

УДК 621.316.7

МНОГО- ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА АВТО- МАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОБЕТОНА

Приведено аналіз аналітичних рішень збіжності оптимізаційних функціоналів системи керування технологічним процесом в залежності від сукупності параметрів управління, контролю та виконавчих механізмів при лінійних та нелінійних взаємозв'язках. Запропоновано багато параметричну систему автоматизованого керування технологічним процесом приготування газобетону

Ключові слова: багатопараметрична, система керування, критерії оптимізації, технологічний процес, газобетон

Выполнен анализ аналитических решений сходимости оптимизационных функционалов системы управления технологическим процессом в зависимости от совокупности параметров управляемых, контролируемых и исполнительных механизмов при линейных и нелинейных взаимосвязях. Предложена многопараметрическая система автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона

Ключевые слова: многопараметрическая, система управления, критерии оптимизации, технологический процесс, газобетон

The analysis of analytical solutions of convergence of optimisation functionals of a control system by technological process depending on a collection of parameters of controlled, controllable and executive mechanisms is made at linear and nonlinear interrelations. The multiparameter system of automated control by technological process of preparation aircrete is offered

Key words: Multiparameter, a control system, criteria of optimisation, technological process, aircrete

В. В. Зиновкин

Доктор технических наук, профессор*

Контактный тел.: 8 (0612) 22-97-73, 769-82-79

E-mail: zvv@zntu.edu.ua

Э. М. Кулинич

Старший преподаватель*

Контактный тел.: 8 (0612) 34-55-54, 769-83-13

E-mail: kulinich@zntu.edu.ua

*Запорожский национальный технический университет г. Запорожье

1. Общая характеристика вопроса. В мировой практике гражданского и промышленного строительства широко используются ячеистые строительные материалы. Их применение значительно экономичнее при тех же прочностных показателях как у кирпича, бетонов, керамзитобетонов, а теплоизоляционные и технологические свойства значительно выше. Производство ячеистого бетона, приходящегося на 1000 чел./м³, в странах Западной Европы достигает 270 м³, в Беларуси – 170 м³, в России – 25 м³, в Украине – 12 м³. На зарубежных фирмах «Хебель», «Верхан» (Германия), «Сипорекс» (Швеция), «Колсилек» (Голландия) разработаны и внедрены высокоэффективные технологические линии по производству изделий из ячеистых и газобетонов, а также отмечается необходимость повышения уровня автоматизации [2,5,6,7].

Технологическим аспектам приготовления ячеистых бетонов и дальнейшему промышленному исполь-

зованию посвящено довольно большое количество статей и монографий, а принципы построения систем автоматизированного управления технологическими процессами освещены в общих чертах и несут описательный характер [2,3,4]. Поэтому тема настоящей работы усматривается актуальной и востребована практикой строительной отрасли и промышленности [1].

2. Цель работы состоит в разработке и исследовании многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона. Управление осуществляется по трём обобщённым параметрам, каждый из которых состоит из совокупности сигналов управляющих, контролируемых и исполнительных механизмов.

3. Постановка решаемой задачи. Технологический процесс производства газобетона, как объекта автоматизированного управления, является многомерным, стохастическим, со сложными взаимосвязями между

управляющими, возмущающими воздействиями и параметрами состояния объекта, включая показатели качества готовой продукции. Под многопараметрической системой автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона следует понимать совокупность сигналов управляющих отдельными технологическими устройствами и программно-аналитических блоков и алгоритмов, которые взаимодействуют между собой для обеспечения полного производственного цикла приготовления газобетонного изделия. Она должна обеспечивать точность дозирования и оптимальное соотношение твердых и жидких составляющих смесей, при учёте многих факторов, корректирующих ход технологического процесса, производительность линии, соответствие заданных механических свойств конечной продукции, эффективности использования электротехнического и электротехнологического оборудования, энергоресурсов и сырья. Выбор оптимального соотношения между

совокупностью этих параметров приводит к уменьшению непроизводительных потерь, сводит к минимуму человеческий фактор и повышению эффективности технологической установки. Очевидно, что для обеспечения эффективности технологического процесса приготовления газобетона необходимо одновременно анализировать информацию о состоянии отдельных звеньев и блоков всей линии, осуществлять контроль энергозатрат и состояние электрического и технологического оборудования, наличие сырья и его характеристик (объём, температура, влажность, активность, концентрация, плотность, марка цемента), режимов работы исполнительных механизмов электро-, гидро- и пневмоприводов.

