

В.В. Зиновкин, Э.М. Кулинич

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫМ ДОЗИРОВАНИЕМ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОБЕТОНА

Аннотация. Предложены математическая и компьютерная модели системы автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием многопараметрического процесса приготовления газобетона. Проведено моделирование двухкомпонентного процесса дозирования сухих составляющих газобетона.

Ключевые слова. Газобетон, двухкомпонентное дозирование, математическая модель, компьютерная модель.

Введение

Технологические линии производства газобетонов, как объект автоматизированного управления, являются многомерным, стохастическим, с линейными и нелинейными взаимосвязями между параметрами различной физической природы. Для повышения эффективности работы такой линии используется интегральный критерий оптимальности системы автоматизированного управления. Его сущность состоит в том, что управление осуществляется по трем обобщённым параметрам. Каждый такой параметр состоит из совокупности сигналов одноименной физической природы и их соответствующего количества [1,2]. Такой методологический подход использовался в системе многопараметрического автоматизированного управления однокомпонентного дозирования технологической линии приготовления газобетона [3,4]. Для достижения более эффективного управления многокомпонентным технологическим процессом приготовления газобетонов необходимо учитывать не только однокомпонентное дозирование, но и многокомпонентное. Несогласованность между каналами управления процессом дозирования может привести к снижению эффективности техпроцесса, несоблюдению качества выпускаемой продукции и аварийным ситуациям. Поэтому необходимо исследовать влияние различных режимов на динамику процесса дозирования.

Целью настоящей работы является разработка математической

и компьютерной моделей системы автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием многопараметрического процесса приготовления газобетона.

Математическая модель эффективного управления технологическим процессом приготовления газобетона должна удовлетворять условиям оптимального сочетания совокупности параметров, участвующих в управлении этим техпроцессом. При этом обобщенный критерий оптимальности должен удовлетворять следующему интегральному функционалу [2]:

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

где $\zeta(x, t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i(t)$ - совокупность сигналов управления;

$q(\tilde{o}, t) = \sum_{j=1}^M \gamma_j(t)$ - контролируемые параметры;

$\rho(\tilde{o}, t) = \sum_{k=1}^K \chi_k(t)$ - совокупность сигналов состояния исполнительных механизмов;

т.е. \tilde{o} - параметр, зависящий от состояния техпроцесса.

Оптимизационный программно-аналитический поиск наиболее эффективного управления технологической линии приготовления газобетона отыскиваем по трём обобщённым параметрам. Такими обобщёнными параметрами является непосредственно управляющие воздействия на соответствующие исполнительные механизмы, сигналы, характеризующие состояние технологического процесса и оборудования (контролирующие параметры), а также совокупность сигналов от исполнительных механизмов. Эффективность достижения оптимального управления зависит от степени согласованности соответствующих параметров, точностных характеристик датчиков, инерционности электроприводов.

Применительно к решаемой задаче необходимым условием является использование текущей информации о динамике наполнения дозатора сухими компонентами газобетонных смесей. Оценка количест-

ва сухих компонент смеси в дозаторе осуществляется по весовым показателям.

При производстве газобетонов используется способ весового дозирования сухих (известковое вяжущее, гипс и цемент, зола уноса, сухие добавки) компонент газобетонных смесей. Они подаются в дозатор при помощи шнековых питателей. На практике используется процесс либо многокомпонентного дозирования (в один общий дозатор несколько компонент), либо однокомпонентного дозирования (в отдельный дозатор один компонент). На рис.1 показан внешний вид, расположение исполнительных механизмов, а также каналы управления и сбора информации двухкомпонентного дозатора. Для измерения веса используются тензометрические датчики (далее тензодатчики (см. поз.7 на рис.1)). Здесь приняты следующие обозначения основных элементов системы техпроцесса: (1,2)- шнековые питатели; (3,4)- асинхронные электродвигатели; (5)-входные двухпозиционные поворотные заслонки; (6)- емкость дозатора; (7)- тензометрические датчики с узлами встройки; (8)- выходная поворотная заслонка; (9)- программируемый логический контроллер управления (далее ПЛК); (10)- частотный преобразователь; (11)- устройство операторного контроля.

Компоненты дозируются поочередно: например, сначала известковое вяжущее, затем цемент. Каждый компонент дозируется соответствующим шнековым питателем из расходной емкости. Они образуют один канал потока компонентов газобетонной смеси.

