

МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А.В. Пилюгина¹

pilyuginaanna@bmstu.ru

А.В. Мищенко²

87977790@mail.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

² НИУ «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проведено исследование научно-производственных предприятий, работающих в области микроэлектронных технологий. Выявлены основные параметры, влияющие на значение производственной мощности. Разработана система моделей для различных ситуаций, а также модели оценки производственной мощности для проектов создания нового предприятия, поиска необходимых инвестиций для выполнения заказа и поиска оптимального портфеля закупок. Рассмотрены различные модели производственной мощности предприятия, уточнено понятие производственной мощности, а также проведен сравнительный анализ подходов к моделированию, выполнена апробация моделей на примере отделения микротехнологий НИИ системных исследований РАН

Ключевые слова

Производственная мощность, модель оценки производственных мощностей, портфель оптовых закупок, инвестиции

Поступила в редакцию 02.11.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ №16-06-00143

Введение. Проблемы управления производственной мощностью предприятия являются актуальными в силу определенных общеэкономических факторов, которые заставляют предприятия РФ задумываться о повышении результативности управления производственной активностью. Дефицит оборотных средств в условиях кризиса, нестабильность выручки приводят к необходимости формирования механизмов управления результатами финансово-хозяйственной деятельности. Специфика предприятия — это один из основных параметров, определяющих особенности финансирования.

Цель работы — анализ и разработка моделей оценки производственной мощности, а также реализация моделей и оценка их эффективности (на примере предприятия в сфере микроэлектронных технологий ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН).

Методы исследования: экономико-математическое моделирование, моделирование оптимизации портфеля оптовых закупок.

Понятие производственной мощности предприятия. Оценка производственной мощности предприятия — базовый элемент планирования и организации производства и поставок выпускаемой продукции. Для оценки производственного потенциала предприятия используется аппарат экономико-матема-

тического моделирования, позволяющий рассчитать оптимальную производственную программу предприятия в условиях совокупности ограничений на производственные мощности и определить спрос на выпускаемую продукцию.

На предприятиях серийного производства имеется широкий спектр моделей, учитывающих динамические характеристики производственного цикла, стохастический характер исходных параметров модели, риск дефицита материальных ресурсов производства, риск перепроизводства и др. [1–15].

Производственная мощность предприятия — это максимально возможный годовой (суточный, сменный) выпуск продукции (или объем переработки сырья) в номенклатуре и ассортименте при условии наиболее полного использования оборудования и производственных площадей, применения прогрессивной технологии и организации производства [1].

Модели оценки производственной мощности. Двухуровневая линейная детерминированная модель. Рассмотрим ситуацию, когда целью проекта является создание нового предприятия, выпускающего конечную продукцию. Инвестор в этой ситуации должен рассмотреть разные варианты поставки материальных ресурсов производства и структуры производственного аппарата, позволяющие выпускать продукцию в заданных объемах. Для решения такой проблемы могут быть использованы две оптимизационные модели (задача 1 и задача 2). Если задача 1 не имеет решения, то это означает, что существует либо дефицит производственной мощности, либо дефицит поставки материальных ресурсов. Чтобы ликвидировать этот дефицит при минимальном объеме инвестиций, решается задача 2. Математическая формулировка задач 1 и 2 состоит в следующем.

Задача 1

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i x_i - \sum_{i=1}^n b_i x_i - Z_{\text{пост}} \rightarrow \max; \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^n t_{il} x_i \leq k_l \tau_l, \quad l = \overline{1, k}; \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n l_{ij} x_i < L_j, \quad j = 1, \dots, M; \tag{3}$$

$$x_i \geq Z_{ak}; \quad x_i \leq P t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n; \tag{4}$$

$$x_i \in Z^+. \tag{5}$$

Задача 2

$$\sum_{j=1}^M z_j \alpha_j + \sum_{l=1}^k y_l \beta_l \rightarrow \min; \tag{6}$$

$$\sum_{i=1}^n l_{ij} x_i \leq z_j + L_j, \quad j = 1, 2, \dots, M; \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^n t_{il} x_i \leq (k_l + y_l) \tau_l, \quad l=1,2,\dots,k; \tag{8}$$

$$x_i \geq Z_{ak}, \quad x_i \leq Pt_i, \quad i=1,2,\dots,n; \tag{9}$$

$$x_i \in Z^+, \quad Z_j \geq 0; \quad y_l \in Z^+, \tag{10}$$

где $x = (x_1, \dots, x_n)$ — производственная программа, оптимизирующая прибыль предприятия и удовлетворяющая ограничениям на производственные мощности (2), объем потребления материальных ресурсов (3), ограничения на заказ (4); a_i — цена реализации единицы продукции вида i ; b_i — переменные издержки при выпуске единицы продукции вида i ; $Z_{\text{пост}}$ — постоянные издержки на интервале планирования $(0, T)$; t_{il} — время загрузки единицы оборудования вида l при выпуске единицы продукции вида i ; k_l — число единиц оборудования вида l ; τ_l — время использования оборудования вида l в производственном процессе на интервале планирования $(0, T)$ (эффективное время оборудования вида l); l_{ij} — объем материального ресурса вида j , необходимого для выпуска единицы продукции вида i ; Z_{ak} — объем потребления материальных ресурсов вида k , необходимого для вида a ; L_j — объем поставок материального ресурса вида j ; Pt_i — объем спроса на продукцию вида i ; Z_j — объем дополнительно закупаемых материальных ресурсов вида j ; α_j — цена материальных ресурсов вида j ; y_l — число дополнительно закупаемых единиц оборудования вида l ; β_l — цена единицы оборудования вида l .

В задаче 1 вычисляется производственная программа предприятия с учетом удовлетворения заказа на объемы выпускаемой продукции. Если задача (1) не имеет решения из-за дефицита материальных ресурсов или дефицита производственной мощности, необходимо решить задачу 2, определяющую минимальный объем инвестиций, позволяющий устранить этот дефицит.

