

УДК 681.5:519.6

П.А.Чикунів

Учебно-научный профессионально-педагогический институт, Артемовск

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА АССОРТИМЕНТА ПРОДУКЦИИ РУДНИКОВ ГП «АРТЕМСОЛЬ»

Приведена гипотеза о механизме процессов преобразования потоков соли в товарную продукцию. Представлена система нелинейных, связанных дифференциальных уравнений, являющихся моделью-структурой оперативного прогноза количества добытой и переработанной соли подразделениями ГП «Артемсоль». Значения параметров уравнений определяют специфику технологических решений переработки соли на конкретном руднике. Ключевые слова: оперативный прогноз, ассортимент продукции, планирование деятельности.

Форм 40. Табл 1. Лит 5.

Постановка проблемы. В современных условиях нестабильности процесса формирования портфеля заказов продукции ГП «Артемсоль» необходимо создание инструментария, позволяющего осуществлять прогноз и оценку показателей, характеризующих производственную деятельность предприятия. Определение оперативных прогнозов на любой интервал планового периода является инструментарием лиц, принимающих решения на нижнем уровне системы управления ГП «Артемсоль» – рудниках – производящих полный ассортимент продукции (табл. 1). Так как общий поток соли, добываемой на руднике, декомпозируется на различные виды ассортимента, то выпуск каждого вида продукции влияет на объем выпуска других видов.

Анализ литературных источников. Постановка задач принятия решения при планировании деятельности ГП «Артемсоль» отражена в работе [1]. Анализ предприятия, как объекта управления, осуществлен в работе [2]. Основные положения моделирования производственных показателей предприятия рассмотрены в работе [3]. Формализация производственных затрат ГП «Артемсоль» выполнена в работе [4]. Математическая модель прогноза производственных затрат приведена в работе [5].

Целью работы является разработка системы параметрических нелинейных дифференциальных уравнений, учитывающих взаимосвязи видов ассортимента и нестационарный характер переработки добытой соли и выпуска готовой продукции. Так как технологический цикл переработки соли одинаков для всех рудников, структура этой системы должна отражать обобщенный характер технологических решений. В связи с тем, что численное решение систем дифференциальных уравнений осуществляется с помощью метода Рунге-Кутты четвертого порядка, нелинейные дифференциальные уравнения необходимо представить в виде линейных с соответствующей аппроксимацией в виде отдельных расчетных операций.

Изложение основного материала. В качестве объекта управления в данной работе государственное предприятие «Артемсоль». Предприятие является монополистом в своей сфере производства, снабжая пищевой поваренной солью Украину и соседние страны. Предприятие состоит из 4 подразделений – рудников, осуществляющих подземную добычу соли и расположенных на поверхности перерабатывающих комплексов, административно подчиненных и территориально принадлежащих этим рудникам. Перерабатывающие комплексы идентичны технологически, хотя имеются различия в компоновке и характеристиках установленного на них оборудования [4].

Отгрузка продукции предусматривает несколько видов фасовки по фракционному составу, предусмотренному технологией, и содержит 10 обобщенных показателей (табл. 1). Кроме этого предусмотрено внесение 2-х видов добавок в основную продукцию и побочные продукты [2].

Согласно правилам системного анализа, разработка динамической модели оперативного прогноза основывается на авторской гипотезе о механизме процессов, протекающих при преобразовании потоков соли, добытой на руднике в товарную продукцию, а также принятых допущениях.

Поток соли A_p , добытой на руднике, поступает на первую ступень переработки – 1-ый грохот, где осуществляется классификация соли по фракционному составу на крупнокусковую и зерновую фракции. Крупнокусковая составляющая $A_{кр.к}$ частично отгружается «навалом» в железнодорожный транспорт A_g . Объем отгрузки контролируется железнодорожными весами, при этом определяется доля отгруженной соли $[A_g]$. Вторая часть потока крупнокусковой соли поступает на дробилку, где происходит измельчение крупнокусковой соли до состояния рядовой

($A_{ряд}$). Подрешетный продукт 1-го грохота представлен потоком зерновой соли ($A_{зерн}$). Степень классификации соли, добытой на руднике, на крупнокусковую ($A_{кр.к}$) и зерновую ($A_{зерн}$) фракции зависит от площади и щелевых свойств грохота.

