

## ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ НАУКОЕМКИМ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ В СРЕДНЕСРОЧНОМ ПЕРИОДЕ

В. Н. Дякин

*Кафедра «Информационные процессы и управление»,  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; vadim\_tmb@mail.ru*

**Ключевые слова и фразы:** наукоемкое промышленное предприятие; ограничения на переменные состояния и управления; оптимальное управление; производственные и финансовые ресурсы; среднесрочный период.

**Аннотация:** Предложены детерминированные математические постановки задач управления наукоемким промышленным предприятием в среднесрочном периоде, которые позволяют управлять периодически обновляемым набором технологических процессов предприятия в среднесрочном периоде для достижения наилучших показателей программ инновационного развития, наличие которых требуется в настоящее время от акционерных обществ с государственным участием. Подробно рассмотрены возможные критерии выбора оптимального управления, описаны множества управлений и возмущений, а также совокупности ограничений как на параметры состояния, так и на диапазоны выбора управлений. В параметрах состояния, в зависимости от соответствующих управлений, выделяются потоки производственных и финансовых ресурсов, направляемых на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и развитие.

---

В настоящее время от акционерных обществ с государственным участием требуется выполнение среднесрочных программ инновационного развития, предполагающих мониторинг их реализации по ряду показателей эффективности. Они сводятся к подсчету в целом по предприятию общих затрат на инновационную деятельность, исследования и разработки, а также результатов инновационной деятельности и НИОКР: долей инновационной продукции в общем объеме, удельного веса нематериальных активов в общей стоимости и др. Требуется обеспечить повышение эффективности деятельности по выпуску продукции за счет внедрения результатов НИОКР в применяемые предприятием технологические процессы и производства в среднесрочном периоде. Возникает проблема увязки мероприятий в рамках программ инновационного развития с постановкой задач оптимального управления для достижения высоких значений регламентируемых показателей данной программы.

Предлагается несколько детерминированных постановок задач оптимального управления наукоемким промышленным предприятием как динамической системой, осуществляющей научно-исследовательские и производственные функции в рамках периодически меняющихся наборов технологических процессов. Необходимость создания целостной инновационно-производственной системы путем интеграции инноваций, инвестиций и производства отмечается в [1].

Множество переменных, характеризующих состояние предприятия, а также уравнения их динамики, приведены в [2]. Дополним показанные в [2] множества переменных управления, а также возмущений внешней среды. Далее укажем на-

бор ограничений на изменения переменных состояния и управления, формулируем критерии выбора управлений в зависимости от целей и режимов функционирования предприятия для достижения высоких показателей программы инновационного развития.

В качестве основной на любом промышленном предприятии ставится задача получения прибыли. Даже если предприятие выполняет некоторые социальные обязательства для региона или страны и является частично или полностью государственным, необходимость осуществлять эффективную деятельность всегда присутствует. Эффективность означает достижение предприятием в результате деятельности прибыли или иного полезного эффекта. Причем данный эффект должен рассматриваться на некотором горизонте планирования:  $t = \overline{0, T}$ , где  $t$  – период времени. В такой постановке учитываются возможные временные колебания от повышения прибыли при положительной рыночной конъюнктуре и негативные эффекты при проблемах со сбытом, ценами на сырье и т.д. Кроме того, только в средне- или долгосрочном периоде времени возможно реализовать большинство мероприятий инновационных проектов развития, так как при высоких затратах на начальные инвестиции в новое оборудование и технологии их окупаемость составляет несколько лет.

Интегральный критерий максимума прибыли позволит учесть вышесказанное

$$W^{\max} = \int_0^T \left[ d_i(t) \sum_{i=1}^{n(t)} W_i(t) \right] dt \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $n(t)$  – число наименований выпускаемой предприятием продукции;  $d_i(t)$  – коэффициент дисконтирования прибыли от продажи продукции вида  $i$ ;  $W_i(t)$  – объем прибыли, получаемой предприятием от реализации продукции вида  $i$ .

