

УДК 519.71

О.А. КРИВОДУБСКИЙ<sup>1</sup>, П.А. ЧИКУНОВ<sup>2</sup><sup>1</sup> *Донецкий институт автомобильного транспорта, Украина*<sup>2</sup> *Украинская инженерно-педагогическая академия, Артемовск, Украина*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА СОЛИ

*В статье предложена математическая модель для прогнозирования производственных и экономических показателей государственного производственного объединения "Артемсоль", рассматриваемая как модель верхнего уровня управления предприятием, и включает в себя уравнения динамики поступления добытой соли на переработку поверхностным комплексом; количества переработанной соли, отгруженной в вагоны; количества соли, отгруженной в вагоны после внесения противослеживающей добавки; динамики солеблоков; динамики потока соли, проходящего измельчение; потока, следующего на грохота для классификации; движения соли после грохота; потока сеяной соли, следующей на измельчение; движения сеяной после грохота соли; потока молотой соли; движения товарной фасованной молотой соли; движения товарной фасованной молотой йодированной соли; потока молотой соли, затаренной в мешки; потока йодированной соли; потока затаренной молотой соли.*

**Ключевые слова:** математическая модель, государственное производственное объединение "Артемсоль", модель верхнего уровня управления предприятием, уравнение динамики поступления соли, уравнение динамики потока молотой соли.

### Введение

В современных условиях экономики Украины государственное производственное объединение «Артемсоль» занимает значительное место, т.к. является монополистом по добыче и переработке каменной соли. Готовая продукция предприятия имеет ареал реализации – страны СНГ и дальше зарубежье. Портфель заказов предприятия характеризуется значительными колебаниями, как в сезоны нагрузки, так и в любой плановый период деятельности. Для повышения эффективности производственной и, в первую очередь, экономической деятельности предприятия, предложена многоуровневая структура автоматизированной системы управления [1]. Для прогноза производственной деятельности предприятия и экономических показателей, актуальной является разработка математической модели, основывающейся на методологии системного анализа [2, 3].

### Основная часть

В состав ГПО «Артемсоль» входят четыре рудника. Каждый рудник в своей структуре имеет добычное подразделение, осуществляющее подземное извлечение каменной соли из горной массы и перерабатывающее из добытой соли до 15 видов готовой продукции. Организационные структуры рудников различаются незначительно.

Добыча каменной соли и ее доставка на поверхность осуществляется дискретно. Добытая соль,

в основном, скипами доставляется на поверхность, где выгружается в бункера. Дальнейшая переработка соли осуществляется непрерывно. Анализ характеристик предприятия, как объекта управления показал, что производство товарной продукции в явном виде зависит от времени. Это дает основания считать, что для прогноза деятельности предприятия необходимо выбрать динамическую математическую модель. Технология переработки каменной соли включает в себя дробление исходного продукта, его классификацию по крупности, измельчение до заданного класса крупности, внесение противослеживающей добавки, йодирование, расфасовку и затаривание. Следует отметить, что схема движения полупродуктов переработки каменной соли предусматривает перераспределение материальных потоков. Это свидетельствует о нелинейном характере взаимного влияния показателей и, соответственно, разрабатываемой модели. Методологически предлагается математическая модель – структура, описывающая механизм переработки соли, которая содержит коэффициенты при переменных, т.е. математическая модель представлена параметрической структурой. Предполагается, что параметрическая идентификация модели осуществляется по фактическим данным деятельности предприятия за период, предшествующий использованию модели в алгоритме системы управления. Математическая модель, предназначенная для прогнозирования производственных и экономических показателей ГПО «Артемсоль», рассматривается как модель верхнего уровня управления предприятием.

Динамика поступления добытой соли на переработку поверхностным комплексом описывается уравнением (1).

$$\frac{dy_1}{dt} = g_1 - \beta_1 ([DY_1] - [DY_2]) - \beta_2 ([DY_1] - [DY_3]), \quad (1)$$

где  $y_1$  – количество соли, поступающей на переработку поверхностным комплексом, тн;  $g_1$  – количество соли, подаваемой питателем из исходных бункеров, тн/мин (интенсивность подачи соли на переработку);  $\beta_1, \beta_2$  – параметры модели, тн/мин;  $DY_1, DY_2, DY_3$  – доля соли, соответственно идущей из бункера (поток  $y_1$ ) прямо на отгрузку в вагоны (поток  $y_2$ ), на внесение противослеживающей добавки и отгрузку (поток  $y_3$ ).

