_p составляет для машин контактной точечной сварки PUNTA, шлифовальных станков Stalex BTM-250, вертикально-фрезерных станков PROMA FPX-25E, сверлильных установок NI-254 и сварочно-монтажных столов соответственно 2,8 м^2; 1,7 м^2; 1,9 м^2; 1м^2 и 3,5 м^2.

Цена машины контактной точечной сварки PUNTA составляет 76000 рублей, шлифовального станка Stalex BTM-250 68500 рублей, вертикально-фрезерного станка PROMA FPX-25E 57250 рублей, сверлильной установки NI-254 76000 рублей и сварочно-монтажного стола 65000 рублей.

Цена аренды одного квадратного метра производственного помещения предприятия составляет 1500 рублей. Для реализации инвестиционного проекта руководство располагает определенным объемом кредитных ресурсов в размере 15 млн. руб.

Таким образом, с учётом приведенных данных задача эффективного использования инвестиционных ресурсов предприятия «Нексус» будет выглядеть следующим образом:

$$max(1\,135x_1 + 27\,625x_2 + 22\,550x_3 + 56\,750x_4 + 5\,712{,}5\,x_5 - (187x_1 + 20\,318{,}5x_2 + 15\,913x_3 + 42\,665\,x_4 + 1\,595\,x_5) - (345{,}01x_1 + 757{,}09x_2 + 1\,198{,}62x_3 + 5\,880{,}89x_4 + 1\,546{,}49x_5) - 500\,000),$$

$$1{,}10x_1 + 2{,}50x_2 + 1{,}50x_3 + 5{,}50x_4 + 3{,}10x_5 \le$$
$$\le y_1 6\ 260;$$

$$2{,}10x_1 + 3{,}50x_2 + 2{,}15x_3 + 6{,}10x_4 + 3{,}50\,x_5 \le$$
$$\le y_2 6{,}20\ 260;$$

$$0{,}40x_1 + 1{,}10x_2 + 0{,}50x_3 + 1{,}20x_4 + 0{,}30x_5 \le$$
$$\le y_3 6{,}50\ 260;$$

$$1{,}40x_1 + 3{,}10x_2 + 2{,}10x_3 + 6{,}05x_4 + 3{,}20x_5 \le$$
$$\le y_4 7{,}20\ 260;$$

$$2{,}50x_1 + 4{,}20x_2 + 2{,}40x_3 + 6{,}40x_4 + 4{,}10x_5 \le$$

$$\le y_5\,8{,}00\,260;$$

$$1500\,(2{,}8y_1 + 1{,}7y_2 + 1{,}9y_3 + 1y_4 + 3{,}5y_5) +$$
$$+ 76\,000y_1 + 68\,500y_2 + 57\,250y_3 +$$
$$+ 76\,000y_4 + 65\,000y_5 \le 15\,000\,000;$$

$$x_1 \le 6\,000;\ x_2 \le 7\,000;\ x_3 \le 10\,000;$$
$$x_4 \le 2\,000;\ x_5 \le 4\,000;$$

$$x_i \ge 0;\ x_i \in I;\ y_p \ge 0;\ y_p \ge I;$$
$$I = 1, 2, \ldots, n;\ p = 1, 2, \ldots, K,$$

где x_1 – количество портативных стиральных машин, которое необходимо выпускать фирме для достижения наиболее эффективного варианта использования ресурсов;

x_2, x_3, x_4, x_5 – объем выпуска роботов-пылесосов, посудомоечных машин, холодильников, модульных индукционных плит соответственно;

y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 – количество приобретаемых машин контактной точечной сварки PUNTA, шлифовальных станков Stalex BTM-250, вертикально-фрезерных станков PROMA FPX-25E, сверлильных установок NI-254 и сварочно-монтажных столов соответственно.

Решая данную оптимизационную задачу, получим оптимальную производственную программу фирмы следующего вида: x_1 =1 976 шт., x_2 =7 000 шт., x_3 = = 10 000 шт., x_4 = 3 921 шт., x_5 = 4 000 шт.; а также оптимальный объем закупки оборудования, необходимого для производства продукции y_1 = 44 шт., y_2 = = 55 шт., y_3 = 12 шт., y_4 = 44 шт., y_5 = 48 шт.

