

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ КИСЛОТНОСТЬЮ И УРОВНЕМ ЭЛЕКТРОЛИТА В АСУ ТП ПРОЦЕССОМ ПОЛУЧЕНИЯ КАРБОНАТОВ

Чичикало Н.И., Киктев Н.А.

Донецкий национальный технический университет, кафедра ЭТ

### Abstract

*Chichicalo N.I., Kiktev N.A. Simulation model of the acidity regulation and electrolyte level managing influences definition in the carbonate work technological process control system. In the clause the managing influences fast definition simulation model development is given to maintain parameters of electrochemical dissolution for technological process optimum speed ensuring to guarantee the carbonates certain kind getting.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими заданиями.** Получение заданных видов карбонатов возможно только при соблюдении допустимых отклонений многопараметрического технологического процесса методом анодного растворения металлов в растворах солей натрия. Основная проблема заключается в том, что за время формирования и отработки регулирующих воздействий параметры процесса не должны превысить установленные границы. В то же время в процессе управления имеет место неопределенность, которая может быть ликвидирована только с помощью имитационной модели.

Учитывая сложность решения этой задачи, в промышленности Украины и ближнего зарубежья производят вместо карбонатов сульфаты, технология приготовления которых менее требовательна к точности изменения параметров.

Сульфаты подвержены гидролизу, в результате чего образуется серная кислота и тем самым ограничивается возможность применения их в составе комбикормов. Таким образом, создание имитационной модели позволит решить важное практическое задание для нужд народного хозяйства.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых начато разрешение данной проблемы и на которые опирается автор.** Исследования, выполненные в Донецком национальном техническом университете (НИР № Г15-94), дали возможность получить исходные данные в результате проведения экспериментальных исследований в указанном направлении [1].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.** Для решения проблемы разработки автоматизированной системы управления процессом отсутствуют алгоритмы выработки оптимальных управляющих воздействий для универсальной технологии получения карбонатов меди, кобальта и цинка.

**Формулирование целей статьи.** Целью данной статьи является разработка имитационной модели регулирования кислотностью и уровнем электролита в гальванических ваннах.

**Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.** В ходе процесса ЭХР снижается кислотность и

уровень электролита. Эти параметры являются зависимыми. Рассмотрим возможность нахождения оптимального решения.

В системе управления процессом получения карбонатов необходимо обеспечивать заданное значение кислотности (рН) электролита. В результате экспериментальных исследований [1, 2] для меди, цинка и кобальта получены допустимые границы отклонения кислотности (табл. 1).

Таблица 1  
Оптимальные значения кислотности электролита при получении карбонатов

Получаемый продукт	Значение кислотности (рН)	Допустимые границы отклонений
Кобальт углекислый	7.5	$\pm 0,225$
Цинк углекислый	9.0	$\pm 0,270$
Медь углекислая (малахит)	7.5	$\pm 0,225$
Медь углекислая (азурит)	8.5	$\pm 0,255$

В существующих системах электролиза (при получении гальванических покрытий) кислотность поддерживают добавлением кислоты или щелочи [2]. В рассматриваемой системе это невозможно, так как цель процесса – получение неорганического соединения (карбоната меди, цинка или кобальта). Поэтому, корректировку величины рН необходимо осуществлять путем добавления одного из компонентов электролита – двууглекислого натрия, если требуется уменьшить кислотность, или углекислого натрия, если требуется увеличить кислотность. Функциональная зависимость рН от концентрации двууглекислого натрия и углекислого натрия исследована экспериментальным путем и выражается следующим соотношением:

$$pH = 6.766 + 0.516 \cdot C_2 - 0.0393 \cdot C_1 - 0.013 \cdot C_1 \cdot C_2, \quad (1)$$

где  $C_1$  - концентрация двууглекислого натрия,  $C_2$  - концентрация углекислого натрия.

На рис. 1 приведена поверхность, отражающая зависимость рН от концентрации двууглекислого натрия ( $C_1$ ) и углекислого натрия ( $C_2$ ).

