

9. Bazhenov S. I. Digital transformation of economic security of region (on the example of Sverdlovsk region). *Regional economics and management: electronic scientific journal*, 2021, no. 1(65), p. 5. (In Russ.)
10. Lavrova E. V. Threats to economic security in conditions of digital transformation. In: *Digital space: economics, management, society. Proceedings of the all-Russ. sci. conf. Kursk*, 2020. Pp. 178—183. (In Russ.)
11. *The Digital Economy*. URL: <https://publications.parliament.uk/pa/cm201617/cmselect/cmbis/87/87.pdf>.
12. Shevchenko A. V. Overview of “end-to-end” technologies in the Russian Federation. *Skiff*, 2019, no. 7(35), pp. 149—151. (In Russ.)
13. Surovitskaya G. V. “End-to-end” digital technologies in regional economics. *Models, systems, networks in economics, engineering, nature and society*, 2019, no. 4, pp. 16—23. (In Russ.)
14. *End-to-end technologies of digital economy cross-cutting technology end-to-end technology*. URL: https://tadviser.com/index.php/Article:End-to-end_technologies_of_digital_economy.
15. *What is Digital Economy? Meaning, Advantages & Disadvantages*. URL: <https://financeninsurance.com/digital-economy>.
16. *The Digital Economy*. URL: <https://www.bankofcanada.ca/wp-content/uploads/2017/05/boc-review-spring17-dsouza.pdf>.

Как цитировать статью: Баженов С. И., Голоха Д. Д., Новикова К. А. Внедрение сквозных цифровых технологий в регионах Уральского федерального округа // Бизнес. Образование. Право. 2021. № 3 (56). С. 205—210. DOI: 10.25683/VOLBI.2021.56.376.

For citation: Bazhenov S. I., Golokha D. D., Novikova K. A. Introduction of “end-to-end” digital technologies in subjects of the Ural Federal District. *Business. Education. Law*, 2021, no. 3, pp. 205—210. DOI: 10.25683/VOLBI.2021.56.376.

УДК 658.1
ББК 65.9(2p).5

DOI: 10.25683/VOLBI.2021.56.379

Titov Vladislav Vladimirovich,
Doctor of Economics, Professor,
Chief researcher of the Institute of Economics
and Industrial Engineering,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Head of the Department of Industrial Production Modeling
and Management,
Novosibirsk National Research State University,
Russian Federation, Novosibirsk,
e-mail: titov@ieie.nsc.ru

Титов Владислав Владимирович,
д-р экон. наук, профессор,
главный научный сотрудник Института экономики
и организации промышленного производства СО РАН,
заведующий кафедрой моделирования
и управления промышленным производством,
Новосибирский национальный
исследовательский государственный университет,
Российская Федерация, г. Новосибирск,
e-mail: titov@ieie.nsc.ru

Bezmelnitsyn Dmitry Arkadevich,
Candidate of Economics,
General Director,
Research and Production Association ELSIB PJSC,
Russian Federation, Novosibirsk,
e-mail: gd@elsib.ru

Безмельницын Дмитрий Аркадьевич,
канд. экон. наук,
генеральный директор,
научно-производственное объединение «ЭЛСИБ» ПАО,
Российская Федерация, г. Новосибирск,
e-mail: gd@elsib.ru

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ С ДЛИТЕЛЬНЫМ ЦИКЛОМ ПРОИЗВОДСТВА

DEVELOPMENT OF OPERATIONAL MANAGEMENT SYSTEMS ON HIGH-TECH WITH A LONG CYCLE THE PRODUCTION OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES

08.00.05 — Экономика и управление народным хозяйством
08.00.05 — Economics and management of national economy

Главным сектором экономики РФ являются промышленные предприятия, корпорации. Здесь формируются процессы производства и реализации продукции, решаются проблемы повышения эффективности работы предприятий. Этим процессам ставится в соответствие система внутрифирменного управления предприятием.

Сложные финансово-экономические условия внешней и внутренней среды, усиление конкуренции ста-

вят новые и новые требования к системе управления предприятиями. Механизм системы управления предприятием ориентирует его на формирование конкурентных преимуществ на рынке. В этом случае обеспечивается направление его развития на максимизацию функции цели предприятия, корпорации — максимума его рыночной стоимости, других финансово-экономических показателей.

Введение

Быстрое изменение хозяйственной и институциональной среды, факторов неопределенности приводит к возникновению новых проблем на всех уровнях управления: стратегическом, тактическом и оперативном. Изменения во внешней среде существенно затрудняют процесс планирования реализации намеченных планов. Например, разработка стратегии предприятия не всегда обеспечивает ему достижение определенных конкурентных преимуществ. В этом случае существенно возрастает роль операционных стратегий.

Использование комплекса моделей оптимизации позволяет решать сложные проблемы на промышленных предприятиях. В исследовании представлена разработка комплекса моделей оптимизации, который согласовывает задачи объемно-календарного, оперативно-календарного и сетевого планирования. В работе представлен также оригинальный подход, учитывающий любую длительность операций, и не кратной выбранной единице времени. Такой результат повышает адекватность приближения модели к реальности.

The main sectors of the Russian economy are industrial enterprises, corporations. Here the processes of production and sales of products are formed; the problems of improving the efficiency of enterprises are solved. To these processes the system of intra-company management of the enterprise is put in accordance.

