

УДК 338.242.2

А. М. Димитриев

Институт цифровой экономики и информационных технологий,
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
Москва, e-mail: spyquest@rambler.ru

Э. Н. Окунов

Институт цифровой экономики и информационных технологий,
Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова,
Москва, e-mail: okunov.e@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОГРАММ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ГРУППЫ ПРЕДПРИЯТИЙ С УЧЁТОМ ВНЕШНИХ И ВНУТРЕННИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Ключевые слова: интегрированная группа предприятий, вертикально-интегрированный холдинг, структурная бизнес-единица, управляющая компания, производственная деятельность, инвестиционная деятельность, трансфертное ценообразование, промежуточная продукция, конечный продукт, валовый доход, рабочий капитал, рентабельность затрат, оптимальная производственная программа, критерии оптимальности, внешние и внутренние ограничения, методы оптимизации, линейные оптимизационные задачи, дискретная оптимизация, нелинейные задачи, интерполяционный многочлен.

Рост эффективности основной производственной деятельности и конкурентоспособности российских производственных корпораций, в том числе, крупных интегрированных производственных структур и вертикально-интегрированных холдингов связывается с совершенствованием внутрифирменных механизмов планирования и управления программами выпуска с учетом согласованности по производственно-технологическому и финансово-ресурсному обеспечению, уровня внешних и внутренних рисков. В статье представлены постановки задач, экономико-математические модели и варианты численных алгоритмов выбора оптимальных по среднесрочному критерию маржинальной прибыли вариантов производственных программ управляющей компании и структурных подразделений интегрированной группы предприятий с учетом ресурсных, рыночных и рискованных ограничений. Особенностью предложенных моделей является учет в денежных потоках предприятий интегрированной группы трансфертной составляющей, величина которой рассчитывается в составе управляемых параметров модели и зависит от стоимости внешнего финансирования и реализуемого в рамках холдинга внутрифирменного (трансфертного) ценообразования. Адаптация разработанных моделей и методов осуществлена на условном численном примере. Результаты эмпирических расчетов продемонстрировали соответствие предложенных постановок задач и экономико-математических моделей сформулированной цели исследования и их потенциал при решении задач оптимизации производственной и инвестиционной деятельности крупных предприятий корпоративного сектора экономики.

A. M. Dimitriev

Institute of digital economy and information technologies,
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: spyquest@rambler.ru

E. N. Okunov

Institute of digital economy and information technologies,
Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, e-mail: okunov.e@gmail.com

MODELING OF OPTIMAL VARIANTS OF PRODUCTION PROGRAMS FOR DIVISIONS OF AN INTEGRATED GROUP OF ENTERPRISES, TAKING INTO ACCOUNT EXTERNAL AND INTERNAL CONSTRAINTS

Keywords: integrated group of enterprises, vertically integrated holding, structural business unit, management company, production activity, investment activity, transfer pricing, intermediate products, final product, gross income, working capital, cost effectiveness, optimal production program, optimal criteria, external and internal constraints, optimization methods, linear optimization problems, specific optimization, nonlinear problems, interpolation polynomial.

The increase in the efficiency of the main production activities and the competitiveness of Russian production corporations, including large integrated production structures and vertically integrated holdings, is associated with the improvement of internal mechanisms for planning and managing output programs, taking into account the consistency of production, technological, financial and resource support, and the level of external and internal risks. The article presents problem statements, economic and mathematical models and variants of numerical algorithms for selecting optimal variants of production programs of a management company and structural divisions of an integrated group of enterprises, taking into account resource, market and risk constraints, based on the medium-term margin profit criterion. A special feature of the proposed models is the accounting of the transfer component in the cash flows of enterprises of the integrated group, the value of which is calculated as part of the managed parameters of the model and depends on the cost of external financing and intra-firm (transfer) pricing implemented within the holding. The developed models and methods are adapted using a conditional numerical example. The results of empirical calculations demonstrated that the proposed problem statements and economic and mathematical models correspond to the formulated research goal and their potential in solving the problems of optimizing the production and investment activities of large enterprises in the corporate sector of the economy.

Интеграция взаимосвязанных в производственно-технологическом и финансово-ресурсном аспектах активов ранее независимых предприятий и предпринимательских организаций в крупные интегрированные производственные структуры и, в том числе, вертикально-интегрированные холдинги – общемировая тенденция, в основе которой лежит эффект синергии объединенной компании, возникающий как следствие роста масштаба производства, экономии на внешних транзакционных издержках и влияния других факторов, в первую очередь, институциональной природы. Этот эффект достаточно полно изучен, а для условий эффективных рынков товаров и капитала известны оценки влияния организационно-правовой формы и масштаба интеграции на величину синергии объединенной компаний и ее «оптимального» размера с учетом соотношения объемов рыночных и внутрифирменных транзакций [10, 13, 15].

Для рынков с низким институциональным развитием и, в частности, для развивающихся, «транзакционная» теория Р. Коуза, Дж. Эрроу и др. представителей институциональной школы имеет ограниченное приложение, так как прямое объединение специфических и интерспецифических активов ранее независимых агентов рынка вдоль общей производственно-технологической цепочки не обеспечивает достаточный уровень синергии в условиях высокой их неоднородности по доли в конечном продукте холдинга, способам использования в рамках внутрифирменных контрактов, внешним и внутренним

рискам. Синергия, в лучшем случае, оказывается «размытой» между продуктами для многопродуктовой фирмы, в худшем – близка к нулю и возникает как следствие не институционального развития интегрированной группы предприятий, а как фактор объединения их усилий в цепочках снабжения и сбыта, что позволяет повысить рыночную эффективность только некоторых предприятий холдинга, как правило, на «входе» и «выходе».