Структурно-логическая схема двухкомпонентного дозатора технологического процесса приготовления газобетона показана на рис.2. Она разработана согласно математической модели управления электроприводом однокомпонентного дозатора [4]. На рис.2 приведены уточнённые структурно-логические схемы моделей ПЛК и двухкомпонентного дозатора технологической линии приготовления газобетона. На рис.2 показаны последовательность преобразований физической переменной потока компонентов газобетонной смеси в вес компонентов в дозаторе и суммарного веса дозатора в сигнал обратной связи, который поступает, для дальнейшего анализа, в блок ПЛК.

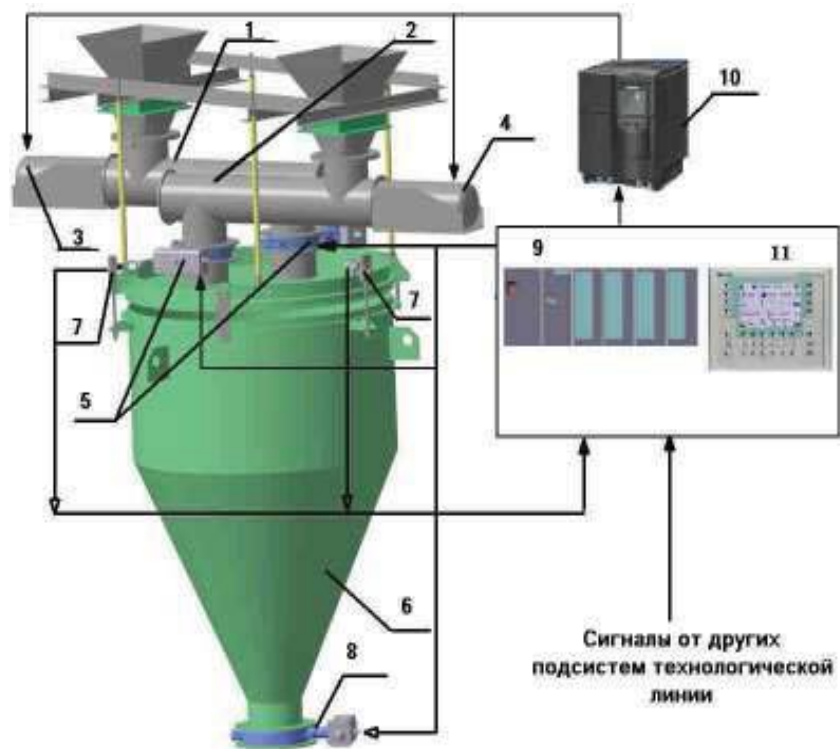


Рис. 1. Общий вид двухкомпонентного дозатора сухих технологической линии приготовления газобетона и взаимосвязей с ПЛК многопараметрической системы управления.

На рис.2 приняты следующие обозначения: «ПЛК»- программируемый логический контроллер осуществляет анализ технологической информации с учетом обратных связей (в частности, сигналов о суммарном весе дозатора) и формирует сигналы оптимального, для данного временного интервала, управления режимами работы исполнительных механизмов.

«ПЧ»- преобразователь частоты описывает функции частотного преобразователя, связанные с влиянием настроек параметров преобразователя частоты на выходной сигнал силовой части этого преобразователя; «Шнеки» - отображают зависимость производительности шнекового питателя от частоты на выходе частотного преобразователя; «Бункера» формируют сигнал потока дозируемого компонента из расходной емкости (бункера) на основании производительности шнекового питателя, состояния двухпозиционной заслонки на выходе технологического расходного бункера и плотности дозируемого компонента; «Дозатор» интегрирует поступающие потоки дозируемых

компонентов и формирует сигнал обратной связи $U_{\text{нн}}(t)$, пропорциональный суммарной массе компонентов в дозаторе.