В задаче 1 цены на выпускаемую продукцию могут быть заданы интервально:

$$a_i^1 \leq a_i \leq a_i^2, \quad i=1,2,\dots,n. \tag{11}$$

В этом случае спрос на продукцию будет меняться в зависимости от цены. В простейшем случае это изменение будет линейным:

$$x_i \leq Pt_i - q_i (a_i - a_i^1), \quad x_i \geq Z_{ak}, \tag{12}$$

где q_i — числовой коэффициент, отражающий степень падения спроса при увеличении цены на продукцию вида i (цена a_i^1 — минимальное значение).

В задаче 1 объем поставок L_j может быть случайной величиной:

$$\begin{array}{l}
 L_j \begin{array}{l} \nearrow L_j^1 - P_1 \\ \searrow L_j^m - P_m \end{array} \\
 P_i \geq 0 \\
 j = 1, 2, \dots, M.
 \end{array} \tag{13}$$

В этом случае может быть определен риск дефицита материальных ресурсов следующим образом. Пусть неблагоприятным событием будет значение целевой функции задачи 1 не более величины $D_{гр}$. Решаем задачу 1 для m значений L_j . Соответствующие значения целевой функции (1) обозначим как F_1, \dots, F_m . Вероятность того, что значение целевой функции (1) равно F_j будет P_j ($j = 1, 2, \dots, m$). Обозначим через Ω множество тех F_j , для которых $F_j \leq D_{гр}$, тогда в качестве количественной характеристики риска дефицита материальных ресурсов может быть выбран параметр

$$R_{д,м} = \sum_{i \in \Omega} P_i. \quad (14)$$

Аналогичным образом, если эффективное время τ_l также является случайной величиной, обозначим через $\bar{F}_1, \dots, \bar{F}_m$, как и ранее, значение целевой функции (1) для разных вариантов $\tau^q = (\tau_1^q, \dots, \tau_k^q)$ и выберем множество значений Ω_1 по правилу: в Ω_1 входит вариант j ($j = 1, 2, \dots, m$), если $F_j \leq D_{гр}$. Далее в качестве количественной оценки риска дефицита производственной мощности выберем

$$R_{д,н} = \sum_{j \in \Omega} P_j. \quad (15)$$

Если в результате расчетов величина риска дефицита материальных ресурсов $R_{д,м}$ и величина риска дефицита производственной мощности $R_{д,н}$ окажутся больше приемлемого уровня, то в силу приобретения дополнительного оборудования или дополнительного финансирования закупок материальных ресурсов можно повысить значения целевой функции F_1, \dots, F_m и $\bar{F}_1, \dots, \bar{F}_m$, сузив тем самым множества Ω и Ω_1 , что приведет к сокращению риска дефицита материальных ресурсов и риска дефицита производственной мощности.

Динамическая модель оценки производственной мощности предприятия. Далее будем считать, что предприятие выпускает n видов конечной продукции и выпуск каждого вида продукции по существующим технологическим нормам связан с последовательной обработкой материалов и сырья на ряде последовательных операций. В частности, такая последовательность может быть задана в частном случае П-сетью или специальным ориентированным графом следующего вида (рис. 1). Здесь вершины ориентированного графа задают операции, дуги задают последовательность обработки на операциях по каждому виду продукции. $U_j(t)$ $j=1,2, \dots, n$ — вектор-функция интенсивности поступления материальных ресурсов $U_j(t) = (U_{j1}(t), \dots, U_{jm}(t))$, поступающих для производства продукции вида j (здесь m — число видов материальных ресурсов). При реализации проекта создания нового предприятия необходимо оценить, сможет ли предприятие обеспечить выпуск продукции в необходимых объемах на интервале времени $(0, T)$ и если да, то каким образом распределить

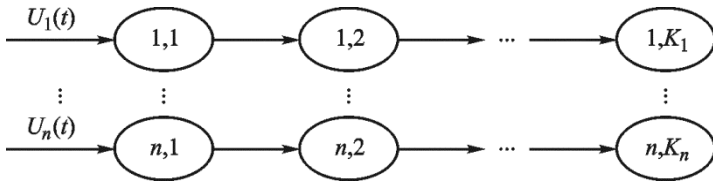


Рис. 1. Технологическая схема выпуска конечной продукции

производственные мощности, чтобы при условии выполнения заказа по каждому виду продукции максимизировать еще и прибыль предприятия на заданном временном интервале $(0, T)$.

Ответ на этот вопрос может быть получен путем анализа следующей оптимизационной модели:

$$\sum_{i=1}^n \beta_i \int_0^T q_i k_i(t) dt \rightarrow \max, \tag{16}$$

где β_i — маржинальная прибыль (доход) при выпуске одной единицы продукции вида i ; $q_i k_i(t)$ — интенсивность выпуска конечной продукции вида i (здесь k_i — последняя операция обработки материальных ресурсов при выпуске продукции вида i).

Анализ устойчивости в моделях оценки производственной мощности предприятия. Как отмечалось ранее, для оценки выпуска объемов конечной продукции могут быть использованы модели (1)–(5); (6)–(9) в ситуации детерминированных исходных данных.

В то же время такие исходные параметры упомянутых моделей, как цена выпускаемой продукции, переменные издержки, объемы поставок материальных ресурсов, мощность оборудования и другие не всегда могут быть точно определены, особенно если речь идет о реализации проекта, инвестиционная фаза которого составляет несколько лет.

В этом случае очень важно знать, в каком диапазоне могут меняться исходные параметры модели, чтобы обеспечить выпуск конечной продукции в требуемых объемах. Подобные исследования моделей часто называют анализом их устойчивости.

Далее рассмотрим, как меняется оптимальное решение задачи (1)–(5) при изменении цен на конечную продукцию и изменении постоянных издержек под воздействием инфляции.