Анализ устойчивости оптимизационной модели создания предприятия «Нексус», производящего инновационную бытовую технику

Как уже отмечалось выше, если период эксплуатационной фазы проекта достаточно велик и составляет год и более, то с учетом темпов инфляции произойдет увеличение цен как на выпускаемую продукцию, так и на материально-сырьевые ресурсы производства. В этом случае задача наиболее эффективного использования инвестиционных ресурсов по критерию максимизации прибыли (4-7) может быть сформирована следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n} (a_i + a_i n_i \xi) x_i - \sum_{i=1}^{n} x_i b_i^2 - \\ - \sum_{i=1}^{n} x_i \sum_{j=1}^{L} (\beta_j \alpha_{ij} + m_j \beta_j \alpha_{ij} \xi) - Z_{пост} \to max, \tag{67}$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ip} x_i \le y_p \tau_p, \ p = 1, 2, \ldots, K, \tag{68}$$

$$d \sum_{p=1}^{K} y_p s_p + \sum_{p=1}^{K} \gamma_p y_p \le F, \tag{69}$$

$$x_i \ge 0;\ x_i \le Pt_i;\ x_i \in I; \\ y_p \ge 0;\ y_p \in I;\ i = 1, 2, \ldots, n;\ p = 1, 2, \ldots, K. \tag{70}$$

Основываясь на заключении ряда экспертных организаций, руководство приняло решение при планировании проекта заложить уровень инфляции, составляющий 15% в год. Также для производства изделий предприятию необходимо закупить определенное количество материально-сырьевых ресурсов: пластмассу, сталь, стекло, резину.

Нормы расхода данных ресурсов на производство портативных стиральных машин, роботов-пылесосов, посудомоечных машин, холодильников и модульных индукционных плит приведены в таблице:

Таблица 2

НОРМЫ РАСХОДА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ

Вид ресурса	Портативная стиральная машина	Робот-пылесос	Посудомоечная машина	Холодильник	Модульная индукционная плита
Пластмасса, $м^3$	0,20	1,30	1,20	2,50	0,50
Сталь, кг	0,10	0,30	1,10	7,00	2,50
Резина, кг	0,30	0,40	0,20	3,50	0,50
Стекло, кг	0,50	0,01	0,70	3,00	0,40

При этом цена закупки пластмассы составляет 350 руб./$м^3$, цена стали – 400 руб./кг, цена резины – 260 руб./кг, а цена стекла – 250 руб./кг.

Известен коэффициент n_i, отражающий темп изменения цены с учетом инфляции: 0,90; 0,70; 0,85; 0,90; 0,95 для портативных стиральных машин, роботов-пылесосов, посудомоечных машин, холодильников и модульных индукционных плит соответственно, а также коэффициент m_j, отражающий степень изменения цены на материально-сырьевые ресурсы: 0,75; 0,65; 0,80 и 0,58 для пластмассы, стали, резины и стекла соответственно.

Тогда задачу оптимизации использования инвестиционных ресурсов при создании рассматриваемого предприятия можно сформировать в следующем виде:

$$max(1\,135\,x_1 + 27\,625\,x_2 + 22\,550\,x_3 +$$
$$+ 56\,750\,x_4 + 5\,712{,}5\,x_5 - (187x_1 + 20\,318{,}5x_2 +$$
$$+ 15\,913\,x_3 + 42\,665x_4 + 1\,595x_5) - (345{,}0\,x_1 +$$
$$+ 757{,}09x_2 + 1\,198{,}62x_3 + 5\,880{,}89\,x_4 +$$
$$+ 1\,546{,}49x_5) - 500\,000);$$

$$1{,}10x_1 + 2{,}50x_2 + 1{,}50x_3 + 5{,}50\,x_4 + 3{,}10\,x_5$$
$$\le y_1\,6\,260;$$

$$2{,}10x_1 + 3{,}50x_2 + 2{,}15x_3 + 6{,}10x_4 + 3{,}50x_5$$
$$\le y_2\,6{,}20\,260;$$

$$0{,}40x_1 + 1{,}10x_2 + 0{,}50x_3 + 1{,}20x_4 + 0{,}30x_5$$
$$\le y_3\,6{,}50\,260;$$

$$1{,}40x_1 + 3{,}10x_2 + 2{,}10x_3 + 6{,}05x_4 + 3{,}20x_5$$
$$\le y_4\,7{,}20\,260;$$

$$2{,}50x_1 + 4{,}20x_2 + 2{,}40x_3 + 6{,}40x_4 + 4{,}10x_5$$
$$\le y_5\,8{,}00\,260;$$

$$1500(2{,}8y_1 + 1{,}7y_2 + 1{,}9y_3 + 1y_4 + 3{,}5y_5) +$$
$$+ 76\,000y_1 + 68\,500y_2 + 57\,259y_3 + 76\,000y_4 +$$
$$+ 65\,000y_5 \le 15\,000\,000;$$

$$x_1 \le 6\,000;\ x_2 \le 7\,000;\ x_3 \le 10\,000;\ x_4 \le 2\,000;$$
$$x_5 \le 4\,000;$$
$$xi \ge$$
$$x_i \ge 0;\ x_i \in I;\ y_p \in I;$$

$i = 1, 2, …, n;$

$p = 1, 2, …, K.$

Решением данной оптимизационной задачи является оптимальная производственная программа вида: (x_1 = 1 шт., x_2 = 7 000 шт., x_3 = 10 000 шт., x_4 = 6 464 шт., x_5 =1), а также наилучший объем закупки оборудования, необходимого для производства продукции: (y_1 =45 шт., y_2 =53 шт., y_3 =13 шт., y_4 =45 шт., y_5 =47 шт.).

