

3.6. МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ РЕСУРСАМИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА РАСШИРЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА¹

Мищенко А.В., д.э.н., профессор, кафедра логистики, факультет логистики, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва;

Кошелев П.С., аспирант, кафедра экономики и финансов, Институт экономики и предпринимательства, г. Москва

Перейти на ГЛАВНОЕ МЕНЮ

В настоящей работе рассмотрены некоторые экономико-математические модели, позволяющие наиболее рациональным образом управлять финансовыми ресурсами инвестора при реализации проекта расширения производства, в том числе с учетом риска. Изучен вопрос анализа устойчивости оптимальной производственной программы в модели управления финансовыми ресурсами при реализации проекта расширения производства. Также приведен ряд практических примеров использования рассмотренных моделей.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях рыночной экономики производственное предприятие должно адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды и, в частности, адекватно реагировать на изменение спроса потребителя в ситуации появления новых товаров и услуг. Руководителю предприятия недостаточно иметь хороший продукт, необходимо также внимательно следить за появлением новых технологий и планировать их внедрение в своей фирме, чтобы не отстать от конкурентов [3]. В этих условиях необходимо, с одной стороны, оценить тенденции изменения спроса, с другой – провести его экстраполяцию для оценки объема рынка по этим товарам и услугам в будущем.

Далее необходимо оценить возможные затраты и доходы для ситуации, когда принимается решение о расширении производства, понимая под расширением в первую очередь увеличение количества видов производимых товаров и услуг. Такую оценку можно провести, используя количественные методы анализа, позволяющие рассмотреть несколько вариантов реализации проекта расширения производства, давая возможность инвестору выбрать наиболее эффективный.

1. Статические модели управления финансовыми ресурсами при реализации проекта расширения производства

В предлагаемой ниже модели рассмотрено предприятие, выпускающее n видов продукции, использующее при этом M видов материально-сырьевых ресурсов и K видов оборудования. Предполагается дополнительно выпустить продукцию вида i , исполь-

зуя материально-сырьевые ресурсы $M+1, \dots, M_i$ и дополнительные виды оборудования $K+1, \dots, K_i$.

Рассмотрен такой вид производства, когда для выпуска новых видов продукции используют только новые виды материально-сырьевых ресурсов (виды $M+1, \dots, M_i$) и новые виды оборудования (виды $K+1, \dots, K_i$).

Для закупки материальных ресурсов при выпуске новой продукции выделяются дополнительные средства в объеме V_1 , а для закупки новых видов оборудования выделяются денежные средства в объеме V_2 .

Предполагается, что для выпуска традиционных видов продукции предприятие обладает запасом материальных ресурсов в объеме L_1, \dots, L_M и производственным оборудованием в количестве K_l ($l = 1, 2, \dots, K$).

Необходимо определить объемы закупок материальных ресурсов для выпуска новых видов продукции, количество единиц нового приобретаемого оборудования и производственную программу предприятия на периоде времени $(0, T)$. В качестве оценки эффективности управления финансовыми ресурсами принимается валовая прибыль предприятия от реализации выпущенной за период времени $(0, T)$ продукции. Математическая формулировка этой задачи состоит в следующем:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i - \sum_{i=1}^n b_i x_i - Z_{посм} \rightarrow \max. \tag{1}$$

где a_i – цена реализации продукции вида i ;
 b_i – переменные издержки при выпуске единицы продукции вида i ;
 $Z_{посм}$ – постоянные издержки при выпуске продукции вида i .

Формула (1) задает объем валовой прибыли при выпуске продукции, заданной производственной программой $x = (x_1, \dots, x_n)$:

$$\sum_{i=1}^n I_{ij} x_i \leq L_j, \quad j = 1, 2, \dots, M. \tag{2}$$

Соотношение (2) – это ограничение на потребление материальных ресурсов при выпуске традиционной продукции; I_{ij} – объем материальных ресурсов вида j , необходимых для выпуска единицы продукции вида i ; L_j – запасы материальных ресурсов вида j ($j = 1, 2, \dots, M$):

$$\sum_{i=n+1}^m I_{ij} x_i \leq z_j, \quad j = M+1, \dots, M_i. \tag{2.1}$$

где z_j – переменная величина, определяемая при решении оптимизационной задачи, которая задает объем закупки материальных ресурсов для выпуска новых видов продукции ($j = M+1, \dots, M_i$):

$$\sum_{i=1}^n t_{il} x_i \leq k_l r_l, \quad l = 1, 2, \dots, K, \tag{3}$$

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) в рамках научного проекта №16-06-00143 а.

где t_{ij} – время загрузки оборудования вида I при выпуске одной единицы продукции вида i ;

K_l – количество единиц оборудования вида l , используемого при производстве традиционных видов продукции;

r_l – эффективное время использования оборудования вида l на периоде времени $(0, T)$.

Под эффективным временем использования оборудования понимается время его использования в производственном процессе на периоде времени $(0, T)$, исключая различного вида простои (замена инструмента, регламентные работы, устранение возникающих неисправностей и т.д.):

$$\sum_{i=n+1}^{n_1} t_{ij} x_i \leq y_l r_l, \quad l = K+1, \dots, K_1. \quad (3.1)$$

Ограничение (3.1) – это ограничение на производственные мощности при организации выпуска продукции новых видов. Величина y_l – это количество единиц нового (дополнительно закупаемого) оборудования вида l . Эта величина определяется при решении формулируемой оптимизационной задачи.

$$\sum_{j=M+1}^{M_1} z_j \beta_j \leq V_1. \quad (4)$$

где V_1 – финансовые средства, выделенные на закупку материальных ресурсов для выпуска новой продукции;

β_j – цена единицы материального ресурса вида j .

$$\sum_{l=K+1}^{K_1} y_l \gamma_l \leq V_2, \quad (5)$$

где V_2 – финансовые средства, выделяемые на закупку новых видов оборудования;

γ_l – цена единицы оборудования вида l :

$$x_i \leq P t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_1. \quad (6)$$

Ограничение (6) – ограничение спроса на выпускаемую продукцию, где $P t_i$ – прогнозируемый спрос на продукцию вида i :

$$x_i \geq Z a_k, \quad i = 1, 2, \dots, n_1. \quad (7)$$

Ограничение (7), или ограничение на заказ, означает, что продукция вида i должна выпускаться в объемах не менее $Z a_k$:

$$x_i \in Z^+; \quad y_l \in Z^+; \quad z_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n_1; \\ l = K+1, \dots, K_1; \quad j = M+1, \dots, M_1. \quad (8)$$

В модели (1-8) предполагалось, что для выпуска новых видов продукции используются только новые виды материальных ресурсов и новые виды оборудования. Если это ограничение снять, т.е. считать, что для производства новой продукции используют как новые, так и старые виды оборудования, а также как новые, так и старые виды материальных ресурсов, то с использованием предыдущей системы обозначений рассматриваемая модель приобретет следующий вид:

$$\sum_{i=1}^{n_1} a_i x_i - \sum_{i=1}^{n_1} b_i x_i - Z_{\text{норм}} \rightarrow \max; \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} I_{ij} x_i \leq L_j + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_1; \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} t_{ij} x_i \leq (k_l + y_l) r_l, \quad l = 1, 2, \dots, K_1; \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^{M_1} z_j \beta_j \leq V_1; \quad (12)$$

$$\sum_{l=1}^{K_1} y_l \gamma_l \leq V_2; \quad (13)$$

$$x_i \leq P t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_1; \quad (14)$$

$$x_i \geq Z a_k, \quad i = 1, 2, \dots, n_1; \quad (15)$$

$$x_i \in Z^+; \quad y_l \in Z^+; \quad z_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n_1; \\ l = 1, 2, \dots, K_1; \quad j = 1, 2, \dots, M_1. \quad (16)$$

С учетом ограничений на заказ (соответственно ограничения (7) и (15)) модель (1-8) и модель (9-16) не всегда имеют решения. Это, в частности, может произойти либо из-за недостатка материальных ресурсов (недостатка финансовых средств на их закупку) или из-за недостатка производственных мощностей (недостатка финансовых средств на их закупку). В этом случае возникает задача определения дополнительного финансирования проекта расширения производства, для того чтобы требования по минимальному объему выпуска продукции были выполнены. Математическая модель минимизации дополнительного финансирования может быть сформулирована следующим образом:

$$\sum_{j=1}^{M_1} z_j \beta_j + \sum_{l=1}^{K_1} y_l \gamma_l \rightarrow \min; \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} I_{ij} x_i \leq L_j + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_1; \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} t_{ij} x_i \leq (k_l + y_l) r_l, \quad l = 1, 2, \dots, K_1; \quad (19)$$

$$x_i \leq P t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_1; \quad (20)$$

$$x_i \geq Z a_k, \quad i = 1, 2, \dots, n_1; \quad (21)$$

$$x_i \in Z^+; \quad y_l \in Z^+; \quad z_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n_1; \\ l = 1, 2, \dots, K_1; \quad j = 1, 2, \dots, M_1. \quad (22)$$

Решив задачу (17-22), можно определить объемы дополнительного финансирования на закупку материальных ресурсов по формуле:

$$\Delta V_1 = \max \left\{ 0, \sum_{j=1}^{M_1} z_j^* \beta_j - V_1 \right\},$$

где z_j^* – объемы закупок материальных ресурсов, получаемые при решении задачи (17-22) ($j = 1, 2, \dots, M_1$).

Аналогично дополнительное финансирование на закупку оборудования, при котором модель (9-16) будет иметь решение, определяется из следующего соотношения:

$$\Delta V_2 = \max \left\{ 0, \sum_{l=1}^{K_1} y_l^* \gamma_l - V_2 \right\},$$

где y_i^* ($i = 1, 2, \dots, K_i$) – количество единиц закупаемого оборудования вида i , которое будет получено при решении задачи (17-22).

Рассмотрим стратегию реализации проекта расширения производства для ситуации, когда существуют запасы материальных ресурсов в объеме L_j ($j = 1, 2, \dots, M_j$), производственные мощности в количестве K_i ($i = 1, 2, \dots, K_i$) единиц оборудования каждого вида, собственные инвестиционные ресурсы в объеме F , которые могут быть направлены на закупку дополнительного оборудования и материальных ресурсов, а также возможность привлечения кредита в объеме V_1 и кредита в объеме V_2 под процент α для закупки соответственно материальных ресурсов производства и закупки оборудования. Задача заключается в определении того, каким образом наиболее рационально использовать материальные, производственные и финансовые ресурсы, чтобы осуществить проект расширения производства с использованием критерия максимизации прибыли от реализации выпущенной продукции. Решение данной задачи разобьем на несколько этапов.