Обозначим уровень инфляции (в долях) через ξ и будем считать, что цены на конечную продукцию и переменные издержки в зависимости от темпов инфляции меняются по следующему закону:

$$a_i(\xi) = a_i(0) + n_i a_i(0) \xi; \tag{17}$$

$$b_i(\xi) = b_i(0) + m_i b_i(0) \xi, \tag{18}$$

где $a_i(\xi)$ — цена продукции вида i при уровне инфляции ξ ; n_i — числовой коэффициент, отражающий степень роста цен на продукцию вида i под воздействием инфляции; $b_i(\xi)$ — переменные издержки при уровне инфляции ξ ; m_i — числовой коэффициент, отражающий степень роста переменных издержек на продукцию вида i под воздействием инфляции; ξ — уровень инфляции в долях.

Далее будем предполагать, что уровень накопленной инфляции ξ есть убывающая функция $\xi(t)$.

Рассмотрим целевую функцию (1) для ситуации, когда уровень накопленной инфляции достиг значения параметра ξ :

$$\sum_{i=1}^n (a_i(0) + n_i a_i(0)\xi) x_i - \sum_{i=1}^n (b_i(0) + m_i b_i(0)\xi) x_i - Z_{\text{пост}}(\xi) \rightarrow \max. \quad (19)$$

Преобразуя выражение (19) и полагая, что постоянные издержки $Z_{\text{пост}}$ также растут линейно относительно накопленной инфляции, получаем

$$\begin{aligned} Z_{\text{пост}}(\xi) &= Z_{\text{пост}}(0) + \theta Z_{\text{пост}}(0)\xi; \\ \sum_{i=1}^n a_i(0) x_i - \sum_{i=1}^n b_i(0) x_i + \sum_{i=1}^n n_i \xi a_i(0) x_i - \\ - \sum_{i=1}^n m_i \xi b_i(0) x_i - Z_{\text{пост}}(0) - \theta Z_{\text{пост}}(0) &\rightarrow \max, \end{aligned} \quad (20)$$

где θ — числовой коэффициент, определяющий степень роста постоянных издержек от инфляции.

Обозначим через $\psi(\xi)$ функцию вида

$$\psi(\xi) = \sum_{i=1}^n n_i \xi a_i(0) x_i - \sum_{i=1}^n m_i \xi b_i(0) x_i - \theta Z_{\text{пост}}(0)\xi. \quad (21)$$

Видно, что эта часть целевой функции (19), зависящая от ξ линейным образом.

Определим

$$\frac{d\psi(\xi)}{d\xi} = \sum_{i=1}^n n_i a_i(0) x_i - \sum_{i=1}^n m_i b_i(0) x_i - \theta Z_{\text{пост}}(0). \quad (22)$$

Очевидно, если $\frac{d\psi(\xi)}{d\xi} > 0$, то прибыль предприятия увеличивается при росте инфляции, а если $\frac{d\psi(\xi)}{d\xi} < 0$, она падает.

Если $\frac{d\psi(\xi)}{d\xi} > 0$, прирост прибыли при уровне накопленной инфляции ξ составит значение, заданное функцией $\psi(\xi)$.

Естественно предположить, что рост прибыли опережает рост инфляции, если

$$\varphi(0)(1-\xi) + \psi(\xi)(1-\xi) > \varphi(0),$$

где

$$\varphi(0) = \sum_{i=1}^n a_i(0)x_i - \sum_{i=1}^n b_i(0)x_i - Z_{\text{пост}}(0). \tag{23}$$

Преобразуя выражение, получаем

$$\psi(\xi)(1-\xi) > \varphi(0)\xi. \tag{24}$$

Из выражения (23) следует, что прирост прибыли с учетом инфляции ξ больше, чем потери прибыли, которая была при уровне инфляции $\xi = 0$.

Учитывая целочисленность модели (1)–(5), число допустимых решений (производственных программ) проектируемого предприятия конечно. Обозначим через $\bar{X} = \{x^1, \dots, x^N\}$ множество всех допустимых производственных программ модели (1)–(5) и через $\varphi^j(\xi)$ значение целевой функции $\varphi^j(\xi)$ на производственной программе x^j при уровне накопленной инфляции ξ , т. е.

$$\varphi^j(\xi) = \sum_{i=1}^n a_i(\xi)x_i^j - \sum_{i=1}^n b_i(\xi)x_i^j - Z_{\text{пост}}(\xi), \quad j = 1, 2, \dots, N. \tag{25}$$

Очевидно, что

$$\frac{d\varphi^j(\xi)}{d\xi} = \sum_{i=1}^n n_i a_i(\xi)x_i^j - \sum_{i=1}^n m_i b_i(\xi)x_i^j - \theta Z_{\text{пост}}(\xi). \tag{26}$$

Вообще говоря, производные принимают различные неотрицательные значения, и можно упорядочить все допустимые решения \bar{X} в порядке роста производной $\frac{d\varphi^j(\xi)}{d\xi}$. Таким образом, для двух допустимых производственных программ

x^l и x^k $l > k$ тогда и только тогда, если $\frac{d\varphi^l(\xi)}{d\xi} > \frac{d\varphi^k(\xi)}{d\xi}$. Пусть x^l — оптимальное решение модели (1)–(5) в ситуации $\xi = 0$ и $l < N$. В этом случае видно — $\exists \xi_{l+1}, \dots, \xi_N$ такие, что при $\xi > \xi_j$ ($j = l+1, \dots, N$) $\varphi^j(\xi) > \varphi^l(\xi)$.

Выбрав минимальное из чисел $\exists \xi_{l+1}, \dots, \xi_N$, равное ξ_k ($j+1 \leq k \leq N$), можно сказать, что начиная с уровня инфляции ξ_k оптимальным будет решение x^k . Если $k < N$, то, повторяя предыдущие рассуждения, получаем, что начиная с некоторого значения ξ_m , оптимальным будет решение x^m ($m > k$). Переход к очередному оптимальному решению будет невозможен, как только уровень инфляции достигнет той величины ξ_N , при которой оптимальным станет решение x^N . Это следует из того, что $\frac{d\varphi^N(\xi)}{d\xi} > \frac{d\varphi^j(\xi)}{d\xi}$, $j = 1, 2, \dots, N-1$. Поэтому

можно сказать, что интервал изменения накопленной инфляции $\xi \in (0, \infty)$ можно разбить на конечное число отрезков, обладающих тем свойством, что если накопленная инфляция меняется в границах одного из интервалов, то оптимальное решение модели (1)–(5) сохраняется.

