

Чикунов П.А.

## Физическая и формальная постановка задач оперативного управления соледобывающим предприятием

Чикунов Павел Александрович,

старший преподаватель кафедры электроники и компьютерных технологий систем управления  
Учебно-научный профессионально-педагогический институт, г. Артемовск, Украина

**Аннотация.** Поставлены и формализованы в виде функционалов цели задачи определения оптимальных вариантов валового выпуска обобщенных видов продукции на сезон (стратегическое планирование) и на месяц сезона (тактическое планирование). Этим целям подчинены задачи определения производственной программы перерабатывающих комплексов рудников предприятия, с учетом возмущений, возникающих из-за текущих колебаний конъюнктуры рынка и износа оборудования, что позволяет принимать решения, сопровождающиеся минимальным затратным механизмом. Эти функционалы отличаются от существующих предметной областью и рекуррентной процедурой адаптации, что позволяет производить расчет показателей производственной программы предприятия при сезонном оперативном управлении. Полученные результаты позволяют проектировать СППР перерабатывающих и горно-рудных предприятий двухуровневой структуры, что способствует расширению спектра применения распределенных систем управления.

**Ключевые слова:** производство и переработка каменной соли, портфель заказов, производственные затраты, поддержка принятия решений в управлении, оперативное управление.

**Введение.** В качестве объекта управления в работе выступает государственное предприятие (ГП) «Артемсоль», занимающееся добычей каменной соли и переработкой ее в пищевую поваренную соль. Предприятие состоит из заводу управления и четырех рудников. В функции заводу управления входит формирование портфеля заказов на год, координация, планирование и оперативное управление процессами добычи и переработки соли. Каждый рудник состоит из шахты, осуществляющей подземную добычу соли и поверхностного перерабатывающего комплекса.

Структурно в портфель заказов входят три вида: государственный заказ, заказы по длительным договорам и рыночные заказы, возникающие при маркетинговой деятельности. На основании проекта портфеля заказов, службы сбыта и маркетинга разрабатывают производственную программу для предприятия в целом и для каждого рудника в отдельности. В связи с различным типом оборудования перерабатывающих комплексов и их компоновкой, технологическая себестоимость выпуска одинакового типа продукции различается. Кроме этого целый ряд позиций портфеля заказов носит сезонный характер. Выделяют девять обобщенных видов готовой продукции – соль молотая неупакованная, с противослеживающей добавкой, йодированная, сеяная, фасованная, затаренная в мешки, затаренная в мягкие контейнеры, дробленая и крупнокусковая.

Для принятия решений по оперативному управлению необходимо разработать инструментарий принятия решений по оперативному управлению предприятием на сезонный период, который позволит осуществлять прогноз на малый, наперед заданный интервал времени.

В соответствии с вышеизложенным, актуальной является постановка задач оперативного управления выпуском обобщенных видов продукции на сезон и месяц сезона, в подчинении двум критериям цели: получению максимального дохода предприятия от производства продукции и сохранения минимального затратного механизма выпуска объемов продукции каждого рудника.

**Обзор публикаций по теме.** Анализ предприятия, как объекта управления, осуществлен в работе [1]. Модели взаимосвязей ассортимента продукции ГП «Артемсоль» выполнены в работе [2]. Основные положения моделирования производственных показателей предприятия рассмотрены в работе [3].

**Целью статьи** является физическая и формальная постановка задачи оперативного управления предприятием на сезон, целью которого является получение наибольшего дохода при установленных ценах на продукцию с сохранением минимального затратного механизма производства.

**Модель прогноза деятельности предприятия.** Статистические данные [1] показывают, что наиболее загруженным является портфель заказов осенне-зимнего периода, когда осуществляются муниципальные закупки соли. Весенне-летний период характеризуется заказами на соль, используемую при консервации продуктов питания. Модель прогноза должна включать в себя показатели деятельности ГП «Артемсоль» и входящих в него подразделений в весенне-летний и осенне-зимний периоды. Кроме того, модель должна учитывать показатели прогнозируемого выпуска обобщенных видов продукции.