Количество непереработанной соли, отгруженной в вагоны, описывается уравнением (2):

$$\frac{dy_2}{dt} = \beta_1 ([DY_1] - [DY_2]) - g_2 - \beta_3 ([DY_2] - [DY_3]), \quad (2)$$

где  $g_2$  – интенсивность погрузки в железнодорожные вагоны, тн/мин.

Аналогично рассчитывается количество соли, отгружаемой в вагоны после внесения противослеживающей добавки (3):

$$\frac{dy_3}{dt} = \beta_2 ([DY_1] - [DY_3]) + \beta_3 ([DY_2] - [DY_3]) - g_3, \quad (3)$$

где  $y_3$  – поток непереработанной соли с противослеживающей добавкой;  $g_3$  – интенсивность отгрузки.

Долевые показатели рассчитываются так:

$$[DY_2] = [DY_2](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_2}{dt} d\tau, \quad (4)$$

$$[DY_3] = [DY_3](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_3}{dt} d\tau. \quad (5)$$

При условии, что солеблоки не подаются в бункер, а непосредственно отправляются на погрузку, их динамика описывается уравнением (6):

$$\frac{dy_4}{dt} = g_3 - g_4, \quad (6)$$

где  $y_4$  – поток солеблоков;  $g_3$  – интенсивность отгрузки солеблоков, тн/мин;  $g_4$  – интенсивность поступления.

Динамика потока соли, проходящего переработку, описывается уравнением (7):

$$\frac{dy_5}{dt} = \beta_4 ([DY_1] - [DY_5]) - g_5 - \beta_5 ([DY_5] - [DY_6]), \quad (7)$$

где  $y_5$  – поток соли, идущей на дробление;  $g_5$  – интенсивность дробления.

Поток, следующий на грохот для классификации, подчинен уравнению (8):

$$\frac{dy_6}{dt} = \beta_5 ([DY_5] - [DY_6]) - \beta_6 ([DY_6] - [DY_7]) -$$

$$- \beta_7 ([DY_6] - [DY_8]), \quad (8)$$

где  $y_6$  – поток, следующий на классификацию.

Движение сеяной соли после грохочения:

$$\frac{dy_7}{dt} = \beta_6 ([DY_6] - [DY_7]) - \beta_8 ([DY_7] - [DY_8]) - \beta_{10} ([DY_7] - [DY_{10}]), \quad (9)$$

где  $y_7$  – поток продуктов отсева.

Поток сеяной соли, следующей на измельчение:

$$\frac{dy_8}{dt} = \beta_7 ([DY_6] - [DY_8]) + \beta_8 ([DY_7] - [DY_8]) - \beta_{11} ([DY_8] - [DY_{11}]), \quad (10)$$

где  $y_8$  – поток следующий на измельчение.

Движение сеяной (после грохота) соли:

$$\frac{dy_{10}}{dt} = \beta_{10} ([DY_7] - [DY_{10}]) - g_6, \quad (11)$$

где  $y_{10}$  – поток отгрузки сеяной нефасованной соли;  $g_6$  – интенсивность отгрузки неупакованной соли.

Поток молотой соли описывается так:

$$\frac{dy_{11}}{dt} = \beta_{11} ([DY_8] - [DY_{11}]) - \beta_{12} ([DY_{11}] - [DY_{12}]) - g_7 - g_8 - \beta_{13} ([DY_{11}] - [DY_{13}]) - \beta_{14} ([DY_{11}] - [DY_{14}]) - \beta_{15} ([DY_{11}] - [DY_{15}]) - \beta_{16} ([DY_{13}] - [DY_{16}]), \quad (12)$$

где  $y_{11}$  – поток расфасованной соли после помола;  $g_7$  – интенсивность отгрузки неупакованной молотой соли;  $g_8$  – интенсивность отгрузки неупакованной молотой соли с противослеживающей добавкой.

Движение товарной фасованной молотой соли подчинено уравнению (13):

$$\frac{dy_{12}}{dt} = \beta_{12} ([DY_{11}] - [DY_{12}]) - g_9, \quad (13)$$

где  $y_{12}$  – поток расфасованной соли.

Движение товарной фасованной, молотой йодированной соли

$$\frac{dy_{13}}{dt} = \beta_{13} ([DY_{11}] - [DY_{13}]) - g_{10}, \quad (14)$$

где  $g_{10}$  – интенсивность фасовки в пачки;  $y_{13}$  – поток расфасованной йодированной соли.