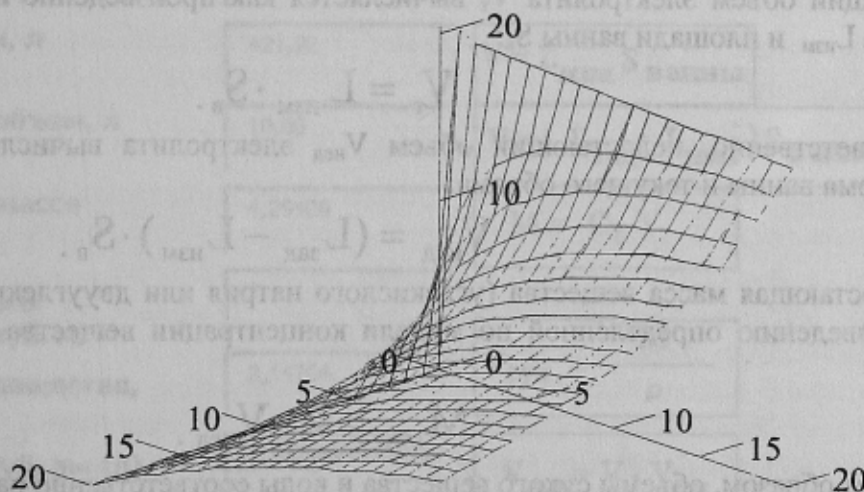


Рис. 1. Вид модели  $pH = \Psi(C_1, C_2)$

Вследствие того, что подача управляющего воздействия произойдет через некоторый момент времени  $t$ , корректировка кислотности электролита осуществляется путем расчета значений концентрации с учетом динамических свойств объекта и системы:

$$pH(t) = C_0 + C_1 e^{C_2 \cdot t},$$

где  $C_0 = 11.510$ ,  $C_1 = -3.1021$ ,  $C_2 = -0.0821$  – эмпирические коэффициенты, полученные по методике, приведенной в [3].