Многопараметрический алгоритм управления представляет совокупность программных предписаний, управления исполнительными механизмами с целью обеспечения логической последовательности выполнения полного цикла технологического процесса приготовления газобетона.

В работе используются разомкнутые и замкнутые цепи воздействия на исполнительные механизмы.

Таким образом, оптимизационный программно-аналитический поиск наиболее эффективного управления технологическим процессом приготовления газобетона будем отыскивать по трём обобщённым параметрам.

Такими параметрами являются: многопараметрические алгоритмы управляющих сигналов технологическими звеньями, которые подаются непосредственно на соответствующие исполнительные механизмы; сигналы, характеризующие состояние электротехнического и технологического оборудования, включая степень загрузки последнего.

Предлагаемая структурная схема взаимосвязи между управляющими, исполнительными и программно-логическими элементами технологической установки приготовления газобетона показана на рис.1.

4. Критерий оптимального управления технологическими процессами приготовления газобетона обеспечивается за счет наилучшего сочетания совокупности сигналов управления, контролируемых и исполнительных механизмов. Они представляют собой три программно-логических канала и обеспечивают наилучшую эффективность управления технологическим процессом

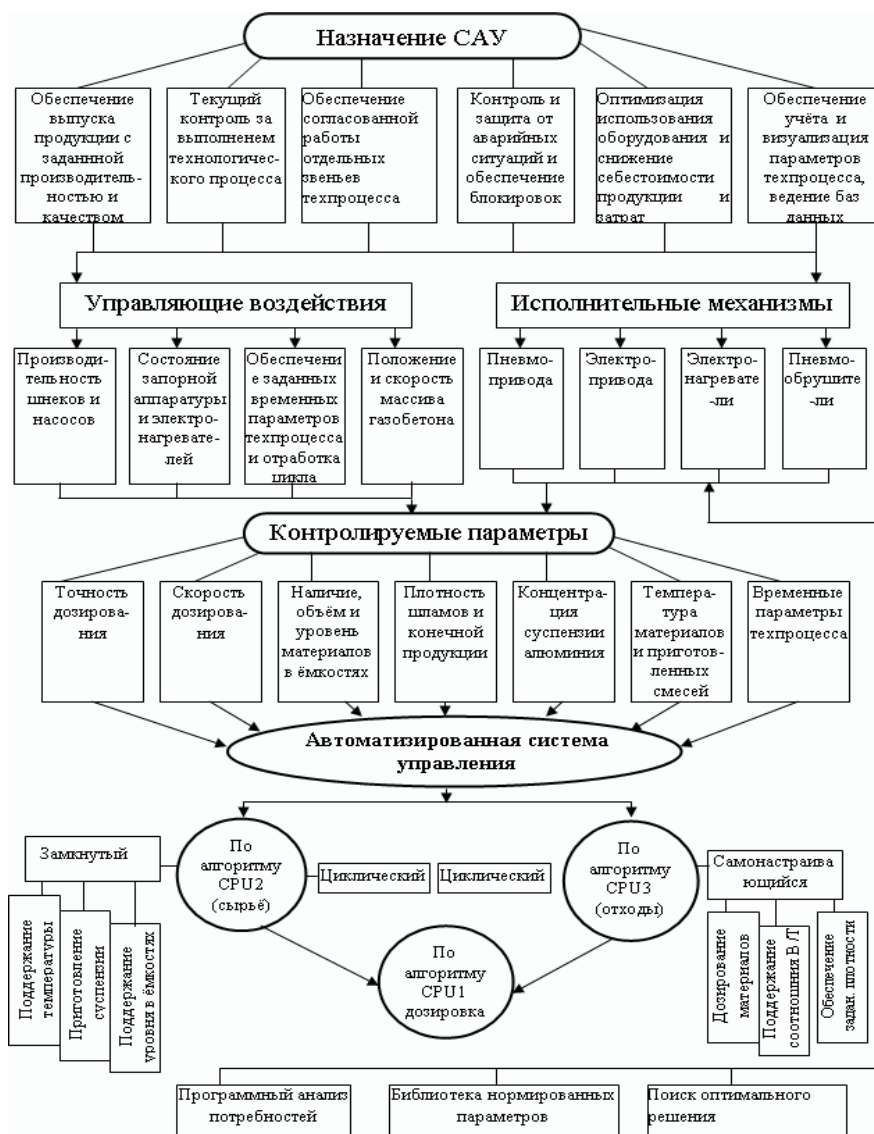


Рис. 1. Структурная схема многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона

приготовления газобетона. Критерий оптимальности должен удовлетворять следующему интегральному функционалу:

$$\xi(x,t) = \int_{t_1}^{t_2} \zeta(x,t) \cdot q(x,t) \cdot \rho(x,t) dt, \quad (1)$$

где $\zeta(x,t)$ -алгоритм совокупности сигналов управления, $q(x,t)$ - совокупность контролирующих сигналов, $\rho(x,t)$ - информационные сигналы исполнительных механизмов.

Выходные алгоритмы формируют оптимальные значения управляющих воздействий в каждом дискретном промежутке времени технологического процесса. Они постоянно изменяются до момента стабилизации параметров технологического процесса. Взаимосвязи между управляющими, контролирующими и состояния исполнительных механизмов показаны на рис.1. В случае изменения одного из них, программно-аналитический блок отыскивает и вырабатывает соответствующие сигналы, обеспечивающие переход всей многопараметрической системы управления в новое оптимальное состояние. Это обеспечивается за счёт обратных связей, как показано на рис.3.

Сигналы управляющих воздействий для одного технологического звена одновременно могут использоваться в качестве начальных или опорных для управления последующими звеньями или этапами технологического процесса. Совокупность трех каналов управления отображает обобщённую логическую информацию, которая должна соответствовать оптимальному условию (1) в анализируемый момент времени технологического процесса.

Сигналы исполнительных механизмов отображают их электротехнические параметры в данный момент времени и используются как источники обратных связей. Последние формируются при изменениях параметров режимов исполнительных механизмов относительно номинальных. При отклонении текущего состояния технологического процесса или, когда исполнительные механизмы не обеспечивают его оптимальные условия, соответствующие программно-логические элементы детектируют это состояние и вырабатывают корректирующее воздействие в соответствии новым условиям.

Таким образом, критерий оптимальности и его идеализация представляют собой динамическую систему многопараметрического автоматизированного управления. В нашем случае на каждом участке технологической линии формируются или задаются соответствующие многопараметрические подфункции от совокупности электрических, механических, физических и информационных параметров в данный момент времени. Обобщённые сигналы являются детерминированными функциями переменных параметров и времени. Таким образом, все параметры в детерминированной системе и действующие на неё возмущения, а также их возможные состояния отображают технологический процесс. Поддержание требуемого критерия оптимальности, при частичных изменениях информации о техпроцессе, обеспечивается системой самонастройки за счёт обратной связи. Положение экстремума определяется в соответствии с заданным алгорит-

мом программно-аналитическим блоком на основании поступающей текущих информационных сигналов.

Задача оптимального многопараметрического управления технологическим процессом приготовления газобетона сводится к разработке системы программно-аналитического алгоритма. Для этого необходимо обеспечить условия, при которых логическое состояние системы управления в фазовом пространстве выбранных параметров соответствует максимуму следующего функционала:

$$\xi_M(t) = \int_0^T [\zeta(x,t) \cdot g(x,t) \cdot \rho(x,t)] \cdot (t_n + \Delta t)^{-1} dt \Big|_{\zeta = \text{const}}, \quad (2)$$

где T - время устойчивой продолжительности технологического процесса или отдельного этапа; t - время стабилизации устойчивого режима; Δt - время настройки или подстройки отдельных параметров.