Таблица 1

Планово-отчетные позиции ассортимента продукции
 Авторская разработка

№ поз.	Наименование	Обозначение
1	Соль молотая, неупакованная (навал)	A_1
2	Соль молотая, неупакованная с противослеживающей добавкой	A_2
3	Соль молотая, неупакованная сеяная	A_3
4	Соль молотая, неупакованная сеяная с противослеживающей добавкой	A_4
5	Соль фасованная	A_5
6	Соль затаренная в мешки	A_6
7	Соль затаренная в мягкие контейнеры (МКР)	A_7
8	Брикеты	A_8
9	Соль дробленая зерновая	A_9
10	Соль крупнокусковая	A_{10}

В свою очередь, поток зерновой соли ($A_{зерн}$) распределяется на две составляющие. Первая ($A_{зерн.отгр}$) – отгружается «навалом» в железнодорожные вагоны с контролем доли отгрузки [$A_{зерн.отгр}$].

Вторая часть потока зерновой соли проходит классификацию на втором грохоте с разделением на две фракции: сеяную (A_c) и рядовую ($A_{ряд}$). Степень классификации зависит от площади и щелевых свойств грохота.

Потоки рядовой соли после 2-го грохота ($A_{2гр}$) и поток после дробилки проходят измельчение на вальцевых мельницах на четыре фракции: помолы «0», «1», «2», «3» и «4». Степень и объем измельчения зависят от времени пребывания соли в вальцевой мельнице.

Молотая соль распределяется на несколько потоков. Часть соли отгружается «навалом» в железнодорожный транспорт (A_1). Еще одна часть проходит обработку противослеживающей добавкой. Эта часть молотой соли распределяется на отгруженную «навалом» (A_2), часть смешивается с сеяной и также отгружается «навалом» (A_3), при этом ее доля проходит обработку противослеживающей добавкой и отгружается «навалом» (A_4). Остальная часть потока отправляется на фасовку (A_5), затаривание в мешки (A_6) и МКР – (A_7). Доля и объем отгруженного в железнодорожные вагоны «навала» ($[A_1], G(A_1); [A_2], G(A_2); [A_3], G(A_3); [A_4], G(A_4)$) контролируется и фиксируется на железнодорожных весах.

Потоки соли, следующие на расфасовку (A_5), подразделяются на восемь видов ассортимента готовой продукции ($A_5^1 \div A_8^1$) в зависимости от доли готовой фасованной продукции [$A_5^1 \div A_8^1$], задаваемой пользователем – сотрудником планово-производственной службы рудника.

Готовая продукция, затариваемая в мешки различной емкости ($A_6^1 \div A_6^3$), содержит различные виды готовой продукции (A_{6i}^{kj}), где $j = \overline{1,3}$ – вид продукции, $i = \overline{1,4}$ – степень измельчения (помол), $k = \overline{1,3}$ – объем расфасовки. Доля каждого вида готовой фасованной продукции [A_{6i}^{kj}] задается пользователем.

Аналогично происходит затаривание в МКР (A_7). В зависимости от вида готовой продукции (A_{7i}^j) определяется доля и количество загружаемой в МКР продукции.

Допущения, принятые в гипотезе:

– объем всех видов фасованной продукции $\sum_{l=1}^8 G(A_5^l) \geq G(A_{5nl})$, где $l = \overline{1,8}$ – вид

фасованного ассортимента;

– объем всех видов фасованной продукции не должен быть меньше планового задания, полученного рудником на месяц;

– для продукции, затаренной в мешки $\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 G(A_{6i}^{kj}) \geq G(A_{6nl})$ и для затаренной в МКР

$$\sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^3 G(A_{7i}^j) \geq G(A_{7nl});$$

– интенсивность классификации потоков соли на 1-м и 2-м грохотах специфична для каждого рудника и определяется в результате параметрической идентификации по статистическим данным;

– объемы и степень дробления потоков соли определяются через процедуры идентификации;

– время пребывания соли в вальцевых мельницах, степень и объемы измельчения определяются в результате параметрической идентификации;

– объемы готовой продукции, отгружаемой в вагоны «навалом», измеряются весами;

– объемы фасованной и затаренной продукции измеряются счетчиками расфасовочно-упаковочного автомата и весами-дозатором затаровочной машины.