Возможным направлением роста рыночной эффективности интегрированной группы предприятий (ИГП) в нестабильной рыночной среде и несовершенства внутрифирменных механизмов организации бизнес-процессов является корректная оценка внешних и внутренних ограничений совместной деятельности предприятий ИГП в сферах производства, финансов и инвестиций и учет при планировании и управлении этими сферами рыночной деятельности внешнего и внутреннего риска. Решение этой проблемы связывается с разработкой теоретического подхода, экономико-математических моделей и методов планирования и оптимального правления производственными программами предприятий интегрированной группы.

Методологическую основу работы составили труды отечественных и зарубежных ученых и исследователей-практиков по проблемам:

– внутрифирменного планирования и управления крупными производственными предприятиями и вертикально-интегрированными холдингами [3, 10, 13, 15, 23, 29];

– построения моделей и выбора численных алгоритмов решения линейных и нелинейных оптимизационных задач формирования производственных и инвестиционных программ на уровне отдельных предприятий и производственных комплексов [2, 4, 6, 9, 11, 12, 17, 20, 21];

– оценки и учета затрат на производство машиностроительной продукции в рамках управленческого учета и сегментарной отчетности [1, 24];

– инвестиционного проектирования и управления инвестициями в реальном секторе экономики, в том числе, и в условиях риска [5, 22, 25, 27];

– построения моделей производственной функции предприятия в статичном и динамическом вариантах [7, 8, 16, 26, 29];

– институциональных преобразований в экономике хозяйствующих субъектов и инициируемых ими особенностей внутрифирменной деятельности российских промышленных предприятий на этапах завершения рыночных реформ [13, 14, 18, 19, 28].

Цель и задачи исследования связаны с разработкой и адаптацией комплекса математических моделей и численных алгоритмов двухуровневой оптимизации общей (в рамках интегрированной группы предприятий) и собственных (в рамках отдельных структурных подразделений интегрированной группы) производственных программ.

1. Математические модели выбора оптимальных производственных программ подразделений ИГП.

Рассмотрим экономико-математическую модель выбора оптимальной производственной программы ИГП и отдельных ее структурных подразделений-СБЕ для условий частично-децентрализованного варианта построения ее организационной структуры, характеризующегося следующими особенностями:

– управляющая компания-УК (материнская фирма) выполняет роль внутреннего банка и обеспечивает финансирование производственной деятельности структурных бизнес-единиц-СБЕ в составе интегрированной группы в рамках общих продуктовых цепочек (общей производственной программы ИГП);

– финансирование производственных затрат СБЕ в рамках общей производственной программы ИГП осуществляется путём перечислений из централизованного фонда холдинга разовых или периодически повторяющихся трансфертных платежей в пользу отдельных структурных подразделений по ставке внутрифирменного кредитования;

– управляющая компания учитывает заинтересованность отдельных СБЕ в реализации «общей» производственной программы при согласовании внутрифирменных цен на промежуточную продукцию и выборе порога рентабельности затрат их производственной деятельности;

– СБЕ в составе ИГП обладают полной самостоятельностью как при выборе вариантов загрузки оборудования (основного и вспомогательного) в рамках технологического времени, образовавшегося как резерв по окончании выполнения заказов, связанных с «общей» производственной программой, так и осуществлении финансирования «общей» и «собственной» частей производственной программы (выбор источников и объемов финансирования).

Ниже при описании модели будем использовать следующие обозначения переменных и параметров (переменные, входящие в группу управляемых – эндогенных отметим особо):

K – количество различных продуктовых цепочек (k, k_1, k_2 – индексы), реализуемых в рамках ИГП (в общем случае, K меняется с переходом на следующий временной интервал);

$I + 1$ – число СБЕ (i – индекс) в составе ИГП, $I + 1$ – индекс управляющей компании (УК);

$x_k^{(t)}$ – планируемый для интервала времени t объём производства i -го продукта (эндогенная переменная);

$\underline{x}_k^{(t)}, \bar{x}_k^{(t)}$ – соответственно нижняя (объём незавершённого производства) и верхняя (соответствующая рыночному спросу) границы изменения переменной $x_k^{(t)}$;

r_k – средний за наблюдаемый период удельный маржинальный доход от реализации на товарном рынке k -го продукта;

σ_k – дисперсия доходности продукции k -го вида;

$\text{cov}(k_1, k_2)$ – ковариация доходностей продукции видов k_1 и k_2 за наблюдаемый период времени;

$\bar{\sigma}_t$ – пороговое значение риска производственной программы ИГП для временного интервала t ;

$v_i(x_k^{(t)})$ – средняя за наблюдаемый период величина выпуска i -й СБЕ промежуточного продукта, обеспечивающего выпуск в k -й продуктовой цепочке ИГП конечного продукта величиной $x_k^{(t)}$;

$\text{rn}_{k,i}$ – трансфертная (внутрифирменная) цена на продукцию i -й СБЕ, выпускаемой в рамках k -й продуктовой цепочки;