Математическая модель, позволяющая осуществлять прогноз технико-экономической деятельности предприятия, включает в себя два вида уравнений. Первый вид уравнений прогноза характеризует валовый выпуск продукции ГП «Артемсоль» (1), второй вид характеризует выпуск обобщенных видов продукции каждого рудника.

$$G = f(G_i(S_i)), \quad (1)$$

$$\forall S_i \exists G_i(S_i) = f(G_i(A_j)), \quad (2)$$

где  $G_i(S_i), i = \overline{1,4}$  – валовый выпуск продукции рудником  $S_i$ ,  $G_i(A_j), j = \overline{1 \div 9}$  – объем обобщенного вида продукции  $A_j$ , произведенной на данном руднике.

Функциональное представление моделей в виде (1-2) преобразуется в уравнение прогноза с помощью математического аппарата прикладного регрессионного анализа, реализуемого по алгоритму (3):

$$\bar{B} = (\bar{U}^T \cdot \bar{U})^{-1} \cdot U^T \cdot \bar{Y}, \quad (3)$$

где  $B$  – вектор коэффициентов модели  $B = (b_0, b_1, \dots, b_m)$ ,  $m$  – количество членов уравнения модели,  $\bar{U}$  – информационная матрица, сформированная из статистических данных, характеризующих значение факторов – членов уравнений,  $\bar{U}^T$  – транспонированная информационная матрица,  $\bar{Y}$  – вектор статистических значений выходных показателей – функции отклика.

Алгоритм компьютерного моделирования, реализующий уравнение прогноза(3), предусматривает, кроме расчета вектора коэффициентов модели  $\bar{B}$ , получение оценок значимости  $t_j, j = \overline{1 \div m}$ , которые характеризуют степень влияния каждой входной переменной (факторы модели) на выходную переменную – отклик модели.

$$I_1^1 = F_1^1(D^1(A_j)) \rightarrow \max_{g^1(A_j)}, \quad (4)$$

$$I_1^1 = 0.27U^1(A_1) \cdot g^1(A_1) + 0.1U^1(A_2) \cdot g^1(A_2) + 0.0022U^1(A_3) \cdot g^1(A_3) + 0.005U^1(A_4) \cdot g^1(A_4) + 0.167U^1(A_5) \cdot g^1(A_5) + 0.376U^1(A_6) \cdot g^1(A_6) + 0.07U^1(A_7) \cdot g^1(A_7) + 0.106U^1(A_8) \cdot g^1(A_8) + 0.00084U^1(A_9) \cdot g^1(A_9) \rightarrow \max_{g^1(A_j)}. \quad (5)$$

Решением этой задачи будет вектор  $\bar{g}^{-1*}(A_j)$ , доставляющий максимум – оптимальное решение на осенне-зимний период,

$$\bar{g}^{-1*}(A_j) = \{g^{1*}(A_1), g^{1*}(A_2), g^{1*}(A_3), g^{1*}(A_4), g^{1*}(A_5), g^{1*}(A_6), g^{1*}(A_7), g^{1*}(A_8), g^{1*}(A_9)\}. \quad (6)$$

$$I_1^2 = F_1^2(D^2(A_j)) \rightarrow \max_{g^2(A_j)}, \quad (7)$$

$$I_1^2 = 0.14U^2(A_1) \cdot g^2(A_1) + 0.046U^2(A_2) \cdot g^2(A_2) + 0.0012U^2(A_3) \cdot g^2(A_3) + 0.0026U^2(A_4) \cdot g^2(A_4) + 0.185U^2(A_5) \cdot g^2(A_5) + 0.507U^2(A_6) \cdot g^2(A_6) + 0.111U^2(A_7) \cdot g^2(A_7) + 0.0055U^2(A_8) \cdot g^2(A_8) + 0.0032U^2(A_9) \cdot g^2(A_9) \rightarrow \max_{g^2(A_j)}. \quad (7)$$