Основное преимущество данного критерия в возможности постоянного выбора  $n$  видов продукции, производство которых даст наибольшую суммарную прибыль за весь период  $T$ . За производством каждого вида продукции стоит один или несколько технологических процессов. Причем результат некоторых техпроцессов может быть как конечным, так и промежуточным продуктом (компонентом, частью, деталью) при производстве другого вида продукции предприятия. В итоге за счет выбора такого критерия происходит формирование набора технологических процессов для каждого периода времени  $t$ , совместно обеспечивающих производство продукции по заданным номенклатуре и объему. Набор техпроцессов, используемый предприятием со временем меняется, отражая его развитие и адаптацию к меняющимся предпочтениям потребителей или условиям внешней среды (например, невозможности или дороговизны использования некоторых видов производственных ресурсов).

Основная проблема данного критерия в сложности вычисления функции прибыли, особенно при многономенклатурном производстве. Сама формула прибыли требует подстановки в нее формулы производственной функции, которая в свою очередь состоит из множества компонент норм затрат всех производственных ресурсов отдельных технологических процессов [2]. И такие расчеты необходимо проводить для всех продуктов, планируемых к производству на предприятии в период планирования  $T$ . А в каждый конкретный период  $t$  набор выпускаемой продукции может быть различным.

Переменные состояния предприятия из уравнений динамики [2] дополним управлениями, связанными с принятием решения о цели использования ресурсов или результатов производственных процессов на НИОКР или производство, на накопление или инвестирование в развитие предприятия и др.

Введем обозначения:  $\eta(t)$  – вектор компонент доли общего объема рабочего времени основных производственных фондов, направляемых на НИОКР;  $\lambda(t)$  –

вектор компонент доли общего объема рабочего времени трудовых ресурсов, направляемых на НИОКР;  $\mathfrak{Y}(t)$  – вектор компонент доли произведенной продукции, направляемой на внутривыпускное потребление;  $\xi(t)$  – вектор компонент доли общего числа материальных ресурсов, направляемых на НИОКР;  $\omega(t)$  – вектор компонент доли прибыли предприятия от производства и продажи продукции, направляемой на внутренние инвестиции в обновление производственных и научных основных фондов;  $\varphi(t)$  – матрица  $n \times k$  компонент доли прибыли от продажи продукции, идущая на закупку оборудования;  $\zeta(t)$  – матрица  $g \times k$  компонент долей кредитов и прочих внешних заимствований, идущая на закупку оборудования;  $\sigma(t)$  – вектор компонент доли инвестиций, направляемых на обновление производственных и научных фондов предприятия.

Определим для трудовых ресурсов часть затрат времени работы персонала над НИОКР из их общего объема с учетом управления  $\lambda(t)$

$$L_i^H(t) = \lambda_i(t)L_i^{\text{общ}}(t), \quad i = \overline{1, l}. \quad (2)$$

Оставшаяся часть времени работы персонала используется для производственных нужд

$$L_i(t) = (1 - \lambda_i(t))L_i^{\text{общ}}(t), \quad i = \overline{1, l}. \quad (3)$$

Аналогичным образом представим разделение времени работы производственных фондов (4), (5) с учетом управления  $\eta(t)$  и материальных ресурсов (6), (7) при управлении  $\xi(t)$ :

$$K_i^H(t) = \eta_i(t)K_i^{\text{общ}}(t), \quad i = \overline{1, k}; \quad (4)$$

$$K_i(t) = (1 - \eta_i(t))K_i^{\text{общ}}(t), \quad i = \overline{1, k}; \quad (5)$$

$$X_j^H(t) = X_j^H(t-1) + \xi_j(t)X_j^{\text{BX}}(t), \quad j = \overline{1, m}; \quad (6)$$

$$X_j(t) = X_j(t-1) + (1 - \xi_j(t))X_j^{\text{BX}}(t) - \sum_{i=1}^n a_{ij}(t)Y_i(t-1), \quad j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

Необходимость выделения части ресурсов предприятия на НИОКР для создания инноваций отмечается в ряде работ и, в частности, в классической модели Гейла [3]. Именно за счет инноваций становится возможным смена набора выпускаемых продуктов, то есть появляется динамика  $n(t)$ .

