

О СИСТЕМЕ АДАПТИВНОГО АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ *)

А.Г. Ивков (ХГНИИМетрологии), К.М. Кухтенков (НИОХИМ)

Реферат

Дан анализ существующей системы аналитического контроля технологического процесса производства кальцинированной соды. Система исследована как адаптивный объект управления, призванный оперативно менять свои параметры в зависимости от реального состояния контролируемого технологического процесса. Предложен вариант методики определения частоты контроля технологических параметров, использующий методы математической статистики и базирующийся на анализе экспериментальных данных конкретного процесса. Рекомендовано направление разработки алгоритма адаптивного управления системой аналитического контроля.

Постановка задачи

Аналитический контроль играет важную роль в производстве соды, охватывая все переделы (стадии производства) — от исходного сырья до готовой продукции, а также анализ сточных вод, газовых выбросов и твердых отходов. При этом до 9/10 общего числа выполняемых в производстве кальцинированной соды измерений приходится на контроль текущих технологических параметров.

Существующая схема аналитического контроля [1], жестко регламентирующая номенклатуру и частоту контроля параметров технологического процесса, задана действующим технологическим регламентом и, естественно, далеко не всегда учитывает реальное состояние постоянно меняющегося технологического процесса. По этой причине фактические трудозатраты на контроль технологического процесса могут быть как избыточными, так и недостаточными, а это определяет, в конечном счете, их влияние на экономические показатели производства. Поэтому для создания более эффективной системы контроля, учитывающей особенности текущего состояния технологического процесса, представляется необходимым, наряду с номенклатурой контролируемых параметров и частотой их контроля, рассмотреть также и другие факторы, влияющие на репрезентативность информации о состоянии процесса, получаемой при его контроле.

Целью данной работы является поиск решений, позволяющих обеспечить снижение затрат на аналитический контроль при сохранении необходимой его надежности и достоверности.

Эта цель может быть достигнута путем определения наиболее эффективных экспериментальных исследований изменчивости реального технологического процесса и способов последующего построения на основе анализа их результатов модели процесса контроля, как объекта управления и дальнейшей разработки, с использованием полученных данных, адаптивного алгоритма оперативного управления этой системой.

Теоретические предпосылки работы

Параметры состава и свойств технологических потоков, которые предполагается контролировать, могут иметь как детерминированный, так и вероятностный характер. Но, если расчет характеристик для детерминированного материального потока обычно особых трудностей не вызывает, то задача значительно усложняется в случае стохастических объектов (такowymi являются в действительности большинство реальных технологических потоков производства кальцинированной соды).

*) © А.Г. Ивков, К.М. Кухтенков, 2003

Существующие методы отражения характеристик этих объектов, как предмета исследования, требуют не только сведений об их статических и динамических свойствах, но и достаточно полной информации об их статистических характеристиках, а также помехах, воздействующих на объект исследования. Так, для создания оптимальной линейной системы необходимо знать основные статистические характеристики системы (математические ожидания, дисперсии и корреляционные моменты параметров полезного сигнала, интенсивность помехи, если она представляет собой белый шум и т.д.). Для создания же организационно более сложной оптимальной нелинейной системы наличия этих характеристик уже недостаточно — необходимо знание целого ряда дополнительных параметров (плотность вероятности параметров полезного сигнала, закон распределения помехи и т.д.). Таким образом, для устройства оптимальной системы управления контролем дополнительно к указанным выше характеристикам важно знать также плотности вероятности сигналов различных классов. Однако, приходится принимать во внимание, что для сложных технологических процессов такие характеристики случайных возмущений, как правило, точно не известны.

Следовательно, в нашем случае, требуется создание системы управления контролем, которая бы обеспечивала устойчивое, достаточно высокое качество процессов управления контролем технологического процесса в условиях недостаточно полной информации о статистических характеристиках сигналов и помех. Такая задача является сложной для решения, однако, тот факт, что человек в своей деятельности, зачастую, успешно управляет самыми разнообразными процессами в условиях дефицита информации об их характеристиках, позволяет предполагать, что создание достаточно эффективных систем управления объектами, в частности, систем адаптивного аналитического контроля при неизвестных характеристиках процесса в принципе возможно.