Оптимальным решением этой задачи будет вектор:

$$\bar{g}^{-2*}(A_j) = \{g^{2*}(A_1), g^{2*}(A_2), g^{2*}(A_3), g^{2*}(A_4), g^{2*}(A_5), g^{2*}(A_6), g^{2*}(A_7), g^{2*}(A_8), g^{2*}(A_9)\}.$$

Следует отметить, что, так как в обобщенный вид продукции входят виды ассортимента готовой продукции  $A_j$ , каждый из которых имеет свою цену, цена обобщенного вида продукции  $C(A_j)$  рассчитывается через вариационный ряд  $C(A_j) = \sum_{i=1}^4 C(A_{ij}) \cdot d(A_{ij})$ , где  $i$  – номер рудника,  $d(A_{ij}) = \frac{g(A_{ij})}{g(A_j)}$ .

$$I_2^1 = F_2^1(Z_i, G_{Bi}^1) = \sum_{i=1}^4 Z_i^1 \cdot G_{Bi}^1 \rightarrow \min_{G_{Bi}^1}, \quad (8)$$

$$I_2^1 = 32.564G_B^1(S_1) + 36.986G_B^1(S_2) + 33.915G_B^1(S_3) + 31.77G_B^1(S_4) - 4.65 \cdot 10^{-3}G_B^1(S_1) \cdot G_B^1(S_3) - 2.11 \cdot 10^{-3}G_B^1(S_2) \cdot G_B^1(S_4) - 379863 \rightarrow \min_{G_B^1}, \quad (9)$$

где  $Z_i^1(S_i) = \sum_{j=1}^9 W_{ij}^1(A_j) \cdot SS_{ij}$ ,  $W_{ij}^1 = \frac{G_{Bi}(A_j)}{\sum_{j=1}^9 G_{Bi}(A_j)}$ ,  $i = \overline{1 \div 4}$  – номер рудника.

$$I_2^2 = F_2^2(Z_i, G_{Bi}^2) \rightarrow \min_{G_{Bi}^2}, \quad (10)$$

Кроме этого, осуществляется расчет коэффициентов, характеризующих ошибку аппроксимации статистических данных расчетным уравнением модели. Наиболее приемлемой из этих оценок является дисперсия остаточная масштабированная  $S_{1z}^2 > 0$ .

**Постановка задач стратегического планирования.** Как следует из анализа характеристик ОУ, постановка задач оперативного управления подчинена двум аспектам. Во-первых, необходимо определить валовые объемы обобщенных видов продукции, выпускаемой ГП за каждый сезон. Соответственно сформулирована физическая постановка этой задачи: определить валовый объем продукции обобщенных видов, производимых ГП “Артемсоль”, который позволит предприятию получить наибольший доход при установленных ценах на продукцию.

Формальная постановка этой задачи на осенне-зимний период выполнена в (4)-(5), а на весенне-летний период в (6)-(7).

Второй аспект задачи оперативного управления заключается в определении заданий на валовый выпуск продукции каждого из четырех рудников. Физическая постановка этой задачи: определить объемы производственных заданий перерабатывающих комплексов рудников таким образом, чтобы затратный механизм производства ГП “Артемсоль” при стратегическом планировании на сезон был минимальным.

Формальная постановка этой задачи на осенне-зимний период выполнена в (8)-(9), а на весенне-летний период в (10)-(11).

$$I_2^2 = 52.4G_B^2(S_1) + 39.8G_B^2(S_2) + 43.96G_B^2(S_3) + 40.61G_B^2(S_4) - 0.0097G_B^2(S_1) \cdot G_B^2(S_4) - 0.0156G_B^2(S_2) \cdot G_B^2(S_3) - 76212 \rightarrow \min_{G_B^2} \quad (11)$$

Для функционалов (8) и (10)  $Z_i^1(S_i), Z_i^2(S_i)$  – общие затраты перерабатывающего комплекса рудника  $S_i$  на производство  $G_B$  продукции обобщенного вида;  $W_{ij}^1, W_{ij}^2$  – технологическая себестоимость производства продукции вида  $A_j$  на руднике  $A_j$ .

