

УДК 330.322.5

Д. Р. Аббясова

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва,
e-mail: abbyasova@gmail.com

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕРА
РАБОЧЕГО КАПИТАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ
С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ТОВАРНЫХ
И ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ**

Ключевые слова: производственная корпорация, операционный сегмент предприятия, рабочий капитал, структура капитала, риски производственной сферы предприятия, риск структуры капитала, критерий оптимальности структуры капитала, математическая модель, задача нелинейного целочисленного программирования, NP-полная проблема.

В статье рассматривается весьма актуальная для современной экономики проблематика разработки инструментария постановок задач, математических моделей и методов выбора структуры и элементного состава постоянных и переменных активов рабочего капитала производственной корпорации и пропорций собственного и заемного финансирования затрат ее операционного сегмента с учетом параметров рыночного окружения (спрос и цены на продукцию, доступные объемы, ставки и условия кредитования банками оборотных средств и инвестиций в основной капитал, сопутствующие производственной деятельности риски и пр.). В методологическом плане полученные автором результаты дополняют положения неоклассической теории в части оценки оптимальной структуры затрат с учетом стоимости составляющих авансированного в их покрытие капитала в условиях неопределенности и риска принятия управленческих решений в сферах производства и финансов. Автор приводит необходимые комментарии к формулировке задачи, ее математической формализации и обоснованию выбора критериев и ограничений, в составе которых следует учитывать не только производственно-технологические и финансово-ресурсные, но и рыночные и рискованные, включая риски потери финансовой устойчивости, снижения рентабельности собственного капитала и выхода за границу безубыточного производства.

D. R. Abbyasova

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: abbyasova@gmail.com

**MODELING OF THE OPTIMAL SIZE OF THE WORKING CAPITAL
OF AN ENTERPRISE TAKING INTO ACCOUNT THE PARAMETERS
OF COMMODITY AND FINANCIAL MARKETS**

Keywords: production corporation, operating segment of the enterprise, working capital, capital structure, risks of the production sphere of the enterprise, risk of the capital structure, criterion of optimality of the capital structure, mathematical model, nonlinear integer programming problem, NP-complete problem.

The article deals with the very relevant problems for the modern economy of developing tools for problem statements, mathematical models and methods for choosing the structure and elemental composition of fixed and variable assets of the working capital of a manufacturing corporation and the proportions of own and borrowed financing of the costs of its operating segment, taking into account the parameters of the market environment (demand and prices for products, available volumes, rates and credit conditions banks of working capital and investments in fixed assets, risks associated with production activities, etc.). In methodological terms, the results obtained by the author complement the provisions of the neoclassical theory regarding the assessment of the optimal cost structure, taking into account the cost of the components of the capital advanced to cover them in conditions of uncertainty and risk of managerial decision-making in the fields of production and finance. The author provides the necessary comments on the formulation of the problem, its mathematical formalization and justification of the choice of criteria and restrictions, which should include not only production, technological, financial and resource, but also market and risk risks, including the risks of loss of financial stability, reduction of return on equity and going abroad break-even production.

Введение

Напомним, что в этой работе, как и в более ранней работе научного руководителя автора – профессора Халикова М.А. [1], под рабочим капиталом предприятия (в данном случае, производственного) понимаются постоянные и переменные активы, покрывающие соответствующие затраты его операционного сегмента и финансируемые из собственных и заемных источников, включающих собственный капитал и краткосрочные кредиты. Эффективность рыночной деятельности предприятия существенно зависит от величины постоянных и переменных активов, позволяющей обеспечить выпуск продукции ассортимента ряда предприятия в условиях изменчивого спроса на его продукцию, а также от соотношения долей собственного и заемного финансирования (структуры капитала) операционного сегмента, влияющих как на уровень риска банкротства (с одной стороны), так и на показатели рентабельности собственного капитала в условиях свободного доступа к денежным ресурсам кредитного рынка (с другой).