Для описания результата деятельности по НИОКР в зависимости от вложения в них ресурсов труда научных работников, времени работы исследовательского оборудования, материальных ресурсов, а также платы за использование патентов, лицензий, технологий и пр. нематериальных активов из внешней среды  $N^{\text{BX}}$ , применяется следующая функция в общем виде

$$N_i(t) = f(N^{\text{BX}}(t), L^H(t), K^H(t), X^H(t)), \quad i = \overline{1, z(t)}. \quad (8)$$

Конкретный вид данной функции здесь не определен и может быть получен, например, аппроксимацией с учетом понесенных затрат. Возникает проблема выделения для каждого конкретного результата НИОКР (например, патента новой технологии производства продукции) частей затрат, которые используются именно для его получения. В случае невозможности такого точного прямого отнесения затрат, можно поделить весь вектор затрат каждого типа на равные или разделенные по весам части, относящиеся к конкретному результату  $N_i(t)$ .

Ограничения на управления, величины которых определяются управляющим органом предприятия, сведем в следующую совокупность:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \eta_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, k}, \quad 0 \leq \lambda_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, l}, \\ 0 \leq \vartheta_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad 0 \leq \xi_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, m}, \\ 0 \leq \omega_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad 0 \leq \varphi_{ij}(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, k}, \\ 0 \leq \zeta_{ij}(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, g}, \quad j = \overline{1, k}, \quad 0 \leq \sigma_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, k}. \end{array} \right. \quad (9)$$

Ограничения (9) соответствуют диапазонам свободы [4], то есть выбору управляющего органа предприятия при формировании стратегий управления, распределения ресурсов и др.

Ограничения на параметры внешней среды влияют на технологические процессы предприятия и выступают в качестве возмущений в системе управления предприятием:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \chi_i(t) \leq \chi_i^{\max}(t), \quad i = \overline{1, m}, \quad 0 \leq \psi_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, m}, \\ 0 \leq v_i(t) \leq v_i^{\max}(t), \quad i = \overline{1, l}, \quad -\phi_i^{\text{вых}}(t) \leq \phi_i(t) \leq \phi_i^{\max}(t), \quad i = \overline{1, g}, \\ 0 \leq r_i(t) \leq r_i^{\max}(t), \quad i = \overline{1, g}, \quad 0 \leq \mu_i(t) \leq 1, \quad i = \overline{1, k}, \end{array} \right. \quad (10)$$

где  $\chi(t)$  – вектор компонент долей прироста материальных ресурсов;  $\psi(t)$  – вектор компонент долей потерь в связи с порчей, а также затрат по доставке материальных ресурсов от поставщиков;  $v(t)$  – вектор компонент темпа прироста/выбытия общего рабочего времени трудовых ресурсов;  $\phi(t)$  – вектор компонент норм пополнения или возврата внешних финансовых заимствований;  $r(t)$  – матрица  $n \times g$  компонент процентных ставок по кредитам и другим внешним источникам финансирования, а также инвестициям в оборотный капитал с учетом доли в распределении кредитов между видами выпускаемой продукции, а также возможных льгот по процентам;  $\mu(t)$  – вектор компонент темпа выбытия общего рабочего времени основных производственных фондов.

На параметры степенной производственной функции Кобба–Дугласа приняты накладываемые следующие ограничения:

$$0 < \sum_{j=1}^k \alpha_{ij} + \sum_{j=1}^l \beta_{ij} + \sum_{j=1}^m \gamma_{ij} < 1, \quad i = \overline{1, n}, \quad (11)$$

$$Y^0(t), \alpha(t), \beta(t), \gamma(t) > 0. \quad (12)$$

Особенностью крупных промышленных предприятий является одновременное использование в производственной деятельности большого числа различных технологических процессов. Вместе с тем техпроцессы нельзя рассматривать в отдельности, так как зачастую они могут быть сгруппированы по принципу использования схожих производственных ресурсов. Нормы расхода ресурсов и полный состав у различных техпроцессов отличается, но всегда есть совпадения по некоторым наименованиям. В итоге один и тот же ресурс может быть задействован в различных техпроцессах в том или ином объеме. При планировании объемов производств по таким связанным техпроцессам для предприятия в целом возникает проблема обеспечения общего объема ресурсов ( $X, L, K, F$ ) в каждый период времени  $t$  не ниже требуемой величины. Для материальных ресурсов ограничения следующие