Complex financial and economic conditions of external and internal environment, increased competition put new and new requirements to the enterprise management system. The mechanism of enterprise management system focuses it on the formation of competitive advantages in the market. In this case the direction of its development on maximization of the function of the enterprise's or corporation's goal, i. e. the maximum of its market value and other financial and economic indicators is provided.

Rapid changes in the economic and institutional environment, and uncertainty factors lead to new problems at all levels of management: strategic, tactical and operational. Changes in the external environment significantly complicate the process of planning the implementation of plans. For example, the development of the enterprise's strategy does not always ensure the achievement of certain competitive advantages. In this case, the role of operational strategies increases significantly.

The use of a set of optimization models allows solving complex problems in industrial enterprises. The study presents the development of a set of optimization models, which coordinates the problems of volume-calendar, operative-calendar and network planning. The work also presents an original approach that takes into account any duration of operations, and not a multiple of the selected unit of time. This result increases the adequacy of the approximation of the model to reality.

Ключевые слова: сетевое планирование, оперативное управление производством, оптимизация принятия решений, разработка методологических положений согласования моделей, тактическое управление, функции цели предприятия, уровни управления, операционные стратегии, согласованность стратегических, тактических и операционных решений, планирование по ведущим операциям.

Keywords: network planning, operational production management, optimization of decision-making, development of methodological provisions for the coordination of models, tactical management, functions of the enterprise's goals, management levels, operational strategies, consistency of strategic, tactical and operational decisions, planning for leading operations.

Актуальность. Главным сектором экономики РФ являются промышленные предприятия, корпорации. Здесь формируются процессы производства и реализации продукции, решаются проблемы повышения эффективности работы предприятий. Этим процессам ставится в соответствие система внутрифирменного управления предприятием.

Сложные финансово-экономические условия внешней и внутренней среды, усиление конкуренции ставят новые и новые требования к системе управления предприятиями. Механизм системы управления предприятием ориентирует его на формирование конкурентных преимуществ на рынке. В этом случае обеспечивается направление его развития на максимизацию функции цели предприятия, корпорации — максимума его рыночной стоимости, других финансово-экономических показателей.

Быстрое изменение хозяйственной и институциональной среды, факторов неопределенности приводит к возникновению новых проблем на всех уровнях управления: стратегическом, тактическом и оперативном. Изменения во внешней среде существенно затрудняют процесс планирования реализации намеченных планов. Например, разработка стратегии предприятия не всегда обеспечивает ему достижение определенных конкурентных преимуществ. В этом случае существенно возрастает роль операционных стратегий.

В качестве важной проблемы на промышленных предприятиях рассматривается задача согласования планирования подсистем оперативного управления на основе использования моделей оптимизации объемного, оперативного, сетевого планирования.

Обычно в производстве сложной наукоемкой продукции используется сетевое планирование. При ограничениях на ресурсы возрастают трудности решения такой задачи. В планах учитываются ведущие операции, их сдвиги во времени. Важно, что задача может решаться и не в целых числах.

Критерий оптимизации — минимум длительности выполнения всех операций, минимум незавершенного производства. В целом сетевое планирование производства учитывает ограничения ресурсов и сводится к задаче линейного целочисленного программирования.

Оперативное управление производством формируется как итеративный процесс, уменьшающий производственные риски, реализуемый системной задачей тактического управления. Рассматриваемая система моделей важна для теории и практики управления промышленными предприятиями.

В целом внутрифирменное управление опирается на согласованность стратегических, тактических и операционных решений. Без такого согласования успешной реализации планов может и не быть. Поэтому разработка методологических положений совершенствования внутрифирменного управления, направленного на обеспечение согласованности, повышения эффективности, системности принятия решений на всех его уровнях, является *актуальной проблемой*.

Изученность проблемы. Вопросы планирования освоения высокотехнологичной продукции достаточно широко рассмотрены в зарубежной и российской литературе. В работе рассматривается процесс планирования производства новой продукции. Для предприятия ставится комплексная задача перспективного оптимизационного планирования.

Используются оптимизационные модели для управления на предприятии, но в исследовании они объединены в единый методический подход. Такой подход является оригинальным и определяет научную новизну представленного исследования.

Целесообразность разработки темы исследования заключается в том, что использование комплекса моделей оптимизации позволяет решать сложные проблемы на промышленных предприятиях. К таким проблемам относятся задачи исследования операций, объемно-календарного планирования, сетевого планирования с ограничениями на ресурсы, оперативного-календарного планирования и др. Таким образом, рассматриваемая система моделей важна для теории и практики управления промышленными предприятиями.

Научная новизна исследований заключается в разработке комплекса моделей оптимизации, позволяющего решать важные задачи производственного планирования — сформулирован механизм планирования процесса освоения высокотехнологичной инновационной продукции на основе использования оптимизационных моделей.

Цель и задачи исследования. Представление системного методического подхода к планированию процесса производства и реализации высокотехнологичной инновационной продукции на основе использования моделей оптимизации. Задачи исследования: модель объемно-календарного планирования (ОБКП) используется на верхних уровнях управления — стратегическом, тактическом; система межцехового оперативного-календарного планирования (ОКП), способная решать основную задачу исследований операций; оптимизационная модель оперативного-календарного планирования; согласование тактических планов работы предприятия с оперативным управлением производства сложных изделий с длительным технологическим процессом.

Теоретическая и практическая значимость работы. Механизм планирования освоения высокотехнологичной инновационной продукции в условиях неопределенности развивает методическое обеспечение планирования научно-технической и производственной деятельности предприятий. Построенный оптимизационный комплекс моделей согласует деятельность предприятия, расширяет модельную базу экономического планирования. Представленный механизм уменьшает риски изготовления новой продукции, эффективно планирует поток финансов, оптимизирует экономическую деятельность и др.