Моделирование оптимального по экономическому критерию размера операционного сегмента производственной корпорации с учетом непостоянного характера рыночных цен и спроса на продукцию предприятия и используемые в производстве активы рабочего капитала – актуальная и малоизученная область инструментального сопровождения рыночной деятельности хозяйствующего в условиях высокой неопределенности и риска его внешней и внутренней среды субъекта.

Цель статьи – разработать теоретическую концепцию и построить математическую модель выбора оптимального по экономическому критерию объема и состава постоянных и переменных активов рабочего капитала производственной корпорации и структуры капитала, покрывающего затраты ее производственной деятельности, с учетом факторов сопутствующих рисков и неопределенности параметров товарных и финансовых рынков.

Материалы и методы исследования

Основной работой по рассматриваемой тематике является статья М.А. Горского и М.А. Халикова [1], в которой заявлена постановка задачи моделирования оптимального размера производственного сегмента предприятия в условиях детерминированных параметров макроэкономической среды. Также похожие постановки задач

исследования оптимальных вариантов производственной деятельности предприятия и, в том числе, с использованием аппарата производственных функций, без и с учетом риска представлены в работах: А.М. Антиколь, М.А. Халикова [2], М.А. Бендикова и И.Э. Фролова [3], М.А. Горского [4,5,6], В.А. Колемаева [7], Б. Коласса [8], М. Круи [9], М.А. Халикова, А.И. Дерябиной, Д.А. Лях [10], О.Е. Хрусталева [11], М.А. Горского и Е.М. Решульской [12], Ф. Турино [13] и П. Самуэльсона [14].

Проблематика выбора критериев оптимальности производственной деятельности предприятия в условиях растущих или, наоборот, падающих рынков, которая также поднимается в статье, отражена в работах Д.А. Безухова [15], М.А. Никифоровой и М.А. Халикова [16, 17], М.А. Халикова, Е.С. Кулинченко, А.А. Струковой [18]. Математический инструментарий и численные алгоритмы решения задач линейной и нелинейной, непрерывной и дискретной оптимизации заимствованы из работ М.А. Горского [19], М.А. Горского, М.А. Халикова, Д.А. Максимова [20].

Результаты исследования и их обсуждения

Рассмотрим компоненту модели, связанную со структурой пассива рабочего капитала $PK^{(t)}$ предприятия на плановом интервале t ($t = 1, T$) и особенностями финансирования затрат предприятия из собственных и заемных источников. Если $CK^{(t)}$ и $3K^{(t)}$ – соответственно собственный и заемный капитал, покрывающие затраты операционного сегмента предприятия на интервале t , то коэффициент $\beta^{(t)}$ автономии пассива рабочего капитала (коэффициент риска его структуры) определяется по формуле:

$$\beta^{(t)} = \frac{CK^{(t)}}{CK^{(t)} + 3K^{(t)}}, \quad (1)$$

откуда объем заемного финансирования и величина пассива рабочего капитала (объем возможного покрытия затрат производственной деятельности предприятия из собственных и заемных источников) могут быть определены по формулам:

$$3K^{(t)} = \frac{(1 - \beta^{(t)}) \cdot CK^{(t)}}{\beta^{(t)}}, \quad (2)$$

$$PK^{(t)} = CK^{(t)} + 3K^{(t)} = \frac{1}{\beta^{(t)}} \cdot CK^{(t)}. \quad (3)$$

С другой стороны, объем заемного финансирования не может превысить определенную кредитной организацией для периода t величину $ЗКО^{(t)}$, что, в свою очередь, ограничивает выбор варианта структуры рабочего капитала для периода t , задаваемой коэффициентом $\beta^{(t)}$:

$$\frac{(1 - \beta^{(t)}) \cdot CK^{(t)}}{\beta^{(t)}} \leq ЗКО^{(t)} \quad (4)$$