На первом из них необходимо выяснить, достаточно ли запасов материальных ресурсов и производственных мощностей, чтобы выпустить производимую продукцию в максимально возможных объемах на интервале времени $(0, T)$. Исходя из оптимизационной модели (9-16), эти объемы равны величине Pt_i ($i = 1, 2, \dots, n_i$), т.е. спросу на продукцию. Чтобы выпуск такого объема продукции был возможен без привлечения дополнительных инвестиций (в объеме V_1, V_2, F), необходимо и достаточно, чтобы выполнялись следующие соотношения:

$$\sum_{i=1}^{n_i} I_{ij} Pt_i \leq L_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_j;$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} t_{ii} Pt_i \leq k_i r_i, \quad i = 1, 2, \dots, K_i. \tag{23}$$

Если соотношения (23) выполняются, то дополнительно привлекать инвестиции нет необходимости, и оптимальная производственная программа в модели (9-16) будет следующей:

$$x = (Pt_1, \dots, Pt_{n_i}).$$

Если соотношения (23) не выполняются, то переходим ко второму этапу анализа. В этом случае необходимо выяснить, можно ли, используя только собственные инвестиционные ресурсы в объеме F , добиться того, чтобы оптимальное решение модели (9-16) было равно $x_i = Pt_i$ ($i = 1, 2, \dots, n_i$).

Для ответа на этот вопрос рассмотрим следующую оптимизационную модель.

$$\sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j + \sum_{i=1}^{K_i} y_i \gamma_i \rightarrow \min; \tag{24}$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} I_{ij} Pt_i \leq L_j + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_j; \tag{25}$$

$$\sum_{i=1}^{K_i} t_{ii} Pt_i \leq (k_i + y_i) r_i, \quad i = 1, 2, \dots, K_i; \tag{26}$$

$$z_j \geq 0; \quad y_i \in Z^+. \tag{27}$$

Если значение целевой функции на оптимальном решении задачи (24-27) меньше F , то для обеспечения оптимального выпуска конечной продукции в объеме $x_i = Pt_i$ ($i = 1, 2, \dots, n_i$) достаточно использовать только собственные инвестиции. В противном случае переходим к третьему этапу анализа управления инвестициями. На этом этапе необходимо рассмотреть две стратегии инвестиций в реализацию проекта. Первая из них подразумевает использование в качестве инвестиций только собственных финансовых ресурсов в объеме F , вторая связана с дополнительным привлечением кредита в объеме V_1 и V_2 . В последнем случае выплата процентов по кредиту должна учитываться при оценке прибыли. Иными словами, мы должны рассмотреть величину прибыли при решении двух оптимизационных задач.

Задача 1.

$$\sum_{i=1}^{n_i} a_i x_i - \sum_{i=1}^{n_i} b_i x_i - Z_{посм} \rightarrow \max; \tag{28}$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} I_{ij} x_i \leq L_j + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_j; \tag{29}$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} t_{ii} x_i \leq (k_i + y_i) r_i, \quad i = 1, 2, \dots, K_i; \tag{30}$$

$$\sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j + \sum_{i=1}^{K_i} y_i \gamma_i \leq F; \tag{31}$$

$$x_i \leq Pt_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \tag{32}$$

$$x_i \geq Zak_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \tag{33}$$

$$x_i \in Z^+; \quad y_i \in Z^+; \quad z_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \\ l = 1, 2, \dots, K_i; \quad j = 1, 2, \dots, M_j. \tag{34}$$

В задаче 1 предполагается для реализации проекта расширения производства использовать только собственные инвестиционные ресурсы.

Следующая стратегия предполагает использовать для финансирования данного проекта и кредитные ресурсы. Для оценки ее эффективности решается задача 2.

Задача 2.

$$\sum_{i=1}^{n_i} a_i x_i - \sum_{i=1}^{n_i} b_i x_i - Z_{посм} - \\ - \alpha \left(\sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j + \sum_{i=1}^{K_i} y_i \gamma_i - F \right) \rightarrow \max; \tag{35}$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} I_{ij} x_i \leq L_j + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_j; \tag{36}$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} t_{ii} x_i \leq (k_i + y_i) r_i, \quad i = 1, 2, \dots, K_i; \tag{37}$$

$$F + V_1 + V_2 \geq \sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j + \sum_{i=1}^{K_i} y_i \gamma_i > F; \tag{38}$$

$$\sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j \leq V_1; \tag{39}$$

$$\sum_{i=1}^{K_i} y_i \gamma_i \leq V_2; \tag{40}$$

$$x_i \leq Pt_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \tag{41}$$

$$x_i \geq Z a_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \quad (42)$$

$$x_i \in Z^+; \quad y_l \in Z^+; \quad z_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \\ l = 1, 2, \dots, K_l; \quad j = 1, 2, \dots, M_j. \quad (43)$$

Обозначим значение целевой функции на оптимальном решении задачи 1 через F_1 , а значение целевой функции – на оптимальном решении задачи 2 через F_2 . Очевидно, что если $F_1 > F_2$, то предпочтительнее стратегия без привлечения кредита. Если $F_2 > F_1$, то привлечение кредита обеспечит большую прибыль.

При анализе двух стратегий финансирования проекта расширения производства необходимо сделать два замечания. Первое связано с тем, что даже при использовании максимально возможного объема инвестиций (собственный капитал и кредит в объеме V_1 и V_2) ограничение на заказ (ограничение (15)) в модели (9-16) может быть не выполнено, и тогда возникает вопрос о дополнительном финансировании проекта. Объем дополнительного финансирования может быть в этом случае получен путем решения задачи (17-22). Второе замечание связано с определением максимально высокой ставки по кредиту, при которой стратегия с привлечением кредита более эффективна. Для определения такой ставки необходимо решить следующую задачу:

$\max \alpha$ (44);

$$\sum_{i=1}^{n_i} a_i x_i - \sum_{i=1}^{n_i} b_i x_i - Z_{nocm} \leq \sum_{i=1}^{n_i} a_i x_i - \\ - \sum_{i=1}^{n_i} b_i x_i - Z_{nocm} - \alpha \left(\sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j - \sum_{l=1}^{K_l} y_l \gamma_l - F \right); \quad (45)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} I_{ij} x_i \leq L_j + z_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_j; \quad (46)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} t_{il} x_i \leq (k_l + y_l) r_l, \quad l = 1, 2, \dots, K_l; \quad (47)$$

$$F < \sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j + \sum_{l=1}^{K_l} y_l \gamma_l \leq V_1 + V_2 + F; \quad (48)$$

$$\sum_{j=1}^{M_j} z_j \beta_j \leq V_1; \quad (49)$$

$$\sum_{l=1}^{K_l} y_l \gamma_l \leq V_2; \quad (50)$$

$$x_i \leq P t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \quad (51)$$

$$x_i \geq Z a_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \quad (52)$$

$$x_i \in Z^+; \quad y_l \in Z^+; \quad z_j \geq 0; \quad i = 1, 2, \dots, n_i; \\ l = 1, 2, \dots, K_l; \quad j = 1, 2, \dots, M_j. \quad (53)$$

В модели (45-53) величины x_i^* ($i = 1, 2, \dots, n_i$) – это решение задачи 1, т.е. производственная программа в модели расширения производства без привлечения кредита.

2. Анализ устойчивости в модели управления финансовыми ресурсами при реализации проекта расширения производства

Вернемся к модели (9-16) и рассмотрим, как будет влиять на ее решение инфляция в ситуации роста цен на конечную продукцию, материальные ресурсы производства, производственное оборудование при росте накопленной инфляции. Вначале будем предполагать, что этот рост линейен, т.е.:

$$a_i(\xi) = a_i(0) + n_i a_i(0) \xi; \quad (53.1)$$

$$\beta_j(\xi) = \beta_j(0) + m_j \beta_j(0) \xi; \quad (53.2)$$

$$\gamma_l(\xi) = \gamma_l(0) + q_l \gamma_l(0) \xi; \quad (53.3)$$

$$i = 1, 2, \dots, n_i; \quad l = 1, 2, \dots, K_l; \quad j = 1, 2, \dots, M_j.$$

Здесь считаем, что в какой-то фиксированный момент t_0 накопленная инфляция ξ (в долях) равна нулю, и по мере роста накопленной инфляции цены на перечисленные товары растут по линейному закону. n_i , m_j , q_l – соответственно числовые коэффициенты, отражающие интенсивность роста цен от накопленной инфляции ξ . Если какой-либо из данных коэффициентов больше единицы, это означает, что рост цены на товар соответствующего вида опережает темп инфляции. Если же меньше, то рост цены на продукцию соответствующего вида отстает от темпов инфляции.

Пусть решение задачи (9-16) задается следующими векторами: $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_{n_i})$, $\mathbf{z} = (z_1, \dots, z_{M_j})$, $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_{K_l})$. Представим целевую функцию (9) следующим образом:

$$F = \sum_{i=1}^{n_i} a_i x_i - \sum_{i=1}^{n_i} b_i x_i - \sum_{j=1}^{M_j} \beta_j \sum_{i=1}^{n_i} I_{ij} x_i - Z_{nocm}. \quad (54)$$

где b_i – переменные затраты при выпуске одной единицы продукции вида i без учета затрат на материальные ресурсы.

Таким образом, полные переменные затраты при выпуске единицы продукции вида i мы представили в виде двух компонент:

$$b_i = b_i + \sum_{j=1}^{M_j} \beta_j \sum_{i=1}^{n_i} I_{ij}.$$

где β_j – цена материального ресурса вида j ; I_{ij} – количество затрачиваемого материального ресурса вида j при выпуске единицы продукции вида i .

В условиях накопленной инфляции в объеме ξ величина прибыли на производственной программе $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_{n_i})$ с учетом формулы (54) в модели (9-16) может быть представлена следующим образом:

$$F(\xi) = \sum_{i=1}^{n_i} a_i(\xi) x_i - \sum_{i=1}^{n_i} b_i x_i - \sum_{j=1}^{M_j} \beta_j(\xi) \sum_{i=1}^{n_i} I_{ij} x_i - Z_{nocm}.$$

Очевидно, что при росте накопленной инфляции ξ $F(\xi)$ может быть как возрастающей, так и убы-

вающей функцией аргумента ξ в зависимости от знака производной $\frac{dF(\xi)}{d\xi}$.