Рассмотрим, как влияет на решение модели (1)–(5) изменение числа единиц оборудования $k_l (l=1,2,\dots,K)$ и изменение объема материальных ресурсов производства в условиях ограничений на производственную программу вида

$$Z_{ak_i} \leq x_i \leq Pt_i, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Минимальное число единиц производственного оборудования, необходимое для того, чтобы задача (1)–(5) имела допустимые решения, может быть вычислено по формуле

$$\min_{k_l} \left\{ \sum_{i=1}^n t_{il} Z_{ak_i} \leq k_l \tau_l \right\} = k_l^{\min}, \quad l = 1, 2, \dots, K. \quad (27)$$

Минимальный объем материальных ресурсов, обеспечивающих решение задачи (1)–(5), определяется по формуле

$$L_j^{\min} = \sum_{i=1}^n l_{ij} Z_{ak_i}, \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (28)$$

Таким образом, определено минимальное число единиц производственного оборудования и минимальные запасы, которые обеспечивают существование допустимого решения в модели (1)–(5). Это величины k_l^{\min} и L_j^{\min} . Далее, учитывая ограничения сверху на производственную программу $x_i \leq Pt_i (i = 1, 2, \dots, n)$, можно аналогичным образом определить максимальное число единиц оборудования и максимальный объем материальных ресурсов исходя из соотношений

$$\min_{k_l} \left\{ \sum_{i=1}^n t_{il} Pt_i \leq k_l \tau_l \right\} = k_l^{\max}, \quad l = 1, 2, \dots, K; \quad (29)$$

$$L_j^{\max} = \sum_{i=1}^n l_{ij} Pt_i, \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (30)$$

Учитывая соотношения (27)–(30), любое допустимое решение модели (1)–(5) $x = (x_1, \dots, x_n)$ такое, что $Z_{ak_i} \leq x_i \leq Pt_i$, использует объемы материальных ресурсов в диапазоне

$$L_j^{\min} \leq L_j \leq L_j^{\max} \quad \text{при } j = 1, 2, \dots, M.$$

Число необходимых единиц оборудования изменяется в диапазоне

$$k_l^{\min} \leq k_l \leq k_l^{\max} \quad \text{при } l = 1, 2, \dots, K.$$

Учитывая целочисленность компонентов любой допустимой производственной программы в модели (1)–(5) и ограничения, число допустимых производственных программ при изменении k_l в диапазоне $k_l^{\min} \leq k_l \leq k_l^{\max}$ при $l=1,2, \dots, K$ и L_j в диапазоне $L_j^{\min} \leq L_j \leq L_j^{\max}$ при $j=1,2, \dots, M$ и, следовательно, отрезки (L_j^{\min}, L_j^{\max}) и целочисленные интервалы (k_l^{\min}, k_l^{\max}) можно разбить на конечное число подмножеств таким образом, что при изменении объема материальных ресурсов и числа единиц используемого оборудования на каждом подмножестве N_1, \dots, N_L допустимыми будут оставаться подмножества решений модели (1)–(5) $\bar{X}^1, \bar{X}^2, \dots, \bar{X}^L$ где $\bar{X}^j = \{x_1^j, \dots, x_i^j\}$.

Динамическая модель оценки производственной мощности предприятия с учетом риска доходности производственной программы. В рассматриваемой ранее динамической модели оценки риска предполагалось, что такие параметры модели, как прибыль от единицы произведенной продукции, объем спроса, цена закупаемых материальных ресурсов, которые будут использоваться на директивном интервале планирования, заданы детерминировано. В реальности значения перечисленных параметров в будущем зависят от многих факторов, учесть влияние которых крайне трудно. Поэтому пользуясь экспертными оценками, считают их случайными величинами с заданными распределениями вероятностей.

Далее будем считать маржинальный доход β_i в целевой функции случайной величиной с известным распределением вероятностей, заданным либо на основе статистики, либо опираясь на мнение экспертов, т. е.

$$\begin{array}{l}
 \beta_j \begin{array}{l} \nearrow \beta_j^1 - P_1 \\ \searrow \beta_j^m - P_m \end{array} \qquad \begin{array}{l} \sum_{j=1}^m P_j P_i = 1; \\ P_i \geq 0. \end{array} \qquad (31)
 \end{array}$$

Соответственно значение математического ожидания маржинального дохода $\bar{\beta}_i$ от реализации продукции вида i определяется по формуле

$$\bar{\beta}_i = \sum_{j=1}^m \beta_j^j P_j. \qquad (32)$$

Обозначим через l_{ig} количество материального ресурса вида g , необходимого для выпуска одной единицы продукции вида i . Тогда объем выпуска продукции вида i с учетом (16) определяется как

$$\frac{\int_0^T q_{ikig}(t) dt}{l_{ig}}. \qquad (33)$$

Затраты на материальные ресурсы производства при цене ω_g за единицу материального ресурса g определяются по формуле

$$Z_{at} = \sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^M \omega_g \int_0^T q_{ikig}(t) dt. \tag{34}$$

Учитывая ограниченность оборотных средств, используемых для закупки материальных ресурсов производства, будем считать, что их величина равна V , т. е.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{g=1}^M \omega_g \int_0^T q_{ikig}(t) dt \leq V. \tag{35}$$

Волатильность доходности производственной программы j может быть использована в качестве количественной оценки риска ее доходности. Поэтому, учитывая приведенные соотношения, математическую модель оценки производственной мощности предприятия с учетом риска можно представить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n \bar{\beta}_i \int_0^T q_{ik_i}(t) dt \rightarrow \max; \tag{36}$$

$$V_{ijg}(0) + \int_0^t q_{i(j-1)g}(t') dt' \geq \int_0^t q_{ijg}(t') dt', \quad \forall t \in (0, T),$$