Прогноз преобразований потока добытой на руднике соли

Изменение потока соли, добытой на руднике:

$$\frac{dG}{dt} = g_p - \beta_1 \cdot F_{1cp} \cdot \rho_{1cp} \left([A_{кр.к}] + [A_{зерн}] \right), \quad (1)$$

где g_p – интенсивность подачи рудничной соли на 1-й грохот, кг/с, β_1 – параметр, скорость классификации соли на 1-м грохоте (м/с), F_{1cp} – рабочая щелевая поверхность 1-го грохота (м²), $[A_{кр.к}]$ – доля крупнокусковой соли в рудничной, $[A_{зерн}]$ – доля зерновой соли в рудничной, ρ_{1cp} – насыпная плотность рудничной соли (кг/м³), $\rho_{1cp} = \rho_{кр.к} [A_{кр.к}] + \rho_{зерн} [A_{зерн}]$, $\rho_{кр.к}$ – насыпная плотность крупнокусковой соли (кг/м³), $\rho_{зерн}$ – насыпная плотность зерновой соли (кг/м³).

Изменение количества крупнокусковой соли:

$$\frac{dG_{кр.к}}{dt} = \beta_1 F_{1cp} \rho_{1cp} \left([A_{кр.к}] + [A_{зерн}] \right) - \beta_2 F_{mp} \rho_{кр.к} \left([A_{др}] + [A_{отгр}] \right), \quad (2)$$

где F_{mp} – площадь транспортировки (м²), β_2 – параметр, скорость транспортировки (м/с), $[A_{др}]$ – доля крупнокусковой соли, ушедшей на дробление, $[A_{отгр}]$ – доля крупнокусковой соли, отгруженной навалом.

Изменение количества зерновой соли:

$$\frac{dG_{зерн}}{dt} = \beta_1 F_{1cp} \rho_{1cp} \left([A_{кр.к}] + [A_{зерн}] \right) - \beta_3 F_{2cp} \rho_{зерн} \left([A_{2cp}] + [A_{отгр.зерн}] \right), \quad (3)$$

где F_{2cp} – рабочая щелевая поверхность второго грохота (м²), β_3 – параметр, скорость классификации соли на 2-м грохоте (м/с), $[A_{отгр.зерн}]$ – доля зерновой соли, отгруженной навалом.

Изменение количества соли, ушедшей на дробление:

$$\frac{dG_{др}}{dt} = \beta_2 F_{mp} \rho_{кр.к} \left([A_{др}] + [A_{отгр}] \right) - \beta_4 F_{др} \rho_{кр.к} \left([A_{др}] \right), \quad (4)$$

где $F_{др}$ – рабочая поверхность дробилки (м²), β_4 – параметр, скорость переработки соли на дробилке (м/с).

Изменение количества отгруженной навалом крупнокусковой соли (A_0):

$$\frac{dG(A_0)}{dt} = \beta_1 F_{1zp} \rho_{1zp} \left([A_{кр.к}] + [A_{зерн}] - [A_{др}] \right) \quad (5)$$

Распределение зерновой соли на 2-м грохоте:

$$\frac{dG_{2zp}}{dt} = \beta_3 F_{2zp} \rho_{зерн} \left([A_{2zp}] + [A_{отгр.зерн}] \right) - \beta_3 F_{2zp} \rho_{2zp} \left([A_{сеян}] + [A_{ряд}] \right) \quad (6)$$

Изменение количества молотой, неупакованной, сеяной соли (A_3):

$$\frac{dG(A_3)}{dt} = \beta_3 F_{2zp} \rho_{2zp} \left([A_{сеян}] \right) + \beta_4 F_{др} \rho_{кр.к} \left([A_{мол}] - [A_{мол.йод}] - [A_{мол.тар}] - [A_{мол.фас}] - [A_{мол.псл}] \right) \quad (7)$$

где $[A_{мол}]$ – доля молотой соли, $[A_{мол.йод}]$ – доля молотой соли, ушедшей на йодирование, $[A_{мол.тар}]$ – доля молотой соли, ушедшей на затаривание, $[A_{мол.фас}]$ – доля молотой фасованной соли, $[A_{мол.псл}]$ – доля молотой соли, прошедшей обработку противослеживающей добавкой.