Исследование системы аналитического контроля производства кальцинированной соды, как объекта управления

В виде исходной предпосылки укажем, что качество контроля материальных потоков технологического процесса зависит от режимов работы входящих в него отделений всей технологической цепи.

Поэтому в структуре системы аналитического контроля технологического процесса, как объекта управления, представляется возможным для всех контролируемых параметров выделить следующие характерные состояния:

— **нормальное состояние** (зона регламентированных значений параметра), характеризующееся заведомым нахождением технологического процесса по данному параметру в подконтрольном состоянии (т.е. устойчивым пребыванием его в настоящий момент и на ближайшем отрезке времени в регламентированных пределах) — **не требующее изменения (регулирования) параметров системы контроля;**

— **аварийное состояние** (зона повышенного риска), характеризующееся выходом (или угрозой выхода) процесса за пределы установленных границ параметра (т.е. нахождением контролируемого параметра технологического процесса вне регламентированных пределов по данному параметру или выявленной тенденцией прогнозируемого ухода его за эти пределы на самом ближайшем отрезке времени) — **требующее корректировки процесса — управляемого регулирования с повышением требований к параметрам системы контроля (частота, точность и т.д.).**

Аварийное состояние, в свою очередь, имеет две разновидности:

— “уход” значений показателя из зоны нормального режима (состояния);

— “возвращение” значений показателя (группы коррелированных показателей) из аварийной в зону нормального режима (состояния).

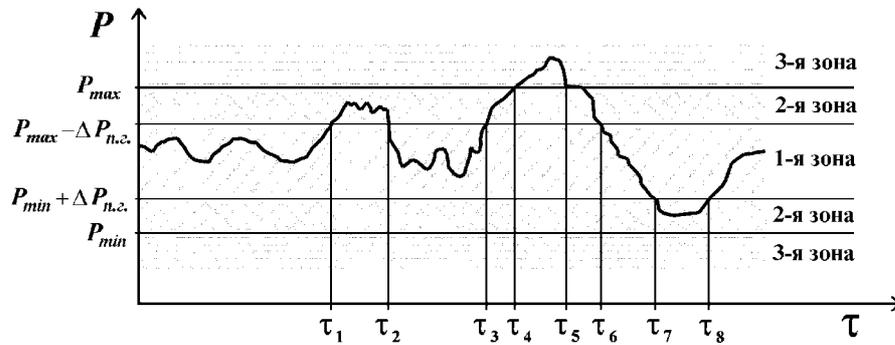


Рис.1 Характер изменений контролируемого параметра технологического процесса

Отмеченные состояния контролируемых параметров характеризуется следующими признаками (см. рисунок 1).

1) *нормальное состояние* (наблюдается в интервалах времени $\tau < \tau_1$, $\tau_2 < \tau < \tau_3$, $\tau_6 < \tau < \tau_7$ и $\tau > \tau_8$) — значения параметра находятся в центральной части зоны его регламентированных (допустимых) изменений (*1-я зона*):

$$P_{min} + \Delta P_{n.z.} \leq P \leq P_{max} - \Delta P_{n.z.} \quad (1);$$

где P — текущее значение контролируемого параметра;

$P_{max} - \Delta P_{n.z.} = P_{в.н.з.}$ и $P_{min} + \Delta P_{n.z.} = P_{н.н.з.}$ — значения верхней и нижней предупреждающих границ [2] регулирования (представляющие собой сниженные на принятое значение $\Delta P_{n.z.}$ запаса регулирования верхний и нижний пределы допускаемых значений параметра).