Как можно заметить, учет инфляции при построении инвестиционного проекта позволил руководству проекта сделать вывод о не перспективности производства в текущих условиях портативных стиральных машин и модульных индукционных плит. При этом объем производства холодильников, наоборот, должен быть увеличен. План закупки оборудования также претерпел определенные изменения.

Используя утверждение 1, сформированное выше, проведем анализ устойчивости оптимальной производственной программы предприятия «Нексус», полученной при решении задачи (67-70). Определим, как будет меняться эта программа при линейном росте цен на готовую продукцию и материально-сырьевые ресурсы производства вместе с ростом инфляции.

Рассмотрим множество допустимых решений задачи (67-70), состоящее из четырех допустимых решений вида:

$x^1 = (0; 8\,000; 10\,000; 2\,000; 0),$

$X^2 = (0; 10\,000; 12\,000; 500; 0),$

$X^3 = (2; 7\,000; 10\,000; 4\,169; 4\,000),$

$x^4 = (0; 7\,000; 10\,000; 6\,464; 0).$

Пользуясь приведенной выше методикой, оценим скорость роста целевой функции (67) на каждом допустимом решении. Для этого определим функции $f^l(\xi)$ $(l = 1, …, 4)$ для каждого допустимого решения по формуле:

$$f^l(\xi) = \sum_{i=1}^{n}(a_i + a_i n_i \xi) x_i^l - \sum_{i=1}^{n} x_i^l b_i^2 - \sum_{i=1}^{n} x_i^l \sum_{j=1}^{L}(\beta_j \alpha_{ij} + m_j \beta_j \alpha_{ij} \xi) - Z_{пост} : \qquad (71)$$

$$\begin{gathered} f^1(\xi) = (1\,000 + 1\,000 * 0{,}9 * \xi) * 0 + \\ + (25\,000 + 25\,000 * 0{,}7 * \xi) * 8\,000 + \\ + (20\,000 + 20\,000 * 0{,}85 * \xi) * 10\,000 + \\ + (50\,000 + 50\,000 * 0{,}9 * \xi) * 2\,000 + \\ + (5\,000 + 5\,000 * 0{,}95 * \xi) * 0 - (187 * 0 + \\ + 20\,318{,}5 * 8\,000 + 15\,913 * 10\,000 + 42\,665 * \\ * 2\,000 + 1\,595 * 0) - (0 * (313 + 213{,}4 * \xi) + \\ + 8\,000 * (681{,}5 + 503{,}9 * \xi) + 10\,000 * (1\,087 + \\ + 744{,}10 * \xi) + 2\,000 * (5\,335 + 3\,639{,}25 * \xi) + 0 * \\ * (1\,405 + 943{,}25 * \xi)) - 500\,000 = 65\,500\,000 + \\ + 381\,249\,300 * \xi, \end{gathered}$$

$$\begin{gathered} f^2(\xi) = (1\,000 + 1\,000 * 0{,}9 * \xi) * 0 + (25\,000 + \\ + 25\,000 * 0{,}7 * \xi) * 10\,000 + (20\,000 + 20\,000 * \\ * 0{,}85 * \xi) * 12\,000 + (50\,000 + 50\,000 * 0{,}9 * \xi) * \\ * 500 + (5\,000 + 5\,000 * 0{,}95 * \xi) * 0 - (187 * 0 + \\ + 20\,318{,}5 * 10\,000 + 15\,913 * 12\,000 + 42\,665 * \\ * 500 + 1\,595 * 0) - (0 * (313 + 213{,}4 * \xi) + \\ + 10\,000 * (681{,}5 + 503{,}9 * \xi) + 12\,000 * (1\,087 + \\ + 744{,}10 * \xi) + 500 * (5\,335 + 3\,639{,}25 * \xi) + \\ + 0 * (1\,405 + 943{,}25 * \xi)) - 500\,000 = \\ = 76\,500\,000 + 385\,712\,175 * \xi, \end{gathered}$$