Изменение количества соли, молотой неупакованной, отгруженной навалом (A_1):

$$\frac{dG(A_1)}{dt} = \beta_3 F_{др} \rho_{кр.к} \left([A_{мол}] - [A_{мол.йод}] - [A_{мол.тар}] - [A_{мол.псл}] - [A_{мол.фас}] \right) \quad (8)$$

Изменение количества соли молотой, сеяной неупакованной с противослеживающей добавкой (A_4):

$$\frac{dG(A_4)}{dt} = \beta_3 F_{др} \rho_{кр.к} \left([A_{мол}] - [A_{мол.йод}] - [A_{мол.тар}] - [A_{мол.фас}] - [A_{мол.псл}] \right) + \beta_4 F_{2zp} \rho_{2zp} \left([A_{сеян}] \right) - g(A_3) [A_{3отгр}] \quad (9)$$

Изменение количества рядовой соли:

$$\frac{dG_{ряд}}{dt} = \beta_3 F_{2zp} \rho_{зерн} \left([A_{2zp}] - [A_{отгр}] - [A_{ряд.тар}] - [A_{ряд.фас}] \right) \quad (10)$$

Изменение количества молотой соли:

$$\frac{dG_{мол}}{dt} = \beta_3 F_{др} \rho_{кр.к} \left([A_{мол}] - [A_{мол.йод}] - [A_{мол.псл}] - [A_{мол.тар}] - [A_{мол.фас}] \right) \quad (11)$$

Изменение количества молотой, йодированной соли:

$$\frac{dG_{мол.йод}}{dt} = \beta_3 F_{др} \rho_{кр.к} \left([A_{мол}] - [A_2] - [A_3] - [A_4] - [A_{мол.тар}] - [A_{мол.фас}] \right) \quad (12)$$

Изменение количества соли рядовой, фасованной:

$$\frac{dG_{ряд.фас}}{dt} = \beta_2 F_{2zp} \rho_{зерн} \left([A_{ряд}] - [A_{ряд.фас}] \right) \quad (13)$$

Остальные уравнения системы отражают особенности фасовки и затаривания соли в различные емкости, поэтому целесообразно приводить их в совокупности по блокам.

Уравнения прогноза фасовки соли

Изменение количества соли рядовой, фасованной в 1.5 кг пачки, картон (A_5^1):

$$\frac{dG(A_5^1)}{dt} = \alpha_1 \left([A_{ряд}] - [A_5^3] - [A_5^4] \right) \quad (14)$$

где α_1 – параметр, интенсивность фасовки в пачки 1.5 кг, картон, кг/с.

Изменение количества соли рядовой, фасованной в 25 кг мешки, полиэтилен (A_5^3):

$$\frac{dG(A_5^3)}{dt} = \alpha_3 \left([A_{ряд}] - [A_5^1] - [A_5^4] \right) \quad (15)$$

где α_3 – параметр, интенсивность фасовки в 25 кг мешки, кг/с.

Изменение количества соли рядовой, фасованной в 50 кг полиэтиленовые мешки (A_5^4):

$$\frac{dG(A_5^4)}{dt} = \alpha_4 \left([A_{ряд}] - [A_5^1] - [A_5^3] \right) \quad (16)$$

где α_4 – параметр, интенсивность фасовки в 50 кг мешки, кг/с.