С учетом формул (53.1-53.2):

$$\frac{dF(\xi)}{d\xi} = \sum_{i=1}^n n_i a_i(0) x_i - \sum_{j=1}^{M_1} \beta_j(0) m_j \sum_{i=1}^n l_{ij} x_i.$$

Очевидно, что $\frac{dF(\xi)}{d\xi} > 0$,

если $\sum_{i=1}^n n_i a_i(0) x_i > \sum_{j=1}^{M_1} \beta_j(0) m_j \sum_{i=1}^n l_{ij} x_i$

и, следовательно, с ростом инфляции прибыль будет расти в абсолютном выражении, и будет па-

дать, если $\sum_{i=1}^n n_i a_i(0) x_i < \sum_{j=1}^{M_1} \beta_j(0) m_j \sum_{i=1}^n l_{ij} x_i$.

С другой стороны, если мы рассмотрим неравенства (12-13) с учетом изменения стоимости материальных ресурсов и оборудования, то в формализованном виде они могут быть представлены в этом случае следующим образом:

$$\sum_{j=1}^{M_1} z_j (\beta_j(0) + \beta_j(0) m_j \xi) \leq V_1;$$

$$\sum_{i=1}^{K_1} y_i (\gamma_i(0) + \gamma_i(0) q_i \xi) \leq V_2.$$

Очевидно, что если инфляция ξ достигнет уровня, при котором станет невозможным осуществить закупку оборудования в объеме $y = (y_1, \dots, y_{K_1})$ или материальных ресурсов в объеме $z = (z_1, \dots, z_{M_1})$, то продукция в объеме $x = (x_1, \dots, x_{n_1})$ произведена быть не может.

Эта величина накопленной инфляции ξ^i вычисляется по следующей формуле:

$$\xi^i > \min\{\xi_1, \xi_2\}, \text{ где:}$$

$$\xi_1 = \frac{V_1 - \sum_{j=1}^{M_1} z_j \beta_j(0)}{\sum_{j=1}^{M_1} m_j z_j \beta_j(0)}; \tag{55}$$

$$\xi_2 = \frac{V_2 - \sum_{i=1}^{K_1} \gamma_i(0) y_i}{\sum_{i=1}^{K_1} q_i y_i \gamma_i(0)}. \tag{56}$$

Следовательно, при уровне инфляции ξ динамика изменения прибыли в зависимости от знака производной $\frac{dF(\xi)}{d\xi}$ будет изменяться согласно следующей диаграмме (рис. 1).

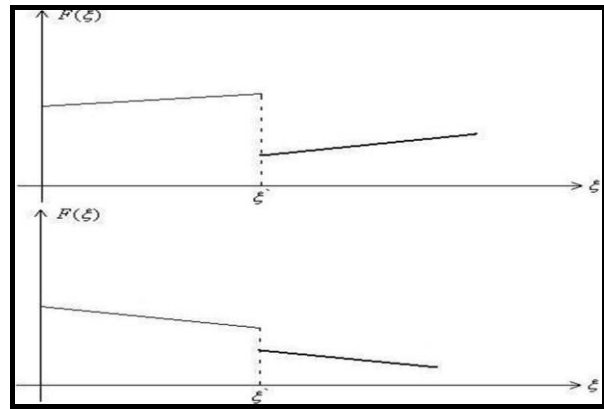


Рис. 1. Графики возможного изменения целевой функции модели (9-16) с ростом накопленной инфляции ξ

Рассмотрим множество допустимых производственных программ модели (9-16):

$$x = \{x^1, \dots, x^N\}.$$

Обозначим значения целевой функции (9) на производственной программе x^j при уровне накопленной инфляции ξ через $F^j(\xi)$. Очевидно, что:

$$F^j(\xi) = \sum_{i=1}^n a_i(\xi) x_i^j - \sum_{i=1}^n b_i x_i^j - \sum_{j=1}^{M_1} \beta_j(\xi) \sum_{i=1}^n l_{ij} x_i^j - Z_{посм}$$

Пусть при $\xi = 0$ оптимальной является производственная программа x^k . Обозначим через Ω множество тех производственных программ, для которых выполняется неравенство:

$$\frac{dF^k(\xi)}{d\xi} < \frac{dF^j(\xi)}{d\xi}, j \in \Omega.$$

Рассмотрим множество уравнений $F^k(\xi) = F^j(\xi)$, $j \in \Omega$ и получим решения этих уравнений $\xi_1, \dots, \xi_{\theta_1}$, где θ_1 – число элементов в множестве Ω . Выберем $\xi_p = \min\{\xi_1, \dots, \xi_{\theta_1}\}$. В этом случае при изменении инфляции в диапазоне $(0, \xi_p)$ оптимальной будет производственная программа x^k , а начиная с уровня инфляции ξ_p , оптимальной будет производственная программа x^p , которая использовалась при решении уравнения $F^k(\xi) = F^p(\xi)$.

Таким образом, можно говорить о неизменности (устойчивости) оптимальной производственной программы x^k в модели (9-16) при изменении инфляции в диапазоне $(0, \xi_p)$.

Если же учитывать соотношения (55-56), связанные с тем, что при уровне инфляции выше, чем $\min\{\xi_1, \xi_2\}$, производственная программа x^k становится недопустимой, то диапазон инфляции, при котором решение x^k будет оставаться оптималь-

ным в модели (9-16) – это интервал $\xi \in (0, \min\{\xi_p, \xi_1, \xi_2\})$.

В ситуации линейного роста цен от инфляции (соотношение (53.1-53.3)) число переходов к новой производственной программе, а также число интервалов устойчивости (интервалов изменения инфляции, в границах которых сохраняет оптимальность одна и та же производственная программа), является конечным.

Если же зависимость цен от накопленной инфляции является более общей, когда, например, цены на сырье, конечную продукцию и оборудование растут нелинейно от ее величины, при $\xi \in (0, \infty)$ выше, указанное свойство конечности точек перехода к новой производственной программе не выполняется. Действительно, пусть имеют место следующие соотношения:

$$a_i(\xi) = a_i(0) + \phi_i(\xi), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (57)$$

$$\beta_j(\xi) = \beta_j(0) + \psi_j(\xi), \quad j = 1, 2, \dots, M, \quad (58)$$

$$\gamma_l(\xi) = \gamma_l(0) + f_l(\xi), \quad l = 1, 2, \dots, K, \quad (59)$$

где $\phi_i(\xi)$, $\psi_j(\xi)$, $f_l(\xi)$ – некоторые неубывающие дифференцируемые функции накопленной инфляции ξ .

Тогда, если, как и ранее, считать, что $F^j(\xi)$ – значение целевой функции в задаче (9-16) на производственной программе x^j ($j = 1, 2, \dots, N$), точки перехода к новой производственной программе вычисляются путем решения следующих уравнений:

$$F^p(\xi) = F^q(\xi), \quad q = 1, 2, \dots, N; \quad (60)$$

$$p = 1, 2, \dots, N, \quad p \neq q.$$

С учетом (57-59) любое уравнение вида (60) будет нелинейным, и, следовательно, может иметь сколь угодно большое количество решений. Конечное число переходов к новой производственной программе при изменении инфляции ξ в диапазоне $(0, \infty)$ можно гарантировать, например, если на функции $\phi_i(\xi)$, $\psi_j(\xi)$ и $f_l(\xi)$ ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, M$; $l = 1, 2, \dots, K$) наложить дополнительные ограничения. Например, можно наложить ограничение, согласно которому эти функции являются полиномами степени не выше n_1 , n_2 и n_3 соответственно. Тогда свойство конечности точек перехода будет сохраняться, хотя оно будет существенно большим, чем в линейном случае. В этом случае верхняя граница количества точек перехода к новой производственной программе есть число

$$\frac{(N^2 - N)(N^2 - N - 1)}{2} * \max\{n_1, n_2, n_3\}.$$

Существенно сократить число точек перехода можно путем дополнительных ограничений на характер роста функций $F^k(\xi)$ ($K = 1, 2, \dots, N$). Например, если потребовать, чтобы $F^k(\xi)$ можно было упорядочить таким образом, что будут выполняться неравенства вида:

$$\frac{dF^1(\xi)}{d\xi} < \frac{dF^2(\xi)}{d\xi} < \dots < \frac{dF^N(\xi)}{d\xi} \quad \forall \xi \in (0, \dots, \infty),$$

то число точек перехода, а следовательно, и число интервалов устойчивости для допустимых производственных программ множества $x = \{x^1, \dots, x^N\}$, будет не более N .

3. Статические модели управления финансовыми ресурсами проекта расширения производства с учетом риска

В представленных выше моделях управления проектом расширения производства предполагалось, что на фиксированном временном интервале такие экономические показатели, как цена реализуемой продукции, спрос на нее, издержки производства, стоимость материальных и производственных ресурсов либо заданы детерминировано, либо могут меняться по известному закону. В то же время такую определенность не всегда можно гарантировать, особенно если речь идет о производстве инновационных видов продукции и услуг.

Ниже будут рассмотрены ситуации, когда маржинальный доход $c_i = a_i - b_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) от производства единицы продукции вида i есть случайная величина. Иными словами, задано распределение:

$$c_i = \begin{cases} c_i^1 & p_1 \\ \dots & \dots \\ c_i^m & p_m \end{cases}; \quad p_j \geq 0; \quad \sum_{j=1}^m p_j = 1.$$

Случайной величиной будем также считать и спрос на продукцию вида $\sum_{i=1}^m p_i = 1$ ($i = 1, 2, \dots, n$):

$$Pt_i = \begin{cases} Pt_i^1 & p_1 \\ \dots & \dots \\ Pt_i^{m_1} & p_{m_1} \end{cases}; \quad p_j \geq 0; \quad \sum_{j=1}^{m_1} p_j = 1.$$

В этой ситуации можно, используя ранее рассмотренные модели, положить, что маржинальный доход от реализации продукции вида i есть математическое ожидание этого показателя. Аналогично в качестве спроса на продукцию можно использовать его математическое ожидание, т.е. $\bar{c}_i = \sum_{j=1}^m c_i^j p_j$; $\bar{Pt}_i = \sum_{j=1}^{m_1} Pt_i^j p_j$.

Очевидно, что имея одно и то же значение математического ожидания дохода \bar{c}_i , мы можем получить распределения с большей или меньшей волатильностью дохода. Эта волатильность может быть использована в качестве количественной оценки риска производственной программы при реализации проекта расширения производства. Кроме этого риска в данной ситуации могут быть рассмотрены еще и такие характеристики, как риск перепроизводства и риск упущенной выгоды. Последние два показателя являются следствием неопределенности в оценке спроса.