2) *аварийное состояние “ухода” значений параметра* (наблюдается в интервалах времени $\tau_1 < \tau < \tau_2$, $\tau_3 < \tau < \tau_4$ и $\tau_5 < \tau < \tau_6$, $\tau_7 < \tau < \tau_8$) — значения параметра находятся внутри зоны регламентированных пределов его допускаемых изменений, но вблизи одной из ее границ (*2-я зона*):

$$P_{min} < P < P_{min} + \Delta P_{n.z.} \quad \text{или} \quad P_{max} - \Delta P_{n.z.} < P < P_{max} \quad (2).$$

3) *аварийное состояние “возвращения” значений показателя* (на рисунке наблюдается в интервале времени $\tau_4 < \tau < \tau_5$) — значения параметра находятся вне зоны регламентированных пределов его допускаемых изменений (*3-я зона*):

$$P > P_{max} \quad \text{или} \quad P < P_{min} \quad (3).$$

Выбор методики экспериментальных исследований изменчивости параметров аналитического контроля

С нашей точки зрения, реализуемая частота (периодичность) контроля показателей может быть, без ущерба для его качества, поставлена в зависимость от рассмотренного выше фактического состояния контролируемого параметра (учитывающего его текущее — измеренное значение и значения этого показателя в предшествующие контролю моменты времени).

Обоснованное определение оптимальной частоты контроля для каждого из рассмотренных выше состояний возможно на основе полученной информации о характеристиках изменчивости контролируемых параметров технологического процесса в форме, позволяющей выработать аргументированный подход к определению обоснованного времени их последующего контроля. Для получения такой информации необходимо проведение нескольких серий целенаправленного экспериментального исследования характеристик реальной изменчивости технологического процесса и его параметров.

Исходя из указанных выше общих положений определения эффективности контроля технологического процесса (его экспериментальных исследований), нами предпринята попытка разработки практической методики для определения необходимой частоты

контроля (интервала контроля — $\Delta\tau$) технологических параметров в зависимости от конкретных значений этих параметров. Предлагаемая методика, основанная на обследовании действующей системы аналитического контроля технологического процесса с получением случайных выборок с многократным повторением опытов, предусматривает проведение необходимых экспериментальных исследований и последующую обработку и анализ их результатов следующим образом:

1. Проводят несколько серий (экспериментов) обследования действующего производства при рассмотренных выше характерных режимах его работы, в ходе которого следует по каждому параметру через равные промежутки времени определить значение параметра X .

$$X_{iz}^T = X_{iz} \quad (4)$$

где i — номер точки в данном эксперименте ($i = 1, 2, \dots, k$);

z — номер эксперимента ($z = 1, 2, \dots, m$);

X_{iz}^T — текущее значение параметра в i -ой точке z -го эксперимента.

2. По результатам каждого из z экспериментов необходимо определить оценку математического ожидания на z -й реализации случайного процесса

$$\hat{M}(X_z) = \frac{\sum_{i=1}^k X_{iz}}{K} \quad (5)$$

где K — общее количество точек, полученных в данном эксперименте.

3. Для каждого из z экспериментов следует построить соответствующие графики изменения параметров (см. пример на рис.2), нанося на них также линии, соответствующие:

— оценке математического ожидания $\hat{M}(X_z)$;

— границам зоны регламентированных значений параметра X_{max}^{pez} и X_{min}^{pez} (на рис.2 не показаны — они соответствуют какому-либо из $j_{(+)}$ и $j_{(-)}$ уровней соответственно);

— фактических границ зон повышенного риска контроля параметров в данном эксперименте $X_{z,max}$ и $X_{z,min}$.