Результатом решения оптимизационных задач (9) и (11) являются значения плановых заданий по валовому выпуску продукции каждого рудника на соответствующий сезон

$\bar{G}_B^* = \{G_B^*(S_1), G_B^*(S_2), G_B^*(S_3), G_B^*(S_4)\}$ . Численные решения этих задач определяют стратегический план деятельности ГП “Артемсоль” на сезон, подчиненный минимальному затратному механизму производства.

**Постановка задач тактического планирования.** Аналогичны постановка и формализация задач тактического (на месяц сезона) планирования на осенне-зимний (12)-(13) и на весенне-летний (14)-(15) периоды.

$$I_3^1 = F_3^1(\mathcal{D}_M^1(A_j)) \rightarrow \max_{g_M^1(A_j)} \quad (12)$$

$$I_3^1 = b_{1M} \Pi^1(A_1) \cdot g_M^1(A_1) + b_{2M} \Pi^1(A_2) \cdot g_M^1(A_2) + b_{3M} \Pi^1(A_3) \cdot g_M^1(A_3) + b_{4M} \Pi^1(A_4) \cdot g_M^1(A_4) + b_{5M} \Pi^1(A_5) \cdot g_M^1(A_5) + b_{6M} \Pi^1(A_6) \cdot g_M^1(A_6) + b_{7M} \Pi^1(A_7) \cdot g_M^1(A_7) + b_{8M} \Pi^1(A_8) \cdot g_M^1(A_8) + b_{9M} \Pi^1(A_9) \cdot g_M^1(A_9) + b_{0M} \rightarrow \max_{g_M^1(A_j)} \quad (13)$$

где  $g_M^1(A_j)$  – объем произведенной продукции  $A_j$ ,  $\Pi^1(A_j)$  – сезонная цена.

Решение задачи (43) тактического планирования производства на каждый месяц осенне-зимнего периода представлено в виде вектора

$$\bar{g}^{1*}(A_j) = \{g_M^{1*}(A_1), g_M^{1*}(A_2), g_M^{1*}(A_3), g_M^{1*}(A_4), g_M^{1*}(A_5), g_M^{1*}(A_6), g_M^{1*}(A_7), g_M^{1*}(A_8), g_M^{1*}(A_9)\} \cdot I_3^2 = F_3^2(\mathcal{D}_M^2(A_j)) \rightarrow \max_{g_M^2(A_j)} \quad (14)$$

$$I_3^2 = a_{1M} \Pi^2(A_1) \cdot g_M^2(A_1) + a_{2M} \Pi^2(A_2) \cdot g_M^2(A_2) + a_{3M} \Pi^2(A_3) \cdot g_M^2(A_3) + a_{4M} \Pi^2(A_4) \cdot g_M^2(A_4) + a_{5M} \Pi^2(A_5) \cdot g_M^2(A_5) + a_{6M} \Pi^2(A_6) \cdot g_M^2(A_6) + a_{7M} \Pi^2(A_7) \cdot g_M^2(A_7) + a_{8M} \Pi^2(A_8) \cdot g_M^2(A_8) + a_{9M} \Pi^2(A_9) \cdot g_M^2(A_9) + a_{0M} \rightarrow \max_{g_M^2(A_j)} \quad (15)$$

Также для решения задач оперативного управления рудниками, были поставлены и формализованы функционалы цели. Соответствующая физическая постановка имеет следующий вид: определить объемы производственных заданий на месяцы сезона таким

образом, чтобы затратный механизм производства был минимальным. Формальная постановка задачи на месяц осенне-зимнего периода выполнена в (16)-(17), а на месяц весенне-летнего периода в (18)-(19).