Итак, будем считать, что маржинальный доход $c_i = a_i - b_i$ есть случайная величина с заданным дискретным распределением вероятностей, и рассмотрим один из возможных подходов для оценки риска доходности производственной программы.

Ниже предполагается, что предприятие не обладает какими-либо запасами материальных ресурсов и оборудования требуемых видов и использует в ходе реализации проекта расширения производства денежные средства в объеме V_1 и V_2 для закупки соответствующих ресурсов, необходимых для выпуска расширенного ассортимента продукции.

Обозначим долю затрат на закупку материальных ресурсов для выпуска одной единицы продукции вида i через Zt_i . Очевидно, что $Zt_i = \sum_{j=1}^{M_1} \beta_j I_{ij}$. В этом случае ограничение на объем финансовых ресурсов, направляемых на закупку материалов и сырья при заданной производственной программе, $x = (x_1, \dots, x_{n_1})$ состоит в следующем:

$$\sum_{i=1}^{n_1} Zt_i x_i \leq V_1. \tag{61}$$

Разделим обе части неравенства (61) на положительную величину V_1 и получим:

$$\sum_{i=1}^{n_1} \frac{Zt_i x_i}{V_1} \leq 1. \text{ Введем новую переменную } g_i = \frac{Zt_i x_i}{V_1},$$

которая обозначает долю от общего объема инвестиционных ресурсов V_1 , которая будет потрачена на выпуск продукции вида i . Очевидно, что $x_i = \frac{g_i V_1}{Zt_i}$.

Оценим дисперсию доходности производственной программы $x = (x_1, \dots, x_{n_1})$, которая является количественной оценкой риска ее доходности следующим образом:

$$\tau_{nn}^2 = \sum_{i=1}^{n_1} y_i^2 \tau_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j>i}^{n_1} cov_{ij} y_i y_j, \tag{62}$$

где τ_i^2 – дисперсия доходности продукции вида i ; cov_{ij} – ковариация доходности продукции вида i и j ($i = 1, 2, \dots, n_1$).

В этой ситуации модель расширения производства по критерию оптимизации математического ожидания прибыли от выпускаемой продукции может быть представлена следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{n_1} c_i \frac{g_i V_1}{Zt_i} \rightarrow \max; \tag{63}$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} g_i \leq 1; \tag{64}$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} g_i^2 \tau_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j>i}^{n_1} cov_{ij} g_i g_j \leq Rg. \tag{65}$$

Здесь Rg – максимальная допустимая волатильность доходности производственной программы:

$$\sum_{i=1}^{n_1} t_{ij} \frac{g_i V_1}{Zt_i} \leq r_i w_i, \quad i = 1, 2, \dots, K_1;$$

$$\sum_{i=1}^{M_1} I_{ij} \frac{g_i V_1}{Zt_i} \leq z_j, \quad j = 1, 2, \dots, M_1. \tag{66}$$

Ограничения (66) – это ограничение на производственные мощности и ограничение на материальные ресурсы. Здесь переменная w_i ($i = 1, 2, \dots, K_1$) задает количество закупаемых единиц оборудования вида i , а переменная z_j – объем закупаемых материальных ресурсов:

$$\sum_{i=1}^{K_1} w_i \gamma_i \leq V_2. \tag{67}$$

Соотношение (67) задает ограничение на объем инвестиций, направляемых на закупку оборудования вида i . Здесь γ_i – цена единицы закупаемого оборудования вида i :

$$w_i \in Z^+; \gamma_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, K_1; \tag{68}$$

$$\frac{g_i V_1}{Zt_i} \leq Pt_i, \quad i = 1, 2, \dots, n_1. \tag{69}$$

Таким образом, в модели (63-69), как уже отмечалось, максимизируется ожидаемая прибыль от реализации портфеля выпущенной продукции при ограничениях на волатильность доходности этого портфеля, производственную мощность предприятия и спрос на данную продукцию. Получив оптимальное решение задачи (63-69), мы определим доли инвестиций в закупку материальных ресурсов по каждому виду продукции g_i ($i = 1, 2, \dots, n_1$). Ис-

пользуя формулу перехода $x_i = \frac{g_i V_1}{Zt_i}$ ($i = 1, 2, \dots, n_1$),

мы получим производственную программу выпуска конечной продукции, удовлетворяющей критерию оптимальности и ограничениям задачи (63-69).

Учитывая два показателя эффективности производственной программы $x = (x_1, \dots, x_{n_1})$ – риск и ее доходность, в качестве главного критерия может быть выбран также риск ее доходности, а ожидаемая доходность может быть ограничена снизу. В этом случае в модели (63-69) выражение (63) перейдет в ограничения, а показатель риска (левую часть неравенства (65)) необходимо будет минимизировать.

Вернемся к ситуации, когда спрос на продукцию задан как случайная величина, и в этом случае, как говорилось выше, в качестве оценки спроса можно использовать его математическое ожидание. Тогда, кроме рассмотренного выше риска доходности портфеля выпускаемой продукции, могут быть рассмотрены еще два вида риска.

Первый – это риск упущенной выгоды, который оценивается как математическое ожидание потерь, связанных с тем, что фактический спрос может оказаться с заданной вероятностью выше, чем математическое ожидание спроса. Формула количественной оценки этого вида риска заключается в следующем:

$$R_{y.e.} = \sum_{i=1}^{n_1} c_i \sum_{j=1}^{m_1} \Delta_{ij} p_j, \tag{70}$$

где $R_{y.e.}$ – риск упущенной выгоды;

\bar{c}_i – математическое ожидание доходности продукции вида i ;

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } Pt_i^j - x_i \leq 0; \\ Pt_i^j - x_i, & \text{если } Pt_i^j - x_i > 0; \end{cases}$$

p_j – вероятность того, что спрос на выпускаемую продукцию вида i равен Pt_i^j ($i = 1, 2, \dots, n_i$);

x_i – объем выпуска продукции вида i .

Риск перепроизводства оценивается как математическое ожидание потерь, связанных с тем, что объем выпуска продукции оказался больше, чем объем спроса на эту продукцию. Вычисляется риск перепроизводства по следующей формуле:

$$R_n = \sum_{i=1}^{n_i} b_i \sum_{j=1}^{M_i} \theta_i^j P_j. \quad (71)$$

В формуле (71) R_n – количественная оценка риска перепроизводства;

b_i – переменные затраты, связанные с выпуском единицы продукции вида i (или ее себестоимость).

Показатель θ_i^j вычисляется, исходя из следующей формулы:

$$\theta_i^j = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i - Pt_i^j \leq 0; \\ x_i - Pt_i^j, & \text{если } x_i - Pt_i^j > 0; \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, n_i, \quad j = 1, 2, \dots, M_i.$$

Как и ранее, в приведенной выше формуле $x = (x_1, \dots, x_n)$ задает объемы выпуска продукции; Pt_i^j задает спрос на продукцию вида i с вероятностью P_j ($i = 1, 2, \dots, n_i$; $j = 1, 2, \dots, M_i$).

Перейдем к анализу примера вычисления риска упущенной выгоды и риска перепроизводства. Рассмотрим производственную программу предприятия, выпускающего два вида продукции в количестве $x_1 = 10$; $x_2 = 7$.

Соответственно $x = (x_1, x_2) = (10, 7)$.

Спрос на выпускаемую продукцию зададим как случайную величину с известным вероятностным распределением (табл. 1).

Таблица 1

СПРОС НА ВЫПУСКАЕМУЮ ПРОДУКЦИЮ

| Заданные вероятности | Спрос на продукцию первого вида | Спрос на продукцию второго вида |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| $P_1 = 1/2$ | 10 | 8 |
| $P_2 = 1/3$ | 9 | 3 |
| $P_3 = 1/6$ | 12 | 12 |

Определим ожидаемый спрос по первому и второму виду продукции:

$$\bar{Pt}_1 = \sum_{j=1}^{M_1} Pt_1^j P_j = 10 * 1/2 + 9 * 1/3 + 12 * 1/6 = 10;$$

$$\bar{Pt}_2 = \sum_{j=1}^{M_2} Pt_2^j P_j = 8 * 1/2 + 3 * 1/3 + 12 * 1/6 = 7.$$

Учитывая полученные результаты, можно сделать вывод, что если в качестве ограничения на спрос использовать математическое ожидание спроса на первую продукцию ($\bar{Pt}_1 = 10$) и математическое ожидание спроса на вторую продукцию ($\bar{Pt}_2 = 7$), то производственная программа $x = (10, 7)$ не нарушает ограничений на спрос. Используя формулы (70) и (71), определим указанные выше риски, если цены реализации продукции (a_1 и a_2) и переменные издержки (b_1 и b_2) заданы следующим образом:

$$a_1 = 2000; \quad a_2 = 1500; \quad b_1 = 1200; \quad b_2 = 1000.$$

На основе этих данных получаем значение маржинального дохода по каждому виду выпускаемой продукции:

$$c_1 = a_1 - b_1 = 2000 - 1200 = 800;$$

$$c_2 = a_2 - b_2 = 1500 - 1000 = 500.$$

Далее, непосредственно используя формулы (70) и (71), получим количественную оценку риска упущенной выгоды:

$$R_{y.g.} = \sum_{i=1}^{n_i} \bar{c}_i \sum_{j=1}^{M_i} \Delta_{ij} P_j = 1/6 * (12 - 10) * \\ * 800 + 1/2 * (8 - 7) * 500 + \\ + 1/6 * (12 - 7) * 500 = 934$$

и соответственно риска перепроизводства:

$$R_n = \sum_{i=1}^{n_i} b_i \sum_{j=1}^{M_i} \theta_i^j P_j = 1/3 * (10 - 9) * \\ * 1200 + 1/3 * (7 - 3) * 1000 = 1733.$$

В приведенных расчетах в качестве потерь при оценке риска перепроизводства использовались переменные затраты при выпуске единицы продукции каждого вида. В то же время в качестве характеристики потерь может быть использована и себестоимость нереализованной продукции.

4. Динамические модели оценки эффективности проекта расширения производства

В этом разделе будет рассмотрена ситуация, когда задана не только производительность участвующего в производственном процессе оборудования, но и определена последовательность обработки материальных ресурсов и незавершенного производства на всех технологических операциях.

В простейшем случае эта последовательность для каждого вида выпускаемой продукции представляет собой технологическую цепь, поэтому, если речь идет об N видах готовой продукции, то последовательность обработки на всех технологических операциях графически может быть представлена в виде специального ориентированного графа, который еще называют π -сетью.