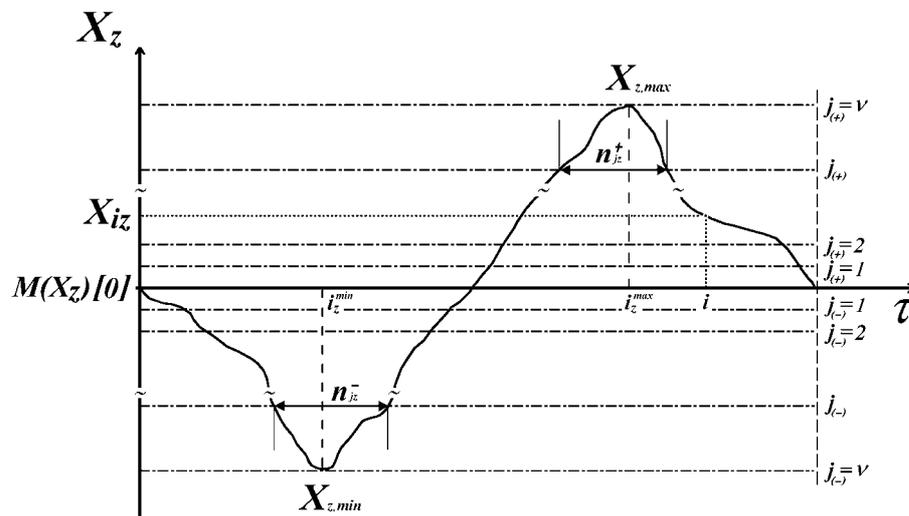


Рис.2 Пример экспериментального исследования характеристик изменчивости контролируемого параметра технологического процесса

3. В каждом из экспериментов необходимо определить величины уровней варьирования интенсивности контроля параметра:

$$\Delta X_z^{var+} = \frac{\Delta X_{z,max}}{v} \quad \text{при} \quad \Delta X_{z,max} = X_{z,max} - \hat{M}(X_z) > 0 \quad (6)$$

$$\Delta X_z^{var-} = \frac{\Delta X_{z,min}}{v} \quad \text{при} \quad \Delta X_{z,min} = X_{z,min} - \hat{M}(X_z) < 0 \quad (7)$$

где $\Delta X_z^{var+}, \Delta X_z^{var-}$ — шаги варьирования уровней интенсивности контроля соответственно для случаев, когда текущее значение параметра больше или меньше $\hat{M}(X_z)$ — математического ожидания переменной в данном эксперименте;

ν — количество выбранных уровней варьирования интенсивности контроля параметра (выбирается в зависимости от требований, предъявляемых к точности обработки экспериментальных данных).

Далее рассчитывают величину уровней интенсивности контроля параметра рассчитывается по уравнениям:

$$X_{jz}^+ = \Delta X_z^{var+} \cdot j_{(+)} \quad (8)$$

$$X_{jz}^- = \Delta X_z^{var-} \cdot j_{(-)} \quad (9)$$

где j — номер уровня интенсивности контроля параметра ($j=0, 1, 2, \dots, \nu$).

Для каждого из уровней интенсивности контроля параметра определяются относительные коэффициенты интенсивности контроля. Для этого текущие значения X_{iz}^T (см. рис. 2) в каждом эксперименте сравниваются с соответствующими значениями X_{jz}^+ и X_{jz}^- и подсчитывается число точек в эксперименте n_{jz}^+ и n_{jz}^- по неравенствам

$$n_{jz}^+ \text{ при } X_{iz}^T \geq X_{jz}^+ \quad (10)$$

$$n_{jz}^- \text{ при } X_{iz}^T \leq X_{jz}^- \quad (11)$$

Относительные коэффициенты интенсивности контроля параметра определяют из уравнений:

$$A_{jz}^+ = \frac{n_{jz}^+}{K} \quad (12)$$

$$A_{jz}^- = \frac{n_{jz}^-}{K} \quad (10)$$

где A_{jz}^+ — относительный коэффициент интенсивности контроля параметра при $X_{iz}^T \geq \hat{M}(X_z)$;

A_{jz}^- — относительный коэффициент интенсивности контроля параметра при $X_{iz}^T \leq \hat{M}(X_z)$.