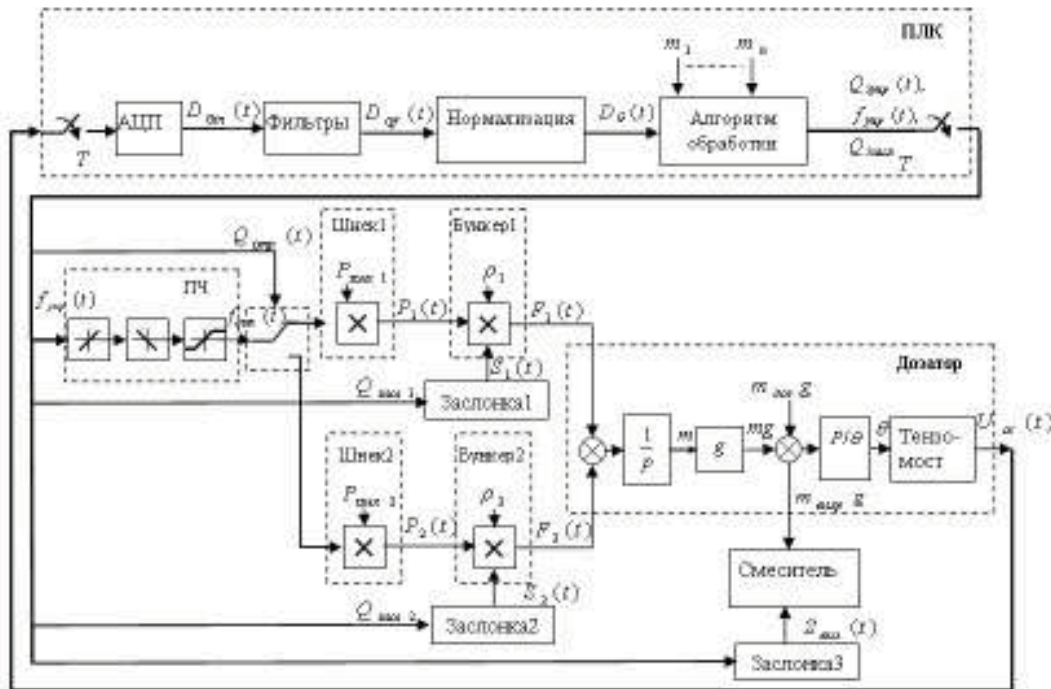


Рис. 2. Структурно-логическая схема математической модели двухкомпонентного дозирования технологической линии приготовления газобетона

В этой схеме учитываются два обобщённых параметра: совокупности управляющих и контролирующих параметров. В блоке ПЛК, анализируется соответствие текущей информации, соответствующей заданию на дозирование компонент m_1, \dots, m_n и значения текущего веса компонентов в дозаторе $D_G(t)$. По оценке рассогласования производится отработка алгоритма оптимального дозирования. При этом учитываются как предписанные значения заданий, так и контролируемые параметры и сигналы исполнительных механизмов. На основании результирующей информации осуществляется анализ состояний блокирующих узлов. В результате отработки текущего программного цикла алгоритма дозирования ПЛК выдаёт сигналы управления на соответствующие исполнительные механизмы. Это аналоговые сигналы $f_{\text{нн}}(t)$, которые поступают на преобразователь частоты и дискретные сигналы для управления контакторами электроприводов шнековых питателей $Q_{i\text{нн}}(t)$, электропневмоклапа-

нами заслонок $Q_{\text{çàñë}}(t)$. Эти сигналы приводят к изменению состояния исполнительных механизмов. Состояние соответствующих шнековых питателей оценивается производительностью $P_i(t)$, а заслонок – площадью открытия $S_i(t)$, характеризующей её пропускную способность. Сигналы обратной связи, характеризующие изменения состояния исполнительных механизмов, входят в совокупность параметров исполнительных механизмов. Изменение состояния исполнительных механизмов приводит к изменению потока компонентов газобетонной смеси $F(t)$, поступающих в дозатор. Он состоит из потока компонентов газобетонной смеси, исходящего только из соответствующей расходной емкости, содержащей компоненты с определённой плотностью.

В блоке «Дозатор» интегрируются сигналы потоков компонент газобетонной смеси.

$$G(t) = G_{\text{âîç}} + \sum_{i=1}^2 \int_{t_1}^{t_2} P_i(t, q) \cdot F_i(t, q) dt - \int_{t_1}^{t_2} F_{\text{âûãð}}(t, q) dt =$$

$$= m_{\text{âîç}} \cdot g + \sum_{i=1}^2 m_i(t) \cdot g - m_{\text{âûãð}} \cdot g,$$
(3)

где q - параметр, характеризующий особенности системы управления, использующихся управляющих и исполнительных устройств и механизмов, i - определяется количеством дозируемых компонентов в один дозатор, $P_i(t)$ - производительность соответствующего шнекового питателя, зависящая от его наибольшей производительности - $P_{i\text{max}}$ и от $f_{\text{âûð}}(t)$ - частоты на выходе преобразователя частоты

$$P_i(t, q) = P_{i\text{max}} \cdot f_{\text{âûð}}(t) \cdot Q_{\text{íóð}}(t),$$
(4)