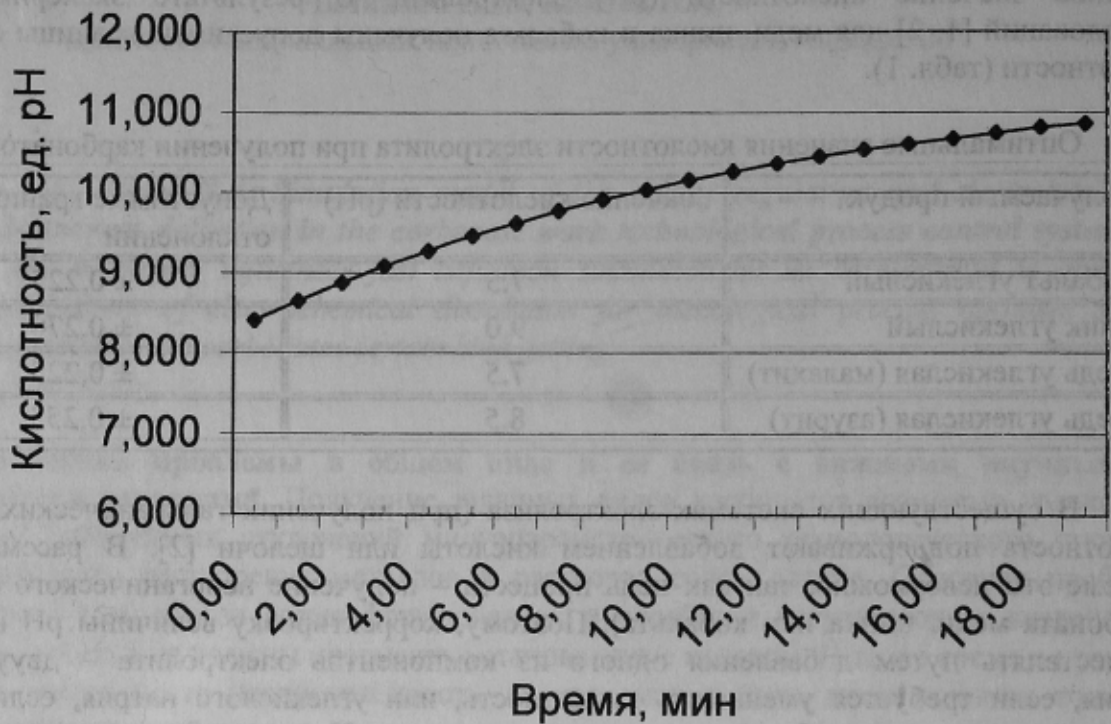


Рис. 2. Динамика изменения кислотности электролита

Подача управляющего воздействия осуществляется дозированием массы компонентов электролита (углекислого натрия или двууглекислого натрия). Поскольку добавление некоторого объема электролита существенно оказывает влияние на его общий уровень в ванне, то целесообразно одновременно управлять кислотностью и уровнем электролита.

Текущий объем электролита  $V_T$  вычисляется как произведение измеренного уровня электролита  $L_{изм}$  и площади ванны  $S_B$ :

$$V_T = L_{изм} \cdot S_B.$$

Соответственно, недостающий объем  $V_{нед}$  электролита вычисляется как разность общего объема ванны и текущего объема:

$$V_{нед} = (L_{зад} - L_{изм}) \cdot S_B.$$

Недостающая масса вещества (углекислого натрия или двууглекислого натрия)  $M_{сух}$  равна произведению определенной по модели концентрации вещества  $C$  и недостающего объема.

$$M_{сух} = C \cdot V_{нед}.$$

Таким образом, объемы сухого вещества и воды соответственно равны:

$$V_{сух} = \frac{M_{сух}}{\rho},$$

$$V_{вода} = V - V_{сух}.$$

С целью проверки разработанного метода построена имитационная модель, работа которой представлена на рис. 3.