$$I_4^1 = F_4^1(Z_M^1, G_M^1) \rightarrow \min_{G_M^1} \quad (16)$$

$$I_4^1 = 130.95G_{1M}^1(S_1) + 139.65G_{2M}^1(S_2) + 134.66G_{3M}^1(S_3) + 131.1G_{4M}^1(S_4) - 0.002678G_{1M}^1(S_1) \cdot G_{4M}^1(S_4) - 0.001199G_{2M}^1(S_2) \cdot G_{3M}^1(S_3) + 11380 \rightarrow \min_{G_M^1} \quad (17)$$

$$I_4^2 = F_4^2(Z_M^2, G_M^2) \rightarrow \min_{G_M^2} \quad (18)$$

$$I_4^2 = 156.23G_{1M}^2(S_1) + 168.1G_{2M}^2(S_2) + 170.3G_{3M}^2(S_3) + 169.45G_{4M}^2(S_4) - 0.43G_{3M}^2(S_3) \cdot G_{4M}^2(S_4) - 0.019G_{1M}^2(S_1) \cdot G_{2M}^2(S_2) + 14965 \rightarrow \min_{G_M^2} \quad (19)$$

**Процедура адаптации параметров модели.** В процессе эксплуатации СППР необходимо ежемесячно производить адаптацию параметров моделей и коэффициентов функционалов. Для этой цели предназначен рекуррентный метод наименьших квадратов. Значения коэффициентов функционалов (12) и (14) определяются в режиме обучения, согласно процеду-

ре метода наименьших квадратов (МНК), как (3). Это связано с существующей тенденцией изменения цен на продукцию и нестабильностью портфеля заказов. В обозначении матрицы входов  $U_k$  показывает номер последнего наблюдения:

$$U_k = \begin{bmatrix} u_0(1) & \dots & u_m(1) \\ \vdots & & \vdots \\ u_0(k) & \dots & u_m(k) \end{bmatrix}, U_{k+1} = \begin{bmatrix} u_0(1) & \dots & u_m(1) \\ \vdots & & \vdots \\ u_0(k) & \dots & u_m(k) \\ u_0(k+1) & \dots & u_m(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_k \\ \dots \\ u'(k+1) \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Здесь  $u'(k+1)$  соответствует новому наблюдению. Определим:

$$[P(k)]^{-1} = U'_k U_k, \quad (21)$$

$$[P(k+1)]^{-1} = U'_{k+1} U_{k+1} = [U'_k : u(k+1)] \begin{bmatrix} U_k \\ \dots \\ u'(k+1) \end{bmatrix}, [P(k+1)]^{-1} = [P(k)]^{-1} + u(k+1)u'(k+1). \quad (22)$$

Отметим, что размер  $P$  не зависит от номера  $k$ . Используя матричные тождества, получим:

$$P(k+1) = P(k) - P(k)u(k+1) \times [u'(k+1)P(k)u(k+1) + 1]^{-1} u'(k+1)P(k) = \\ = P(k) - \gamma(k)P(k)u(k+1)u'(k+1)P(k), \quad (23)$$

где  $\gamma(k) = \{u'(k+1)P(k)u(k+1) + 1\}^{-1}$  является скаляром.

Вводя обозначение  $y'_k = [y(1), \dots, y(k)]$ , находим оценку  $b$ :

$$\hat{b}(k) = P(k)U'_k y_k, \quad (24)$$

$$\hat{b}(k+1) = P(k+1)U'_{k+1} y_{k+1} = P(k+1)[U'_k y_k + u(k+1)y(k+1)]. \quad (25)$$

Подстановка выражения (55) в (57) дает:

$$\hat{b}(k+1) = P(k)U'_k y_k + P(k)u(k+1)\gamma(k)\gamma^{-1}(k)y(k+1) - \\ - P(k)u(k+1)\gamma(k)u'(k+1)P(k)[U'_k y_k + u(k+1)y(k+1)]. \quad (26)$$