$\text{rc}_{k,i}$ – себестоимость промежуточного продукта, выпускаемого i -й СБЕ в рамках k -й продуктовой цепочки;

J_i – число составляющих (j – индекс) рабочего капитала i -й СБЕ, учитываемых в калькуляции затрат её производственной деятельности;

$B_{i,j}^{(t)}$ – величина j -го актива в рабочем капитале i -й СБЕ на начало временного интервала t ;

$a_{k,i,j}$ – удельная фондоёмкость k -го продукта по j -му активу в составе рабочего капитала i -й СБЕ ($k = \overline{1, K}$; $i = \overline{1, I}$; $j = \overline{1, J_i}$);

$C_i^{(t)}$ – рабочий капитал i -й ($i = \overline{1, I}$) СБЕ на начало временного интервала t , выделяемый на покрытие затрат основной производственной деятельности;

$C_{I+1}^{(t)}$ – рабочий капитал УК, выделяемый для использования во внутрифирменных трансфертных платежах для временного интервала t ;

$\Delta C_i^{(t)}$ – трансфертные отчисления УК в адрес i -й СБЕ на временном интервале t (эндогенная переменная);

ren_i – минимальная рентабельность (порог рентабельности) затрат i -й СБЕ при выполнении основной производственной программы ИГП для временного интервала t .

ρ – ставка внутрифирменного кредитования.

Модель верхнего уровня (выбор оптимального варианта «общей» производственной программы ИГП для временного интервала t), реализуемая в рамках УК, задаётся соотношениями:

$$\sum_{k=1}^K r_k^{(t)} \cdot x_k^{(t)} + \sum_{i=1}^I \rho_i^{(t)} \cdot \Delta C_i^{(t)} - \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \text{rn}_{k,i} \cdot v_i(x_k^{(t)}) \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I \Delta C_i^{(t)} \leq C_{I+1}^{(t)}; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K a_{k,i,j} \cdot v_i(x_k^{(t)}) \leq B_{i,j}^{(t)}, i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J_i}; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \text{rc}_{k,i} \cdot v_i(x_k^{(t)}) \leq C_i^{(t)} + \Delta C_i^{(t)}, i = \overline{1, I}; \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K (\text{rn}_{k,i} - \text{rc}_{k,i}) \cdot v_i(x_k^{(t)}) \geq \text{ren}_i \cdot C_i^{(t)} + (\text{ren}_i + \rho_i^{(t)}) \cdot \Delta C_i^{(t)}, i = \overline{1, I}; \quad (5)$$

$$\sum_{k_1=1}^K \sum_{k_2=1}^K x_{k_1}^{(t)} \cdot x_{k_2}^{(t)} \cdot \sigma_{k_1} \cdot \sigma_{k_2} \cdot \text{cov}(k_1, k_2) \leq 2 \cdot \bar{\sigma}_t^2 \left[\sum_{k=1}^K x_k^{(t)} \right]^2; \quad (6)$$

$$x_k^{(t)} \in \left[\underline{x}_k^{(t)}, \bar{x}_k^{(t)} \right]; x_k^{(t)}, \Delta C_i^{(t)} \in Z_+, k = \overline{1, K}, i = \overline{1, I}. \quad (7)$$

Приведём необходимые комментарии к модели (1) – (7):

- критерий (1) – на максимум валового дохода УК при сделанных выше предположениях, основными из которых при интерпретации выбранной формы критерия являются: однородность капитала, привлекаемого в финансирование затрат СБЕ в составе ИГП, а также платность (в рамках внутрифирменных контрактов) промежуточной продукции, выпускаемой отдельными СБЕ. Достаточно простая форма критерия объясняется тем, что УК при выборе «общей» производственной программы ИГП выступает в роли заказчика промежуточной продукции, выпускаемой отдельными СБЕ, и несёт риск потери планируемой доходности производственной деятельности интегрированной группы в целом;
- неравенство (2) – ограничение на объёмы трансфертных отчислений из централизованного фонда ИГП в рабочие капиталы отдельных СБЕ;
- неравенства (3) и (4) – ограничения производственной программы ИГП на предельные объёмы соответственно:

планируемой фондоёмкости по отдельным составляющим рабочих капиталов СБЕ и затрат по выпуску промежуточной продукции отдельными СБЕ;

- неравенство (5) – ограничение на минимальную рентабельность производственной деятельности i -й СБЕ в рамках общей производственной программы холдинга;
- неравенство (6) – ограничение на допустимый риск общей производственной программы ИГП.

– $v_i(x_k^{(t)})$ – средняя за наблюдаемый период величина выпуска i -й СБЕ промежуточного продукта, обеспечивающего выпуск в k -й продуктовой цепочке ИГП конечного продукта величиной $x_k^{(t)}$, изначально представленная в табличной форме, в численном алгоритме оптимизации предполагается быть представленной интерполяционным многочленом Лагранжа.

Обозначим решение задачи (1) – (7) – оптимальный вариант «общей» производственной программы ИГП для временного интервала t -векторами

$$\overline{\overline{\Delta C}}^{(t)} = \left(\overline{\overline{\Delta C}}_1^{(t)}, \dots, \overline{\overline{\Delta C}}_i^{(t)}, \dots, \overline{\overline{\Delta C}}_I^{(t)} \right) \text{ и } \overline{\overline{x}}^{(t)} = \left(\overline{\overline{x}}_1^{(t)}, \dots, \overline{\overline{x}}_k^{(t)}, \dots, \overline{\overline{x}}_K^{(t)} \right),$$

где $\overline{\overline{\Delta C}}_i^{(t)}, \overline{\overline{x}}_k^{(t)} \in Z_+$.