$$\begin{gathered} f^3(\xi) = (1\,000 + 1\,000 * 0{,}9 * \xi) * 2 + (25\,000 + \\ + 25\,000 * 0{,}7 * \xi) * 7\,000 + (20\,000 + 20\,000 * \\ * 0{,}85 * \xi) * 10\,000 + (50\,000 + 50\,000 * 0{,}9 * \\ * \xi) * 4\,169 + (5\,000 + 5\,000 * 0{,}95 * \xi) * \\ * 4\,000 - (187 * 2 + 20\,318{,}5 * 7\,000 + 15\,913 * \\ * 10\,000 + 42\,665 * 4\,169 + 1\,595 * 4\,000) - \\ - (2 * (313 + 213{,}4 * \xi) + 7\,000 * (681{,}5 + \\ + 503{,}9 * \xi) \; 10\,000 * (1\,087 + 744{,}10 * \xi) + \\ + 4\,169 * (5\,335 + 3\,639{,}25 * \xi) + 4\,000 * (1\,405 + \\ + 943{,}25 * \xi)) - 500\,000 = 73\,839\,000 + \\ + 469\,193\,039{,}95 * \xi, \end{gathered}$$

$$\begin{gathered} f^4(\xi) = (1\,000 + 1\,000 * 0{,}9 * \xi) * 0 + (25\,000 + \\ + 25\,000 * 0{,}7 * \xi) * 7\,000 + (20\,000 + 20\,000 * \\ * 0{,}85 * \xi) * 10\,000 + (50\,000 + 50\,000 * 0{,}9 * \\ * \xi) * 6\,464 + (5\,000 + 5\,000 * 0{,}95 * \xi) * 0 - \\ - (187 * 0 + 20\,318{,}5 * 7\,000 + 15\,913 * 10\,000 + \\ + 42\,665 * 6\,464 + 1\,595 * 0) - (0 * (313 + 213{,}4 * \\ * \xi) + 7\,000 * (681{,}5 + 503{,}9 * \xi) + 10\,000 * \\ * (1\,087 + 744{,}10 * \xi) + 6\,464 * (5\,335 + \\ + 3\,639{,}25 * \xi) + 0 * (1\,405 + 943{,}25 * \xi)) - \\ - 500\,000 = 70\,428\,000 + 548\,887\,588 * \xi. \end{gathered}$$

Как можно заметить, ряд функций, представленный выше, упорядочен по возрастанию производных:

$$\left(f^1(\xi)\right)' \le \left(f^2(\xi)\right)' \le \le \left(f^3(\xi)\right)' \le \left(f^4(\xi)\right),$$

причем оптимальная производственная программа предприятия соответствует решению x_3 в том случае, если уровень инфляции равен нулю.

Согласно утверждению 1, можно определить уровень инфляции ξ_k, задающий границу устойчивости оптимальной производственной программы x_3. При росте инфляции выше уровня ξ_k производственный план x_3 перестанет быть оптимальным, и его место займет производственная программа x_4, обеспечивающая достижение наибольшего значения производной функции $f'(\xi)$ на множестве допустимых решений. Чтобы определить уровень инфляции ξ_k, применим формулу (29). Подставив необходимые значения в формулу, вычислим $\xi_k =$ $= 0,04$.

Модель проекта создания предприятия «Нексус», производящего инновационную бытовую технику, в условиях интервальной оценки переменных затрат и цен на выпускаемую продукцию

Выше было доказано следующее утверждение:

Утверждение 2. Если в задаче (4-7) маржа по каждому виду выпускаемой продукции изменяется на множестве $P = \prod_{i=1}^{n}\left[c_i^1, c_i^2\right]$., то гиперпараллелепипед P может быть разбит на конечное число многогранников $M_{n1}, M_{n2}, \ldots M_{nL}$ таким образом, что $\bigcup_{j=1}^{L} M_{nj} = P$ и при изменении маржи $c = (c_1, \ldots, c_n)$ на множестве M_{nj} оптимальной остается производственная программа x^j $(j = 1,2,\ldots L;\ L \le N)$.

Для иллюстрации данного утверждения вновь воспользуемся знакомым примером создания предприятия «Нексус». Предположим, что в приведенном выше примере цены a_i на выпускаемую инновационную продукцию, а также объем переменных затрат на ее производство b_i заранее неизвестны.

По данным маркетингового исследования, проведенного руководством проекта, ожидаемые цены на портативные стиральные машины будут находиться в интервале $a_1 \in [800;1200]$, на роботы-пылесосы – $a_2 \in [20000;27000]$, на посудомоечные машины – $a_3 \in [17000;22000]$, на холодильники – $a_4 \in [45000;55000]$, на модульные индукционные плиты – $a_5 \in [4500;6000]$.

При этом величина переменных затрат на производство каждого вида товаров может принимать любые значения на интервале $b_1 \in [400;600]$ для портативных стиральных машин, $b_2 \in [19000;22000]$ для роботов-пылесосов, $b_3 \in [16000;18000]$ для посудомоечных машин, $b_4 \in [45000;49000]$ для холодильников, $b_5 \in [2000;3500]$ для модульных индукционных плит.