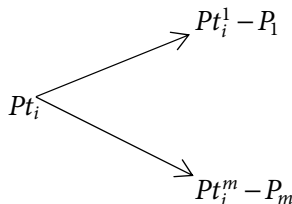
$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, k_i. \tag{37}$$

Величина R_g задает уровень допустимого риска доходности производственной программы:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{k_i} \frac{q_{ijg}(t)}{q_{ijg}^0(t)} \alpha_{ijl} \leq C_l, \quad \forall t \in (0, T), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, k_i; \quad g = 1, 2, \dots, M. \tag{38}$$

В модели в качестве главного критерия используется максимизация математического ожидания маржинального дохода от реализации продукции в объемах, соответствующих производственной программе, с учетом риска ее доходности. Очевидно, что в качестве главного критерия может быть выбран риск. В этом случае минимизируются выражения (38), а на математическое ожидание доходности производственной программы накладывается ограничение сверху.

Модель оценки производственной мощности предприятия с учетом риска упущенной выгоды и риска перепроизводства. Вернемся к модели (1)–(5) при условиях, когда будущий спрос на конечную продукцию не определен и задается на основе накопленной статистики или мнений экспертов как случайная величина, т. е.



$$\sum_{j=1}^m P_j = 1; \tag{39}$$

$$P_i \geq 0.$$

В формуле (39) Pt_i^j задает объем спроса на продукцию вида i с вероятностью P_j ($j=1,2,\dots,m$). Далее будем считать, что математическое ожидание спроса на продукцию i определяется по формуле

$$\overline{Pt}_i^j = \sum_{j=1}^m Pt_i^j P_j. \quad (40)$$

Исходя из этого в ограничении в качестве величины спроса можно использовать \overline{Pt}_i^j . В то же время необходимо учитывать, что реальная величина спроса может быть в зависимости от ситуации как больше \overline{Pt}_i^j , так и меньше. Поэтому если при определении оптимальной производственной программы получим, что

$$\int_0^T q_{ik_i}(t) dt \leq \overline{Pt}_i^j, \quad (41)$$

то возможна ситуация, когда объем выпущенной продукции превышает спрос, или наоборот, когда реальный спрос окажется больше, чем \overline{Pt}_i^j . В первом случае имеют место убытки, связанные с перепроизводством продукции, во втором — упущенная прибыль. Определим риск упущенной выгоды как математическое ожидание упущенной прибыли из-за того, что объем выпуска продукции оказался меньше реального спроса.

Формула для оценки риска упущенной выгоды $R_{y,v}$ может быть записана следующим образом:

$$R_{y,v} = \sum_{i=1}^n \overline{\beta}_i \sum_{j=1}^m \Delta_i^j P_j, \quad (42)$$

где $\overline{\beta}_i$ — это математическое ожидание маржинального дохода при выпуске одной единицы продукции вида i .

Риск перепроизводства продукции R_n оценивается с использованием математического ожидания потерь, связанных с тем, что реальный спрос оказался меньше, чем объем выпускаемой продукции:

$$R_n = \sum_{i=1}^n b_i \sum_{j=1}^m \theta_i^j P_j, \quad (43)$$

где b_i — переменные издержки, связанные с выпуском одной единицы продукции вида i .

Реализация моделей на примере отделения микротехнологий Научно-исследовательского института системных исследований РАН. Основными задачами отделения микротехнологий (ОМТ) являются:

- разработка индивидуальных и базовых технологических процессов обработки кремниевых пластин и изготовление микросхем с субмикронными размерами элементов, в том числе радиационно-стойких и эксплуатируемых при

высоких температурах окружающей среды, разработка правил проектирования и библиотек стандартных элементов;

- проектирование, изготовление, исследования и испытания макетов и опытных образцов микроэлектронных изделий;
- изготовление мелкосерийной продукции (пластин с кристаллами микросхем, интегральных микросхем и многокристальных модулей), в том числе проведение сборочных операций и отбраковочных испытаний;
- проведение испытаний в рамках НИОКР и изготовление серийной продукции, а также проведение испытаний по заявкам сторонних организаций;
- совершенствование мини-фабрики НИИСИ РАН и поддержание ее в работоспособном состоянии.

В настоящее время в ОМТ на базе мини-фабрики НИИСИ РАН ведется серийное изготовление микропроцессоров, микроконтроллеров, микросхем памяти и пластин с кристаллами заказанных элементов (микросхем).

Для реализации моделей на практике необходимо выполнить поиск оптимального портфеля оптовых закупок. Для поиска использовались статические модели как в ситуации привлечения кредита, так и без него. Оптом закупают и затем реализуют товары 10 видов (табл. 1).

Таблица 1

Товары, закупаемые ОМТ

Наименование товара	ν_i , ед.	α_i , у.е.	γ_i , у.е.	V_i , шт.	$\nu_i(t)$, ед./день
Транзисторы	50	150	180	500	7
Микросхемы	20	170	200	200	3
Диодные сборки	25	153	190	375	4
Тиристоры	25	125	150	375	3
ИК-приемники	30	149	175	450	4
Импортные транзисторы	50	185	220	1000	4
Конденсаторы	20	154	180	200	2
Фильтры	25	170	190	375	3
Датчики давления	30	108	130	150	4
Датчики движения	30	124	135	150	6
Резисторы	50	45	70	850	10

В табл. 1 обозначено: ν_i — объем минимальной партии товара i при оптовой закупке ($i = 1, 2, \dots, n$); α_i — оптовая цена товара i ; γ_i — розничная цена товара i ; V_i — объем товара i на складе, который может быть закуплен оптом ($i = 1, 2, \dots, n$); $\nu_i(t)$ — интенсивность спроса на товары вида i при розничной цене продукта γ_i .

Далее рассчитаем максимальное число партий товара, которое может находиться на складе, по формуле

$$k_i = \frac{V_i}{v_i}. \tag{44}$$

Для датчиков давления и движения максимальное число партий товаров $k_i = 5$, для транзисторов, микросхем и конденсаторов $k_i = 10$, для диодных сборок, тиристоров, фильтров, ИК-приемников $k_i = 15$, для резисторов $k_i = 17$ и импортных транзисторов $k_i = 20$.