Остатки производственной мощности в объёмах:

$$\Delta b_{i,j}^{(t)} = B_{i,j}^{(t)} - \sum_{k=1}^K a_{k,i,j} \cdot v_i(\overline{\overline{x}}_k^{(t)}) \quad (i = \overline{1}, I; j = \overline{1}, J)$$

и оборотных средств величиной:

$$\Delta OS_i^{(t)} = C_i^{(t)} + \overline{\overline{\Delta C}}_i^{(t)} - \sum_{k=1}^K rc_{k,i} \cdot v_i(\overline{\overline{x}}_k^{(t)}), \quad (i = \overline{1}, I)$$

i -я СБЕ использует на реализацию «собственной» производственной программы, выбор оптимального варианта которой и составляет цель решения задачи нижнего уровня.

Сформулируем базовые предпосылки выбора модели нижнего уровня:

- на этапе выбора «собственной» производственной программы СБЕ в составе ИГП оперирует только собственными и заёмными средствами, не прибегая к трансфертным отчислениям УК. Таким образом, в этом случае структурное подразделение является «традиционным» рыночным агентом, что предполагает выбор критерия для кратко- и среднесрочного интервалов планирования в форме валового дохода от реализации товарной продукции за вычетом затрат на производство и обслуживание заёмного капитала;

– «излишки» производственных мощностей и ресурсно-финансового обеспечения основной производственной деятельности СБЕ после реализации «общей» производственной программы ИГП незначительны и обеспечивают выбор варианта «собственной» производственной программы СБЕ из весьма незначительного числа возможных. Это делает излишним учёт в модели выбора оптимального варианта «собственной» программы СБЕ рыночного риска;

– в условиях частично-децентрализованной организационной структуры ИГП СБЕ в ее составе планируют «собственную» производственную деятельность с учётом риска банкротства, что предполагает учёт в модели нижнего уровня предельного риска структуры капитала.

Введём следующие обозначения для дополнительных переменных и параметров, используемых при описании модели нижнего уровня (входящие в группу управляемых-эндогенных отметим особо):

L_i – количество продуктов (l – индекс) в номенклатурном перечне продуктов собственного производства i -й СБЕ;

$y_{i,l}^{(t)}$ – планируемый объём производства l -го продукта в интервале времени t в рамках «собственной» производственной программы i -й СБЕ, $l = \overline{1, L_i}$ (эндогенная переменная);

$\underline{y}_{i,l}^{(t)}, \overline{y}_{i,l}^{(t)}$ – соответственно нижняя и верхняя границы изменения переменной $y_{i,l}^{(t)}$ (определяются аналогично

границам для переменных группы $x_k^{(t)}$, $i = \overline{1, I}, l = \overline{1, L_i}$;

$r_{i,l}^{(t)}$ – планируемая цена реализации для временного интервала t l -го продукта, производимого в рамках «собственной» производственной программы i -й СБЕ, $l = \overline{1, L_i}$;

$\overline{a}_{l,i,j}$ – удельная фондоёмкость l -го продукта «собственной» производственной программы i -й СБЕ по j -му активу в составе её рабочего капитала ($l = \overline{1, L_i}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J_i}$);

$rc_{l,i}$ – себестоимость производства l -го продукта «собственной» производственной программы i -й СБЕ, $l = \overline{1, L_i}$;

$z_i^{(t)}$ – планируемый для временного интервала t объём внешнего заёмного финансирования производственной деятельности i -й СБЕ (в рамках дополнительного финансирования «собственной» производственной программы – эндогенная переменная);

$\overline{KA}_i^{(t)}$ – предельное для периода t значение коэффициента автономии рабочего капитала i -й СБЕ;

m_i – ставка внешнего кредита для i -й СБЕ (в общем случае, нелинейная функция объёма $z_i^{(t)}$ заёмного финансирования);

τ – ставка налога на прибыль.

Модель нижнего уровня (выбор оптимального варианта «собственной» производственной программы i -й СБЕ для временного интервала t) задается соотношениями:

$$(1 - \tau) \left[\sum_{l=1}^{L_i} (r_{i,l}^{(t)} - \overline{rc}_{l,i}) \cdot y_{i,l}^{(t)} - \overline{m}_i \cdot z_i^{(t)} \right] \rightarrow \max; \quad (8)$$

$$\sum_{l=1}^{L_i} \overline{a}_{l,i,j} \cdot y_{i,l}^{(t)} \leq \Delta b_{i,j}^{(t)}, j = \overline{1, J_i}; \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^{L_i} \overline{rc}_{l,i} \cdot y_{i,l}^{(t)} \leq \Delta OS_i^{(t)} + z_i^{(t)}; \quad (10)$$

$$z_i^{(t)} \leq \frac{(1 - \overline{KA}_i^{(t)}) \cdot \Delta OS_i^{(t)}}{\overline{KA}_i^{(t)}}; \quad (11)$$

$$y_{i,l}^{(t)}, z_i^{(t)} \in Z_+, l = \overline{1, L_i}. \quad (12)$$

2. Эмпирические расчёты производственных программ подразделений ИГП на верхнем и нижнем уровнях.