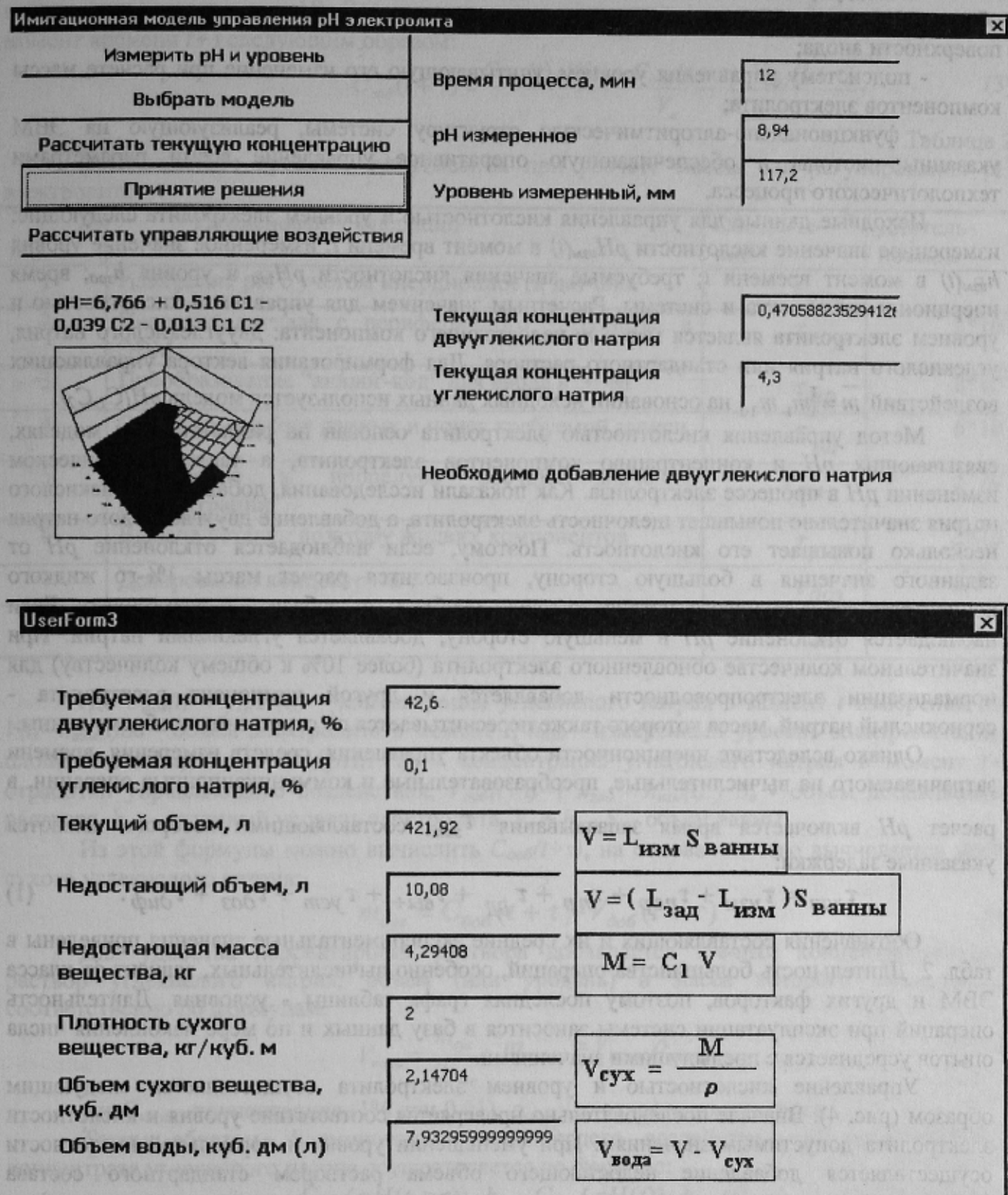


Рис. 3. Визуальные формы имитационной модели управления pH и уровнем электролита

В соответствии с критерием управления процессом электрохимического растворения и на основании приведенных выше моделей необходимо разработать:

- метод обеспечения заданного значения кислотности электролита путем корректировки концентрации двууглекислого натрия и углекислого натрия с формированием вектора управляющих воздействий по массе недостающего компонента;
- метод управления плотностью тока путем поддержания его оптимального значения, обеспечивающего максимальную скорость процесса с учетом изменения во времени поверхности анода;
- подсистему управления уровнем, учитывающую его изменение при расчете массы компонентов электролита;
- функционально-алгоритмическую структуру системы, реализующую на ЭВМ указанные методы и обеспечивающую оперативное управление всеми параметрами технологического процесса.

Исходные данные для управления кислотностью и уровнем электролита следующие: измеренное значение кислотности  $pH_{изм}(t)$  в момент времени  $t$ ; измеренное значение уровня  $h_{изм}(t)$  в момент времени  $t$ ; требуемые значения кислотности  $pH_{зад}$  и уровня  $h_{зад}$ ; время инерционности объекта и системы. Расчетным значением для управления кислотностью и уровнем электролита является масса  $m$  недостающего компонента: двууглекислого натрия, углекислого натрия или стандартного раствора. Для формирования вектора управляющих воздействий  $\bar{m} = [m_1, m_2]$  на основании исходных данных используется модель  $pH(C_1, C_2)$ .

Метод управления кислотностью электролита основан на разработанных моделях, связывающих  $pH$  и концентрацию компонентов электролита, а также динамическом изменении  $pH$  в процессе электролиза. Как показали исследования, добавление углекислого натрия значительно повышает щелочность электролита, а добавление двууглекислого натрия несколько повышает его кислотность. Поэтому, если наблюдается отклонение  $pH$  от заданного значения в большую сторону, производится расчет массы 1%-го жидкого концентрата двууглекислого натрия, которую необходимо добавить к электролиту. Если наблюдается отклонение  $pH$  в меньшую сторону, добавляется углекислый натрий. При значительном количестве обновленного электролита (более 10% к общему количеству) для нормализации электропроводности добавляется и другой компонент электролита - сернокислый натрий, масса которого также пересчитывается по отношению к объему ванны.

Однако вследствие инерционности объекта управления, средств измерения, времени затрачиваемого на вычислительные, преобразовательные и коммуникационные операции, в расчет  $pH$  включается время запаздывания  $\tau_{зап}$ , составляющими которого являются указанные задержки:

$$\tau_{зап} = \tau_{изм} + \tau_{пер} + \tau_{нр} + \tau_{БД} + \tau_{выз} + \tau_{уст} + \tau_{доз} + \tau_{диф}. \quad (1)$$

Обозначения составляющих и их средние экспериментальные значения приведены в табл. 2. Длительность большинства операций, особенно вычислительных, зависит от класса ЭВМ и других факторов, поэтому последняя графа таблицы - условная. Длительность операций при эксплуатации системы заносится в базу данных и по мере накопления числа опытов усредняется с предыдущими значениями.