или

$$\beta^{(t)} \geq \frac{CK^{(t)}}{ЗКО^{(t)} + CK^{(t)}}. \quad (4')$$

Если $\bar{\beta}^{(t)}$ – предельное значение коэффициента автономии структуры рабочего капитала, установленное ЛПР (лицом принимающим решение) для периода t , то при выборе структуры рабочего капитала для этого периода следует принимать в расчет следующий диапазон возможных значений коэффициента автономии:

$$\beta^{(t)} \in \left[\max \left\{ \frac{CK^{(t)}}{ЗКО^{(t)} + CK^{(t)}}; \bar{\beta}^{(t)} \right\}; 1 \right]. \quad (5)$$

Ясно, что ставка $\rho^{(t)}$ заемного финансирования для случая рискованного кредитования выражается нелинейной зависимостью:

$$\rho^{(t)} = \rho(\beta^{(t)}), \quad (6)$$

форма которой должна уточняться для конкретной пары «кредитор-заемщик» с учетом как кредитной истории заемщика, так и отношения кредитора к риску (проблематика моделирования нелинейной зависимости в паре: «коэффициент автономии рабочего капитала – ставка по внешнему кредиту» изучена недостаточно. Некоторые ее аспекты предполагается осветить в следующих работах автора. Здесь же сошлемся на результаты исследования М.А. Халикова и А.М. Антиколь, представленные в работе [2]).

Если дополнительно предположить, что финансирование инвестиций в постоянные и переменные активы рабочего капитала предприятия с целью роста его производственно-технологического потенциала на шаге t осуществляется из дополнительных источников финансирования, то общий объем $\Delta PK^{(t)}$ инвестиционных затрат не превышает величины $\frac{1}{\beta^{(t)}} \cdot \Delta CK^{(t)}$ (где $\beta^{(t)}$ и $\Delta CK^{(t)}$ – регулируемые (управляемые) па-

раметры операционного сегмента предприятия), а взвешенные по составляющим рабочего капитала затраты на его обслуживание составят величину:

$$\frac{1}{\beta^{(t)}} \cdot \Delta CK^{(t)} \cdot \left(\beta^{(t)} \cdot r_e^{(t)} + (1 - \beta^{(t)}) \cdot \rho^{(t)} \right), \quad (7)$$

где $r_e^{(t)}$ – цена собственного капитала предприятия, рассчитанная для временного интервала t по модифицированной модели САРМ, предложенной Р. Хамадой [8, 13], $\rho^{(t)}$ – ставка по внешнему кредиту, рассчитанная по формуле (6).

В формулах (1) – (5) следует дополнительно учесть условие достаточности финансирования операционного сегмента предприятия на очередном временном интервале t из собственных источников:

$$\Delta CK^{(t)} \leq CKO^{(t-1)}, \quad t = \overline{2, T}, \quad (8)$$

где $CKO^{(t-1)}$ – объем собственных средств предприятия на конец временного интервала $t-1$, выделенных на производственные инвестиции.

Следующая компонента модели включает оценки структуры и затрат на обслуживание активов рабочего капитала операционного сегмента предприятия. Введем следующие обозначения: J – число учитываемых в модели постоянных и переменных активов (j – индекс актива); $b_j^{(t)}$ – оценка производственного потенциала операционной сферы предприятия по j -му активу на начало временного интервала t (в натуральном или стоимостном выражениях); $\Delta b_j^{(t)}$ – изменение (рост) величины j -го актива в временном интервале t ($t = \overline{1, T-1}$); α_j – коэффициент амортизации, а $r_j^{(t)}$ – затраты на приобретение, освоение и обслуживание единицы j -го актива на временном интервале t .