Время стабилизации Δt для каждого дискретного интервала техпроцесса определяется в рамках равенства (1). Следовательно, максимум функционала (2) должен соответствовать оптимальному технологическому процессу и одновременно использоваться для качественной оценки состояния совокупности параметров системы управления. Полагая, что в узком интервале времени и при соблюдении условий (1) функционал (2) преобразуется к следующему:

$$\xi_M(t) = [\zeta(x,t) \cdot g(x,t) \cdot \rho(x,t)] \cdot (t + \Delta t)^{-2} dt \Big|_{\zeta = \text{const}} \quad (3)$$

$$T'(x) = \zeta'(x) \cdot [\zeta(x,t) \cdot g(x,t) \cdot \rho(x,t)]^{-1}, \quad (4)$$

где $T'(x)$ - время интервала стабилизации режимов исполнительных механизмов; $\zeta'(x)$ - коэффициент, зависящий от инерционности исполнительных механизмов и отработки логической информации.

Поскольку технологический процесс приготовления газобетона описывается совокупностью параметров исполнительных механизмов и информационных устройств, то теоретически его можно рассматривать как протекающий в системе фазовых координат при следующих граничных условиях:

$$\left. \begin{aligned} 0 \leq \zeta(x,t) < \zeta(x,t)_{\max}, \\ 0 \leq g(x,t) < g(x,t)_{\max}, \\ 0 \leq \rho(x,t) < \rho(x,t)_{\max}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Экстремальные значения уравнений (3) и (4) получаем, решая следующую систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \xi^o(t)}{\partial \zeta(x,t)} &= \frac{g(x,t) \cdot \rho(x,t) \cdot T(x)}{T + \Delta t} - G(t) \cdot \frac{\zeta'(x)}{\zeta^2(x,t) \cdot g^y(x,t) \cdot \rho^z(x,t)} = 0; \\ \frac{\partial \xi^o(t)}{\partial g(x,t)} &= \frac{\zeta(x,t) \cdot \rho(x,t) \cdot T(x)}{T + \Delta t} - G(t) \cdot \frac{\zeta'(x)}{\zeta(x,t) \cdot g^{y+1}(x,t) \cdot \rho^z(x,t)} = 0; \\ \frac{\partial \xi^o(t)}{\partial \rho(x,t)} &= \frac{\zeta(x,t) \cdot g(x,t) \cdot T(x)}{T + \Delta t} - G(t) \cdot \frac{\zeta'(x)}{g(x,t) \cdot g^y(x,t) \cdot \rho^{z+1}(x,t)} = 0; \\ \frac{\partial \xi^o(t)}{\partial T} &= \frac{\zeta(x,t) \cdot g(x,t) \cdot \rho(x,t)}{(T + \Delta t)^2} - \lambda_m \cdot T^{m-1} = 0; \\ \frac{G_\zeta}{\zeta(x,t) \cdot g(x,t) \cdot g^z(x,t)} - T^m &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $G(t)$ – множитель Лагранжа.

Для обеспечения оптимального управления по трём каналам одновременно в системе выражений (6) условие Лагранжа должно обеспечиваться при соблюдении следующих условий:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi^\circ(x,t)}{\partial T^2(x)} < 0; \\ \frac{\partial^2 \xi^\circ(x,t)}{\partial p(x,t)} < 0; \\ \frac{\partial^2 \xi^\circ(x,t)}{\partial \zeta^2(x,t)} < 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Это значит, что функционал $\partial \xi_n(x,t)$ должен иметь максимум.

Таким образом, для обеспечения оптимальной многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона необходимо обеспечить условия, при которых (вторые) вычитаемые параметры должны принимать наименьшие значения. Физически это означает, что постоянные времени системы управления должны быть минимальными, даже без учёта взаимного влияния. В силу физической сущности исполнительных механизмов и управляющих сигналов, устойчивого режима управления технологическим процессом на практике достичь довольно сложно. Поэтому при решении задачи необходимо ограничиться возможной погрешностью, которая удовлетворяет потребностям практики и обеспечивает приемлемые показатели протекания техпроцесса и качества выпускаемой продукции. Для достижения большей точности управления, необходимо рассматривать управляемые параметры как случайные функции технологического процесса, которые отражают математическое ожидание. Такое решение будет довольно сложным для практической реализации, поскольку вероятностные свойства устойчивости будут представлены зависимостью распределения вероятностей. Интенсивность вероятностных состояний оценивается при помощи соответствующих корреляционных функций. Поэтому случайными окажутся и электрические, и другие параметры состояния исполнительных механизмов, таких как заслонки, электродвигатели и т.д.