Поток молотой соли, затаренной в мешки:

$$\frac{dy_{14}}{dt} = \beta_{14} ([DY_{11}] - [DY_{14}]) - g_{11}, \quad (15)$$

где  $y_{14}$  – поток соли, затаренной в мешки.

Аналогично поток йодированной соли:

$$\frac{dy_{16}}{dt} = \beta_{16} ([DY_{13}] - [DY_{16}]) - g_{12}, \quad (16)$$

где  $y_{16}$  – поток йодированной соли, затаренной в мешки.

Поток затаренной молотой соли:

$$\frac{dy_{15}}{dt} = \beta_{15} ([DY_{11}] - [DY_{15}]) - g_{13}. \quad (17)$$

Аналогично поток йодированной соли:

$$\frac{dy_{17}}{dt} = \beta_{17} ([DY_{13}] - [DY_{17}]) - g_{14}, \quad (18)$$

где  $y_{17}$  – поток затаренной йодированной соли.

Расчет долевых соотношений  $[DY]$  аналогичен [4], [5].

$$[DY_3] = [DY_3](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_3}{dt} dt;$$

$$[DY_4] = [DY_4](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_4}{dt} dt;$$

$$[DY_5] = [DY_5](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_5}{dt} dt;$$

$$[DY_6] = [DY_6](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_6}{dt} dt;$$

$$[DY_7] = [DY_7](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_7}{dt} dt;$$

$$[DY_8] = [DY_8](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_8}{dt} dt;$$

$$[DY_9] = [DY_9](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_9}{dt} dt;$$

$$[DY_{10}] = [DY_{10}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{10}}{dt} dt;$$

$$[DY_{11}] = [DY_{11}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{11}}{dt} dt;$$

$$[DY_{12}] = [DY_{12}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{12}}{dt} dt;$$

$$[DY_{13}] = [DY_{13}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{13}}{dt} dt;$$

$$[DY_{14}] = [DY_{14}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{14}}{dt} dt;$$

$$[DY_{15}] = [DY_{15}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{15}}{dt} dt;$$

$$[DY_{16}] = [DY_{16}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{16}}{dt} dt;$$

$$[DY_{17}] = [DY_{17}](0) + \frac{1}{y_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{dy_{17}}{dt} dt.$$

Долевые коэффициенты подчинены условию материального баланса (19):

$$\begin{aligned} & [DY_2] + [DY_3] + [DY_5] + [DY_6] + [DY_7] + [DY_8] + \\ & [DY_9] + [DY_{10}] + [DY_{11}] + [DY_{12}] + [DY_{13}] + \\ & + [DY_{14}] + [DY_{15}] + [DY_{16}] + [DY_{17}] = [DY_1]; \\ & [DY_5] = [DY_6] + [DY_7] + [DY_8] + [DY_9] + [DY_{10}] + \\ & [DY_{11}] + [DY_{12}] + [DY_{13}] + [DY_{14}] + [DY_{15}] + \\ & [DY_{16}] + [DY_{17}]; \quad [DY_5] = [DY_6] + [DY_7]; \\ & [DY_1] + [DY_4] = 1; \quad [DY_7] = [DY_8] + [DY_{10}]; \\ & [DY_{11}] = [DY_{12}] + [DY_{13}] + [DY_{14}] + [DY_{15}] + \\ & + [DY_{16}] + [DY_{17}]. \end{aligned} \quad (19)$$

Приведенные в работе уравнения модели описывают производственную деятельность предприятия, но могут быть использованы для прогноза экономической деятельности. В частности, валовый доход предприятия может быть рассчитан согласно (20):

$$BD = \sum_{i=1}^{17} C_i Y_i, \quad (20)$$

где  $C_i$  – цена реализуемой продукции каждого вида, грн/кг;  $BD$  – валовый доход, грн.

Соответственно валовый расход может быть осредненно представлен в виде (21):

$$BP = \sum_{i=1}^{17} SS_i \cdot Y_i, \quad (21)$$

где  $SS_i$  – технологическая себестоимость, характеризующая затратный механизм каждой операции переработки соли.

Для каждого рудника, как структурной составляющей ГПО «Артемсоль», может быть представлена аналогичная система дифференциальных, нелинейных, связанных уравнений, которые позволяют прогнозировать выпуск тех же видов готовой продукции. Общий вид этих уравнений (22):

$$\frac{dy_i}{dt} = f(\beta, g, DY, t), \quad (22)$$

где  $i$  – номер вида продукции или потока, введенные выражениями (1) – (18),  $i = \overline{1, 17}$ ;  $j$  – номер рудника,  $j = \overline{1, 4}$ .