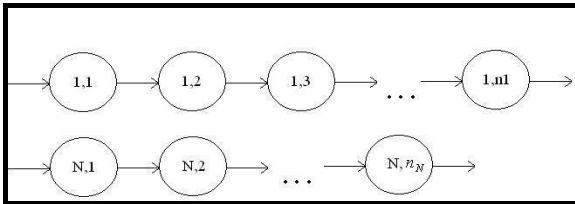


Рис. 2. Графическое представление последовательности выполнения технологических операций при выпуске N видов конечной продукции

На рис. 2 показано, что на операции $Q_{11}, Q_{21}, \dots, Q_{N1}$ подаются материальные ресурсы производства, которые проходят обработку на всех промежуточных операциях Q_{ij} ($i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1, 2, \dots, n_i$), и после того как закончена обработка на операциях Q_{1n1}, \dots, Q_{NnN} , на выходе будет получена конечная продукция.

В ситуации, когда реализуется проект расширения производства, мы переходим к выпуску дополнительных видов конечной продукции вида $N+1, N+2, \dots, N_1$.

Поэтому ориентированный граф (π -сеть), отражающий последовательность выполнения технологических операций, в этом случае приобретает следующий вид.

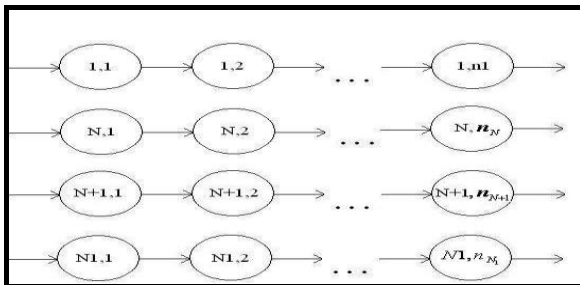


Рис. 3. Технологическая схема производства при расширении с N видов продукции до $M1$ ($M1 > N$)

На рис. 3 графически представлена последовательность технологических операций при расширении числа видов выпускаемой продукции с N до N_1 .

В условиях реализации проекта расширения производства предполагается, что выделяются инвестиции как на закупку дополнительного оборудования, так и на закупку материальных ресурсов производства. В этих условиях необходимо определить объемы выпуска продукции вида i ($i = 1, 2, \dots, N_1$) на временном интервале $(0, T)$, обеспечивающие максимум прибыли при реализации выпускаемой продукции. Обозначим через β_i разность между ценой реализации единицы продукции вида i и переменными издержками при выпуске одной единицы продукции вида i , т.е. $\beta_i = a_i - b_i$ ($i = 1, 2, \dots, N_1$). Через q_{in_i} обозначим интенсивность выпуска конечной продукции с операций Q_{in_i} ($i = 1, 2, \dots, N_1$).

С учетом этих обозначений целевая функция, максимизирующая маржинальный доход, может быть записана в следующем виде:

$$\sum_{i=1}^{M_1} \beta_i \int_0^T q_{in_i}(t) dt \rightarrow \max. \tag{72}$$

При максимизации целевой функции должны быть выполнены следующие ограничения:

$$\int_0^{t^*} q_{ij}(t) dt \leq V_{ij}(0) + \int_0^{t^*} q_{ij-1}(t) dt \quad \forall t^* \in (0, T),$$

$$j = 2, 3, \dots, n_i; \tag{73}$$

$$\int_0^T q_{i1}(t) dt \leq V_{i1}(0) + U_{i1}, \quad i = 1, 2, \dots, N_1. \tag{73.1}$$

Суть ограничения (73) состоит в том, что объем обработки материальных ресурсов на каждой операции Q_{ij} для любого момента времени $(0, t^*) \subseteq (0, T)$ не может быть больше, чем объем этих ресурсов на операции Q_{ij} в момент $t = 0$, т.е. $V_{ij}(0)$ плюс объем ресурсов, поступивший с предыдущей операции за период $(0, t^*)$, т.е. $\int_0^{t^*} q_{ij-1}(t) dt$.

В ограничении (73.1) U_{i1} – общий объем материальных ресурсов, поступивших на вход операции Q_{i1} в процессе производства.

$$\sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{q_{ij}(t)}{q_{ij}^0(t)} \alpha_{ijl}^0 \leq c_l + y_l, \quad j = 1, 2, \dots, n_i,$$

$$\forall t \in (0, T), \quad l = 1, 2, \dots, K_l. \tag{74}$$

В ограничении (74) $q_{ij}(t)$ – производительность на операции Q_{ij} в момент времени t ; $q_{ij}^0(t)$ – минимально возможная производительность на операции Q_{ij} ; α_{ijl}^0 – объем производственных ресурсов вида l , необходимый для обеспечения минимальной производительности на операции Q_{ij} ($i = 1, 2, \dots, N_1$, $j = 1, 2, \dots, n_i$, $l = 1, 2, \dots, K_l$). Здесь K_l – число видов производственных ресурсов; c_l – количество единиц производственных ресурсов вида l ; y_l – количество единиц дополнительно закупаемого оборудования вида l ($l = 1, 2, \dots, K_l$).

Ограничение (74) представляет собой один из типов ограничений на производственные мощности для ситуации, когда для обеспечения минимальной производительности требуется фиксированный объем производственных ресурсов (оборудование, инструменты, специалисты и т.д.).

В некоторых ситуациях целесообразно использовать другой подход, основанный на том, что каждая единица производственного ресурса обладает ограниченной производительностью на каждой операции и тогда необходимо определить не только объем производственных ресурсов, выделяемых на операцию, но и определить, на какую именно операцию эти ресурсы направляются, т.е. дополнительно решить задачу о назначениях:

$$\sum_{I=1}^{K_1} y_I \gamma_I \leq V. \tag{75}$$

В ограничении (75) y_I – число единиц дополнительно закупаемого оборудования; γ_I – цена единицы закупаемого оборудования вида I ($I = 1, 2, \dots, K_1$); V – объем инвестиций для закупки производственных ресурсов:

$$\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{M_1} M_{ik} W_k \leq V_i, \quad k = 1, 2, \dots, M_1. \tag{76}$$

Здесь W_k – стоимость единицы материального ресурса k ; M_{ik} – объем материальных ресурсов вида k , закупаемый для производства продукции вида i ($i = 1, 2, \dots, N_1$); V_i – объем финансовых средств, привлекаемых для закупки материальных ресурсов.

$$\int_0^T q_{ini}(t) dt \geq Z a_{ki}, \quad i = 1, 2, \dots, N_1; \tag{77}$$

$$\int_0^T q_{ini}(t) dt \leq P t_i, \quad i = 1, 2, \dots, N_1; \tag{78}$$

$$q_{ij}(t) \geq 0 \quad \forall t \in (0, T), \quad U_{ij} \geq 0, \quad y_I \in Z^+. \tag{79}$$

Ограничения (77) и (78) соответственно ограничения на спрос и заказ по выпускаемой продукции.

Задача (78-79) не всегда имеет решение либо по причине недостатка материальных ресурсов производства, либо в связи с недостатком производственной мощности предприятия. Поэтому для того чтобы обеспечить выполнение заказа (ограничение (77)), могут потребоваться дополнительные инвестиции.

Для определения минимального объема инвестиций, который позволит выполнить заказ, необходимо решить следующую оптимизационную задачу:

$$\sum_{I=1}^{M_1} y_I \gamma_I + \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{M_1} M_{ik} W_k \rightarrow \min; \tag{80}$$

$$\int_0^{t^*} q_{ijk}(t) dt \leq V_{ijk}(0) + \int_0^{t^*} q_{ij-1k}(t) dt \quad \forall t^* \in (0, T), \tag{81}$$

$$j = 1, 2, \dots, n_i, \quad k = 1, 2, \dots, M_i.$$

Здесь для $j = 1$ $V_{ijk}(0)$ берется с учетом поставки дополнительных материальных ресурсов в объеме U_{ik} .

$$\sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{q_{ij}(t)}{q_{ij}(t)} \alpha_{ij}^0 \leq c_i + y_i; \tag{82}$$

$$\int_0^T q_{ini}(t) dt \geq Z a_{ki}, \quad i = 1, 2, \dots, N_1; \tag{83}$$

$$\int_0^T q_{ini}(t) dt \leq P t_i, \quad i = 1, 2, \dots, N_1; \tag{84}$$

$$q_{ij}(t) \geq 0 \quad \forall t \in (0, T), \quad U_{ij} \geq 0, \quad y_I \in Z^+. \tag{85}$$

Решение задачи (80-85) определит необходимый объем инвестиций в закупку материальных ресурсов производства и оборудования, который позволит выпустить конечную продукцию в объемах не менее $Z a_{ki}$ ($i = 1, 2, \dots, N_1$).

5. Практический пример реализации проекта расширения производства для предприятия, производящего инновационное отопительное оборудование

5.1. Статическая модель управления финансовыми ресурсами при реализации проекта расширения производства для предприятия, производящего инновационное отопительное оборудование

Рассмотрим использование комплекса приведенных выше моделей на практическом примере реализации проекта расширения производства для предприятия, осуществляющего выпуск инновационного отопительного оборудования различных видов. Пусть предприятие приняло решение расширить ассортимент выпускаемой продукции с трех видов до пяти, осуществив проект выпуска партии солнечных коллекторов, буферных емкостей, гелиосистем, а также двух новых видов отопительного оборудования – тепловых насосов и терморегуляторов.

Для производства данных видов продукции используются материальные ресурсы четырех видов – пластмасса, сталь, резина, стекло, а также оборудование четырех видов – сварочные аппараты, фрезерные станки, аппараты воздушно-плазменной резки и сварочно-монтажные столы. Объем существующих у предприятия запасов материальных ресурсов приведен в табл. 2. Объем имеющихся у предприятия производственных мощностей приведен в табл. 3.

Объем материальных ресурсов каждого вида, необходимый для выпуска единицы соответствующего вида продукции, представлен в табл. 4.

Время загрузки оборудования каждого вида (в часах) при производстве одной единицы каждого вида продукции приведено в табл. 5.