Основная часть

Многоуровневая система оперативного управления производством (ОУП) представляется комплексом моделей, который и рассматривается в данной работе.

На промышленных предприятиях важное место отводится операционным планам [1—12 и др.], как и реализации стратегического управления. Так, М. Портер отмечал, что «операционная эффективность и стратегия одинаково важны для получения важнейших результатов... но работают они по-разному» [6]. Категоричны и другие отзывы. «То, что разработка верной стратегии компании дает компании определенные конкурентные преимущества, скорее является заблуждением. На самом деле формирование стратегии — это еще не залог успеха. В 70 % случаев проблемы возникают вследствие неправильной реализации» [7]. Речь идет о системной реализации ОУП.

В работе [8] отмечается, что комплексная система управления базируется на взаимосвязи всех стратегий предприятия.

Модель объемно-календарного планирования

Модель объемно-календарного планирования (ОБКП) используется на верхних уровнях управления — стратегическом, тактическом. При этом обеспечивается равномерное распределение заказов и связанных с ними экономических и финансовых показателей во времени. Представим такую модель с учетом длительности производственного цикла не более месяца [4 и др.].

Пусть горизонт планирования определяется квартальной длительностью. На предприятии реализация стратегии связана с повышением эффективности производства на основе достижения равномерности технологического процесса, оптимизации использования ресурсов. Все это приводит к минимуму затрат. Спрос по продукции i обозначается через d_i , $i \in I$. Квартальная производственная программа y_{iq} , $q = 1, 2, 3$, q — месяцы квартала, может формироваться по-разному. Простейшее решение: $y_{iq} = d_i/3$ или $y_{iq} = \lambda_q d_i$, λ_q — определяются как отношения количества рабочих дней по месяцам к общему числу рабочих дней в квартале. В производстве рассматривается также проблема укрупнения партий деталей. Решение такой задачи приводит к уменьшению затрат на переналадку технологий, росту производительности труда.

Таким образом, модель оптимизации ОБКП может быть представлена так.

Минимизируется показатель H при заданных ограничениях:

$$\sum_i a_{ji} y_{iq} - H^* A_{jq} \leq 0, j \in J, q = 1, 2, 3,$$

$$\sum_{q=1}^3 y_{iq} = d_i, i \in I,$$

$$\sum_i c_{ri} y_{iq} - H^* B_{rq} \leq 0, r \in R, q = 1, 2, 3,$$

$$H \geq 1, y_{iq} \geq d_{iq},$$

где a_{ji} — затраты мощности по группе оборудования j на единицу продукции i ;

$$A_{jq} = \sum_i a_{ji} \lambda_q d_i, j \in J, q = 1, 2, 3,$$

A_{jq} — расчетный уровень равномерной загрузки мощности группы оборудования j по месяцам квартала q , исходя из количества рабочих дней по месяцам квартала;

$$B_{rq} = \sum_i c_{ri} \lambda_q d_i, r \in R, q = 1, 2, 3,$$

c_{ri} — основная заработная плата ($r = 1$) и материальные ресурсы вида $r \in R$, $r \neq 1$, на единицу продукции i ;

B_{rq} — расчетный уровень равномерных прямых затрат r по месяцам квартала q , исходя из количества рабочих дней в месяцах;

d_{iq} — обязательные поставки продукции i по месяцам q ;

$H-1$ — максимальная величина относительного отклонения от значений A_{jq} , B_{rq} .

Так, отклонения значения H от единицы на 3...5 % вполне устраивают предприятия. На практике показатель неритмичности производства достигает 30...40 %, что служит основой роста затрат на 3...5 %.

Задача ОБКП предназначена для распределения программы производства по плановым периодам. При этом учитывается спрос на продукцию, ставится задача достижения равномерности производства (равномерная загрузка оборудования, достижение равномерного использования ресурсов). Задача уточняется для различных предприятий. Так, важно учесть показатель длительности производственного цикла (ДПЦ).

Следует отметить, что чем точнее постановка задач ОБКП и их решения, тем проще становится процесс принятия решений на следующих этапах управления в системе ОУП.

Модель внутрифирменного объемно-календарного планирования с учетом длительности производственного цикла

Особенностью модели объемно-календарного планирования является то, что в ней предусмотрено использование векторов затрат, выпуска продукции. Вектора затрат основаны на агрегации технологий во времени по изделиям [1, 3].

Вводятся обозначения:

$p = 1, 2, \dots, P, p$ — учетные периоды времени;

x_{iq} — количество продукции i , которое запускается в производственный процесс в периоде $q, i \in I$;

$q = a_i, a_i + 1, \dots, b_i - T_i + 1$,

a_i — раннее время запуска продукции i в производство, $a_i \geq 1$,

b_i — позднее время выпуска продукции $i, b_i \leq P$,

T_i — ДПЦ изделия i , выраженное в целых числах времени;

$f_{ik}(p)$ — кусочно-постоянные функции от времени, отражающие использование ресурсов $k \in K = (K_1 \cup K_2 \cup K_3), K_1$ — обозначения ресурсов труда, K_2 — обозначения, отражающие ресурсы оборудования, K_3 — обозначения материалов.