Таким образом, условия оптимального управления технологическим процессом приготовления газобетона, основанные на обеспечении максимума функционалу, могут использоваться на практике. При этом необходимо оценивать влияние погрешностей на оптимальные условия управления технологическим процессом или поддержание их неизменными в некоторых интервалах времени.

5. Аналитическая и структурно-логическая интерпретация метода поиска оптимального управления технологическим процессом приготовления газобетона наиболее эффективно реализуется градиентным методом. При этом задачей экстремальной системы может быть такая компенсация вероятностных факторов, при которой установившиеся управляемые сигналы достигаются в минимально возможные временные интервалы. Кроме этого, в динамике процесса управления первоначально необходимо определить, с какой стороны от экстремума находится (слева или справа) изображающая точка, отражающая действительное (текущее) состояние технологического процесса. При этом одновременно необходимо определить, какие параметры

управления являются первоначальными и более влиятельными. Поэтому выбор структурной схемы многопараметрической системы автоматизированного управления в сочетании с аналитическим представлением решаемой задачи оказывает существенное влияние на ее практическое использование. Необходимо отметить, что при разработке системы автоматизированного управления могут решаться линейные и нелинейные задачи. Для выбора эффективного управления технологическим процессом приготовления газобетона, выполним анализ возможной реализации линейной и нелинейной задачи.

Наиболее полно оптимизационный функционал будет отражать управление технологическим процессом приготовления газобетона, когда все параметры управления исполнительными механизмами и передачи логической информации будут синхронными. В реальных режимах такие условия достичь довольно сложно, а в отдельных случаях практически не представляется возможным. Поэтому при моделировании и исследованиях системы автоматизированного управления целесообразно варьировать один из параметров при фиксированных других. Основными показателями в многопараметрической системе управления являются временная и размерная информация. Последняя снимается из соответствующих датчиков. Возможны рабочие режимы в виде зависимостей функционала от параметров техпроцесса. Это позволяет более наглядно оценить эффективность работы системы управления. При этом она может реализовываться как самонастраивающаяся или стабилизационная.

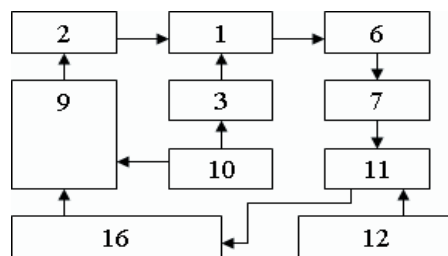


Рис. 2. Структурная схема стабилизационной многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом

Простейшая структурная схема стабилизационной системы показана на рис. 2, а её аналитическое представление описывается уравнениями (3) и (4).

Следует отметить, что приведённая структурная схема реализует линейные зависимости между параметрами технологического процесса. Графически взаимосвязи между этими параметрами можно представить, как показано на рис. 3.

На рис. 2 приняты следующие обозначения: 1-обобщённый показатель технологического процесса; 2-привод главного исполнительного механизма (шнека дозирования извести, цемента и т.д.); 3- привод заслонок подачи; 6-датчик наличия сыпучих составляющих; 7- программно-преобразовательный блок; 11- устройство сопоставительного анализа; 12- блок задания режима технологического процесса; 16 – блок усиления и стабилизации; 9- регулятор заслонок подачи сырья; 10- программно-аналитический блок эффективной производительности линии приготовления газобетона.

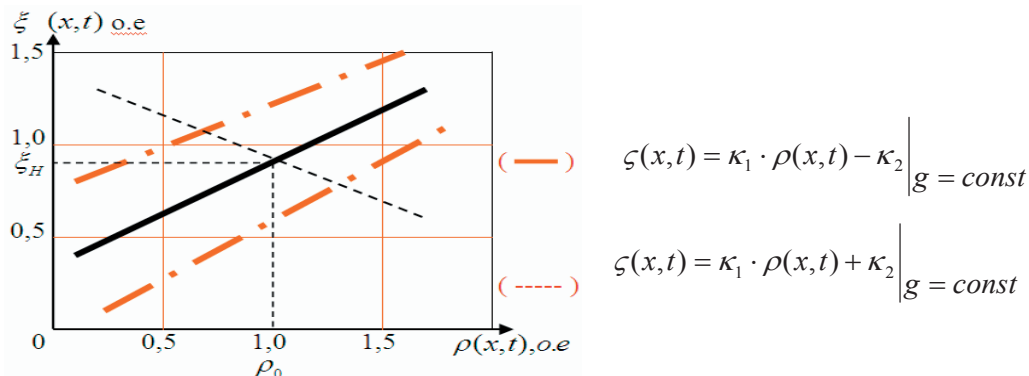


Рис 3. Графическая интерпретация линейной стабилизации многопараметрической системы управления технологическим процессом приготовления газобетона