Теперь, когда все предварительные расчеты проведены, можно переходить к непосредственному поиску оптимального вектора закупок. Для решения будем использовать пакет программ MS Excel. Исходные данные для ситуации без привлечения кредита заданы на рис. 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2		Вид товара	Xi	Vi	Ai	Yi	Vi	Ki	Интенсивность	
3		Транзисторы		50	150	180	500	10	7	
4		Микросхемы		20	170	200	200	10	3	
5		Диодные сборки		25	153	190	375	15	4	
6		Тиристоры		25	125	150	375	15	3	
7		ИК приемники		30	149	175	450	15	4	
8		Импортные транзисторы		50	185	220	1000	20	4	
9		Конденсаторы		20	154	180	200	10	2	
10		Фильтры		25	170	190	375	15	3	
11		Датчики давления		30	108	130	150	5	4	
12		Датчики движения		30	124	135	150	5	6	
13		Резисторы		50	45	70	850	17	10	
14										
15		F	500000							

Рис. 2. Закупки без привлечения кредита. Исходные данные в табличном процессоре MS Excel

Зададим целевую функцию: $F = \text{СУММПРОИЗВ}(C3:C13;D3:D13;F3:F13) + C15 \cdot \text{СУММПРОИЗВ}(C3:C13;D3:D13;E3:E13)$. Запишем ограничения и решим данную задачу (табл. 2, 3, рис. 3).

Таблица 2

Закупки товаров без привлечения кредита

Ситуация без привлечения кредита		
611 900	=	Функционал
Ограничения на склад		
500 000	≤	500 000
Ограничения на продажу		
500	≤	1750
180	≤	750
375	≤	1000
375	≤	750
300	≤	1000
1000	≤	1000

Окончание табл. 2

Ситуация без привлечения кредита		
Ограничение на продажу		
30	≤	500
0	≤	750
120	≤	1000
0	≤	1500
850	≤	2500

Таблица 3

Ограничения на складе

Число партий товаров на складе, шт.		
10	≤	10
9	≤	10
15	≤	15
15	≤	15
10	≤	15
20	≤	20
3	≤	10
0	≤	15
4	≤	5
0	≤	5
17	≤	17

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2		Наименование	Транзисторы	Микросхемы	Диодные сборки	Тиристоры	ИК приемники	Импортные транзисторы	Конденсаторы	Фильтры	Датчики давления	Датчики движения	Резисторы
3	xi	10	9	15	15	10	20	3	0	4	0	17	

Рис. 3. Оптимальное решение при ситуации без привлечения кредита

Таким образом, получен оптимальный вектор закупок, при этом наша прибыль составила 611 900 у.е. Оборотный капитал израсходован полностью, о чем свидетельствует ограничение на капитал. Спрос на товары полностью не удовлетворен (следует из ограничения на продажу), на складе осталось свободное место (следует из ограничения на склад). Следовательно, фактически рост прибыли ограничивает оборотный капитал.

Пусть имеется возможность взять кредит суммой до 100 000 у.е. под 10 %. Тогда мы будем использовать статическую модель с привлечением кредита. Исходные данные для этой ситуации представлены на рис. 4.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2		Вид товара	X_i	V_i	A_i	Y_i	V_i	K_i	Интенсивность	Кредит		
3		Транзисторы		50	150	180	500	10	7	Факт.сумма	лимит	%
4		Микросхемы		20	170	200	200	10	3			
5		Диодные сборки		25	153	190	375	15	4			
6		Тиристоры		25	125	150	375	15	3			
7		ИК приемники		30	149	175	450	15	4			
8		Транзисторы 1		50	185	220	1000	20	4			
9		Конденсаторы		20	154	180	200	10	2			
10		Фильтры		25	170	190	375	15	3			
11		Датчики		30	108	130	150	5	4			
12		Датчики 1		30	124	135	150	5	6			
13		Резисторы		50	45	70	850	17	10			
14												
15		F		500000								
16												

Рис. 4. Ситуация с привлечением кредита. Исходные данные в табличном процессоре MS Excel

Запишем ограничения и решим данную задачу. Все решения приведены в табл. 4, 5 и на рис. 5.

Таблица 4

Закупки товаров с привлечением кредита

Ситуация с привлечением кредита		
616470	=	Функционал
Ограничения на капитал		
500000	≤	597 300
Ограничения на кредит		
97300	≤	100 000
Ограничение на продажу		
500	≤	1750
200	≤	750
375	≤	1000
375	≤	750
450	≤	1000
1000	≤	1000
200	≤	500
275	≤	750
150	≤	1000
0	≤	1500
850	≤	2500

Таблица 5

Ограничения на складе

Число партий товаров на складе, шт.		
10	≤	10
10	≤	10
15	≤	15
15	≤	15
15	≤	15
20	≤	20
10	≤	10

Число партий товаров на складе, шт.		
11	≤	15
5	≤	5
0	≤	5
17	≤	17

Вид товара	Xi	Кредит		
		Факт.сумма	лимит	%
Транзисторы	10			
Микросхемы	10		100000	10%
Диодные сборки	15			
Тиристоры	15			
ИК приемники	15			
Транзисторы 1	20			
Конденсаторы	10			
Фильтры	11			
Датчики	5			
Датчики 1	0			
Резисторы	7			

Рис. 5. Ситуация с привлечением кредита. Число партий товаров на складе. Оптимальное решение в ситуации с привлечением кредита

Таким образом, получен оптимальный вектор закупок, при этом прибыль составила 616 470 у.е. Оборотный капитал израсходован полностью, о чем свидетельствует ограничение на капитал, помимо этого был взят кредит в размере 97 300 у.е. Спрос на товары полностью не удовлетворен (следует из ограничения на продажу). Склад заполнен полностью всеми видами товара, кроме датчика 1 и фильтра. При этом отметить, что фильтр не был закуплен из-за нехватки средств (даже с учетом кредита), а датчик 1 не был закуплен из-за низкой рентабельности (прибыль от продаж не покрывает возврат кредита).