Управление кислотностью и уровнем электролита осуществляется следующим образом (рис. 4). Вначале последовательно проверяется соответствие уровня и кислотности электролита допустимым значениям. При уменьшении уровня и нормальной кислотности осуществляется добавление недостающего объема раствором стандартного состава (концентрация двууглекислого натрия и углекислого натрия согласно рецептуре) и формирование управляющего воздействия по формуле:

$$m = \frac{(h_s - h_{изм}) \cdot S_e}{\rho_s}, \quad (2)$$

где  $h_3$  - заданное значение уровня,  $h_{изм}$  - измеренное значение уровня электролита,  $S_v$  - площадь ванны,  $\rho_3$  - плотность электролита. В случае отклонения кислотности осуществляется добавление углекислого натрия (при уменьшении рН) или двууглекислого натрия (при увеличении рН). Заданное значение концентрации может быть достигнуто в момент времени  $t + \tau$  следующим образом:

$$C_{зад}(t + \tau) = \frac{C_{изм}(t) \cdot V(t) + C_{доб}(t + \tau) \cdot V_{доб}(t + \tau)}{V_в} \quad (3)$$

Таблица 2

Составляющие времени запаздывания при расчете массы для регулирования рН электролита

п/п	№	Наименование операции	Обозначение	Длительность, с
1		Измерение рН с учетом инерционности датчика	$\tau_{изм}$	1-2
2		Передача сигнала с периферийного устройства в ЭВМ	$\tau_{пер}$	$2 \cdot 10^{-1}$
3		Преобразование "аналог-код" для ввода в ЭВМ	$\tau_{пр}$	$8 \cdot 10^{-1}$
4		Обращение к базе данных и поиск требуемой записи	$\tau_{БД}$	$6 \cdot 10^{-1}$
5		Обращение к процедуре расчета значения концентрации	$\tau_{вы\div}$	$5 \cdot 10^{-1}$
6		Выдача уставки дозатору жидких компонентов	$\tau_{уст}$	$2 \cdot 10^{-1}$
7		Дозирование концентрата	$\tau_{доз}$	2-5
8		Перемешивание (диффузия) электролита	$\tau_{диф}$	4-7

где  $C_{изм}(t) = f(pH(t))$  - концентрация углекислого натрия в момент  $t$  измерения рН,  $V(t) = h_{изм}(t) S_v$  - объем электролита в момент  $t$ ,  $h_{изм}$  - измеренный уровень электролита,  $S_v$  - площадь ванны,  $C_{доб}(t + \tau) = f(pH(t + \tau))$  - концентрация углекислого натрия в момент  $t + \tau$  отработки управляющего воздействия,  $V_{доб}(t + \tau) = (h_{зад} - h_{изм}(t)) S_v$  - объем добавляемого раствора,  $h_{зад}$  - заданный уровень электролита,  $V_в = h_{зад} S_v$  - объем ванны.

Из этой формулы можно вычислить  $C_{доб}(t + \tau)$ , на основании чего вычисляется масса сухого углекислого натрия:

$$m_{сух} = C_{доб}(t + \tau) \cdot V_{доб}(t + \tau) \quad (4)$$

Для удобства корректировки раствора добавляется 1%-ный концентрированный раствор углекислого натрия, объем (или уровень) и масса которого вычисляются соответственно по формулам:

$$V_{конц} = \frac{m_{сух}}{C_{конц}}, \quad m_{конц} = V_{конц} \rho_{конц} \quad (5)$$

где  $C_{конц}$  - концентрация (1% или 0.01),  $\rho_{конц}$  - плотность концентрата.