Для каждого из z экспериментов данные, полученные в виде

$$A_{jz}^+ = \varphi'(X_{jz}^+);$$

$$A_{jz}^- = F'(X_{jz}^-);$$

представляют двумя обобщенными вариационными рядами вида

$$A^+ = \varphi(X_{jz}^+) \quad (13)$$

$$A^- = F(X_{jz}^-) \quad (14)$$

Значения аргументов вариационных рядов (13) и (14) разбиваются на равные интервалы, величины которых принимаются равными максимальным значениям шагов варьирования относительных коэффициентов интенсивности контроля ΔX_z^{var+} и ΔX_z^{var-} . Для определения значения функций A^+ и A^- на каждом интервале следует руководствоваться рекомендациями «теории пессимизма» [3]. Согласно этой теории, при оценке случая стохастической неопределенности условий, когда распределение вероятностей для параметров либо не существует, либо не может быть получено, необходимо всегда

ориентироваться на наихудшие условия. Поэтому из нескольких значений функций, оказывавшихся внутри интервала, выбирается значение, соответствующее наименьшему относительному коэффициенту интенсивности контроля, и принимается за величину функции в данном интервале. После выполнения этих расчетов во всех интервалах строят [4] две кривые, характеризующие величину относительного коэффициента интенсивности контроля в зависимости от величины отклонения параметра от его математического ожидания вида,

$$A_{min}^+ = \alpha(X^+) \quad (15)$$

$$A_{min}^- = \alpha(X^-) \quad (16)$$

4. Принимаем, исходя из практического опыта, временной интервал между измерениями:

— при значениях параметра, находящихся в зоне его математического ожидания (1-я зона на рис.1), $\Delta\tau = \Delta\tau_{M(X)}$;

— при значениях параметра, близких к граничным значениям регламентированной зоны (2-я зона на рис.1) $\Delta\tau = \Delta\tau_{min}^{pez}$ и $\Delta\tau = \Delta\tau_{max}^{pez}$;

— при значениях параметра, равных граничным в зонах повышенного риска (2-я зона на рис.1), временной интервал между измерениями может быть определен, например, на основании теоремы Котельникова [5]. Согласно этой теореме

$$\Delta\tau \leq \frac{\pi}{\omega_c} \quad (17)$$

где $\Delta\tau$ — время между измерениями;

ω_c — максимальная частота спектра исследуемой переменной.

Поэтому, в нашем случае $\Delta\tau_{max} = \Delta\tau = \frac{\pi}{\omega_c}$

5. Основываясь на полученных выше зависимостях, мы можем построить искомые результирующие зависимости временных интервалов между измерениями от величины отклонения измеренного параметра от его математического ожидания в виде

при X^+

$$\Delta\tau^+ = \Delta\tau_{max}^{M[X]^+} - A_{min}^+ \cdot B^+ \{X^+ - M[X]\} \quad (18)$$

при X^-

$$\Delta\tau^- = \Delta\tau_{max}^{M[X]^-} - A_{min}^- \cdot B^- \{X^- - M[X]\} \quad (19)$$

Очевидно, что описанные выше экспериментальные исследования характеристик фактической изменчивости параметров аналитического контроля в их нормальном и аварийных состояниях целесообразно провести для следующих трех характерных состояний режима всего технологического процесса в производстве соды в целом:

1) когда параметры технологического процесса достаточно длительное время обеспечивают устойчивое получение конечного продукта надлежащего качества по всем показателям ГОСТ 5100-85 [6] (область выпуска качественной продукции);

2) когда показатели (или хотя бы один показатель) качества получаемого продукта находятся в пределах норм, но в непосредственной близости от их регламентированной браковочной границы (область риска выпуска некачественной продукции);

3) когда показатели (или хотя бы один показатель) качества получаемого продукта находятся за пределами браковочной границы (область брака).

Естественно, что эти исследования изменчивости параметров аналитического контроля должны учитывать соответствующие значения временного лага для разных стадий технологического процесса и включать в необходимых случаях также фиксирование иных технологических параметров процесса, влияющих на значения параметров аналитического контроля (коррелированных с ними).