Эмпирические расчёты по модели «Выбор оптимального варианта производственной деятельности интегрированной группы предприятий» были проведены на следующем контрольном примере. Выбранная ИГП (машиностроительный холдинг) включает три СБЕ (производственные цеха, технологические переделы, табл. 1).

СБЕ принимают участие в производстве общей номенклатуры выпускаемых холдингом изделий (табл. 2) и в производстве изделий «собственной» производственной программ (продукты, производимые СБЕ, выпускаются партиями по 10 ед.).

Цены реализации продукции: партия легковых автомобилей (10 шт.) 4000 усл. ед., грузовых – 9000 усл. ед. (400 усл. ед. и 900 усл. ед. за шт. соответственно).

Таблица 1

СБЕ в составе ИГП

№	Название СБЕ (цех / технологический передел)	Промежуточный продукт	Ставка внутрифирменного кредитования ρ , установленная УК	Рабочий капитал C (в усл. д. е.)	Нижний порог рентабельности рабочего капитала
1	Основной	Кузова	6.4%	3600	16%
2	Колёсный	Колёса	6.5%	3500	11%
3	Электротехнический	Электрооборудование	7%	1100	19%

Таблица 2

Нормативы затрат рабочего капитала на ед. промежуточной продукции

СБЕ	Актив	I продукт	II продукт	Запасы, ед.
		Легковой автомобиль	Грузовой автомобиль	
1	1 Сталь	10	20	440
	2 Стекло	6	9	220
	3 Резина	3	7	150
	4 Пластик	2	2	60
	5 Провода	1	3	60
2	1 Сталь	3	8	530
	2 Стекло	—	—	—
	3 Резина	2	4	290
	4 Пластик	2	3	230
	5 Провода	—	—	—
3	1 Сталь	2	3	440
	2 Стекло	—	—	—
	3 Резина	—	—	—
	4 Пластик	2	4	540
	5 Провода	1	2	270

Таблица 3

Трансфертные цены и себестоимость промежуточного продукта

СБЕ	Трансфертная (внутрифирменная) цена г, усл. ед.		Себестоимость промежуточного продукта гс, усл. ед.	
	I	II	I	II
1	90	240	70	210
2	30	60	25	53
3	8	13	6	11

Используем пороговое значение риска производственной программы ИГП $\bar{\sigma}_i = \sqrt{1.7}$.

Представим табличные зависимости величин выпуска конечных продуктов и выпуска отдельными СБЕ промежуточной продукции. Они строятся по историческим данным, либо экспертным методом и учитывают характерную для условий серийного производства нелинейную зависимость в парах «выпуск конечной продукции – выпуск промежуточной продукции» (табл. 4).

Для визуализации зависимости в паре «выпуск конечной продукции – затраты рабочего капитала СБЕ на выпуск промежуточной продукции» нами была использована численная интерполяция этой зависимости на основе многочлена Лагранжа 3-й степени, который для исходных данных, представленных в табл. 4 (в качестве примера выбраны первая СБЕ и первый продукт), имеет вид (рис. 1) (в соотношениях (3) – (5) многочлен представлен обозначением $v_1(x_1)$, для других СБЕ и продуктов обозначения аналогичны):

$$y(x) = 0.006173x^3 - 0.2037x^2 + 2.889x. \quad (13)$$

Для оценки рыночного риска в модели общей производственной программы ИГП нами проведён анализ временных рядов доходностей выпускаемых продуктов. Эти данные представлены в табличной (табл. 5) и графической (рис. 2) формах.

Таблица 4

Табличные зависимости для объёмов промежуточных продуктов

СБЕ	Продукт	Объём конечной продукции	Объём промежуточной продукции
1	I	0	0
		3	7
		9	14
	II	18	22
		0	0
		4	12
2	I	12	25
		18	32
		0	0
	II	4	20
		13	40
		18	60
3	I	0	0
		5	45
		13	100
	II	17	160
		0	0
		4	80
		12	180
		17	220

На основе этой информации были получены показатели риска (дисперсия, среднеквадратичное отклонение, ковариация доходностей продуктов), которые имеют значения: $\sigma_1 = 0.695$, $\sigma_2 = 0.723$, $cov(1; 2) = 0.06$.

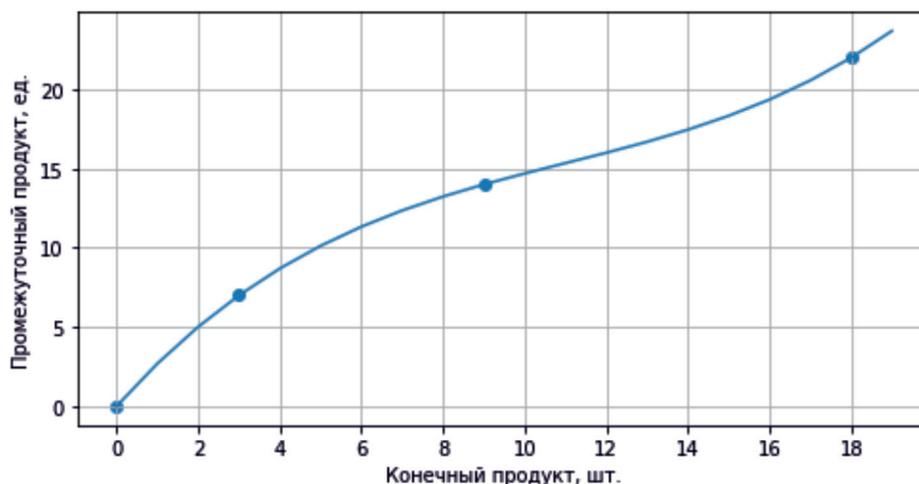


Рис. 1. График зависимости, задаваемой соотношением (13)