Проводя сравнительный анализ моделей без кредита и с учетом кредита, можно сделать вывод о том, что компании имеет смысл привлекать кредит в размере 97 300 у.е. при заданной процентной ставке, так как при этом прибыль увеличится на 4570 у.е.

Теперь необходимо найти ставку по кредиту, при которой компании будет невыгодно привлекать заемные средства. Для этого нужно решить задачу в случае привлечения кредита при разных процентных ставках, и определить, при какой из них значение функционала перестанет превышать функционал задачи без кредита. Проведя расчеты, получаем следующие результаты (рис. 6).

Нетрудно отметить, что с ростом процентной ставки прибыль компании уменьшается, если мы рассматриваем модель с привлечением кредита. Из табл. 5 и графика следует, что когда процентная ставка равна 18 %, прибыль (и соответственно функционал) по двум моделям становится равной 611 900 у.е. Если мы рассмотрим оптимальные векторы закупок при данной ставке, то обнаружим, что они также равны (табл. 6).

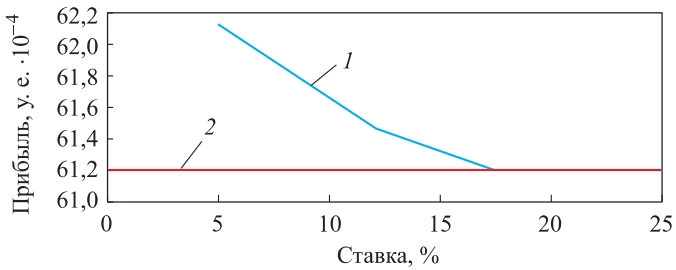


Рис. 6. Прибыль компании в зависимости от изменения процентной ставки:
 1 — ситуация с привлечением кредита; 2 — ситуация без кредита

Таблица 6

Оптимальные векторы закупок при кредитной ставке 18 %

Наименование товара	X_i без кредита	X_i с кредитом
Транзисторы	10	10
Микросхемы	9	9
Диодные сборки	15	15
Тиристоры	15	15
ИК-приемники	10	10
Импортные транзисторы	20	20
Конденсаторы	3	3
Фильтры	0	0
Датчики давления	4	4
Датчики движения	0	0
Резисторы	17	17

Выводы. Проведенные расчеты позволяют сделать следующие выводы. При ставке 18 % и более компания не получает дополнительной прибыли от продажи товаров, купленных на средства, взятые в кредит, и использует для закупки только свой оборотный капитал. Модели, построенные для реальной компании, дали реальный результат, по которому можно принимать инвестиционное решение. Так, для ОМТ НИИСИ РАН был найден оптимальный портфель оптовых закупок, максимизирующий ее прибыль при заданных условиях. Рассмотрен проект создания нового предприятия. Оценены мощности по производству продукции с учетом того, что предприятие имеет минимальный необходимый объем производства (заказ). Определено, что имеющихся производственных мощностей недостаточно для выполнения данного заказа и рассчитана сумма инвестиций для исправления ситуации. Получены следующие результаты: для выполнения заказа необходимы инвестиции в размере 431 180 у.е., тогда предприятие будет получать ежедневную прибыль в размере 17 044 у.е. Дальнейшее решение о реализации проекта целиком зависит от инвесторов, которые с различной степенью вероятности примут решение об инвестиции, при этом элементы математических моделей и результаты расчетов были реализованы с учетом критериев максимальной объективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Elliott-Shircore T.I., Steele P.T.* Procurement positioning overview // Purchasing and Supply Management. 2005. No. 12. P. 23–26.
2. *Ershi Q., Jiang S., Runliang D., eds.* International Asia conference on industrial engineering and management innovation (IEMI2012). Proceedings. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013.
3. *Zhen H.* The analysis the evaluation of the comprehensive production capacity of farmers based on the numerical simulation technology. 2014 Fifth Int. conf. on Intelligent Systems Design and Engineering Applications. P. 996–998.
4. *Prabhu V.* A dynamic algorithm for distributed feedback control for manufacturing production, capacity, and maintenance // IEEE Transaction on Automation Science and Engineering. 2015. Vol. 12. No. 2. P. 628–641. DOI: 10.1109/TASE.2014.2339281 URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6877749>
5. *Ji Q., Wang Y., Hu X.* Optimal production planning for assembly systems with uncertain capacities and random demand // European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 253. No. 2. P. 383–391.
6. *Rajagopalan S., Yu H.L.* Capacity planning with congestion effects // European Journal of Operational Research. 2001. Vol. 134. No. 2. P. 365–377.
7. *An integrated production modelling workflow for CSG production forecasting and optimization / A. Shields, S. Tihonova, R. Stott, L.A. Saputelli, Z. Haris, A. Verde // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. Vol. 34. P. 733–750.*
8. *Sowles J.W.* Assessing nitrogen carrying capacity for Blue Hill Bay, Maine: A management case study // Hargrave B., ed. Environmental effects of marine finfish aquaculture. Springer, 2005. P. 359–380.
9. *Swaminathan J.M.* Tool capacity planning for semiconductor fabrication facilities under demand uncertainty // European Journal of Operations Research. 2000. Vol. 120. P. 545–558.
10. *Zschorn L., Muller S., Ivanov D.* Cost analysis of capacity flexibility in a hybrid multiple-line production system at Siemens AG // IFAC-PapersOnLine. 2016. Vol. 49. No. 12. P. 1278–1282. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.07.699 URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316309752>
11. *Бабанова Ю.В., Орлов В.М.* Методология оценки уровня инновационного развития предприятия // Менеджмент в России и за рубежом. 2013. № 4. С. 3–10.
12. *Бархаева А.Б.* Волонтерские общности как инновационная форма вовлечения учащейся молодежи в общественно полезную деятельность // Инновации в образовании. 2008. № 5. С. 77–93.
13. *Бром А.Е., Елисеева Е.В.* Математическая модель организации производства на основе ресурсосбережения // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. DOI: 10.7463/0513.0568317 URL: <http://technomag.neicon.ru/doc/568317.html>
14. *Замбржицкая Е.С., Логачёва А.В., Логачёва М.В.* Сущность определения производственной мощности // Молодой ученый. 2014. № 10. С. 238–242. URL: <https://moluch.ru/archive/69/11829>
15. *Маклашина Л.Р.* Факторы, влияющие на развитие инновационной деятельности предприятий индустрии туризма // Креативная экономика. 2012. № 5 (65). С. 116–120. URL: <https://bgscience.ru/lib/4730>