Тогда значения маржи, равной разнице цены продукции предприятия и переменных затрат на ее производство будут любыми на интервале $\left[c_i^1;\ c_i^2\right]$, границы которого определяются по приведенным выше формулам отдельно для каждого вида продукции:

$$c_1^1 = \max\{0; 800 - 600\} = 200;$$
$$c_1^2 = \max\{0; 1200 - 400\} = 800,$$
$$c_2^1 = \max\{0; 20000 - 22000\} = 0;$$
$$c_2^2 = \max\{0; 27000 - 19000\} = 8000,$$
$$c_3^1 = \max\{0; 17000 - 18000\} = 0;$$
$$c_3^2 = \max\{0; 22000 - 16000\} = 6000,$$
$$c_4^1 = \max\{0; 45000 - 49000\} = 0;$$
$$c_4^2 = \max\{0; 55000 - 45000\} = 10000,$$
$$c_5^1 = \max\{0; 4500 - 3500\} = 1000;$$
$$c_5^2 = \max\{0; 6000 - 2000\} = 4000.$$

Рассматривая множество допустимых производственных программ вида $X = (x^1,x^2,x^3,x^4)$, описанное выше, определим, какие из производственных программ могут быть оптимальными при изменении маржи. Для этого, согласно приведенной выше методике, вычислим значения целевых функций f^k задачи (4-7) на каждой производственной программе на нижней (f_1^k) и верхней границе интервала изменения маржи (f_2^k):

$$f_1^1 = -500000;\ f_2^1 = 143500000,$$
$$f_1^2 = -500000;\ f_2^2 = 156500000,$$
$$f_1^3 = 3500400;\ f_2^3 = 173191600,$$
$$f_1^4 = -500000;\ f_2^4 = 180140000.$$

Очевидно, что наибольшее значение целевой функции на верхней границе изменения маржи $f_2^d = \max_{k=1,4} f_2^k$ будет достигнуто в производственной программе $x^d = x^4$, а наибольшее значение целевой функции на нижней границе изменения маржи $f_1^m = \max_{k=1,4} f_1^k$ –- соответственно на производственной программе $x^m = x^3$. Таким образом, производственные программы x^3 и x^4 включаются в множество ***Opt*** производственных программ, которые могут быть оптимальными при каком-либо значении маржи. Кроме того, в множество ***Opt*** должны попасть все производственные программы, в которых значение целевой функции на верхней границе интервала изменения маржи превышает значение f_1^m. Как можно заметить, данному условию удовлетворяют все производственные программы из множества допустимых планов решения задачи (4-7). Таким образом, в рассматриваемом случае множество допустимых производственных программ $X = (x^1,x^2,x^3,x^4)$ совпадает с искомым множеством ***Opt***.

Согласно утверждению 2 и изложенной методике, определим для каждой допустимой производственной программы предприятия «Нексус» систему линейных уравнений, множество решений которой соответствует множеству вариантов размера маржи, на котором данная производственная программа будет оставаться оптимальной:

для $x^1 = (0;\ 8\,000;\ 10\,000;\ 2\,000;\ 0)$:

$$\begin{cases} 0c_1 + 8000c_2 + 10000c_3 + 2000c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 10000c_2 + 12000c_3 + 500c_4 + 0c_5; \\ 0c_1 + 8000c_2 + 10000c_3 + 2000c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 2c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 4169c_4 + 4000c_5; \\ 0c_1 + 8000c_2 + 10000c_3 + 2000c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 6464c_4 + 0c_5; \\ 200 \leq c_1 \leq 800; \\ 0 \leq c_2 \leq 8000; \\ 0 \leq c_3 \leq 6000; \\ 0 \leq c_4 \leq 10000; \\ 1000 \leq c_5 \leq 4000. \end{cases}$$

-для $x^2 = (0; 10\,000; 12\,000; 500; 0)$:

$$\begin{cases} 0c_1 + 10000c_2 + 12000c_3 + 500c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 8000c_2 + 10000c_3 + 2000c_4 + 0c_5; \\ 0c_1 + 10000c_2 + 12000c_3 + 500c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 2c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 4169c_4 + 4000c_5; \\ 0c_1 + 10000c_2 + 12000c_3 + 500c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 6464c_4 + 0c_5; \\ 200 \leq c_1 \leq 800; \\ 0 \leq c_2 \leq 8000; \\ 0 \leq c_3 \leq 6000; \\ 0 \leq c_4 \leq 10000; \\ 1000 \leq c_5 \leq 4000. \end{cases}$$

-для $x^3 = (2; 7\,000; 10\,000; 4\,169; 4\,000)$:

$$\begin{cases} 2c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 4169c_4 + 4000c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 8000c_2 + 10000c_3 + 2000c_4 + 0c_5; \\ 2c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 4169c_4 + 4000c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 10000c_2 + 12000c_3 + 500c_4 + 0c_5; \\ 2c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 4169c_4 + 4000c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 6464c_4 + 0c_5; \\ 200 \leq c_1 \leq 800; \\ 0 \leq c_2 \leq 8000; \\ 0 \leq c_3 \leq 6000; \\ 0 \leq c_4 \leq 10000; \\ 1000 \leq c_5 \leq 4000. \end{cases}$$