Доходности продуктов, %

t	r_1	r_2
1	5.5	5.8
2	6.9	5.9
3	6.8	4.8
4	6.9	6.4
5	6.2	4.5
6	6.7	4.6
7	7.2	5.4
8	5.7	4.4
9	7.4	6.4
10	6.4	6
11	5.2	6.3
12	5.6	5.5

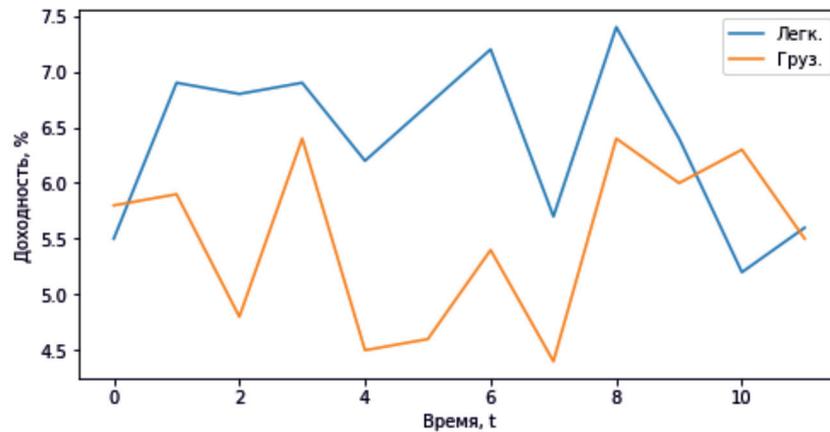


Рис. 2. Ряды доходности продуктов первой и второй групп

Модель верхнего уровня с учётом конкретного числового наполнения имеет вид:

$$4000x_1 + 9000x_2 + 6.4\% \cdot \Delta C_1 + 6.5\% \cdot \Delta C_2 + 7\% \cdot \Delta C_3 - 90v_1(x_1) - 240v_1(x_2) -$$

$$-30v_2(x_1) - 60v_2(x_2) - 8v_3(x_1) - 13v_3(x_2) \rightarrow \max \tag{14}$$

$$\Delta C_1 + \Delta C_2 + \Delta C_3 \leq 1500 \tag{15}$$

$$\begin{bmatrix} 10 & 20 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6 & 9 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_1(x_1) \\ v_1(x_2) \\ v_2(x_1) \\ v_2(x_2) \\ v_3(x_1) \\ v_3(x_2) \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 440 \\ 220 \\ 150 \\ 60 \\ 60 \\ 530 \\ 0 \\ 290 \\ 230 \\ 10 \\ 440 \\ 0 \\ 0 \\ 540 \\ 270 \end{bmatrix} \quad (16.1)$$

Выражение (16.1) может также быть представлено в виде системы линейных (относительно $v(x)$) неравенств следующим образом:

$$\begin{cases} 10v_1(x_1) + 20v_1(x_2) \leq 440 \\ 6v_1(x_1) + 9v_1(x_2) \leq 220 \\ \dots \\ v_3(x_1) + 2v_3(x_2) \leq 270 \end{cases} \quad (16.2)$$

$$\begin{bmatrix} 90 & 240 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30 & 60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 8 & 13 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_1(x_1) \\ v_1(x_2) \\ v_2(x_1) \\ v_2(x_2) \\ v_3(x_1) \\ v_3(x_2) \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 3600 \\ 3500 \\ 1100 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta C_1 \\ \Delta C_2 \\ \Delta C_3 \end{bmatrix} \quad (17.1)$$

Выражение (17.1) может также быть представлено в виде системы линейных (относительно $v(x)$) неравенств следующим образом:

$$\begin{cases} 90v_1(x_1) + 240v_1(x_2) \leq 3600 + \Delta C_1 \\ 30v_1(x_1) + 60v_1(x_2) \leq 3500 + \Delta C_2 \\ 8v_3(x_1) + 13v_3(x_2) \leq 1100 + \Delta C_3 \end{cases} \quad (17.2)$$

$$\begin{bmatrix} 20 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_1(x_1) \\ v_1(x_2) \\ v_2(x_1) \\ v_2(x_2) \\ v_3(x_1) \\ v_3(x_2) \end{bmatrix} \geq \begin{bmatrix} 16\% \cdot 3600 \\ 11\% \cdot 3500 \\ 19\% \cdot 1100 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (16\% + 6.4\%) \cdot \Delta C_1 \\ (11\% + 6.5\%) \cdot \Delta C_2 \\ (19\% + 7\%) \cdot \Delta C_3 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} & x_1 \cdot x_1 \cdot 0.695 \cdot 0.695 \cdot 0.695^2 + x_1 \cdot x_2 \cdot 0.695 \cdot 0.723 \cdot 0.06 + x_2 \cdot x_1 \cdot 0.723 \cdot 0.695 \cdot 0.06 + \\ & + x_2 \cdot x_2 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_2 \cdot 0.723^2 \leq 2 \cdot 1.7 \cdot (x_1^2 + x_2^2) \end{aligned} \quad (19)$$

Получены следующие результаты: Валовой доход УК: 76098 усл. ед. Оптимальные объёмы производства (в партиях): $x_1 = 11$, $x_2 = 4.7$, объёмы производства (в шт.): 110 легковых автомобилей и 47 грузовых. Объёмы трансфертов: $\Delta C_1 = 610$, $\Delta C_2 = 356$, $\Delta C_3 = 534$.

