

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,  $\beta_1$  – параметр, скорость классификации соли на 1-м грохоте (м/с),  $F_{1cp}$  – рабочая щелевая поверхность 1-го грохота (м<sup>2</sup>),  $[A_{кр.к}]$  – доля крупнокусковой соли в рудничной,  $[A_{зерн}]$  – доля зерновой соли в рудничной,  $\rho_{1cp}$  – насыпная плотность рудничной соли (кг/м<sup>3</sup>),  $\rho_{1cp} = \rho_{кр.к} [A_{кр.к}] + \rho_{зерн} [A_{зерн}]$ ,  $\rho_{кр.к}$  – насыпная плотность крупнокусковой соли (кг/м<sup>3</sup>),  $\rho_{зерн}$  – насыпная плотность зерновой соли (кг/м<sup>3</sup>).

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 (м<sup>2</sup>),  $\beta_2$  – 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 (м<sup>2</sup>),  $\beta_3$  – 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 (м<sup>2</sup>),  $\beta_4$  – параметр, скорость переработки соли на дробилке (м/с).

Изменение количества отгруженной навалом крупнокусковой соли ( $A_9$ ):

$$\frac{dG(A_9)}{dt} = \beta_1 F_{1zp} \rho_{1zp} \left( [A_{кр.к}] + [A_{зерн}] - [A_{др}] \right) \quad (5)$$

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  $\alpha_1$  – 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  $\alpha_3$  – 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  $\alpha_4$  – 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  $\alpha_2$  – 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.