-для $x^4 = (0; 7\,000; 10\,000; 6\,464; 0)$:

$$\begin{cases} 0c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 6464c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 8000c_2 + 10000c_3 + 2000c_4 + 0c_5; \\ 0c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 6464c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 0c_1 + 10000c_2 + 12000c_3 + 500c_4 + 0c_5; \\ 0c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 6464c_4 + 0c_5 \geq \\ \geq 2c_1 + 7000c_2 + 10000c_3 + 4169c_4 + 4000c_5; \\ 200 \leq c_1 \leq 800; \\ 0 \leq c_2 \leq 8000; \\ 0 \leq c_3 \leq 6000; \\ 0 \leq c_4 \leq 10000; \\ 1000 \leq c_5 \leq 4000. \end{cases}$$

Однопериодная модель проекта создания предприятия «Нексус», производящего инновационную бытовую технику, с учетом риска

Вновь воспользуемся рассмотренным выше примером создания предприятия «Нексус» и продемонстрируем частный случай решения оптимизационной задачи на минимум риска. Предположим, что маржа по каждому виду выпускаемой продукции является случайной величиной, принимающей одно из приведенных ниже значений с заданными вероятностями (табл. 3).

Таблица 3

МАРЖА ПО ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
0,10	0,15	0,10	0,05	0,15	200	0	0	0	1000
0,15	0,05	0,15	0,15	0,20	800	500	6000	10000	4000
0,15	0,25	0,35	0,15	0,25	500	8000	5000	500	1200
0,20	0,20	0,40	0,25	0,40	750	5000	500	6000	1500
0,40	0,35	-	0,40	-	400	3000	-	7000	-

Пользуясь формулой:

$$zat_i^{об} = \sum_{p=1}^{K} \frac{t_{ip}}{T_p} \times \gamma_p, \qquad (72)$$

где γ_p – цена единицы оборудования вида p;

Tp $(p=1,2,\dots K)$ – время технологического использования оборудования вида p до полного его физического износа;

t_{ip} – время использования оборудования вида p для выпуска единицы продукции вида i, оценим затраты на амортизацию оборудования при выпуске единицы продукции каждого вида.

Для расчета воспользуемся данными о нормативах времени, затрачиваемого на обработку портативных стиральных машин, роботов-пылесосов, посудомоечных машин, холодильников и модульных индукционных плит на машинах контактной точечной сварки PUNTA, шлифовальных станках Stalex BTM-250, вертикально-фрезерных станках PROMA FPX-25E, сверлильных установках NI-254 и сварочно-монтажных столах, приведенными в табл. 1.

Время эксплуатации до полного износа для машин контактной точечной сварки PUNTA составляет семь лет, для шлифовальных станков Stalex BTM-250 – восемь лет, для вертикально-фрезерных станков PROMA FPX-25E – пять лет, для сверлильных установок NI-254 – девять лет, а для сварочно-монтажных столов – десять лет. Таким образом затраты, связанные с амортизацией оборудования при производстве одной портативной стиральной машины составляют 7,14 руб., одного робота-пылесоса – 14,06 руб., одной посудомоечной машины – 8,42 руб., одного холодильника – 24,93 руб., одной модульной индукционной плиты – 13,78 руб.

Для оценки затрат на аренду производственной площади при выпуске единицы продукции каждого вида воспользуемся формулой:

$$zat_i^{п} = r \cdot \sum_{p=1}^{K} S_p \times t_{ip}, \qquad (73)$$

где s_p – производственная площадь, занимаемая одной единицей оборудования вида p;

r – стоимость аренды каждого квадратного метра производственной площади в час.

Почасовая стоимость аренды производственной площади составляет 300 руб./м². Таким образом, затраты на аренду производственных площадей на единицу продукции предприятия составят 5 268 руб., 9 852 руб., 5 791,5 руб., 16 950 руб., 9 825 руб., а общие затраты – 5 275,14 руб., 9 866,06 руб., 5 799,92 руб., 16 974,93 руб., 9 838,78 руб. для портативных стиральных машин, роботов-пылесосов, посудомоечных машин, холодильников и модульных индукционных плит соответственно.

Для решения оптимизационной задачи на минимум риска введем переменную z_i, обозначающую долю общего объема инвестиционных ресурсов V, которая будет потрачена на выпуск продукции каждого вида, а также вычислим дисперсию и среднее значение маржи (табл. 4).