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}(t)Y_i(t) \leq X_j(t), \quad j = \overline{1, m}. \quad (13)$$

Для затрат труда и времени работы основных фондов ограничения такого рода указаны в (14) и (15) соответственно:

$$\sum_{i=1}^n b_{ij}(t)Y_i(t) \leq L_j(t), \quad j = \overline{1, l}; \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n c_{ij}(t)Y_i(t) \leq K_j(t), \quad j = \overline{1, k}. \quad (15)$$

Методы нахождения оптимального решения должны учитывать ограничения (9) – (15), кроме них на потребляемые ресурсы и диапазоны изменения управляющих воздействий возможно дополнительное ограничение на достижение некоторого требуемого уровня объема производства по каждому продукту. Такая задача актуальна для инвестиционных проектов развития предприятия, имеющих так называемые внешние эффекты. Они могут проявляться в дополнительных преимуществах, прибыли и др. полезных эффектах в смежных с предприятием отраслях, в социально-экономических эффектах для региона или страны в целом.

Ограничение такого рода, добавляемое к рассмотренной ранее постановке задачи максимизации прибыли примет следующий вид

$$Y_i^{\min}(t) \leq Y_i(t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (16)$$

Для учета выполнения некоторой социальной миссии, а также в случае необходимости сохранения уникального научного коллектива, высококвалифицированных производственных рабочих к задаче могут быть добавлены такие ограничения

$$\begin{cases} L_i^{\text{H}, \min}(t) \leq L_i^{\text{H}}(t), \\ L_i^{\min}(t) \leq L_i(t), \quad i = \overline{1, l}. \end{cases} \quad (17)$$

Аналогичным образом напрямую могут быть ограничены «снизу» объемы основных производственных фондов, которыми должно обладать предприятие

$$\begin{cases} K_i^{\text{H}, \min}(t) \leq K_i^{\text{H}}(t), \\ K_i^{\min}(t) \leq K_i(t), \quad i = \overline{1, k}. \end{cases} \quad (18)$$

Такое требование возникает в том случае, если нужно исключить продажу или ликвидацию по остаточной стоимости некоторых видов фондов (например, отдельных технологических линий), способных в будущем, возможно после расконсервации, быть использованными в производстве продукции.

В случае необходимости накопления определенных минимальных объемов инвестиций  $I^{\min}$  за период времени  $\tau = t^{\text{K}} - t^{\text{H}}$ , направляемых на обновление основных производственных фондов предприятия в период времени  $t^{\text{K}}$ , потребуются следующее ограничение на объемы внутренних инвестиций

$$I_j^{\min}(t^{\text{K}}) \leq \sum_{t=t^{\text{H}}}^{t^{\text{K}}} I_j(t), \quad 0 \leq t^{\text{H}} \leq t^{\text{K}} \leq T, \quad j = \overline{1, k}. \quad (19)$$

Также возможно изменение ограничения (9), связанное с нижеперечисленными требованиями. В нем вместо 0 в левой части неравенства может стоять не-

которое число в диапазоне  $0 \dots 1$ , которое обеспечивает некий заданный минимальный уровень доли распределения тех или иных потоков ресурсов или результатов производства на одно из направлений. Например, выделение определенного количества персонала (20 % от общего фонда рабочего времени по некоторым видам) для использования в конкретном технологическом процессе.

Другим возможным критерием может являться необходимость обеспечения выполнения ограничений по объемам производства (16) и нового ограничения по объемам накопленной прибыли за минимальное время

$$t_i^{\min} = t_i \rightarrow \min, \quad 0 \leq t_i \leq T, \quad i = \overline{1, n(t)}. \quad (20)$$

Ограничение по прибыли, добавляемое в задачу вместо критерия максимума прибыли (1), выглядит следующим образом

$$W_i^{\min} \leq \sum_{t=0}^{t_i^{\min}} W_i(t), \quad i = \overline{1, n(t)}. \quad (21)$$

Такая задача ставится при необходимости минимизации срока окупаемости нового технологического процесса, особенно когда в качестве инвестиций используются заемные средства. При этом, как и в предыдущей постановке задачи на максимизацию прибыли, применяются ограничения (9) – (15).