Потребность в трудовых ресурсах и оборудовании учитывается так:

$$\sum_i \sum_q f_{ik}(p-q+1) x_{iq} + V_{kp} = D_p r_k, k \in (K_1 \cup K_2), p = 1, 2, \dots, P,$$

где V_{kp} — время простоя k -го типа ресурсов в периоде p ,

D_p — рабочие часы в периоде p ,

$r^k \leq r_k \leq R^k$ — возможности использования трудовых ресурсов и мощностей.

Использование материалов учитывается так:

$$\sum_n \sum_q f_{ik}(n-q+1) x_{iq} = \sum_n S_{kn}; k \in K_3, p = 1, 2, \dots, P,$$

$\sum_n S_{kn} \leq S_{kp}^*$ — возможности материального обеспечения.

$$\sum_n Y_{in} \leq \sum_n W_{in}, i \in I, p = 1, 2, \dots, P,$$

W_{in} — спрос на продукцию i в период $n, Y_{in} = x_{i,n-T_i+1}$.

Прибыль

$$F_p = \sum_i u_i Y_{ip} - \sum_{k(1)} [\rho_k (D_p r_k - V_{kp}) + \gamma_k V_{kp}] - \sum_{k(2)} \rho_k D_p r_k - \sum_{k(3)} \delta_k S_{kp} - Z_p,$$

где u_i — цена продукции i ;

$\rho_k, k \in K_1$ — оплата труда за принятую единицу времени;

γ_k — оплата простоя за единицу времени;

$\rho_k, k \in K_2$ — норматив амортизации и стоимости работы оборудования за единицу времени;

δ_k — стоимость единицы материалов типа k ;

Z_p — накладные затраты за период p .

$$\sum_p F_p \rightarrow \max.$$

Основным недостатком данной модели является то, что технологические вектора (кусочно-постоянные функции) в ходе решения задачи остаются постоянными, что приводит к плановым простоям оборудования, росту затрат трудовых

ресурсов. Поэтому представленная модель оптимизации не приведет к повышению эффективности производства в должной мере. Нужна более совершенная постановка задачи.

Межцеховое оперативно-календарное планирование

Представим систему межцехового оперативно-календарного планирования (ОКП), способную решать основную задачу исследований операций [4]. Как уже показано, с помощью модели ОБКП решается задача формирования производственной программы по временным периодам с учетом спроса по продукции. Далее по календарным временным периодам формируется план равномерного выпуска готовой продукции по сменам (суткам, неделям, месяцам) со сборочных участков. Такому плану ставится в соответствие поступление на сборку готовых партий деталей, сборочных узлов. Ориентируясь на план выпуска готовой продукции, строится оперативный календарный план (ОКП) выполнения операций в последовательности обратной технологичной с учетом загрузки ведущих, лимитирующих групп оборудования на участках и в цехах. Такая модель позволяет согласовать календарные планы с тактическими. Коротко представим описание модели задачи ОКП.

В межцеховом ОКП активно используются нормативы опережения запуска выпуска для партий деталей на участках, цехах. Подобный алгоритм достаточно прост для планирования в системах ОУП. При этом формируется график работ без перегрузки мощностей. Если в системе ОУП учитываются все детали операции, то размерность модели существенно возрастает. Решает проблему учет только наиболее важных детали операций, которые выполняются на ведущих, лимитирующих группах оборудования. Длительность всех других работ учитывается приближенно.

Ведущей группе оборудования j ставится в соответствие ее возможность (например, количеством станков) в заданную единицу времени $t - M_{jt}$. Через a_{jk} (a_{jkp}) обозначим длительность выполнения операций для всей партии деталей k на оборудовании ведущей группы j (в плановых единицах времени). Длительность выполнения всех работ для партии p деталей k на участке jk обозначим через $\tau_{jk} = \tau_{jk1} + a_{jk} + \tau_{jk2}$, где τ_{jk1} — длительность работ от начала до ведущей операции, τ_{jk2} — длительность работ после ведущей операции до перехода партии деталей на следующий участок.

Когда партия деталей «загружает» ведущую группу оборудования, работа по другим партиям деталей задерживается. Увеличение длительности работ дорогих деталей приводит к увеличению их себестоимости. Поэтому деталям ставятся в соответствие приоритеты, которые используются для принятия решений [4, 9, и др.].

Данное межцеховое ОКП (представленное как имитационное моделирование) фиксирует план-график производства $G_{jkp} = \{n_{kp}, Z_{jkp}, V_{jkp}\}$ для всех участков j на длительность горизонта прогнозного плана: n_{kp} — заданный норматив размера партии p деталей k , Z_{jkp} — рекомендательное время запуска партии p деталей k на группе оборудования j , V_{jkp} — обязательные сроки выпуска. Через горизонт планирования (сутки, неделя, месяц...) план-график полностью пересматривается. Учитывается принцип скользящего формирования планов производства. План работ уменьшается на график уже выполненных операций, но составляется план на новый период. Вновь согласуется все производство со сборкой. Построение графика работ основано на использовании имитационной модели, отражающей выполнение технологического процесса и его стохастичность (планы-графики пересчитываются через короткие промежутки

времени — через неделю, месяц). Обеспечивается построение допустимого плана производства: план составляется по ведущим группам оборудования, перегрузка мощностей не допускается, при построении графика работ используется принцип «точно вовремя». Построение производственного плана-графика обеспечивает расчет потребности в ресурсах во времени.