Пилюгина Анна Валерьевна — канд. экон. наук, доцент кафедры «Инновационное предпринимательство» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Мищенко Александр Владимирович — д-р экон. наук, профессор кафедры «Логистика» Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (Российская Федерация, 101000, Москва, Мясницкая ул., д. 20).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Пилюгина А.В., Мищенко А.В. Модели оценки производственной мощности предприятия // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 3. С. 102–121. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-3-102-121

MODELS FOR ASSESSING THE PRODUCTION CAPACITY OF AN ENTERPRISE

A.V. Pilyugina¹

A.V. Mischenko²

pilyuginaanna@bmstu.ru

87977790@mail.ru

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

² National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation

Abstract

We carried out the research of scientific and industrial enterprises working in the field of microelectronic technologies and detected the main parameters influencing the value of production capacity. We developed a system of models for different situations, as well as models for assessing the production capacity for projects of creation a new enterprise, finding the necessary investments to fulfill an order, and searching for the optimal purchase portfolio. First, we examined various models of the production capacity of the enterprise, then, we clarified the concept of production capacity, and conducted a comparative analysis of approaches to modeling. Finally, we tested the models according to the example of the microtechnology department of the Research Institute for System Studies of the Russian Academy of Sciences

Keywords

Production capacity, models for assessing the production capacity, wholesale purchases portfolio, investments

REFERENCES

- [1] Elliott-Shircore T.I., Steele P.T. Procurement positioning overview. *Purchasing and Supply Management*, 2005, no. 12, pp. 23–26.
- [2] Ershi Q., Jiang S., Runliang D., eds. International Asia conference on industrial engineering and management innovation (IEMI2012). Proceedings. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2013.
- [3] Zhen H. The analysis the evaluation of the comprehensive production capacity of farmers based on the numerical simulation technology. *2014 Fifth Int. conf. on Intelligent Systems Design and Engineering Applications*, pp. 996–998.
- [4] Prabhu V. A dynamic algorithm for distributed feedback control for manufacturing production, capacity, and maintenance. *IEEE Transaction on Automation Science and Engineering*, 2015, vol. 12, no. 2, pp. 628–641. DOI: 10.1109/TASE.2014.2339281 Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6877749>

- [5] Ji Q., Wang Y., Hu X. Optimal production planning for assembly systems with uncertain capacities and random demand. *European Journal of Operational Research*, 2016, vol. 253, no. 2, pp. 383–391.
- [6] Rajagopalan S., Yu H.L. Capacity planning with congestion effects. *European Journal of Operational Research*, 2001, vol. 134, no. 2, pp. 365–377.
- [7] Shields A., Tihonova S., Stott R., Saputelli L.A., Haris Z., Verde A. An integrated production modelling workflow for CSG production forecasting and optimization. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016, vol. 34, pp. 733–750.
- [8] Sowles J.W. Assessing nitrogen carrying capacity for Blue Hill Bay, Maine: A management case study. In: Hargrave B., ed. *Environmental effects of marine finfish aquaculture*. Springer, 2005. P. 359–380.
- [9] Swaminathan J.M. Tool capacity planning for semiconductor fabrication facilities under demand uncertainty. *European Journal of Operations Research*, 2000, vol. 120, pp. 545–558.
- [10] Zschorn L., Muller S., Ivanov D. Cost analysis of capacity flexibility in a hybrid multiple-line production system at Siemens AG. *IFAC-PapersOnLine*, 2016, vol. 49, no. 12, pp. 1278–1282. DOI: 10.1016/j.ifacol.2016.07.699
Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316309752>
- [11] Babanova Yu.V., Orlov V.M. Methodology to assess the level of innovative development. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom* [Management in Russia and Abroad], 2013, no. 4, pp. 3–10 (in Russ.).
- [12] Barkhaeva A.B. Voluntary communities as innovative form of involving studying youth into socially useful activity. *Innovatsii v obrazovanii* [Innovation in Education], 2008, no. 5, pp. 77–93 (in Russ.).
- [13] Brom A.E., Eliseeva E.V. Mathematical model of production management based on resource-saving principles. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGТУ im. N.E. Baumana* [Science and Education: Scientific Publication of BMSTU], 2013. DOI: 10.7463/0513.0568317
Available at: <http://technomag.neicon.ru/doc/568317.html>
- [14] Zambrzhitskaya E.S., Logacheva A.V., Logacheva M.V. The content of productive capacity determination. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2014, no. 10, pp. 238–242 (in Russ.).
Available at: <https://moluch.ru/archive/69/11829>
- [15] Maklashina L.R. Factors affected on travel industry companies innovation activity development. *Kreativnaya ekonomika* [Creative Economy], 2012, no. 5(65), pp. 116–120 (in Russ.).
Available at: <https://bgscience.ru/lib/4730>

Pilyugina A.V. — Cand. Sc. (Econ.), Assoc. Professor of Innovative Entrepreneurship Department, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Mischenko A.V. — Dr. Sc. (Econ.), Professor of Logistics Department, National Research University Higher School of Economics (Myasnikskaya ul. 20, Moscow, 101000 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Pilyugina A.V., Mischenko A.V. Models for Assessing the Production Capacity of an Enterprise. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinost.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mech. Eng.], 2017, no. 3, pp. 102–121.
DOI: 10.18698/0236-3941-2017-3-102-121