Оценим эффективность общей производственной программы (рентабельность затрат) по СБЕ. Доходы СБЕ складываются из стоимости произведённой ими промежуточной продукции, исчисленной в трансфертных (внутрифирменных) ценах. Затраты СБЕ соответствуют затратам рабочего капитала (табл. 6).

Получены следующие данные по остаткам рабочего капитала отдельных СБЕ (табл. 7).

В процессе решения задачи нижнего уровня определяются собственные программы отдельных СБЕ холдинга (табл. 8). Продукты, производимые в рамках собственных программ, выпускаются партиями по 10 ед.

В табл. 9 приведены данные по пороговым значениям коэффициентов автономии и стоимости краткосрочных кредитов для отдельных СБЕ, которые предполагается использовать в расчётах собственных производственных программ подразделений в рамках модели нижнего уровня.

Таблица 6

Рентабельность затрат общей производственной программы

СБЕ (цех / технологический передел)	Доходы	Расходы	Рентабельность
1	4670	3952	18.2%
2	4149	3611	14.9%
3	1852	1504	23.1%

Таблица 7

Остатки рабочего капитала СБЕ

Актив	1-я СБЕ	2-я СБЕ	3-я СБЕ
1	12.44	12.48	0
2	4.58	-	-
3	8.03	13.42	-
4	1.9	4.75	7.79
5	3.54	-	3.89
Рабочий капитал	257	245	129

Таблица 8

Продукты собственных производственных программ СБЕ

СБЕ (цех / технологический передел)	Продукт	Расход активов (1-5)					Цена реализации r	Себестоимость $гс$
		1	2	3	4	5		
1	Капоты	2	0	1	1	0	100	80
	Двери	1	3	1	1	1	200	180
2	Диски	1	0	1	1	0	80	65
3	Фонари	0	1	1	1	2	50	40
	Блоки питания	1	0	1	1	1	40	35
	АКБ	1	1	0	2	1	45	40

Таблица 9

Дополнительные параметры для СБЕ

СБЕ (цех / технологический передел)	Коэффициент автономии KA	Проценты на внешний кредит m
1	0.8	9%
2	0.7	8.5%
3	0.9	8%

С учётом данных, отражённых в табл. 7, 8, 9, модель нижнего уровня имеет следующий вид:

$$(1 - 0.2) \cdot [(100 - 80) \cdot y_{1,1} + (200 - 180) \cdot y_{1,2} + (80 - 65) \cdot y_{2,1} + (50 - 40) \cdot y_{3,1} + (40 - 35) \cdot y_{3,2} + (45 - 40) \cdot y_{3,3} - 9\% \cdot z_1 - 8.5\% \cdot z_2 - 8\% \cdot z_3] \rightarrow \max \quad (20)$$

$$\begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_{1,1} \\ y_{1,2} \\ y_{2,1} \\ y_{3,1} \\ y_{3,2} \\ y_{3,3} \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 12.44 \\ 4.58 \\ 8.03 \\ 1.9 \\ 3.54 \\ 12.48 \\ 10.0 \\ 13.42 \\ 4.75 \\ 10.0 \\ -0.0 \\ 10.0 \\ 10.0 \\ 7.79 \\ 3.89 \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\begin{cases} 80y_{1,1} + 180y_{1,2} \leq 257 + z_1 \\ 65y_{2,1} \leq 245 + z_2 \\ 40y_{3,1} + 35y_{3,2} + 40y_{3,3} \leq 129 + z_3 \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} z_1 \leq \frac{(1 - 0.8) \cdot 257}{0.8} \\ z_2 \leq \frac{(1 - 0.7) \cdot 245}{0.7} \\ z_3 \leq \frac{(1 - 0.9) \cdot 129}{0.9} \end{cases} \quad (23)$$

Результаты расчёта собственных производственных программ подразделений холдинга, реализуемых на резервах рабочего капитала и финансово-ресурсного обеспечения, представлены в табл. 10 и табл. 11.

Таблица 10

Объёмы производства 1-6 продуктов собственных программ

СБЕ (цех / технологический передел)	Планируемый объём внешнего заёмного финансирования z	Собственный продукт	Оптимальный объём производства (в шт.) *
1	51.3	1	4
		2	15
2	54.2	3	46
3	0	4	19
		5	0
		6	0

* Комментарий. В расчётах объёма выпуска учитывался указанный выше размер партии.

Таблица 11

Рентабельность затрат собственных производственных программ *

СБЕ (цех / технологический передел)	Доходы	Затраты	Рентабельность
1	330.7	304	8.8%
2	351.3	299.7	17.2%
3	93.1	77.6	20.0%

* Комментарий. Затраты рассчитываются в соответствии с левой частью выражения (22). Валовой, очищенный от налогов и платежей, доход рассчитывается на основе формулы, приведённой в левой части критерия (20).