#### *Список литературы*

1. Построение системы показателей для оценки эффективности наукоемкой производственной системы / В. Г. Матвейкин [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 2. – С. 278 – 284.
2. Дякин, В. Н. Динамическая модель управления развитием промышленного предприятия / В. Н. Дякин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 304 – 308.
3. Аркин, В. И. Учет инноваций в моделях экономической динамики / В. И. Аркин // Экономика и мат. методы. – 2009. – Т. 45, № 1. – С. 30 – 43.
4. Быковский, В. В. Управление процессами модернизационного развития промышленных предприятий / В. В. Быковский, В. М. Ильичев // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 1090 – 1094.

---

## **Deterministic Statements of Problems of Management of High Technology Industrial Enterprise in Medium Term**

**V. N. Dyakin**

*Department "Information Processes and Management", TSTU;  
vadim\_tmb@mail.ru*

**Key words and phrases:** high-tech industrial enterprise; mid-term period; operational and financial resources; optimal control; restrictions on state variables and controls.

**Abstract:** The paper proposes deterministic mathematical statements of problems of managing high technology industrial enterprise in the medium term, which enable to manage periodically updated set of production processes in the medium term to ensure the optimum indicators of innovative development programs that are currently required from joint stock companies with state participation. The possible criteria for selecting optimum control are discussed in detail; the sets of controls and disturbances, as well as

aggregate limitations both on the state parameters, and the choice of controls ranges are described. In the state parameters, depending on the relevant departments, the flows of production and financial resources for research and development activities have been allocated.

#### *References*

1. Matveikin V.G., Tatarenko S.I., Dmitrievskii B.S., Panchenko I.S. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 2, pp. 278-284.
2. Dyakin V.N. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 2, pp. 304-308.
3. Arkin V.I. *Ekonomika i matematicheskie metody*, 2009, vol. 45, no. 1, pp. 30-43.
4. Bykovskii V.V., Il'ichev V.M. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 4, pp. 1090-1094.

---

### **Festgesetzte Stellungen der Aufgaben der Verwaltungen des forschungsintensiven industriellen Unternehmens in der mittelfristigen Periode**

**Zusammenfassung:** Es sind die festgesetzten mathematischen Stellungen der Führungsaufgaben vom forschungsintensiven industriellen Unternehmen in der mittelfristigen Periode angeboten, die zulassen, den periodisch erneuerten Satz der technologischen Prozesse des Unternehmens in der mittelfristigen Periode für die Errungenschaft der besten Kennziffern der Programme der innovativen Entwicklung zu verwalten, deren Vorhandensein zur Zeit von den Aktiengesellschaften mit der staatlichen Teilnahme gefordert wird. Es sind die möglichen Kriterien der Auswahl der optimalen Verwaltung detailliert betrachtet, es sind Mengen der Verwaltungen und der Empörungen, sowie der Gesamtheit der Beschränkungen wie auf die Parameter des Zustandes, als auch auf die Umfänge der Auswahl der Verwaltungen beschrieben. In den Parametern des Zustandes, je nach den entsprechenden Verwaltungen, heben sich die Ströme der Produktions- und Finanzmittel heraus, die auf die Forschungs- sowohl Erfahren-Konstruktionsarbeiten als auch die Entwicklung gerichtet werden.

---

### **Mises de problèmes déterminées pour la gestion de l'entreprise industrielle de science intensive à terme moyen**

**Résumé:** Sont proposées les mises de problèmes mathématiques déterminées pour la gestion de l'entreprise industrielle de science intensive à terme moyen qui permettent de commander les processus technologiques renouvelés périodiquement pour obtenir les meilleures indices du développement d'innovation. Sont examinés en détails les critères du choix de la gestion optimale, sont décrites les limites sur les paramètres des états ainsi que la gamme du choix des gestions. Dans les paramètres des états sont désignés les flux des ressources industrielles et financières orientés sur les travaux de recherche et de conception et leur développement.

---

**Автор:** *Дякин Вадим Николаевич* – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Дмитриевский Борис Сергеевич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».