В программе таких исследований необходимо предусмотреть следующие этапы работы:

— сбор и анализ исходных данных о статике и динамике изменений контролируемых параметров;

— формализация (описание) возможных изменений значений этих параметров с соответствующим разделением их состояний (на квазистационарное и переходное, в областях выпуска качественной продукции, риска и брака);

— ранжирование обследованных контролируемых параметров аналитического контроля по величине их результирующего влияния на управление технологическим процессом (исходя как из их частотных (автокорреляционных) характеристик, так и из стоимостных последствий).

Последующая обработка полученных результатов исследований призвана обеспечить определение (нахождение) соответствующим образом формализованных характеристик изменчивости значений параметров в квазистационарном (нормальном) и переходном (аварийном) состояниях, необходимых для разработки алгоритма адаптивного (гибкого) управления частотой контроля параметров (позволяющего обоснованно назначать требуемое время следующего контроля каждого показателя в зависимости от допустимой вероятности потери информации).

Разработка алгоритма адаптивного управления системой аналитического контроля

Очевидно, что наименьшего внимания при контроле требуют параметры, значения которых устойчиво находятся вблизи центра диапазона изменений, допускаемых регламентными нормами (в зоне стационарного нормального состояния). Напротив, обнаружение тенденции непрерывного смещения значений показателя в сторону регламентной границы требует повышенного внимания к нему, достигающего максимума с выявлением “ухода” показателя за критическую границу допустимых пределов регулирования. Естественно, что повышенное внимание к этому показателю должно сохраняться далее на протяжении всего времени принудительного (управляемого) возвращения его в допустимые пределы, вплоть до момента фиксирования момента устойчивого возвращения показателя из зоны аварийного состояния в нормальное.

Следовательно, при адаптивном аналитическом контроле решение о сроке последующего контроля данного ($i = k$) показателя должно приниматься исходя из совокупности полученных результатов контроля этого показателя \vec{X}_k (и, при необходимости, значений некоторых других, сопряженных (коррелированных) с ним, показателей $\vec{X}_{i \neq k}$, – если таковые имеются), что может быть выражено зависимостью:

$$\Delta_{\tau_k} = F_k(\vec{X}_i), \quad (20)$$

или в общем виде для всех показателей

$$\Delta_{\tau} = F(\vec{X}), \quad (21)$$

где Δ_{τ_k} , Δ_{τ} — интервал времени до последующего контроля (периодичность контроля);

\vec{X}_i , \vec{X} — соответствующие векторы значений параметров контролируемого процесса.

Нашей целью должно быть “построение” зависимости (2) на основе полученных результатов экспериментальных исследований изменчивости параметров и синтез на ее основе такой системы управления периодичностью аналитического контроля технологического процесса производства кальцинированной соды, которая предусматривает непрерывную оценку текущего состояния объекта управления и изменение реализуемого алгоритма контроля в зависимости от складывающейся ситуации.

При ограниченной информации об изменениях параметров контролируемого технологического процесса возможно применение ступенчатого эвристического алгоритма регулирования частоты контроля аналогично [7]. В случае более полного исследования

статистических характеристик изменчивости технологического процесса методика определения адаптивной частоты контроля параметра может состоять в следующем:

1. В качестве вспомогательной оси выбирается ось, проходящая через середину зоны регламентированных пределов изменения параметра (определяется как $P_0 = P_{min} + \frac{P_{ax} - P_{min}}{2}$).

2. Определяем границы 1-ой, 2-ой и 3-ей зоны.