С учетом введенных обозначений запишем соотношения для оценки составляющих рабочего капитала и ограничение по объему затрат на их обслуживание:

$$b_j^{(t)} = (1 - \alpha_j) \cdot b_j^{(t-1)} + \Delta b_j^{(t)}, \quad j = \overline{1, J}; t = \overline{1, T-1}; \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^J r_j^{(t)} \cdot \Delta b_j^{(t)} \leq \frac{1}{\beta^{(t)}} \cdot CK^{(t)}. \quad (10)$$

Основным компонентом модели является «стандартная» планово-производственная задача Канторовича в статичной постановке с критерием на максимум валового маржинального дохода операционного сегмента от производства и реализации из-

делий производственной программы и сдачи в аренду неиспользуемых производственных активов предприятия и ограничением на рыночный риск на временном интервале t :

$$VD^{(t)} = \sum_{i=1}^I (p_i^{(t)} - c_i^{(t)}) \cdot x_i^{(t)} + \sum_{j=1}^J sa_j^{(t)} \cdot ba_j^{(t)} \rightarrow \max; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^I tr_{ij} \cdot x_i^{(t)} \leq b_j^{(t)} - ba_j^{(t)}, j = \overline{1, J}; \quad (12)$$

$$x_i^{(t)} \leq S_i^{(t)}, i = \overline{1, I}; \quad (13)$$

$$\sum_{i_1=1}^I \sum_{i_2=1}^I x_{i_1}^{(t)} \cdot x_{i_2}^{(t)} \cdot \sigma_{i_1} \cdot \sigma_{i_2} \cdot cov(i_1; i_2) \leq 2\bar{\sigma}^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^I x_i^{(t)} \right)^2, \quad (14)$$

$$ba_j^{(t)} \leq b_j^{(t)}, j = \overline{1, J}; \quad (15)$$

$$x_i^{(t)}, ba_j^{(t)} \in Z_+, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}, \quad (16)$$

где $VD^{(t)}$ – валовый маржинальный доход, получаемый в операционном сегменте предприятия в периоде t ; i, i_1, i_2 – индексы изделий производственной программы предприятия ($i, i_1, i_2 = \overline{1, I}$); $p_i^{(t)}, c_i^{(t)}$ – соответственно цена реализации и удельные затраты на производство i -го изделия в интервале планирования t ; tr_{ij} – технологическая фондоемкость i -го изделия по j -му активу; $S_i^{(t)}$ – рыночный спрос на i -е изделие производственной программы предприятия на временном интервале t ; $ba_j^{(t)}$ – неиспользуемый остаток j -го актива, сдаваемый в интервале t в аренду по ставке $ca_j^{(t)}$; σ_i – дисперсия доходности продукции i -го вида за период наблюдения; $cov(i_1; i_2)$ – ковариация доходностей изделий с индексами i_1 и i_2 (за период наблюдения); $\bar{\sigma}$ – принимаемое ЛПР пороговое значение риска производственной программы.

В дискретной задаче (11) – (16) экзогенными параметрами являются рыночные цены, спрос и удельные затраты, формирующиеся под влиянием рыночных факторов спроса и предложения. Эндогенными (управляемыми) параметрами являются объемы $\{x_i^{(t)}\}$ планируемой к выпуску продукции и остатки $\{ba_j^{(t)}\}$ активов производственного назначения, планируемые для передачи в аренду на платной основе.

Опираясь на формальную постановку задачи (11) – (16) и учитывая соотношения (1) – (10), задающие оценки и ограничения отдельных элементов и в целом структуры рабочего капитала операционного сегмента предприятия, уточним целевой критерий и систему ограничений статичного варианта модели выбора оптимального варианта де-

ятельности операционного сегмента предприятия на временном интервале t .