На рис. 2 переменные, характеризующие технологический процесс приготовления газобетона, приведены в нормированном виде. Это сделано с целью большей наглядности, исключения размерностей и численных значений. Коэффициенты κ_1 и κ_2 представляют собой постоянные, которые характеризуют степень взаимного влияния между параметрами технологического процесса.

Самонастраивающаяся автоматизированная система приготовления газобетона позволяет более эффективно использовать технологическое оборудование линии для достижения цели производства-выпуска качественной продукции с заданной производительностью. Структурная схема самонастраивающейся системы показана на рис.4, а графическая интерпретация самонастраивающегося нелинейного алгоритма управления технологическим процессом - на рис.5.

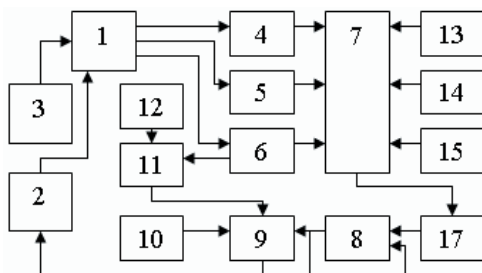


Рис 4. Структурная схема самонастраивающейся многопараметрической системы автоматического управления технологическим процессом приготовления газобетона

На рис. 4 приняты следующие обозначения: 1 - обобщённый показатель технологического процесса; 2 - привод главного исполнительного механизма (шнека дозирования извести, цемента и т.д.); 3 - привод заслонок подачи сыпучих материалов; 4 - скорость подачи другого сырья; 5 - информационный блок о $g(x,t)$; 6 - датчик загрузки бункеров; 7 - программно-преобразовательный блок; 8 - блок согласования; 9 - регулятор заслонок подачи сырья; 10 - программно-аналитический блок номинальной производительности технологической установки приготовления газобетона; 11 - устройством сопоставительного анализа; 12 - блок задания программно-аналитического режима технологического процесса; 13 - блок номинальных параметров; 14 - информационный блок текущих и обобщенных параметров; 15 - информационный блок технологического режима; 16 - блок усиления и стабилизации параметров; 17 - усредняющее устройство или фильтры среднего значения.

Самонастраивающаяся система основана на реализации градиентного метода. Наибольшее (оптимальное) значение функционала определяется по точке, в которой производная изменяет свой знак на противоположный. Такая система автоматизированного управления позволяет более эффективно управлять определяющими параметрами и техпроцессом в целом.

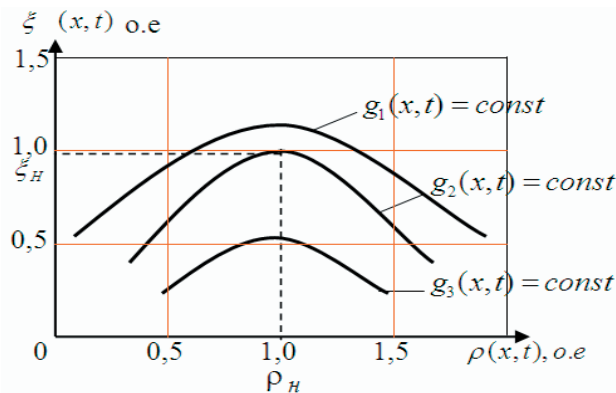


Рис 5. Графическая интерпретация самонастраивающейся многопараметрической системы с нелинейной зависимостью между параметрами управления технологическим процессом приготовления газобетона

Из рис. 3 и рис. 5 видно, что для выбора оптимального технологического режима необходимо определить с третьей составляющей (обобщённого параметра $g(x,t)$). Поскольку в процессе работы технологической линии управляющие и регулирующие параметры постоянно изменяются, то необходимо использовать усредняющее устройство или фильтры среднего значения.