Таблица 2

ОБЪЕМ ЗАПАСОВ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

| Вид ресурса | Объем запасов |
|----------------------------|---------------|
| Пластмасса, м ³ | 2 000 |
| Сталь, кг | 10 000 |
| Резина, кг | 1 500 |
| Стекло, кг | 3 000 |

Таблица 3

ОБЪЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ

шт.

| Вид оборудования | Имеющееся количество |
|------------------------------------|----------------------|
| Сварочные аппараты | 40 |
| Фрезерные станки | 44 |
| Аппараты воздушно-плазменной резки | 50 |
| Сварочные монтажные столы | 52 |

Таблица 4

**ОБЪЕМ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ,
НЕОБХОДИМЫЙ ДЛЯ ВЫПУСКА ЕДИНИЦЫ
ПРОДУКЦИИ**

| Вид материального ресурса | Солнечный коллектор | Буферная емкость | Геосистема | Тепловой насос | Терморегулятор |
|----------------------------|---------------------|------------------|------------|----------------|----------------|
| Пластмасса, м ³ | 2,00 | 2,50 | 2,50 | 2,40 | 0,20 |
| Сталь, кг | 8,00 | 12,00 | 9,00 | 6,00 | 0,30 |
| Резина, кг | 1,10 | 3,00 | 1,40 | 2,50 | 0,20 |
| Стекло, кг | 1,50 | 2,10 | 1,00 | 2,00 | 0,35 |

Таблица 5

**ВРЕМЯ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ
ПРОИЗВОДСТВЕ ОДНОЙ ЕДИНИЦЫ ПРОДУКЦИИ**

| Вид оборудования | Вид продукции | | | | |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|------------|----------------|----------------|
| | солнечный коллектор | буферная емкость | геосистема | тепловой насос | терморегулятор |
| Сварочный аппарат | 4,00 | 2,50 | 4,10 | 2,10 | 0,30 |
| Фрезерный станок | 2,00 | 3,10 | 2,45 | 2,50 | 0,20 |
| Аппарат воздушно-плазменной резки | 3,40 | 1,50 | 1,10 | 2,10 | 0,10 |
| Сварочно-монтажный стол | 3,50 | 4,10 | 4,10 | 3,40 | 0,25 |

Таблица 6

СТОИМОСТЬ ЕДИНИЦЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Руб.

| Вид оборудования | Стоимость 1 ед. |
|------------------------------------|-----------------|
| Сварочные аппараты | 78 000 |
| Фрезерные станки | 232 000 |
| Аппараты воздушно-плазменной резки | 26 000 |
| Сварочные монтажные столы | 70 000 |

Стоимость единицы оборудования каждого вида приведена в табл. 6. Цена закупки материального ресурса каждого вида приводится в табл. 7.

Таблица 7

ЦЕНА ЗАКУПКИ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

| Вид ресурса | Стоимость |
|-------------|-------------------------|
| Пластмасса | 350 руб./м ³ |
| Сталь | 410 руб./кг |
| Резина | 250 руб./кг |
| Стекло | 270 руб./кг |

Исследования рынка, проведенные руководителями проекта, позволили установить, что ожидаемая рыночная цена солнечных коллекторов составит 20 тыс. руб. за шт., буферных емкостей – 150 тыс. руб. за шт., геосистем – 28 тыс. руб. за шт., тепловых насосов – 70 тыс. руб. за шт., терморегуляторов – 700 руб. за шт. Переменные затраты предприятия на производство одного солнечного коллектора составит 15 тыс. руб. за шт., буферных емкостей – 120 тыс. руб. за шт., геосистем – 21 тыс. руб. за шт., тепловых насосов – 61 тыс. руб. за

шт., терморегуляторов – 350 руб. за шт. Постоянные затраты составляют 700 тыс. руб.

Также фирма получила предварительный заказ на поставку всех видов отопительного оборудования: 150 шт. для солнечных коллекторов, 100 шт. для буферных емкостей, 300 шт. для геосистем, 90 шт. для тепловых насосов и 1 500 шт. для терморегуляторов.

Эффективное время работы оборудования за период осуществления проекта составляет 100 ч для сварочных аппаратов, 80 ч для фрезерных станков, 70 ч для аппаратов воздушно-плазменной резки, 120 ч для сварочно-монтажных столов.

Собственные инвестиционные ресурсы, которыми располагает организация и которые могут быть направлены на закупку дополнительного оборудования и материальных ресурсов, составляют 6 млн. руб.

Также существует возможность привлечения кредита в объеме 5 млн. руб. и 6 млн. руб. со ставкой 15% годовых для закупки соответственно материальных ресурсов производства и закупки оборудования.

Определим, каким образом наиболее рационально использовать материальные, производственные и финансовые ресурсы предприятия, чтобы осуществить проект расширения производства с использованием критерия максимизации прибыли от реализации выпущенной продукции. Решим данную задачу в несколько этапов.

На первом этапе выясним, достаточно ли запасов материальных ресурсов и производственных мощностей, чтобы осуществить проект выпуска отопительного оборудования в максимально возможных объемах, которые соответствуют объемам спроса на продукцию.

Комплекс исследований, осуществленных менеджерами проекта, позволил установить, что объем спроса на продукцию предприятия составит 400 шт. для солнечных коллекторов, 300 шт. для буферных емкостей, 500 шт. для геосистем, 550 шт. для тепловых насосов и 5000 шт. для терморегуляторов.

Чтобы выпуск такого объема продукции был возможен без привлечения дополнительных инвестиций, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись соотношения (23):

$$\sum_{i=1}^m l_{ij} P t_i \leq L_j, j = 1, 2, \dots, M_j;$$

$$\sum_{i=1}^m t_{il} P t_i \leq k_l r_l, l = 1, 2, \dots, K_l.$$

- где $P t_i$ – ожидаемый спрос на продукцию вида i ;
- l_{ij} – объем материальных ресурсов вида j , необходимых для выпуска единицы продукции вида i ;
- L_j – запасы материальных ресурсов вида j ;
- t_{il} – время загрузки оборудования вида l при выпуске одной единицы продукции вида i ;
- k_l – количество имеющихся единиц оборудования вида l ;
- r_l – эффективное время использования оборудования вида l .

$$\sum_{i=1}^4 I_{i1} P t_i = 2 * 400 + 2,5 * 300 + 2,5 * 500 + 2,4 * 550 + 0,2 * 5000 = 5120 ;$$

$$L_1 = 2000 ; L_1 < \sum_{i=1}^4 I_{i1} P t_i ;$$

$$\sum_{i=1}^4 I_{i2} P t_i = 8 * 400 + 12 * 300 + 9 * 500 + 6 * 550 + 0,3 * 5000 = 16100 ;$$

$$L_2 = 10000 ; L_2 < \sum_{i=1}^4 I_{i2} P t_i ;$$

$$\sum_{i=1}^4 I_{i3} P t_i = 1,1 * 400 + 3 * 300 + 1,4 * 500 + 2,5 * 550 + 0,2 * 5000 = 4415 ;$$

$$L_3 = 1500 ; L_3 < \sum_{i=1}^4 I_{i3} P t_i ;$$

$$\sum_{i=1}^4 I_{i4} P t_i = 1,5 * 400 + 2,1 * 300 + 1 * 500 + 2 * 550 + 0,35 * 5000 = 4580 ;$$

$$L_4 = 3000 ; L_4 < \sum_{i=1}^4 I_{i4} P t_i .$$

$$\sum_{i=1}^4 t_{i1} P t_i = 4 * 400 + 2,5 * 300 + 4,1 * 500 + 2,1 * 550 + 0,3 * 5000 = 7055 ;$$

$$k_1 r_1 = 40 * 100 = 4000 ; k_1 r_1 < \sum_{i=1}^4 t_{i1} P t_i ;$$

$$\sum_{i=1}^4 t_{i2} P t_i = 2 * 400 + 3,1 * 300 + 2,45 * 500 + 2,5 * 550 + 0,2 * 5000 = 5330 ;$$

$$k_2 r_2 = 44 * 80 = 3520 ; k_2 r_2 < \sum_{i=1}^4 t_{i2} P t_i ;$$

$$\sum_{i=1}^4 t_{i3} P t_i = 3,4 * 400 + 1,5 * 300 + 1,1 * 500 + 2,1 * 550 + 0,1 * 5000 = 4015 ;$$

$$k_3 r_3 = 50 * 70 = 3500 ; k_3 r_3 < \sum_{i=1}^4 t_{i3} P t_i ;$$

$$\sum_{i=1}^4 t_{i4} P t_i = 3,5 * 400 + 4,1 * 300 + 4,1 * 500 + 3,4 * 550 + 0,25 * 5000 = 7800 ;$$

$$k_4 r_4 = 52 * 120 = 6240 ; k_4 r_4 < \sum_{i=1}^4 t_{i4} P t_i .$$

Очевидно, что соотношение (23) не выполняется, поэтому для реализации проекта фирме необходимо осуществить привлечение дополнительных инвестиций.

Вследствие этого переходим ко второму этапу решения задачи.

Определим, осуществимо ли, используя только собственные инвестиционные ресурсы в объеме 6 млн. руб., добиться того, чтобы стал возможен выпуск отопительного оборудования в объемах, которые соответствуют спросу на продукцию.

Для ответа на этот вопрос рассмотрим следующую оптимизационную модель (24-27).

$$\begin{aligned} & z_1 * 350 + z_2 * 410 + z_3 * \\ & * 250 + z_4 * 270 + y_1 * \\ & * 78000 + y_2 * 232000 + y_3 * ; \\ & * 26000 + y_4 * 70000 \rightarrow \min \\ & 5120 \leq 2000 + z_1 ; \\ & 16100 \leq 10000 + z_2 ; \\ & 4415 \leq 1500 + z_3 ; \\ & 4580 \leq 3000 + z_4 ; \\ & 7055 \leq (40 + y_1) * 100 ; \\ & 5330 \leq (44 + y_2) * 80 ; \\ & 4015 \leq (50 + y_3) * 70 ; \\ & 7800 \leq (52 + y_4) * 120 ; \\ & z_j \geq 0 ; y_i \in Z^+ . \end{aligned}$$

Здесь z_j – объем дополнительно закупаемых материальных ресурсов вида j , $j = 1, 2, \dots, M$, y_i – количество дополнительно закупаемого оборудования вида i , $i = 1, 2, \dots, K$.

Решением данной оптимизационной задачи является оптимальная программа закупки дополнительных ресурсов вида: $z_1 = 3120$; $z_2 = 6100$; $z_3 = 2915$;

$z_4 = 1580$; $y_1 = 31$; $y_2 = 23$; $y_3 = 8$; $y_4 = 13$, при целевой функции, равной 13 620 350 руб.

Таким образом, значение целевой функции на оптимальном решении данной задачи значительно больше величины имеющихся у организации собственных инвестиционных ресурсов (6 млн. руб.).