Таким образом, использование имитационной модели ОКП производства позволяет формировать план-график хода партий деталей по ведущим операциям. Алгоритм ОКП обеспечивает осуществление ОУП для предприятия в целом. Производственные участки получают наиболее важную информацию – сроки запуска и выпуска партий деталей на ведущих группах оборудования. Сокращается размерность задачи, адекватность ее решения не ухудшается. Однако характер оптимизации приближенный, так как сам алгоритм расчетов не отражает стохастичность системы в полной мере, не учитывается все множество деталей операций.

Оптимизационная модель оперативно-календарного планирования

Для имитационной модели ОКП готовится наиболее важная информация. Такая информация может быть использована и при формировании оптимизационной задачи, которая учитывает основные условия в исследовании операций [13 и др.]. Все модели календарного планирования содержат условия известной задачи С. Джонсона. Ее постановка дана Р. Беллманом [13]. Проблема задачи ставится следующим образом. Необходимо сформировать план-график работ заданного количества, выполняемых на определенных группах оборудования. Технология производства задана. Функция цели — минимум общего времени выполнения работ, объема оборотных активов. Такая задача совпадает с поставленными условиями в межцеховом ОКП.

Алгоритм С. Джонсона решает проблему только для двух групп оборудования. Эффективный оптимизационный алгоритм для трех и более групп оборудования построить не удалось. Поставленная далее задача ОКП решает в какой-то степени такую важную для производства проблему.

Итак, система ОКП в первую очередь определяет количество партий p готовых деталей k , которое следует подать на сборку. Размеры партий деталей фиксированы — n_{kp} . Для партий деталей задан срок их подачи на сборку — $V_{jk^*,p}$. Индекс * соответствует тому, что речь идет о завершающей группе оборудования, с которой партии готовых деталей поступают на сборку. Отсюда можно определить нарастающим итогом необходимую величину поступлений на сборку готовых деталей — B_{kt} .

Обозначим через x_{jkpv} целочисленные переменные, принимающие значения 1, когда модель задает выпуск партии p деталей k на ведущей группе оборудования j в момент времени t . Индекс v соответствует технологической последовательности обработки деталей. Учитываются ведущие группы оборудования, $v = 1, 2, 3, \dots, v^*$. При этом индекс v^* отражает последний участок производства (ведущую группу оборудования). Значение $x_{jkpv} = 0$, когда нет выпуска партии деталей.

Представим ограничения в модели ОКП.

Обеспеченность сборки деталями нарастающим итогом:

$$\sum_{q=1}^t \sum_p n_{kp} x_{jkpv^*} - y_{kt} = B_{kt}, k \in K, t = 1, 2, 3, \dots,$$

где y_{kt} — сверхплановые запасы готовых деталей.

Ограничения по мощностям:

$$\begin{aligned} \sum_{k,r,p} m_{jkpr} x_{jkpv} &\leq M_{jt}, j \in J, t = 1, 2, 3, \dots, \\ m_{jkpr} &= m_{jkp}, r = \{t, t-1, \dots, t-a_{jkp}+1\}, \\ m_{jkpr} &= 0, r \notin \{t, t-1, \dots, t-a_{jkp}+1\}. \end{aligned}$$

Возможность группы оборудования j задана количеством станков M_{jt} . Можно учесть количество рабочих мест, рабочих центров. Тогда m_{jkpr} — количество одновременно используемых станков группы j , a_{jkp} — длительность обработки p партии деталей k , r — начало обработки.

В модели зафиксирована технологическая последовательность выполнения операций, задано минимальное время пролеживания и обработки партий деталей между ведущими операциями:

$$\sum_t (t_{v+1})x_{jkpv+1} - \sum_t (t_v)x_{jkpv} \geq a_{jkp} + \tau_{jk2v} + \tau_{jk1,v+1}; k \in K; p = 1, 2, \dots; v = 1, 2, 3, \dots, v^* - 1,$$

где $\tau_{jk2v} + \tau_{jk1,v+1}$ — минимальная длительность выполнения работ между ведущими операциями;

$(t_{v+1}) - (t_v)$ — время, определяющее длительность комплекса работ по детали k от операции v до $v+1$,

$t_v^* - t_1$ — время выполнения всего комплекса работ, от первой операции до последней (партии деталей k).

На всех операциях детали k планируется одинаковое количество производства партий:

$$\sum_t x_{jkpv+1} - \sum_t x_{jkpv} = 0, k \in K; p = 1, 2, \dots; v = 1, 2, 3, \dots, v^* - 1.$$

Критерий оптимизации — минимум уровня оборотных активов, времени выполнения всех операций. Это отражается следующим образом:

$$\sum_k c_k y_{kt} + \sum_t c_{kp} ((t_{v+1}) \sum_t x_{jkpv^*} - (t_v) \sum_t x_{jkpv}) \rightarrow \min,$$

где c_k — себестоимость детали k ;

c_{kp} — средняя себестоимость p -й партии деталей k .

В данной модели (отражающей частично целочисленное программирование) задано множество временных вариантов выполнения операций на ведущих группах оборудования. Выбирается один из вариантов выпуска партий деталей. Такую задачу успешно можно решить с помощью программного обеспечения [14]. Эффективность решения такой задачи показана в [4]: период времени планирования — квартал, единица времени — сутки, количество переменных — 3061, целочисленных переменных — 1136, ограничений — 2244.

Использование оптимизационной модели достаточно широко: оценка эффективности разработки других алгоритмов ОКП, решение сложных производственных задач на машиностроительных, приборостроительных предприятиях серийного, мелкосерийного, единичного производства.