Изменение количества соли рядовой йодированной, фасованной в 15 кг полиэтиленовые мешки (A_5^5):

$$\frac{dG(A_5^5)}{dt} = \alpha_2 \left([A_{ряд}] - [A_5^6] - [A_5^7] - [A_5^8] \right) \quad (17)$$

где α_2 – параметр, интенсивность фасовки в 15 кг полиэтиленовые мешки, кг/с.

Изменение количества соли рядовой йодированной, фасованной в 25 кг полиэтиленовые мешки (A_5^6):

$$\frac{dG(A_5^6)}{dt} = \alpha_3 \left([A_{ряд}] - [A_5^5] - [A_5^7] - [A_5^8] \right) \quad (18)$$

Изменение количества соли рядовой йодированной, фасованной в 50 кг полиэтиленовые мешки (A_5^7):

$$\frac{dG(A_5^7)}{dt} = \alpha_4 \left([A_{ряд}] - [A_5^5] - [A_5^6] - [A_5^8] \right) \quad (19)$$

Изменение количества соли рядовой йодированной, фасованной в 1.5 кг пачку, картон (A_5^8):

$$\frac{dG(A_5^8)}{dt} = \alpha_2 \left([A_{ряд}] - [A_5^5] - [A_5^7] - [A_5^6] \right) \quad (20)$$

Изменение количества соли молотой с противослеживающей добавкой, фасованной в 25 кг полиэтиленовые мешки (A_5^2):

$$\frac{dG(A_5^2)}{dt} = \alpha_3 \left([A_{мол}] - [A_{мар}] \right) \quad (21)$$

Общее количество фасованной соли:

$$G(A_5) = G(A_5^1) + G(A_5^2) + G(A_5^3) + G(A_5^4) + G(A_5^5) + G(A_5^6) + G(A_5^7) + G(A_5^8) \quad (22)$$

Уравнения прогноза затаривания соли

Далее представлены уравнения, позволяющие прогнозировать количество соли, затаренной в различные емкости. Прогноз общего количества соли, затаренной в мешки (A_6):

$$\frac{dG(A_6)}{dt} = \beta_3 F_{др} \rho_{кр.к} \left([A_{мол}] - [A_1] - [A_2] - [A_3] - [A_4] - [A_5] \right) \quad (23)$$

Прогноз общего количества соли, затаренной в мешки 50 кг (A_6^1):

$$\frac{dG(A_6^1)}{dt} = m_1 [A_6^1], \quad (24)$$

где m_1 – параметр, интенсивность (производительность) затаривания в мешки 50 кг.

Количество всей рядовой соли, затаренной в мешки 50 кг (A_6^{11}):

$$\frac{dG(A_6^{11})}{dt} = m_1 [A_6^1] \cdot [A_6^{11}] \quad (25)$$

Количество всей рядовой йодированной соли различного помола, затаренной в мешки 50 кг (A_6^{12}):

$$\frac{dG(A_6^{12})}{dt} = m_1 [A_6^1] \cdot [A_6^{12}] \quad (26)$$

Общее количество соли рядовой соли с противослеживающей добавкой, затаренной в мешки 50 кг (A_6^{14})

$$\frac{dG(A_6^{14})}{dt} = m_1 [A_6^1] \cdot [A_6^{14}] \quad (27)$$

Уравнение прогноза объема количества рядовой соли, затаренной в мешки 25 кг (A_6^2):

$$\frac{dG(A_6^2)}{dt} = m_2 [A_6^2], \quad (28)$$

где m_2 – параметр, интенсивность (производительность) затаривания в мешки 25 кг.

Уравнение прогноза общего количества рядовой соли всех помолов, затаренной в мешки 25 кг (A_6^{21}).

$$\frac{dG(A_6^{21})}{dt} = m_2 [A_6^2] \cdot [A_6^{21}] \quad (29)$$

Общее количество соли соли рядовой йодированной, затаренной в мешки 25 кг (A_6^{22})

$$\frac{dG(A_6^{22})}{dt} = m_2 [A_6^2] \cdot [A_6^{22}] \quad (30)$$

Общее количество соли рядовой всех помолов с противослеживающей добавкой, затаренной в мешки 25 кг (A_6^{24})

$$\frac{dG(A_6^{24})}{dt} = m_2 [A_6^2] \cdot [A_6^{24}] \quad (31)$$

Уравнение прогноза общего количества соли рядовой, затаренной в мешки 10 кг (A_6^3)

$$\frac{dG(A_6^3)}{dt} = m_3 [A_6^3] \quad (32)$$

где m_3 – параметр, интенсивность (производительность) затаривания в мешки 10 кг.