Вследствие этого переходим к третьему этапу анализа.

Рассмотрим две стратегии инвестиций в реализацию проекта выпуска продукции. Первая из них предполагает использование только собственных финансовых ресурсов в объеме 6 млн. руб., вторая предполагает дополнительное привлечение кредита в объеме 5 млн. руб. и 6 млн. руб. со ставкой 15% годовых для закупки соответственно материальных ресурсов производства и закупки оборудования.

Рассмотрим ожидаемую величину прибыли фирмы при реализации первой стратегии. Для этого решим следующую оптимизационную задачу (28-34).

$$\begin{aligned} & 20000 * x_1 + 150000 * x_2 + 28000 * \\ & * x_3 + 70000 * x_4 + 700 * x_5 - \\ & - (15000 * x_1 + 120000 * x_2) + \\ & + (21000 * x_3 + 61000 * x_4 + 350 * x_5) - \\ & - 700000 \rightarrow \max ; \\ & 2 * x_1 + 2,5 * x_2 + 2,5 * x_3 + \\ & + 2,4 * x_4 + 0,2 * x_5 \leq 2000 + z_1 ; \\ & 8 * x_1 + 12 * x_2 + 9 * x_3 + \\ & + 6 * x_4 + 0,3 * x_5 \leq 10000 + z_2 ; \end{aligned}$$

$$1,1 * x_1 + 3 * x_2 + 1,4 * x_3 + 2,5 * x_4 + 0,2 * x_5 \leq 1500 + z_3;$$

$$1,5 * x_1 + 2,1 * x_2 + 1 * x_3 + 2 * x_4 + 0,35 * x_5 \leq 3000 + z_4;$$

$$4 * x_1 + 2,5 * x_2 + 4,1 * x_3 + 2,1 * x_4 + 0,3 * x_5 \leq (40 + y_1) * 100;$$

$$2 * x_1 + 3,1 * x_2 + 2,45 * x_3 + 2,5 * x_4 + 0,2 * x_5 \leq (44 + y_2) * 80;$$

$$3,4 * x_1 + 1,5 * x_2 + 1,1 * x_3 + 2,1 * x_4 + 0,1 * x_5 \leq (50 + y_3) * 70;$$

$$3,5 * x_1 + 4,1 * x_2 + 4,1 * x_3 + 3,4 * x_4 + 0,25 * x_5 \leq (52 + y_4) * 120;$$

$$z_1 * 350 + z_2 * 410 + z_3 * 250 + z_4 * 270 + y_1 * 78000 + y_2 * 232000 + y_3 * 26000 + y_4 * 70000 \leq 6000000$$

$$x_1 \leq 400; x_2 \leq 300; x_3 \leq 500;$$

$$x_4 \leq 550; x_5 \leq 5000;$$

$$x_1 \geq 150; x_2 \geq 100; x_3 \geq 300;$$

$$x_4 \geq 90; x_5 \geq 1500;$$

$$x_i \in Z^+; y_l \in Z^+; z_j \geq 0,$$

где x_i – объем выпуска продукции вида i ;

$i = 1, 2, \dots, n_i$, z_j – объем дополнительнокупаемых материальных ресурсов вида j , $j = 1, 2, \dots, M_j$;

y_l – количество дополнительнокупаемого оборудования вида l , $l = 1, 2, \dots, K_l$.

Решением данной оптимизационной задачи является программа выпуска продукции следующего вида: $x_1 = 205$; $x_2 = 300$; $x_3 = 500$; $x_4 = 550$; $x_5 = 1500$.

При этом дополнительные ресурсы закупаются в следующих количествах: $z_1 = 2030$; $z_2 = 3490$;

$z_3 = 2000,5$; $z_4 = 62,5$; $y_1 = 13$; $y_2 = 9$; $y_3 = 0$; $y_4 = 1$.

Значение целевой функции при данной программе производства составляет 18 300 000 руб.

Далее переходим к определению ожидаемой прибыли фирмы в случае реализации второй стратегии, связанной с привлечением кредита.

Для оценки эффективности данной стратегии решим следующую задачу (35-43):

$$20000 * x_1 + 150000 * x_2 + 28000 * x_3 + 70000 * x_4 + 700 * x_5 - (15000 * x_1 + 120000 * x_2 + 21000) * (x_3 + 61000 * x_4 + 350 * x_5) - 700000 - 0,15 * (z_1 * 350 + z_2 * 410) + (z_3 * 250 + z_4 * 270 + y_1 * 78000) + y_2 * 232000 + y_3 * 26000 + y_4 * 70000 - 6000000 \rightarrow \max;$$

$$2 * x_1 + 2,5 * x_2 + 2,5 * x_3 + 2,4 * x_4 + 0,2 * x_5 \leq 2000 + z_1;$$

$$8 * x_1 + 12 * x_2 + 9 * x_3 + 6 * x_4 + 0,3 * x_5 \leq 10000 + z_2;$$

$$1,1 * x_1 + 3 * x_2 + 1,4 * x_3 + 2,5 * x_4 + 0,2 * x_5 \leq 1500 + z_3;$$

$$1,5 * x_1 + 2,1 * x_2 + 1 * x_3 + 2 * x_4 + 0,35 * x_5 \leq 3000 + z_4;$$

$$4 * x_1 + 2,5 * x_2 + 4,1 * x_3 + 2,1 * x_4 + 0,3 * x_5 \leq (40 + y_1) * 100;$$

$$2 * x_1 + 3,1 * x_2 + 2,45 * x_3 + 2,5 * x_4 + 0,2 * x_5 \leq (44 + y_2) * 80;$$

$$3,4 * x_1 + 1,5 * x_2 + 1,1 * x_3 + 2,1 * x_4 + 0,1 * x_5 \leq (50 + y_3) * 70;$$

$$3,5 * x_1 + 4,1 * x_2 + 4,1 * x_3 + 3,4 * x_4 + 0,25 * x_5 \leq (52 + y_4) * 120;$$

$$6000000 + 5000000 + 6000000 \geq z_1 * 350 + z_2 * 410 + z_3 * 250 + z_4 * 270 + y_1 * 78000 + y_2 * 232000 + y_3 * 26000 + y_4 * 70000 > 6000000;$$

$$z_1 * 350 + z_2 * 410 + z_3 * 250 + z_4 * 270 \leq 5000000;$$

$$y_1 * 78000 + y_2 * 232000 + y_3 * 26000 + y_4 * 70000 \leq 6000000;$$

$$x_1 \leq 400; x_2 \leq 300; x_3 \leq 500;$$

$$x_4 \leq 550; x_5 \leq 5000;$$

$$x_1 \geq 150; x_2 \geq 100; x_3 \geq 300;$$

$$x_4 \geq 90; x_5 \geq 1500;$$

$$x_i \in Z^+; y_l \in Z^+; z_j \geq 0.$$

Решением данной оптимизационной задачи будет следующая производственная программа: $x_1 = 356$; $x_2 = 300$; $x_3 = 500$; $x_4 = 550$; $x_5 = 2736$. При этом дополнительные ресурсы закупаются в следующих количествах: $z_1 = 2579,2$; $z_2 = 5068,8$; $z_3 = 2413,8,5$; $z_4 = 721,6$; $y_1 = 22$; $y_2 = 16$; $y_3 = 2$; $y_4 = 7$.

Значение целевой функции при данной производственной программе равно 18 925 218,5 руб.

Так как 18 925 218,5 > 18 300 000, то для фирмы более эффективной является стратегия с привлечением кредита, поскольку она обеспечит большую прибыль.

5.2 Статическая модель управления финансовыми ресурсами проекта расширения производства для предприятия, производящего инновационное отопительное оборудование, с учетом риска

Рассмотрим ситуацию, когда маржинальный доход $c_i = a_i - b_i$ ($i = 1, 2, \dots, 5$) от производства единицы отопительного оборудования вида i есть случайная величина. Иными словами, задано вероятностное распределение (табл. 8).

Таблица 8

МАРЖИНАЛЬНЫЙ ДОХОД

| Заданные вероятности | Маржинальный доход | | | | |
|----------------------|---------------------|------------------|----------------------|----------------|----------------|
| | солнечный коллектор | буферная емкость | гео-тепловая система | тепловой насос | терморегулятор |
| $P_1 = 1/6$ | 4 000 | 25 000 | 6 700 | 8 500 | 320 |
| $P_2 = 4/6$ | 5 000 | 30 000 | 7 000 | 9 000 | 350 |
| $P_3 = 1/6$ | 5 500 | 37 000 | 7 100 | 9 150 | 370 |

Таким образом, маржинальный доход от реализации продукции вида i есть математическое ожидание этого показателя:

$$\bar{c}_1 = 4000 * 1/6 + 5000 * 4/6 + 5500 * 1/6 = 4917;$$

$$\bar{c}_2 = 25000 * 1/6 + 30000 * 4/6 + 37000 * 1/6 = 30333;$$

$$\bar{c}_3 = 6700 * 1/6 + 7000 * 4/6 + 7100 * 1/6 = 6967;$$

$$\bar{c}_4 = 8500 * 1/6 + 9000 * 4/6 + 9150 * 1/6 = 8942;$$

$$\bar{c}_5 = 320 * 1/6 + 350 * 4/6 + 370 * 1/6 = 348.$$

Обозначим долю затрат на закупку материальных ресурсов для выпуска одной единицы отопительного оборудования вида i через Zt_i , $Zt_i = \sum_{j=1}^{M_i} \beta_j I_{ij}$.

Здесь β_j – цена единицы материального ресурса вида j , I_{ij} – объем материальных ресурсов вида j , необходимых для выпуска единицы продукции вида i , $j = 1, 2, \dots, M_i$, $i = 1, 2, \dots, n_i$.

Значение данного показателя для каждого вида производимой продукции составит:

$$Zt_1 = 350 * 2 + 410 * 8 + 250 * 1,1 + 270 * 1,5 = 4660;$$

$$Zt_2 = 350 * 2,5 + 410 * 12 + 250 * 3 + 270 * 2,10 = 7112;$$

$$Zt_3 = 350 * 2,5 + 410 * 9 + 250 * 1,4 + 270 * 1 = 5185;$$

$$Zt_4 = 350 * 2,4 + 410 * 6 + 250 * 2,5 + 270 * 2 = 4465;$$

$$Zt_5 = 350 * 0,2 + 410 * 0,3 + 250 * 0,2 + 270 * 0,35 = 337,5.$$

Введем новую переменную $g_i = \frac{Zt_i x_i}{V_i}$, обозначающую

долю от общего объема финансовых средств, выделенных на закупку материальных ресурсов, которая будет потрачена на выпуск продукции вида i . Финансовые средства, выделенные на закупку материальных ресурсов V_i , составляют 3 млн. руб.