Таким образом, формирование управляющего воздействия по массе 1%-ного концентрата углекислого натрия осуществляется по формуле:

$$m = \frac{C_{зад}(pH(t + \tau)) \cdot h_3 - C_{изм}(pH(t)) \cdot h_{изм}(t)}{C_{конц}} \cdot \rho_{конц} \quad (6)$$

По временной характеристике величины рН можно спрогнозировать ее поведение в момент времени  $t_u = t + \tau_{зан}$ . Поэтому, при расчете массы добавляемого компонента в

качестве аргумента  $pH$  функционала  $C_k = \varphi(pH, C_k^-)$  выступает временная функция  $pH(\tau)$ :

$$C_k = \varphi[pH(t + \tau_{зан}), C_k^-], \quad (7)$$

где  $k$  - логическая переменная,  $k = \begin{cases} 1 & \text{если } pH_{изм} < pH_3 \\ 2 & \text{если } pH_{изм} > pH_3 \end{cases}$ .

Если уровень в допустимых границах или превышает заданный, и при этом требуется корректировка состава электролита, формирование управляющих воздействий осуществляется по формуле (5), при чем загрузка анода корректируется на разницу уровня  $h - h_{изм}$ . Блок-схема алгоритма корректировки состава и уровня электролита согласно рассмотренному методу приведена на рис. 4. Реализация метода в системе управления на основе ПЭВМ происходит следующим образом. Математические модели  $pH = f[C(Na_2CO_3), C(NaHCO_3)]$  и  $pH = \varphi(\tau)$ , а также рецептура электролита, заданное значение уровня и  $pH$  для получения каждого продукта, характеристики гальванических ванн предварительно вносятся в базу данных ЭВМ.

Из технологической базы данных, содержащей рецепты электролита, считываются предварительно занесенные данные концентраций компонентов и температуры, благоприятной для их растворения. После этого нужно выбрать из базы данных номер ванны, которой соответствует определенный объем, являющийся исходной величиной для расчета массы дозируемых сухих компонентов. Одновременно осуществляется расчет масс для приготовления 1%-ных концентратов. По соответствующей команде с клавиатуры ЭВМ подается уставка дозаторам сухих компонентов и дозатору жидких компонентов, после чего включается мешалка и происходит перемешивание реагентов. Вода предварительно подогревается до заданной температуры. Процесс точного дозирования перемешивания происходит при непрерывном измерении концентрации и продолжается до тех пор, пока концентрация не примет заданное значение.

Далее осуществляется дозирование в гальванические ванны, предварительно заполненные водой, температура которой доведена до требуемой. Критерием окончания процесса служит достижение величиной  $pH$  заданного значения. С интервалом  $\Delta\tau = 24$  с осуществляется измерение величины  $pH$  электролита при помощи датчика  $pH$ . Если измеренное значение выходит за пределы заданного допустимого диапазона  $pH_3 \pm \Delta pH$ , возникает необходимость корректировки состава электролита. Рассчитанные значения масс недостающих компонентов электролита обрабатываются системой дозирования [2] для корректировки  $pH$  электролита.

### Выводы.

1. Отличие разработанных методов управления кислотностью электролита от известных заключается в том, что вектор управляющих воздействий представляет собой массу недостающего компонента электролита; при корректировке кислотности электролита меняется только соотношение между его компонентами, но не изменяется качественный состав. Это достигается тем, что реагентами, повышающими или понижающими кислотность, являются двууглекислый натрий или углекислый натрий. В качестве входного параметра служит прогнозное значение  $pH$  с учетом инерционности объекта и системы.

2. Впервые предложено комбинированное (совместное) управление кислотностью и уровнем.

3. Перечисленные особенности позволяют повысить информативность контроля и точность регулирования процесса.