В условиях многоуровневости правления предприятием, значения переменных, рассчитываемые по уравнениям вида (22), должны удовлетворять условиям (23):

$$\sum_{j=1}^4 y_i^j = y_i, \quad (23)$$

Массовое соотношение производимой продукции должно подчиняться весовым соотношениям

$$[DY_i^j] = y_i^j / y_i, \quad (24),$$

тогда 
$$\sum_{j=1}^4 [DY_i^j] \cdot y_i^j = y_i . \quad (25)$$

При численном решении системы дифференциальных уравнений верхнего и, соответственно, нижнего уровня, методом Рунге-Кутты-Гилла, долевые (весовые) соотношения  $[DY_i^j]$  рассматриваются как итеративные на каждом шаге интегрирования. Расчет этих показателей, а также выражений (19) – (25) выносятся в отдельный блок расчета нелинейностей, ибо в противном случае численные процедуры теряют устойчивость.

### Заключение

Научная новизна работы представлена разработанной двухуровневой системой дифференциальных нелинейных, параметрических уравнений. Параметрическая идентификация этой модели позволит использовать результаты расчетов при планировании

деятельности ГПО «Артемсоль» и при оперативном управлении в составе автоматизированной системы принятия решений. С помощью этой модели возможно реализовать динамический прогноз производственных и экономических показателей деятельности предприятия на любой, наперед заданный период.

### Литература

1. Криводубский О.А. Разработка системы управления ГПО «Артемсоль» / О.А. Криводубский, О.В. Ильчишин, П.А. Чикунов // *Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту*. – 2008. – Вип. 1. – С. 5.
2. Томашевский В.М. Моделирование систем / В.М. Томашевский. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 350 с.
3. Згуровський М.З. Основи системного аналізу / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: Видавнича група ВНУ, 2000. – 543 с.

Поступила в редакцию 2.06.2008

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры основ проектирования машин В.Г. Вербицкий, Донецкий институт автомобильного транспорта, Донецк.

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА СОЛІ

*О.О. Криводубський, П.О. Чикунов*

У статті запропонована математична модель для прогнозування виробничих та економічних показників державного виробничого об'єднання "Артемсоль", розглянута як модель верхнього рівня керування підприємством, і містить у собі рівняння динаміки надходження добутої солі на переробку поверхневим комплексом; кількості непереробленої солі, відвантаженої у вагони; кількості солі, відвантаженої у вагони після внесення противозлежувальної добавки; динаміки солеблоков; динаміки потоку солі, що проходить здрібновання; потоку, що впливає на гуркоту для класифікації; руху солі після гуркоту; потоку сіяної солі, що впливає на здрібновання; руху сіяної після гуркоту солі; потоку меленої солі; руху товарної фасованої меленої солі; руху товарної фасованої меленої йодованої солі; потоку меленої солі, затареної у мішки; потоку йодованої солі; потоку затареної меленої солі.

**Ключові слова:** математична модель, державне виробниче об'єднання "Артемсоль", модель верхнього рівня керування підприємством, рівняння динаміки надходження солі, рівняння динаміки потоку меленої солі.

### MATHEMATICAL MODEL OF PLANNING OF PRODUCTION SALT

*O.A. Krivodubski, P.A. Chikunov*

In the article a mathematical model is offered for prognostication of production and economic indexes of state production amalgamation of "Artemsol", examined as a model top level management an enterprise, and plugs in itself equalizations of dynamics of receipt of the obtained salt on processing a superficial complex; amounts of the unprocessed salt, shipped in carriages; salt amounts, shipped in carriages after bringing of anticaking addition; loud speakers of saltblock; salt the loud speakers of stream, passing grinding down; stream, following on crash for classification; salt motions after a crash; stream of sowed salt, following on grinding down; motions after a crash salt sowed; stream of the ground salt; motions of the commodity packaged ground salt; motions of the commodity packaged ground iodine salt; stream of the ground salt, containered in sacks; stream of iodine salt; stream of the containered ground salt.

**Keywords:** mathematical model, state production amalgamation of "Artemsol", model top level management an enterprise, salt equalization of dynamics of receipt, equalization of dynamics of stream of the ground salt.

**Криводубський Олег Александрович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Системний аналіз і моделювання», Донецький інститут автомобільного транспорту, Донецьк, Україна, e-mail: my\_anna@mail.ru.

**Чикунів Павел Александрович** – старший преподаватель кафедри електроніки і комп'ютерних технологій систем управління Української інженерно-педагогічної академії, Артемовск, Україна, e-mail: pashurka@mail.ru.