Согласование тактических планов работы предприятия с оперативным управлением производством сложных изделий с длительным технологическим процессом

При разработке планов технической подготовки производства на предприятиях часто используют сетевое планирование. С помощью его составляется план-график, связанный с разработкой новой продукции, отражающий формирование высокотехнологичных инновационных производственных процессов. При этом применение

сетевого планирования позволяет определить длительность выполнения работ, интенсивность их проведения, уровень использования возможностей, связанных с мощностями, трудовыми и материальными ресурсами. Например, сетевое планирование успешно используется в НПО «ЭЛСИБ» ПАО.

Однако увеличение объемов, номенклатуры продукции затрудняет использование сетевого планирования. Возникает сложная задача, связанная с учетом использования ресурсов. Сдвиги работ уменьшают их наложение в одном рабочем месте, но возникают в других. Оказалось, что для решения таких задач нет эффективных алгоритмов их решения. Таким образом, наличие ограничений на ресурсы в сетевом планировании существенно усложняет задачу принятия решений.

Представим решение такой проблемы на основе оптимизационного согласования задач оперативно-календарного и сетевого планирования с учетом координации с тактическими планами.

Представим методологический алгоритм решения проблемы. Пусть выпускается несколько изделий в заданном периоде. Для продукции построены сетевые графики выполнения работ. Заданы длительности и величина затрат ресурсов по работам от одной вершины к другой. Каждой работе ставится в соответствие множество одинаковых вариантов (можно поставить задачу с не одинаковыми вариантами) реализации работ во времени. Однако выбирается один вариант. Задана последовательность выполнения работ. Из вершины работа может выходить только после выполнения всех работ, входящих в данную вершину. Критерий оптимизации — минимум отклонений сроков выполнения всех работ от плана производства и продаж.

Таким образом, основой методологического подхода к решению указанной задачи является системная связность тактического и оперативного управления. Моделирование оперативного управления производством становится основой такого условия. Представим такую интеграционную модель более подробно.

Пусть выпускается K изделий, $k = 1, 2, \dots, K$, в плановый период T , $t = 1, 2, \dots, T$. Сетевой график для изделия k имеет n вершин. Длительность работ — t_{ki} . В модели описание идет относительно детали k . Это позволяет в некоторых случаях для упрощения записи этот индекс опускать. Начало работы — в вершине i , окончание — в вершине j , $i, j = 1, 2, \dots, n$. Продолжительность работы $t_{ij} = t_{j1} + h_{ij} + t_{j2}$ учитывается по всем операциям и пролеживаниям: t_{j1} — время работы от вершины i до ведущей операции, t_{j2} — после ведущей операции до вершины j , h_{ijm} — продолжительность ведущей операции на оборудовании m , $m = 1, 2, \dots, M$.

Возможности предприятия определяют мощности и рабочие. Ресурсы взаимосвязаны, поэтому h_{ijm} отразим с учетом этого обстоятельства. Работа ij выполняется a_{ijm} работниками за h_{ijm} единиц времени. A_m рабочих работают на группе оборудования m . Таким образом, возможности рабочего места m определяют указанные параметры.

Обозначим через x_{ijr} переменную, принимающую значение 1, когда работа ij начинается с периода r , $r = 1, 2, \dots$. Из заданного множества вариантов работ принимается только один из них:

$$\sum_r x_{ijr} = 1, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n.$$

Возможности производства:

$$\sum_{i,k} a_{ijmkt} x_{ijr} \leq A_{mt}, t = \{r, r+1, \dots, r+h_{ijm}-1\},$$

$$a_{ijmkt} = a_{ijmk}, t = \{r, r+1, \dots, r+h_{ijm}-1\},$$

в противном случае $a_{ijmkt} = 0$.

Последовательность выполнения работ:

$$(t_{ij1} + r + h_{ij} - 1 + t_{ij2}) x_{ijr} \leq T_j, j = 1, 2, \dots, n,$$

$$(t_{ij1} + r + h_{ij} - 1 + t_{ij2}) x_{ijr} \geq T_i, i = 1, 2, \dots, n.$$

К периоду T_j все работы, которые проходят через узел j , завершаются. Параметр T_{nk} — время завершения всех работ k . Предельный срок выпуска изделия k — D_{nk} . Превышение сроков выпуска H_k изделия k над планом:

$$T_{nk} - D_{nk} - H_k + H^k = 0.$$

Критерий оптимизации

$$\sum_k H_k C_k \rightarrow \min,$$

где C_k — средняя себестоимость изделий k (от заготовительных производств до выпуска готовой продукции).

Критерий отражает минимум оборотных активов, времени завершения всех работ. Такая функция цели отражает максимальную результативность функционирования системы ОУП.

Параметры x_{imk} согласуют множество экономических показателей продукции: цены, себестоимость, уровень оборотных активов и др. Эти и другие показатели способствуют эффективной организации планирования деятельности предприятий.

Ограничения на ресурсы в сетевом планировании могут быть учтены в задаче линейного частично целочисленного программирования [14]. В задачах оптимизации, сетевом планировании параметры h_{ijm} — целые числа. Такое бывает редко. Подобная ситуация приводит к неточности расчетов.

Размерность задачи уменьшается за счет объединения работ ij в комплексы операций. В комплексы объединены и ведущие операции. Длительность их выполнения отражаются значениями h_{ijm} . Выполнение во времени комплекса работ ij оценивается количеством в принятых единицах (не в целых числах) времени. Таким образом, проблема решения задачи с учетом не целых значений h_{ijm} представляется сложной задачей, решение которой может быть осуществлено оригинальным образом.