Таблица 4

ДИСПЕРСИЯ МАРЖИ ПРИ ВЫПУСКЕ ПРОДУКЦИИ

№	Математическое ожидание $\overline{c_i}$	Дисперсия σ_i^2
C_1	525	38 375
C_2	4 075	7 556 875
C_3	2 850	6 127 500
C_4	5 875	9 121 875
C_5	1 850	1 187 500

Пусть V = 15 млн. руб., mr = 1 200 000 руб. Используя данные, приведенные в табл. 5, вычислим также ковариацию маржи производственной программы.

Таблица 5

СОВМЕСТНЫЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ МАРЖИ ПО КАЖДОЙ ПАРЕ ПРОДУКТОВ

$P_{1,2}$	$P_{1,3}$	$P_{1,4}$	$P_{1,5}$	$P_{2,3}$	$P_{2,4}$	$P_{2,5}$	$P_{3,4}$	$P_{3,5}$	$P_{4,5}$
0,01	0,02	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04
0,28	0,57	0,09	0,23	0,43	0,38	0,28	0,26	0,26	0,14
0,13	0,18	0,49	0,60	0,17	0,23	0,54	0,16	0,16	0,35
0,26	0,23	0,15	0,15	0,39	0,10	0,17	0,56	0,56	0,47
0,32	-	0,23	-	-	0,28	-	-	-	-

Таким образом, ковариация маржи от производства предприятием «Нексус» инновационной бытовой техники равна для портативных стиральных машин и роботов-пылесосов – 1 991 000, портативных стиральных машин и посудомоечных машин – 3 272 250, портативных стиральных машин и холодильников – 2 161 500, портативных стиральных машин и модульных индукционных плит – 1 268 750, роботов-пылесосов и посудомоечных машин – 9 065 000, роботов-пылесосов и холодильников – 11 700 000, роботов-пылесосов и модульных индукционных плит – 7 019 000, посудомоечных машин и холодильников – 17 680 000, посудомоечных машин и модульных индукционных плит – 7 620 000, холодильников и модульных индукционных плит – 10 040 000.

Тогда оптимизационная задача на минимум риска при реализации инвестиционного проекта создания предприятия по производству инновационной бытовой техники будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
&525z_1 + 2\,843{,}52 + 4\,075z_2 + 1\,520{,}36 + \\
&+ 2\,850z_3 + 2\,586{,}24 + 5\,875z_4 + 883{,}66 + \\
&+ 1\,850z_5 + 1524{,}58 \geq 1200000; \\
&3\,127{,}88z_1 + 3\,800{,}91z_2 + 3879{,}36z_3 + \\
&+ 4\,860{,}11z_4 + 4726{,}19z_5 \leq 6y_1\,260; \\
&5971{,}40z_1 + 5\,321{,}27z_2 + 5\,560{,}42z_3 + \\
&+ 5\,390{,}30z_4 + 5\,336{,}03z_5 \leq 6{,}20y_2\,260; \\
&1\,137{,}41z_1 + 1\,672{,}40z_2 + 1\,293{,}12z_3 + \\
&+ 1\,060{,}39z_4 + 457{,}37z_5 + \leq 6{,}50y_3\,260; \\
&3\,980{,}93z_1 + 4\,713{,}13z_2 + 5\,431{,}11z_3 + \\
&+ 5\,346{,}12z_4 + 4\,878{,}65z_5 \leq 7{,}20y_4\,260; \\
&7\,108{,}81z_1 + 6\,385{,}53z_2 + 6\,206{,}98z_3 + \\
&+ 5\,655{,}40z_4 + 6\,250{,}77z_5 \leq 8y_5\,260; \\
&300\,(2{,}8y_1 + 1{,}7y_2 + 1{,}9y_3 + 1y_4 + 3{,}5y_5) + \\
&+76\,000y_1 + 68\,500y_2 + 57\,250y_3 + 76\,000y_4 + \\
&+ 65\,000y_5 \leq 15000000; \\
&0 \leq 2\,843{,}52z_1 \leq 6\,000; \\
&0 \leq 1\,520{,}36z_2 \leq 7000; \\
&0 \leq 2\,586{,}24z_3 \leq 10\,000; \\
&0 \leq 883{,}66z_4 \leq 2000; \\
&0 \leq 1\,524{,}58z_5 \leq 4000; \\
&\sum_{i=1}^{n} z_i \leq 1.
\end{aligned}$$

Решением данной оптимизационной задачи будет набор долей, определяющий оптимальное распределение инвестиционных ресурсов между выпуском продукции каждого вида: (z_1 = 0, z_2 = 0, z_3 = 0, z_4 = 0, z_5 = 0,43), а также оптимальный объем закупки оборудования, необходимого для производства продукции вида: (y_1 = 43 шт., y_2 = 26 шт., y_3 = 1 шт., y_4 = = 41 шт., y_5 = 27 шт.).