Полученные в статье результаты соответствуют заявленной цели и задачам. К основным следует отнести постановку задачи и двухуровневую модель выбора оптимальных вариантов общей и собственных производственных программ соответственно управляющей компании и структурных подразделений интегрированной группы предприятий с крите-

рием валовой маржинальной доходности и внешними и внутренними ограничениями, включая и ограничение на риск, эмпирические расчеты по которой продемонстрировали ее высокую адаптивность к реальной практике функционирования крупных производственных предприятий корпоративного сектора экономики.

Библиографический список

1. Алёшина И.Ф. Управленческий учет для управленцев // Современные аспекты экономики. 2005. № 13 (80). С. 78–81.
2. Алёшина И.Ф. Моделирование парка оборудования ткацкого производства // В сборнике: Информационные технологии и математические методы в экономике и управлении (ИТиММ-2016). 2016. С. 26–31.
3. Анохина П.Н., Беяева Д.И., Димитриев А.М., Максимов Д.А. Оптимизация внутрифирменного кредитования подразделений иерархической производственной структуры с критериями игры с природой // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 1-1. С. 4–16.
4. Антиколь А.М., Халиков М.А. Нелинейные модели микроэкономики: учеб. пособие. М.: ФГБОУ ВПО «РЭУ им. Г.В. Плеханова», 2011 – 156 с.
5. Анциборко К.В., Халиков М.А. Теоретические аспекты анализа структуры капитала инвестиционного проекта и выбора ставки дисконтирования / Современные аспекты экономики. 2005. № 11 (78). С. 122–136.
6. Аоки М. Введение в методы оптимизации. Основы и приложения нелинейного программирования. М.: Наука, 1977. – 343 с.
7. Бабаян Э.А., Расулов Р.М., Халиков М.А. Динамические модели «затраты-выпуск» // Экономика природопользования. 2013. № 2. С. 3–16.
8. Безухов Д.А., Халиков М.А. Математические модели и практические расчеты оптимальной структуры производственного капитала предприятия с неоклассической производственной функцией // Фундаментальные исследования 2014. № 11-1. С. 114–123.
9. Безухов Д.А., Халиков М.А. Выбор оптимального варианта обновления основного капитала предприятия с учетом рисков производственной сферы // Фундаментальные исследования. 2015. – № 4. – С. 191–198.
10. Бельченко С.В., Халиков М.А., Щепилов М.В. Управление транзакционными издержками интегрированной группы предприятий: модели и методы. М., 2011.
11. 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.
12. Грибов А.Ф. Нелинейная модель оптимизации операционной деятельности предприятия // Фундаментальные исследования. 2016. № 2-1. С. 140–144.

13. Грибов А.Ф. Роль государства в формировании собственности российских компаний // Ученые записки Российской Академии предпринимательства. 2018. Т. 17. № 4. С. 55–63.
14. Грибов А.Ф., Максимов Д.А. Оптимальный сценарий развития российской экономики // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6-1. С. 109–112.
15. Иванова В.О. Особенности менеджмента вертикально-интегрированной компании // Российское предпринимательство. – 2011. – Том 12. – № 11. – С. 55–60.
16. Клейнер Г.Б. Производственные функции: теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика, 1986. – 239 с.
17. Колемаев В.А. Математические методы и модели исследования операций. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2012. 592 с.
18. Максимов Д.А., Халиков М.А. Методы оценки и стратегии обеспечения экономической безопасности предприятия. – М.: ЗАО «Гриф и К», 2012. 220 с.
19. Максимов Д.А., Халиков М.А. К вопросу о содержании понятия «экономическая безопасность предприятия» и классификации угроз безопасности / Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 3–5. С. 588.
20. Максимов Д.А., Халиков М.А. Моделирование инвестиционной деятельности предприятия, ориентированной на рост производства и снижение производственного риска / Ученые записки Российской Академии предпринимательства. 2008. № 16. С. 70–80.
21. Халиков М.А. Дискретная оптимизация планов повышения надежности функционирования экономических систем // Финансовая математика. Сб. ст.- М.: МГУ, 2001. С. 281–295.
22. Халиков М.А., Максимов Д.А. Об одном подходе к анализу и оценке ресурсного потенциала предприятия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 11–2. С. 296–300.
23. Халиков М.А. Методы анализа и оценки риска рыночной деятельности подразделений иерархической производственной структуры // Менеджмент в России и за рубежом. – 2009. – № 1. С. 108–120.
24. Халиков М.А., Емельянов П.С. Интеграция преимуществ методов управленческого учета в задачах планирования производственных затрат / Управленческий учет. 2007. № 2. С. 22–31.
25. Халиков М.А., Максимов Д.А. Концепция и теоретические основы управления производственной сферой предприятия в условиях неопределенности и риска // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 10–4. – С. 711–719.
26. Халиков М.А., Никифорова М.А., Модели оценки критического объема производства многономенклатурного предприятия с учетом рыночного риска // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 11 – С. 248–252.
27. Khalikov M.A., Maximov D.A., Shabalina U.M. Risk indicators and risk management models for an integrated group of enterprises / Journal of Applied Economic Sciences. 2018. Т. 13. № 1 (55). С. 52–64.
28. Maximov D.A., Khalikov M.A. Prospects of institutional approach to production corporation assets assessment // Actual Problems of Economics. 2016. V.183 № 9. P. 16–25.
29. Minniti A., Turino F. Multi-product firms and business cycle dynamics. European Economic Review. 2013. V. 57. P. 75–97.