6. Исследование эффективности работы многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона выполнялось на модели и на реальной установке в условиях эксплуатации. Моделирование выполнялось в соответствии со структурными схемами, приведёнными на рис.3,5, а результаты показаны на рис. 6. Аналогичные результаты получены в реальных условиях работы технологической установки. Погрешность между смоделированным и измеренными усредненными результатами объёма технологических отходов не превышает 6%. При этом разность между наибольшими и наименьшими значениями достигала

11%. Это поясняется возможными изменениями плотности технологических отходов и изменениями сигналов управления за счет инерционности исполнительных механизмов в каждом отдельном технологическом цикле реального техпроцесса.

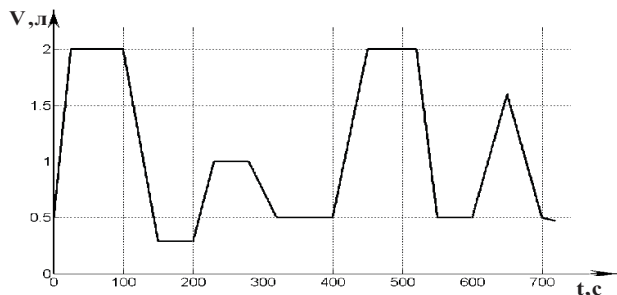


Рис. 6. Изменение количества технологических отходов при использовании многопараметрической системы автоматизированного управления

Из рис. 6 видно, что автоматизированное управление технологическим процессом приводит к более согласованной работе исполнительных механизмов установки приготовления газобетона. Об этом свидетельствуют плавные изменения между отдельными циклами.

7. Выводы по результатам исследований. Полученные в настоящей работе результаты исследований позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Предложены структурно-алгоритмические схемы многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона. В ее основу положены критерии оптимальности по трём обобщённым параметрам, характеризующим совокупности управляющих и контролируемых сигналов, а также исполнительных механизмов.

2. Внедрение многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом позволило повысить эффективность работы электротехнического и электротехнологического оборудования за счёт сокращения простоев и поддержания номинальных режимов на 17%.

3. Использование критерия оптимальности при нелинейной взаимосвязи между обобщёнными параметрами в замкнутой схеме управления обеспечива-

ет более стабильное поддержание технологического процесса в нормированных пределах по сравнению с линейной.

Литература

- 1.Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2004р. №684 "Програма розвитку виробництва ніздрювато бетонних виробів та їх використання у будівництві на 2005-2011 роки"[Текст]// Строительные материалы и изделия.-2004.-№4.-с.34-37.
2. Производство ячеистобетонных изделий. [Текст]: Теория и практика / Н.П.Сажнев, В.Н.Гончарик, Г.С.Гарнашевич и др.; под общ.ред. Н.П.Сажнева. -2-е изд.,доп.- Минск.: НПООО «Стринко»,2004. - с. 4-7.-ISBN 985-6476-33X
3. Как начать строительство завода по производству ячеистого бетона. [Текст]: сб.науч.тр. научно-практического семинара «Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве» Вып.3. /под общ. ред. В.И.Большакова -Днепропетровск: ПГАСА. -2007. -с. 154-159.
- 4.Сажнев, Н.П. Особенности производства ячеистого бетона по ударной технологии [Текст]/ Сажнев Н.П., Сажнев Н.Н. // Белорусский строительный рынок. -2006.- № 9-10. - с. 27-29.
5. Увеличение объёмов производства и использования автоклавного газобетона - стратегический курс Украины в строительстве[Текст]: сб.науч.тр. научно-практического семинара «Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве» Вып.2. /под общ. ред. В.И.Большакова -Днепропетровск: ПГАСА. -2005. -с. 13-27.
6. О производстве и применении изделий из ячеистого бетона в Украине. [Текст]: сб.науч.тр. научно-практического семинара «Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве» Вып.1. /под общ.ред. В.И.Большакова -Днепропетровск: ПГАСА. -2005. -с. 32-38.
7. Производство и использование мелкоштучных изделий из ячеистого газобетона в Приднепровском регионе Украины [Текст]: сб.науч.тр. научно-практического семинара «Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве» Вып.1. /под общ.ред. В.И.Большакова -Днепропетровск: ПГАСА. -2005. -с. 38-46.