Критерием, учитывая возможность альтернативного использования капитала, привлекаемого в операционный сегмент предприятия, обоснованно принять следующую модификацию показателя EVA экономической добавленной стоимости, формируемой в этом сегменте:

$$F^{(t)} = \sum_{i=1}^I (p_i^{(t)} - c_i^{(t)}) \cdot x_i^{(t)} + \sum_{j=1}^J sa_j^{(t)} \cdot ba_j^{(t)} - CK^{(t)} \cdot r - \frac{1}{\beta^{(t)}} \cdot \Delta CK^{(t)} \cdot (\beta^{(t)} \cdot r_e^{(t)} + (1 - \beta^{(t)}) \cdot \rho^{(t)}) (\max) \quad (17)$$

Управляемыми параметрами модели для временного интервала t являются: коэффициент $\beta^{(t)}$ автономии структуры рабочего капитала; объем $CK^{(t)}$ собственного капитала, направляемого в операционный сегмент для финансирования затрат производственной деятельности; $x_i^{(t)} (i = \overline{1, I})$ – объемы выпускаемой продукции номенклатурного перечня предприятия; $\Delta b_j^{(t)} (j = \overline{1, J})$ – составляющие постоянных и переменных активов, приобретаемые в целях увеличения производственной мощности операционного сегмента; $ba_j^{(t)} (j = \overline{1, J})$ – составляющие постоянных и переменных активов, не задействованные в технологическом процессе и передаваемые в краткосрочную аренду, а также предельные уровни $\beta^{(t)}$ и $\bar{\sigma}$ соответственно рисков структуры рабочего капитала и рыночного.

Управляемые параметры удовлетворяют внутри периодным ограничениям: (5), (8), (10), (12), (13), (14), (15), (16) и межпе-

приодному ограничению (9), связывающему объемы активов рабочего капитала на последовательных временных интервалах.

Экзогенными для рассматриваемой модели являются параметры товарного и финансового рынков:

$$p_i^{(t)}, c_i^{(t)}, sa_j^{(t)}, r_e^{(t)}, ZKO^{(t)}, S_i^{(t)}, (i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J}).$$

В модели присутствуют технологические:

$$tr_{ij} (i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J})$$

и внутрифирменные:

$$b_j^{(t)}, \alpha_j, (j = \overline{1, J}), CKO^{(t)}, (t = \overline{1, T-1})$$

константы, которые могут считаться стартовыми параметрами модели, а также модуль формирования аналитической зависимости (6) ставки заемного финансирования от уровня риска структуры рабочего капитала.

Представленные выше компоненты позволяют представить формализованную математическую модель определения оптимального по критерию экономической добавленной стоимости размера операционного сегмента предприятия, понимаемого как структура и состав его постоянных, переменных активов и учитываемых в пассивах собственных и заемных средств.

Модель включает: критерий в форме (17) и ограничения (5), (8) – (10), (12) – (16).

Основная идея выбора оптимальной структуры рабочего капитала предприятия заключается в «параметрической» настройке управляемых параметров величин собственного и заемного финансирования операционного сегмента предприятия под текущие изменения перечисленных выше неуправляемых параметров товарного и финансового рынков.

В алгоритмическом плане задача (17), (5), (8) – (10), (12) – (16) относится к нелинейным целочисленным задачам большой размерности, для которых в силу их NP-полноты отсутствуют конструктивные численные методы поиска оптимального решения, но существуют методы локальной оптимизации, ориентированные на поиск квазиоптимального решения с заранее известной точностью, например, представленные в работе М.А. Горского [4].

Заключение

В статье рассмотрены постановка задачи и формальная модель определения оптимального размера операционного (производственного) сегмента предприятия с учетом изменчивых параметров товарных и финансовых рынков и сопутствующих производственной деятельности предприятия корпоративного сектора экономики рисков. Основное внимание уделено статичному варианту модели, описывающему «настройку» операционного сегмента предприятия на очередном плановом периоде под изменившиеся параметры спроса и цена на выпускаемую продукцию, ставок и условий кредитования его производственной деятельности банковскими организациями, приоритетов его рыночной стратегии и отношения к риску.

Вне рамок статьи остался численный алгоритм решения соответствующей рассмотренной модели иерархической (двухуровневой) нелинейной дискретной задачи большой размерности. Разработка и адаптация этого алгоритма – важная научно-практическая задача, решение которой предполагается изложить в одной из последующих публикаций автора.