Используя соотношение $x_i = \frac{z_i \cdot V}{zat_i}$, перейдем от переменных z_i к переменным x_i, определяющим оптимальный объем выпуска инновационной продукции. На основании расчетов получим оптимальную производственную программу вида: (x_1 = 0 шт., x_2 = 0 шт., x_3 = 0 шт., x_4 = 0 шт., x_5 = 655 шт.).

Таким образом, решение приведенной в данном разделе оптимизационной задачи позволяет сделать вывод о том, что для достижения минимального риска при реализации данного инвестиционного проекта необходимо производить только один вид продукции – модульные индукционные плиты.

В данном случае такой результат выглядит достаточно ожидаемым, если учесть, что в рассматриваемом примере речь идет о производстве инновационных продуктов, реализация которых связана с высокой долей риска. До серийного производства обычно доходит очень незначительный процент инновационной техники [2], большинство же продуктов остаются лишь в качестве прототипов. Чрезмерно высокая степень неопределенности и ожидаемая величина производственных затрат часто вынуждают руководство проекта отказываться от серийного производства значительного числа новых моделей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Риск в той или иной степени сопутствует любому проекту. Однако от того, насколько полно мы сможем учесть факторы риска в процессе разработки плана проекта, в значительной степени зависят его конечные итоги.

Как можно заметить из приведенного выше расчетного примера, многие кажущиеся на первый взгляд перспективными разработки оказываются чрезмерно рискованными для того чтобы инвестировать в их развитие. Очевидно, что в особенности это справедливо для случая выпуска на рынок инновационных продуктов, где учет неопределенности может существенно повлиять на конечное решение менеджеров фирмы о вложении средств в инвестиционный проект.

В предлагаемой работе однопериодная и многопериодная модели и модели с учетом неопределенности и риска разработаны А.В. Мищенко. Модели с учетом износа оборудования, подготовка информационной базы и компьютерные работы выполнены П.С. Кошелевым.

Литература

1. Алексеева А.И. и др. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности еТекст] / А.И. Алексеева, Ю.И. Васильев, А.В. Малеева, Л.И. Ушвицкий. – М. : КноРус, 2011. – 718 с.
2. Бараненко С.П. и др. Основы предпринимательства [Текст] / С.П. Бараненко, М.Н. Дудин, Н.В. Лясников. – М. : Центрполиграф, 2010. – 192 с.
3. Мищенко А.В. Оптимизация управления инвестиционными ресурсами в промышленной логистике (часть 1) [Текст] / А.В. Мищенко, Л.Г. Нестерович // Логистика сегодня. – 2008. – №1. – С. 50-63.
4. Мищенко А.В. Оптимизация управления инвестиционными ресурсами в промышленной логистике (часть 2) [Текст] / А.В. Мищенко, Л.Г. Нестерович // Логистика сегодня. – 2008. – №2. – С. 70-83.
5. Попков В.П. Организация и финансирование инвестиций [Текст] / В.П. Попков, В.П. Семенов. – СПб : Питер, 2001. – 224 с.

Ключевые слова

Инвестиционный проект; риск; анализ устойчивости; оценка эффективности; оптимизация; инновации; износ оборудования; инфляция; производственный сектор; максимизация прибыли.

Мищенко Александр Владимирович

Кошелев Павел Сергеевич

РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность темы. Проблема адекватного управления инвестиционными ресурсами в производственном секторе экономики сегодня является весьма важной, поскольку принятое инвестиционное решение в данной сфере часто оказывает значительное влияние на множество экономических показателей фирмы в долгосрочном периоде. Кроме того, данная проблема приобретает особое значение в области производства инновационной продукции, поскольку в этом случае существенно возрастает уровень неопределенности и риска. В связи с этим рассматриваемая в данной работе тема представляется весьма актуальной.

Научная новизна и практическая значимость. Авторами рассматриваются детерминированные однопериодные и многопериодные модели инвестиционного проекта создания нового предприятия, ориентированного на выпуск инновационной продукции, а также модели оценки эффективности функционирования данного предприятия в условиях неопределенности и риска (в этом случае авторы рассматривают такие параметры модели, как цена конечной продукции, цена на материальные ресурсы производства, спрос на конечную продукцию, переменные издержки в качестве величин, фактические значения которых могут отклоняться от их предполагаемых значений).

В модели оценки эффективности функционирования предприятия в качестве показателей эффективности авторы рассматривают и такие, как риски доходности выбранной производственной программы, перепроизводства и упущенной выгоды.

Также авторы рассматривают использование приведенных моделей на практическом примере реализации инвестиционного проекта по созданию инновационного промышленного предприятия.

Заключение: работа актуальна, имеются научная новизна и практическая значимость. Рекомендую к публикации.

Касаев Б.С., д.э.н., профессор, Заслуженный работник высшей школы РФ, проректор по научной работе Института экономики и предпринимательства