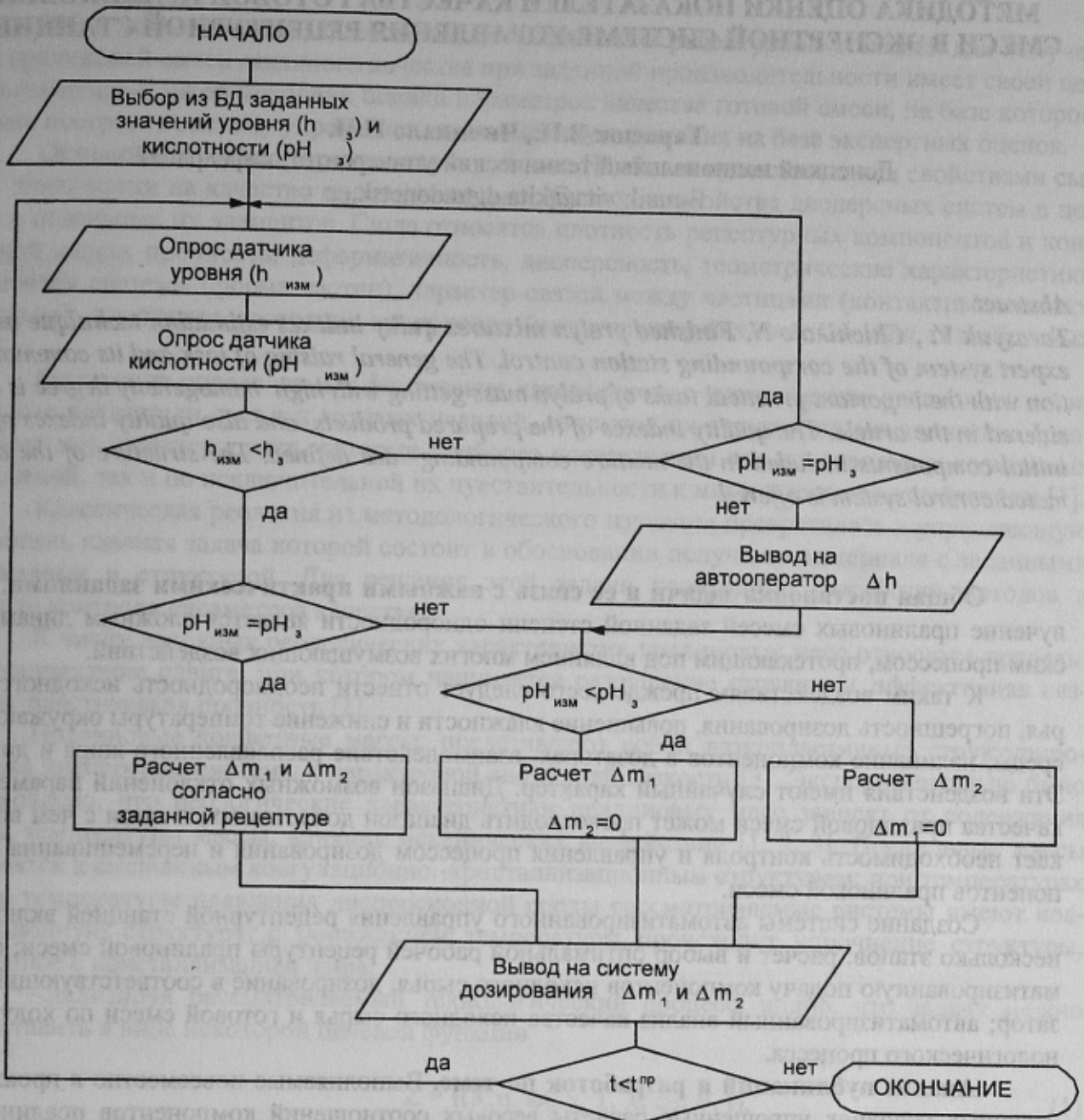


Рис. 4. Блок-схема алгоритма корректировки состава и уровня электролита

**Литература.**

1. Отчет ДонНТУ по НИР № Г15\_94. «Разработка экологически чистого технологического процесса получения карбонатов для премиксов в комбикорма животных». 1998. – 270 с. Номер госрегистрации 80023714.
2. Киктев Н.А. Построение регрессионной математической модели процесс электрохимического получения карбонатов на основе экспериментальных исследований. // Зб. наук. пр. Донецького держ. техн. університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Вип. 3. Донецьк: ДонДТУ, 1999. – С. 307-313.
3. Киктев Н.А. Способы адаптации системы автоматизации технологического процесса получения премиксов к виду производимого карбоната.. // Зб. наук. пр. Донецького держ. техн. університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Вип. 3. Донецьк: ДонДТУ, 1999. – С. 314-319.