Здесь  $\gamma(k)\gamma^{-1}(k) = 1$  введено для упрощения дальнейших выкладок. Используя равенство (56), можно преобразовать (58) к виду:

$$\hat{b}(k+1) = \hat{b}(k) + \gamma(k)P(k)u(k+1) \times \{y(k+1) - u'(k+1)\hat{b}(k)\}, \quad (27)$$

$$\hat{b}(k+1) = \hat{b}(k) + P(k+1)u(k+1) \times \{y(k+1) - u'(k+1)\hat{b}(k)\}. \quad (28)$$

**Научная новизна.** Поставлены и формализованы в виде функционалов цели задачи определения оптимальных вариантов валового выпуска обобщенных видов продукции на сезон (стратегическое планирование) и на месяц сезона (тактическое планирование). Этим целям подчинены задачи определения производственной программы перерабатывающих комплексов рудников предприятия, с учетом возмущений, возникающих из-за текущих колебаний конъюнктуры рынка и износа оборудования, что позволяет принимать решения, сопровождающиеся минимальным за-

тратным механизмом. Эти функционалы отличаются от существующих предметной областью и рекуррентной процедурой адаптации, что позволяет производить расчет показателей производственной программы предприятия при сезонном оперативном управлении.

**Выводы.** Полученные результаты позволяют проектировать СППР перерабатывающих и горно-рудных предприятий двухуровневой структуры, что способствует расширению спектра применения распределенных систем управления.

#### ЛИТЕРАТУРА (REFERENCES TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Криводубский О.А. Математическая модель планирования производства соли / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2008. – №2 (29). – С. 107-110.  
*Krivodubski, O.A., Chikunov, P.A. Matematicheskaja model' planirovanija proizvodstva soli [Mathematical model of planning of productions salt] // Naukovyi zbirnyk "Radioelectronic and computer system", №2, 107-110 s.*
2. Криводубский О.А. Логико-формальная модель взаимосвязей ассортимента продукции, выпускаемой ГПО «Артемсоль» / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов, А.О. Новиковская // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2010. – №4 (45). – С.205-210.  
*Krivodubski, O.A. Chikunov, P.A., Novakovskaya, A.A. Logiko-formal'naja model' vzaimosvjazej assortimenta produkcii, vypuskajemoj GPO "Artemsol" [Logic-formal model of the linkages of the variety of goods, that is manufacturing by SPA Artemsolt] // Naukovyi zbirnyk "Radioelectronic and computer system", №4, 205-210 s.*
3. Чикунов П.А. Функциональные особенности системы подготовки принимаемых решений ГП «Артемсоль» / П.А. Чикунов // *Система обробки інформації.* – 2012. – №3 (101) – С. 107-110.  
*Chikunov, P.A. Funkcional'nye osobennosti sistemy podgotovki prinimaemyh reshenij GP "Artemsol" [Functional features of system of preparation made decision SE Artemsolt] // Naukovyj zbirnyk "Systemy obrobky informacii", №3, 107-110 s.*

**Chikunov P.A. Physical and formal statement of the operative management salt producing enterprise**

**Abstract.** Delivered and formalized in the form functional purpose of the task determine the best options of the gross output of generalized products for the season (strategic planning) and a month of the season (tactical planning). These purposes are subject to the problem of determining the production program processing plant mines enterprises, taking into account the perturbations arising from the current fluctuations in market conditions and the deterioration of the equipment that enables decisions to be accompanied by a minimum costly mechanism. These functionals are different from the existing subject area and recurrent adaptation procedure that allows the calculation of indicators of the production program of the company for seasonal operational management. The results will enable design of DSS processing and mining enterprises two-tier structure, which helps expand the range of applications of distributed control systems.

**Keywords:** *production and processing of miner salt, order book, production costs, decision support in management, operational management.*