Таким образом, значение данного показателя для каждого вида отопительного оборудования можно выразить следующим образом:

$$g_1 = \frac{4660 * x_1}{3000000};$$

$$g_2 = \frac{7112 * x_2}{3000000};$$

$$g_3 = \frac{5185 * x_3}{3000000};$$

$$g_4 = \frac{4465 * x_4}{3000000};$$

$$g_5 = \frac{337,5 * x_5}{3000000}.$$

Дисперсия доходности продукции вида i составит:

$$\tau_1^2 = (4000 - 4917)^2 * 1/6 + (5000 - 4917)^2 * 4/6 + (5500 - 4917)^2 * 1/6 = 201389;$$

$$\tau_2^2 = (25000 - 30333)^2 * 1/6 + (30000 - 30333)^2 * 4/6 + (37000 - 30333)^2 * 1/6 = 12222222;$$

$$\tau_3^2 = (6700 - 6967)^2 * 1/6 + (7000 - 6967)^2 * 4/6 + (7100 - 6967)^2 * 1/6 = 15555;$$

$$\tau_4^2 = (8500 - 8942)^2 * 1/6 + (9000 - 8942)^2 * 4/6 + (9150 - 8942)^2 * 1/6 = 42013;$$

$$\tau_5^2 = (320 - 348)^2 * 1/6 + (350 - 348)^2 * 4/6 + (370 - 348)^2 * 1/6 = 214.$$

Далее, основываясь на данных о совместных вероятностях получения маржи по каждой паре продуктов, вычислим также ковариацию доходности продукции вида i и j - $cov_{i,j}$ (табл. 9).

Таблица 9

КОВАРИАЦИЯ ДОХОДНОСТИ ПРОДУКЦИИ

| $P_{1,2}$ | $P_{1,3}$ | $P_{1,4}$ | $P_{1,5}$ | $P_{2,3}$ |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 0,25 | 0,23 | 0,20 | 0,20 | 0,22 |
| 0,20 | 0,22 | 0,25 | 0,27 | 0,20 |
| 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,53 | 0,58 |
| $cov_{1,2}$ | $cov_{1,3}$ | $cov_{1,4}$ | $cov_{1,5}$ | $cov_{2,3}$ |
| 166925000 | 35341500 | 45728750 | 1807050 | 231216000 |
| $P_{2,4}$ | $P_{2,5}$ | $P_{3,4}$ | $P_{3,5}$ | $P_{4,5}$ |
| 0,22 | 0,21 | 0,33 | 0,31 | 0,24 |

| | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0,21 | 0,21 | 0,17 | 0,18 | 0,19 |
| 0,57 | 0,58 | 0,50 | 0,51 | 0,57 |
| COV _{2,4} | COV _{2,5} | COV _{3,4} | COV _{3,5} | COV _{4,5} |
| 296423500 | 11825200 | 61986000 | 2445410 | 3181035 |

Эксперты фирмы установили величину максимальной допустимой волатильности доходности производственной программы в размере 40 млн. руб.

Максимальный объем инвестиций, которые могут быть направлены на закупку необходимого оборудования, принят в размере 5 млн. руб.

Модель расширения производства по критерию оптимизации математического ожидания прибыли от выпускаемой продукции сформулируем следующим образом (модель (63-69)):

$$4917 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 30333 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 6967 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 8942 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 348 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \rightarrow \max;$$

$$g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 \leq 1;$$

$$g_1^2 * 201389 + g_2^2 * 12222222 + g_3^2 * 15555 + g_4^2 * 42013 + g_5^2 * 214 + 2 * (166925000 * g_1 * g_2 + 35341500 * g_1 * g_3 + 45728750 * g_1 * g_4 + 1807050 * g_1 * g_5 + 231216000 * g_2 * g_3 + 296423500 * g_2 * g_4 + 11825200 * g_2 * g_5 + 61986000 * g_3 * g_4 + 2445410 * g_3 * g_5 + 3181035 * g_4 * g_5) \leq 40000000;$$

$$4 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 2,5 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 4,1 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 2,1 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,3 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq w_1 * 100;$$

$$2 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 3,1 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 2,45 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 2,5 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,2 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq w_2 * 80;$$

$$3,4 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 1,5 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 1,1 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 2,1 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,1 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq w_3 * 70;$$

$$3,5 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 4,1 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 4,1 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 3,4 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,25 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq w_4 * 120;$$

$$2 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 2,5 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 2,5 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 2,4 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,2 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq z_1;$$

$$8 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 12 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 9 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 6 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,3 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq z_2;$$

$$1,1 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 3 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 1,4 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 2,5 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,2 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq z_3;$$

$$1,5 * \frac{g_1 * 3000000}{4660} + 2,1 * \frac{g_2 * 3000000}{7112} + 1 * \frac{g_3 * 3000000}{5185} + 2 * \frac{g_4 * 3000000}{4465} + 0,35 * \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq z_4;$$

$$w_1 * 78000 + w_2 * 232000 + w_3 * 26000 + w_4 * 70000 \leq 5000000;$$

$$w_i \in Z^+, \frac{g_1 * 3000000}{4660} \leq 400,$$

$$\frac{g_2 * 3000000}{7112} \leq 300, \frac{g_3 * 3000000}{5185} \leq 500,$$

$$\frac{g_4 * 3000000}{4465} \leq 550, \frac{g_5 * 3000000}{337,5} \leq 5000.$$

Решением данной оптимизационной задачи будут следующие значения долей инвестиций в закупку материальных ресурсов по каждому виду продукции: $g_1 = 0,00$; $g_2 = 0,71$; $g_3 = 0,02$; $g_4 = 0,07$; $g_5 = 0,01$.

Используя формулу перехода $x_i = \frac{g_i V_i}{Z_i}$

($i = 1, 2, \dots, n_i$), мы получим производственную программу выпуска конечной продукции, удовлетворяющей критерию оптимальности и указанным выше ограничениям:

$$x_1 = 0; x_2 = 300; x_3 = 9; x_4 = 45; x_5 = 56.$$

Необходимые ресурсы закупаются в следующих количествах: $w_1 = 9$; $w_2 = 14$; $w_3 = 8$; $w_4 = 12$; $z_1 = 110000$; $z_2 = 200000$; $z_3 = 500000$; $y_4 = 100006,4$.

Значение целевой функции при данной производственной программе равно 9 584 481 руб.

Мищенко Александр Владимирович

Кошелев Павел Сергеевич

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результативность инвестиционной деятельности в значительной степени устанавливается совершенством организации отбора инвестиционных проектов к осуществлению, адаптацией ее к имеющимся и меняющимся во времени обстоятельствам функционирования экономики [1].

Если речь идет об инвестициях, связанных с расширением производственной деятельности, то возникают новые факторы, которые необходимо учитывать при принятии инвестиционного решения: возможность изменения положения предприятия на рынке, доступность дополнительных объемов материальных, трудовых и финансовых ресурсов [4].

При этом инвестиции в расширение производства характеризуются повышенной степенью риска, поскольку для них обычно характерны достаточно крупные капиталовложения и длительные сроки окупаемости [2].

Вследствие этого экономико-математические методы и модели, позволяющие оценить экономическую эффективность проекта расширения производства должны учитывать такие факторы, как возможные колебания цен на конечную продукцию, материальные ресурсы производства и оборудование, вероятное изменение спроса, а также риск изменения ряда других показателей, специфичных для данной отрасли.

Особое значение учет риска играет в процессе анализа проекта выпуска инновационных продуктов. В подобных условиях менеджеры проекта, как правило, сталкиваются со значительной степенью неопределенности в ходе оценки эффективности различных вариантов его реализации. В этом случае может возникнуть потребность в методах и подходах, позволяющих провести более полную оценку риска реализации рассматриваемых вариантов проекта с учетом ряда дополнительно анализируемых факторов.

Литература

1. Алексеева О.П. Пути совершенствования методики расчета эффективности капитальных вложений в расширение производства [Текст] / О.П. Алексеева // Теория и практика общественного развития. – 2013. – №9. – С. 303.
2. Гуськова Н.Д. Инвестиционный менеджмент [Текст] / Н.Д. Гуськова, И.Н. Краковская, Ю.Ю. Слушкина, В.И. Маколов. – М.: КноРус, 2010. – 456 с.
3. Каленская Н.В. Маркетинг инноваций [Текст] / Наталья Каленская. – Казань: Изд-во КГУ, 2012. – С. 157.
4. Кибиткин А.И. Финансовый анализ: риски, кредитоспособность, инвестиции [Текст] / А.И. Кибиткин, Н.М. Рапницкая, А.В. Смирнов и др. – М.: Академия естествознания, 2013. – 365 с.
5. Могильницкая М.В. Динамическая модель управления производственными ресурсами и оборотным капиталом в промышленной логистике [Текст] / М.В. Могильницкая, А.В. Мищенко // Логистика и управление цепями поставок. – 2007. – №5. – С. 81-90.

Ключевые слова

Расширение производства; риск; анализ устойчивости; оценка эффективности; оптимизация; инновации; инфляция; максимизация прибыли; производственная программа; технологическая операция; ориентированный граф.

РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность темы. Вопрос рационального управления инвестиционными ресурсами при реализации проекта расширения производства в настоящий момент является весьма актуальным, поскольку в условиях быстро меняющейся внешней среды процесс расширения производства обычно сопровождается для предприятия значительным уровнем риска. Недостаточно глубокий анализ значимых факторов в ходе реализации данного проекта может в итоге привести к существенным финансовым потерям.

Научная новизна и практическая значимость. Авторами рассматриваются как статические, так и динамические модели оценки эффективности проекта расширения производства, а также анализируется вопрос устойчивости оптимальной производственной программы в модели управления финансовыми ресурсами при реализации проекта расширения производства. При этом отдельно рассматриваются ситуации, когда маржинальный доход от реализации продукции и спрос на продукцию есть случайные величины с известным вероятностным распределением.

Также авторы демонстрируют использование описанных ими математических моделей на практическом примере реализации проекта расширения производства для предприятия, осуществляющего выпуск инновационного оборудования.

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

Соколов Е.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Финансы» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва.

[Перейти на ГЛАВНОЕ МЕНЮ](#)