Пусть единицей времени является месяц, а $h_{ijm} < 1$. Вводятся две новые переменные $y_{kij,r}$, $y_{kij,r+1}$. В сумме они соответствуют значению h_{ijm} . Работа может быть выполнена в периоде r либо в периодах r и $r+1$. Выполнение работы возможно также в периоде $r+1$. Новую ситуацию можно представить следующей системой ограничений:

$$\sum_{i,k} a_{ijmkt} y_{kij,r} \leq A_{mt}, \sum_{i,k} a_{ijmkt} y_{kij,r+1} \leq A_{m,t+1},$$

$$t = \{r, r+1, \dots, r+h_{ijm}-1\},$$

где $a_{ijmkt} = a_{ijmk}$, $t = \{r, r+1, \dots, r+h_{ijm}-1\}$, в противном случае $a_{ijmkt} = 0$;

$$y_{kij,r} + y_{kij,r+1} = h_{ijm}; r = 1, \dots, T-1; m = 1, 2, \dots, M.$$

Если $h_{ijm} \geq 1$, то одна переменная $y_{kij,r}$ приравнивается 1 (или A_{mt}), а в систему добавляется новая переменная $y_{kij,r+2}$ и т. д. Данными ограничениями работа kij сохраняется как

единое целое, либо работа расположена в двух соседних временных интервалах. С переменными $y_{kij,r}$, $y_{kij,r+1}$ связаны и другие ограничения. Проведение практических расчетов показало эффективность рассмотренного подхода [15].

Таким образом, представленный в работе **методологический подход** обеспечивает согласованность моделей тактического, оперативного управления производством. Это позволяет наладить изготовление сложных изделий с длительным циклом технологического процесса.

Выводы, заключение

В исследовании представлена разработка комплекса моделей оптимизации, который согласовывает задачи объемно-календарного, оперативно-календарного и сетевого пла-

нирования. Трудности решения рассматриваемой проблемы связаны с созданием модели оперативно-календарного планирования, которая отражает технологический процесс по ведущим группам оборудования, информация для которых поступает из сетевого планирования. В сетевом планировании отражаются как технология производства, так и ограничения на ресурсы. В работе представлен также оригинальный подход, учитывающий любую длительность операций, и не кратной выбранной единице времени. Такой результат повышает адекватность приближения модели к реальности. Проблема сведена к задаче линейного частично целочисленного программирования. Решение задачи вполне осуществимо с помощью программного обеспечения [14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Плещинский А. С. Оптимизация межфирменных взаимодействий и внутрифирменных управленческих решений. М. : Наука, 2004. 254 с.
2. Мауэргауз Ю. Е. «Продвинутое» планирование и расписания (AP & S) в производстве и цепочках поставок. М. : Экономика. 2012. 574 с.
3. Данилин В. И. Финансовое и операционное планирование в корпорации. Методы и модели. М. : Издат. дом «Дело» РАНХиГС, 2014. 616 с.
4. Титов В. В. Оптимизация управления промышленной корпорацией: вопросы методологии и моделирования. Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2007. 256 с.
5. Безмельницын Д. А. Проблемы согласования стратегического и оперативного управления при производстве сложных изделий с длительным циклом технологического процесса // Инновационная фирма: теория и практика развития / Под ред. В. В. Титова, В. Д. Марковой. Новосибирск : Изд-во ИЭОПП СО РАН, 2011. С. 254—260.
6. Porter M. What is strategy? // Harvard business review. 1996. Vol. 74. No. 6. Pp. 61—78.
7. Charan Ram, Colvin Geoffrey. Why CEO is fail // Fortune. 1999. 21 June. Pp. 68—78.
8. Каплан Р., Нортон Д. Награда за блестящую реализацию стратегии. Связь стратегии и операционной деятельности — гарантия конкурентного преимущества. М. : Олимп-Бизнес, 2010. 368 с.
9. Чейз Р. Б., Джейкобс Р. Ф., Аквилано Н. Дж. Производственный и операционный менеджмент / Пер. с англ. 10-е изд. М. : Вильямс, 2007. 1184 с.
10. Титов В. В., Безмельницын Д. А. Оптимизация стратегического управления развитием высокотехнологического бизнеса на основе платформы промышленного кластера // Регион: экономика и социология. 2019. № 1. С. 250—270.
11. Титов В. В., Безмельницын Д. А. Моделирование планирования развития высокотехнологического бизнеса в промышленном кластере // Вестник НГУЭУ. 2018. № 2. С. 20—32.
12. Титов В. В., Безмельницын Д. А. Оптимизация тактического и оперативного планирования производства сложной электротехнической продукции // Регион: экономика и социология. 2015. № 1. С. 163—176.
13. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling theory // J. Soc. Industr. and Appl. Math. 1956. Vol. 4. No. 3. Pp. 167—190.
14. Забиняко Г. И. Пакет программ целочисленного программирования // Дискретный анализ и исследование операций. Сер. 2. 1999. Т. 6. № 2. С. 32—41.
15. Титов В. В., Безмельницын Д. А. Оптимизация согласования оперативного управления сложным производством со стратегическими планами предприятия // Экономика и математические методы. 2015. Т. 51. Вып. 3. С. 102—108.