3. В случае нахождения параметра в пределах 1-ой зоны контроля, частота контроля (v) его должна быть ниже регламентированной (промежутки на рис.1, $0 - \tau_1$, $\tau_2 - \tau_3$, $\tau_6 - \tau_7$, $> \tau_8$).

$$v_{зона1} > v_{регл} = const$$

4. В случае нахождения параметра в пределах 2-ой зоны контроля, частота его контроля должна быть близка к регламентированной (промежутки на рис.1, $\tau_1 - \tau_2$, $\tau_3 - \tau_4$, $\tau_5 - \tau_6$, $\tau_7 - \tau_8$).

$$v_{зона2} = v_{регл} = const$$

5. В случае нахождения параметра в пределах 3-ей зоны контроля, частота его контроля должна определяться по формуле (промежутки на рис.1, $\tau_4 - \tau_5$)

$$v_{зона3} = v_{регл} + K_1 |\Delta P| + K_2 \frac{d|\Delta P|}{d\tau} = var, \quad (22)$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты, которые определяются технологической целесообразностью и трудоемкостью проведения контроля.

Определяем относительное время работы вне рамок регламентированной σ для одного опыта из j

$$T_{\square}^j = \frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i'' - \tau_i')}{\tau}. \quad (23)$$

Для серии опытов

$$T_{отн}^{\Sigma} = \sum_{j=1}^l T_{отн}^j. \quad (24)$$

Определяем для этих же j опытов σ^{cp} для участков $(\tau_i'' - \tau_i')_j$, где $1 \leq i \leq n$.

$$\sigma_j^{-p} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i^{-p}}{n} \quad (25)$$

Определяем σ^{cp}

$$\sigma^{cp} = \frac{\sum_{j=1}^l \sigma_j^{cp}}{l} \quad (26)$$

Создаваемый алгоритм определения адаптивной частоты контроля параметров может быть также поставлен в зависимость от уровня значимости $\alpha = 1 - P$, учитывая разную степени ответственности за вывод при разных состояниях контролируемых параметров (нахождение в разных зонах на рис.1) [8].

Выводы

Таким образом, выполненные нами анализ системы аналитического контроля производства кальцинированной соды, как объекта управления, определение требований к экспериментальным исследованиям изменчивости параметров аналитического контроля и к разработке алгоритма адаптивного управления системой аналитического контроля образует

предпосылки для создания системы адаптивного аналитического контроля процесса производства кальцинированной соды.

От характера функционирования этой системы во многом зависит полнота отражения состояния технологического процесса и эффективность решений, принимаемых управляющим персоналом. В связи с этим использование рассмотренного алгоритма адаптивного управления системой аналитического контроля (позволяющего оперативно определять моменты возникновения нарушений и количественно оценивать изменения параметров техпроцесса) имеет существенное значение для улучшения экономики производства и повышения уровня технологической дисциплины.

Литература

-
1. Книгавко И.П., Ивков А.Г. Аналитический контроль в содовой промышленности. Обзор. инф. Сер. "Содовая промышленность". М. НИИТЭХИМ, 1979, 35 с.
 2. ГОСТ 15895-77 Статистические методы управления качеством продукции
 3. Вентцель Е.С. Исследование операций. -М.:Знание, 1976. – 64 с.
 4. Кухтенков К.М., Молчанов В.И. Оценка эффективности использования запаса материалов между технологическими отделениями содового производства. Хімічна промисловість України, 1998, №3, с.62-66.
 5. Ицкович Э.Л. Определение необходимой частоты измерений // Автоматика и телемеханика, 1961. № 2, с. - .
 6. ГОСТ 5100-85 Сода кальцинированная техническая. Технические условия.
 7. А.Г.Ивков, І.В.Корінько О.В.Окатиї. Розроблення алгоритму системи управління періодичністю контролю складу виробничих стічних вод, що скидаються підприємствами до міської каналізації м.Харкова / В кн.: Научно-техническая конференция “Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов” (Сборник трудов IX международной конференции, 11-15 июня 2001 г, г. Щелкино, АР Крым), г.Харьков, 2001, т.III, с.602-608.
 8. А.Г.Ивков Рациональная тактика обеспечения допускаемого значения случайной погрешности получаемого результата анализа представительной пробы. Химич. промисловість, 1987, №5, с.44-46.

Опубликовано: Химия и технология производств основной химической промышленности. Труды. Т.73 / НИОХИМ. – Харьков, 2003. – С. 277-285