Библиографический список

1. Халиков М.А., Горский М.А. Модели и методы оценки оптимального размера производственного сегмента предприятия // Вестник Алтайской Академии экономики и права. 2020. №1. С. 23-32.
2. Антиколь А.М., Халиков М.А. Нелинейные модели микроэкономики: учеб. пособие. М.: ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2011. 156 с.
3. Бендиков М.А., Фролов И.Э. Высотехнологичный сектор промышленности России: состояние, тенденции, механизмы инновационного развития. М.: Наука, 2007. 583 с.
4. Горский М.А. Теоретический подход и численный метод поиска квазиоптимального решения нелинейной дискретной задачи большой размерности // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2019. Т. 23. № 3. С. 465-482.
5. Горский М.А. Параметрическое моделирование кредитно-инвестиционной деятельности коммерческого банка и его приложения // Ученые записки Российской Академии Предпринимательства. 2018. Т. 17. № 4. С. 187-208.

6. Горский М.А. Математические модели формирования портфелей финансовых активов в постановках Г. Марковица и В. Шарпа // Высокие технологии и инновации в науке. Сборник избранных статей Международной научной конференции. 2020. С. 251-267.
7. Колемаев В.А. Математические методы и модели исследования операций. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. 592 с.
8. Коласс Б. Управление финансовой деятельностью предприятия: Проблемы, концепции, методы / Пер. с франц. М.: Финансы ЮНИТИ, 1997.
9. Круи М., Галай Д., Марк Р. Основы риск-менеджмента / пер. с англ.; науч. ред. В.Б. Минасян. М.: Юрайт, 2011. 390 с.
10. Халиков М.А., Дерябина А.И., Лях Д.А. Модель оценки стоимости информации о налоговом аудите // Вестник Алтайской Академии экономики и права. 2020. № 4-1. С. 141-148.
11. Хрусталёв О.Е. Методические основы оценки экономической устойчивости промышленного предприятия // Аудит и финансовый анализ. 2011. № 5. С. 180-185.
12. Gorskiy M.A., Reshulskaya E.M. Parametric models for optimizing the credit and investment activity of a commercial bank. Journal of Applied Economic Sciences. 2018. V. 13. № 8(62). P. 2340-2350.
13. Minniti A., Turino F. Multi-product firms and business cycle dynamics. European Economic Review. 2013. Vol. 57. P. 75-97.
14. Samuelson P.A., Paul Douglas' Measurement of Production Functions and Marginal Productivities. Journal Political Economy. 1979. Part 1(October). P. 923-939.
15. Безухов Д.А., Выбор критерия оптимальности управления оборотным капиталом предприятия // Проблемы развития современного общества: экономические, правовые и социальные аспекты: сборник научных статей по итогам Всероссийской научно-практической конференции (г. Волгоград, 29-30 сентября 2014). Волгоград: Волгоградское научное издательство, 2014. С. 31-43.
16. Халиков М.А., Никифорова М.А. Модели моно-и многопродуктовой фирмы в рамках неоклассического подхода // Фундаментальные исследования. 2018. №4. С. 130-137.
17. Халиков М.А., Никифорова М.А. Экономическая эффективность и риск структуры рабочего капитала предприятия // Фундаментальные исследования. 2018. №6. С. 222-228.
18. Халиков М.А., Кулинченко Е.С., Струкова А.А. Динамическое моделирование производственной сферы предприятия с учетом риска структуры рабочего капитала // Вестник Алтайской Академии экономики и права. 2021. № 3-2. С. 239-253.
19. Горский М.А., Епифанов И.И. Практика применения WACC и EVA в оценках структуры капитала и рыночной эффективности производственных корпораций // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 10-1. С. 25-33.
20. Khalikov M.A., Gorskiy M.A., Maximov D.A. Supply chain optimization model for an enterprise based on maximizing the economic effect. International Journal of Supply Chain Management. 2020. № 9(4). P. 1081-3091.