REFERENCES

1. Pleshchinskiy A. S. *Optimization of inter-firm interactions and intra-firm management decisions*. Moscow, Nauka, 2004. 254 p. (In Russ.)
2. Mauergauz Yu. E. *“Advanced” planning and schedules (AR & S) in production and supply chains*. Moscow, Ekonomika, 2012. 574 p. (In Russ.)
3. Danilin V. I. *Financial and operational planning in the corporation. Methods and models*. Moscow, Delo (Publ. House of RANEP), 2014. 616 p. (In Russ.)
4. Titov V. V. *Optimization of industrial corporation management: issues of methodology and modeling*. Novosibirsk, IEIE SB RAS publ., 2007. 256 p. (In Russ.)
5. Bezmelnitsyn D. A. Problems of coordination of strategic and operational management in the production of complex products with a long cycle of technological process. In: *Innovative firm: theory and practice of development*. Ed. by V. V. Titov, V. D. Markova. Novosibirsk, IEIE SB RAS publ., 2011. Pp. 254—260. (In Russ.)
6. Porter M. What is strategy? *Harvard business review*, 1996, vol. 74, no. 6. pp. 61—78.
7. Charan Ram, Colvin Geoffrey. Why CEO is fail. *Fortune*, 1999, 21 June, pp. 68—78.
8. Kaplan R., Norton D. *Award for brilliant implementation of the strategy. The link between strategy and operations is a guarantee of competitive advantage*. Moscow, Oлимп-Biznes, 2010. 368 p. (In Russ.)

9. Chase R. B., Jacobs R. F., Aquilano N. J. *Production and operational management*. 10th ed. Tran. from Engl. Moscow, Williams, 2007. 1184 p. (In Russ.)
10. Titov V. V., Bezmelnitsyn D. A. Optimization of strategic management of high-tech business development based on the industrial cluster platform. *Region: Economics and Sociology*, 2019, no. 1, pp. 250—270. (In Russ.)
11. Titov V. V., Bezmelnitsyn D. A. Modeling of planning for the development of high-tech business in an industrial cluster. *Vestnik NSUEM*, 2018, no. 2, pp. 20—32. (In Russ.)
12. Titov V. V., Bezmelnitsyn D. A. Optimization of tactical and operational planning of production of complex electrical products. *Region: Economics and Sociology*, 2015, no. 1, pp. 163—176. (In Russ.)
13. Bellman R. Mathematical aspects of scheduling theory. *J. Soc. Industr. and Appl. Math.*, 1956, vol. 4, no. 3, pp. 167—190.
14. Zabinyako G. I. Integer programming package. *Discrete analysis and research of operations. Series 2*, 1999, vol. 6, no. 2, pp. 32—41. (In Russ.)
15. Titov V. V., Bezmelnitsyn D. A. Optimization of coordination inoperational management of complex production with strategic plans of the enterprise. *Economics and mathematical methods*, 2015, vol. 51, iss. 3, pp. 102—108. (In Russ.)

Как цитировать статью: Титов В. В., Безмельницын Д. А. Развитие систем оперативного управления на высокотехнологических предприятиях машиностроения с длительным циклом производства // Бизнес. Образование. Право. 2021. № 3 (56). С. 210—217. DOI: 10.25683/VOLBI.2021.56.379.

For citation: Titov V. V., Bezmelnitsyn D. A. Development of operational management systems on high-tech with a long cycle the production of machine-building enterprises. *Business. Education. Law*, 2021, no. 3, pp. 210—217. DOI: 10.25683/VOLBI.2021.56.379.

УДК 336.7
ББК 65.054

DOI: 10.25683/VOLBI.2021.56.380

Vorobets Taras Ivanovich,
Candidate of Economics,
Associate Professor of the Department of Management,
Institute of Economics and Management,
V. I. Vernadsky Crimean
Federal University,
Russain Federation, Republic of Crimea,
Simferopol,
e-mail: vti.taras@list.ru

Воробец Тарас Иванович,
канд. экон. наук,
доцент кафедры менеджмента,
Институт экономики и управления,
Крымский федеральный университет
имени В. И. Вернадского,
Российская Федерация, Республика Крым,
г. Симферополь,
e-mail: vti.taras@list.ru

Perzeke Nikolay Borisovich,
Candidate of Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Accounting,
Analysis and Auditing,
Crimean Engineering and Pedagogical University
the name of Fevzi Yakubov,
Russain Federation, Republic of Crimea,
Simferopol,
e-mail: nperzeke@mail.ru

Перзеке Николай Борисович,
канд. экон. наук, доцент,
доцент кафедры бухгалтерского учета,
анализа и аудита,
Крымский инженерно-педагогический университет
имени Февзи Якубова,
Российская Федерация, Республика Крым,
г. Симферополь,
e-mail: nperzeke@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

FEATURES OF FORMING AN INNOVATIVE STRATEGY OF THE ENTERPRISE

08.00.05 — Экономика и управление народным хозяйством
08.00.05 — Economics and management of national economy

В исследовании представлены особенности формирования инновационной стратегии в тесной взаимосвязи с инновационным потенциалом предприятия. Подчеркивается, что процесс формирования инновационных стратегий должен основываться на теоретико-методологическом обеспечении и, как следствие, на соответствующих положениях. Следует понимать, что инновационные стратегии создают иерархическую систему с взаимосвязанными элементами. В исследовании отмечается, что воплощение инновационной стратегии основывается на следующих

основных направлениях деятельности: разработка планов и программ инновационного развития и деятельности; контроль процесса разработки и внедрения инновации; анализ инновационных программ и проектов; разработка и осуществление единой инновационной политики; координация инновационной деятельности; обеспечение инновационных программ и мероприятий ресурсами; применение целевого управления комплексом инноваций благодаря формированию целевых групп для системного решения проблем, связанных с инновационной деятельностью.