Уравнение прогноза количества рядовой соли всех помолов, затаренной в мешки 10 кг (A_6^{31}):

$$\frac{dG(A_6^{31})}{dt} = m_3 [A_6^3] \cdot [A_6^{31}] \quad (33)$$

Уравнение общего количества соли рядовой йодированной, затаренной в мешки 10 кг (A_6^{32}):

$$\frac{dG(A_6^{32})}{dt} = m_3 [A_6^3] \cdot [A_6^{32}] \quad (34)$$

Уравнение общего количества соли рядовой с противослеживающей добавкой, затаренной в мешки 10 кг (A_6^{34}):

$$\frac{dG(A_6^{34})}{dt} = m_3 [A_6^3] \cdot [A_6^{34}] \quad (35)$$

Уравнение общего количества затаренной в мешки (50, 25 и 10 кг) соли (A_6):

$$G(A_6) = G(A_6^1) + G(A_6^2) + G(A_6^3) \quad (36)$$

Уравнения прогноза соли, затаренной в МКР

В этом пункте представлены уравнения, позволяющие прогнозировать количество соли, затаренной в МКР.

Прогноз общего количества соли различного помола, затаренной в МКР (A_7):

$$\frac{dG(A_7)}{dt} = \beta_3 F_{op} \rho_{кр.к} ([A_{мол}] - [A_1] - [A_2] - [A_3] - [A_4] - [A_5] - [A_6]) \quad (37)$$

Количество всей рядовой соли, затаренной в МКР (A_7^1):

$$\frac{dG(A_7^1)}{dt} = m_4 [A_7^1], \quad (38)$$

где m_4 – параметр, интенсивность (производительность) затаривания в МКР.

Количество всей рядовой йодированной соли, затаренной в МКР (A_7^2):

$$\frac{dG(A_7^2)}{dt} = m_4 [A_7^2] \quad (39)$$

Количество всей рядовой соли с противослеживающей добавкой, затаренной в МКР (A_7^4):

$$\frac{dG(A_7^4)}{dt} = m_4 [A_7^4] \quad (40)$$

Выводы. Впервые представлена гипотеза о механизме процессов, протекающих при преобразовании потоков добытой на руднике соли в товарную продукцию, а также принятые в гипотезе допущения. Приведена система нелинейных, связанных дифференциальных уравнений, являющаяся моделью-структурой с двенадцатью параметрами. Процедура определения численных значений параметров позволяет превратить модель-структуру в рабочий инструментальный планово-производственных служб каждого рудника. Значение параметров будут определять специфику технологических решений переработки соли на конкретном руднике. В дальнейшем планируется выполнить параметрическую идентификация найденной модели, включая постановку задачи идентификации и численные процедуры ее реализации.

1. Криводубский О.А. Разработка системы управления ГПО «Артемсоль» / О.А. Криводубский, О.В. Ильчишин, П.А. Чикунов // Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту – Донецьк: Дончанка-інформ, 2008. – С. 37-41.
2. Криводубский О.А. Математическая модель планирования производства соли / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – №2 (29). – С. 107-110.
3. Чикунов П.А. Функциональные особенности системы подготовки принимаемых решений ГП «Артемсоль» / П.А. Чикунов // Системи обробки інформації. – 2012. – №3 (101). Том 1. – С. 107-110.
4. Криводубский О.А. Логико-формальная модель взаимосвязей ассортимента продукции, выпускаемой ГПО «Артемсоль» / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов, А.О. Новаковская // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010 – №4 (45). – С.205-210.
5. Криводубский О.А. Математическая модель прогноза затрат на производство соли / О.А. Криводубский, П.А. Чикунов // Системи обробки інформації. – 2012. – №7 (105). – С. 257-262.