а $F_i(t, q)$ - поток соответствующего компонента, зависящий от пропускной способности заслонки, пропорциональной площади открытия заслонки - $S(t, q)$ и плотности дозируемого компонента - ρ_i

$$F_i(t, q) = S_i(t, q) \cdot \rho_i \cdot Q_{\text{çàñë}}(t).$$
(5)

Масса компонента в дозаторе m плюс масса пустого дозатора $m_{\text{д}}$ создают усилие P , пропорциональное весу дозатора с компонентами газобетонной смеси $G(t)$. Под воздействием этого усилия происходит деформация $\theta(t)$ механической части системы тензодатчиков.

$$\theta(t) = \alpha \cdot G(t), \quad (6)$$

где α - коэффициент, зависящий от материала и формы тензодатчиков, а также конструкции узла встройки и погрешности сопряжения тензодатчиков и емкости дозатора. Для каждого датчика даётся паспортные данные. Основным параметром тензодатчика является его чувствительность к деформации (растяжению), характеризуемая тензорезистивным коэффициентом GF , который определяется как отношение относительного изменения сопротивления тензодатчика к его относительному удлинению:

$$GF = \frac{\Delta R / R_0}{\theta_0}. \quad (7)$$

Изменение деформации тензодатчиков ведёт к изменению активного сопротивления тензорезисторного моста. При этом изменяется выходное напряжение каждого из тензодатчиков. Тогда из (7) получаем абсолютное изменение сопротивления тензодатчика:

$$\Delta R(t) = R_0 \cdot GF \cdot \theta(t). \quad (8)$$

Тогда при приложенном напряжении питания U_{ex} сигнал на выходе j -го тензодатчика будет равен:

$$U_j(t) = k_{\text{д}} \cdot GF \cdot \theta(t) \cdot U_{ex}, \quad (9)$$

где $k_{\text{д}}$ - зависит от способа организации измерительного моста тензодатчика, j - количество тензодатчиков на дозатор.

Сигналы со всех тензодатчиков дозатора суммируются и усредняются в соединительной коробке с получением результирующего сигнала (для случая 3 датчика на дозатор)

$$U_{\hat{m}}(t) = \frac{\sum_{j=1}^3 U_j(t)}{3}, \quad (10)$$

пропорционального массе в дозатора. Этот сигнал является сигналом обратной связи для ПЛК.

Сигнал обратной связи $U_{\hat{m}}(t)$ заходит в ПЛК через блок аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Выборка АЦП производится частотой с периодом равным периоду T программного цикла опроса ПЛК. На структурной схеме процесс квантования по времени представлен квантователем с периодом T . Далее оцифрованный входной сигнал обратной связи $D_{Gin}(t)$ проходит через систему фильтров. Система фильтрации состоит из двух последовательно соединённых фильтров: фильтра среднего значения с глубиной до 250 измерений и цифрового фильтра (критического демпфирования, фильтр Баттерворта или фильтр Бесселя) с частотой среза f_g от 0,05 до 20 Гц. Блок нормализации приводит отфильтрованное значение веса дозатора $D_{Gf}(t)$ к форме представления значения веса $D_G(t)$, удобной для обработки программой управления в ПЛК.

Компьютерная модель многопараметрической системы дозирования, основанная на математических моделях [1,2], была построена в редакторе Simulink пакета Matlab. При этом работа ПЛК была смулирована в связке пакетов фирмы Siemens: PlcSim, Step-7 и WinCC Flexible. Реализация компьютерной модели дозатора технологической линии приготовления газобетона для дозирования двух компонент, основанная на структурно-логической схеме рис.2, показана на рис.3.

Она построена в редакторе Simulink пакета Matlab. В данной модели описывается изменения потока компонентов газобетонной смеси и контролируемого параметра веса дозатора $G(t)$ в функции управляющих параметров системы управления, определяемых программой управления ПЛК. Работа ПЛК смулирована в связке пакетов фирмы Siemens: PlcSim, Step-7 и WinCC Flexible.

Данная схема позволяет моделировать динамические режимы системы управления и техпроцесса. На ней отработаны режимы при

дозировке последовательно сначала 100 кг известкового вяжущего, а затем 80 кг цемента.

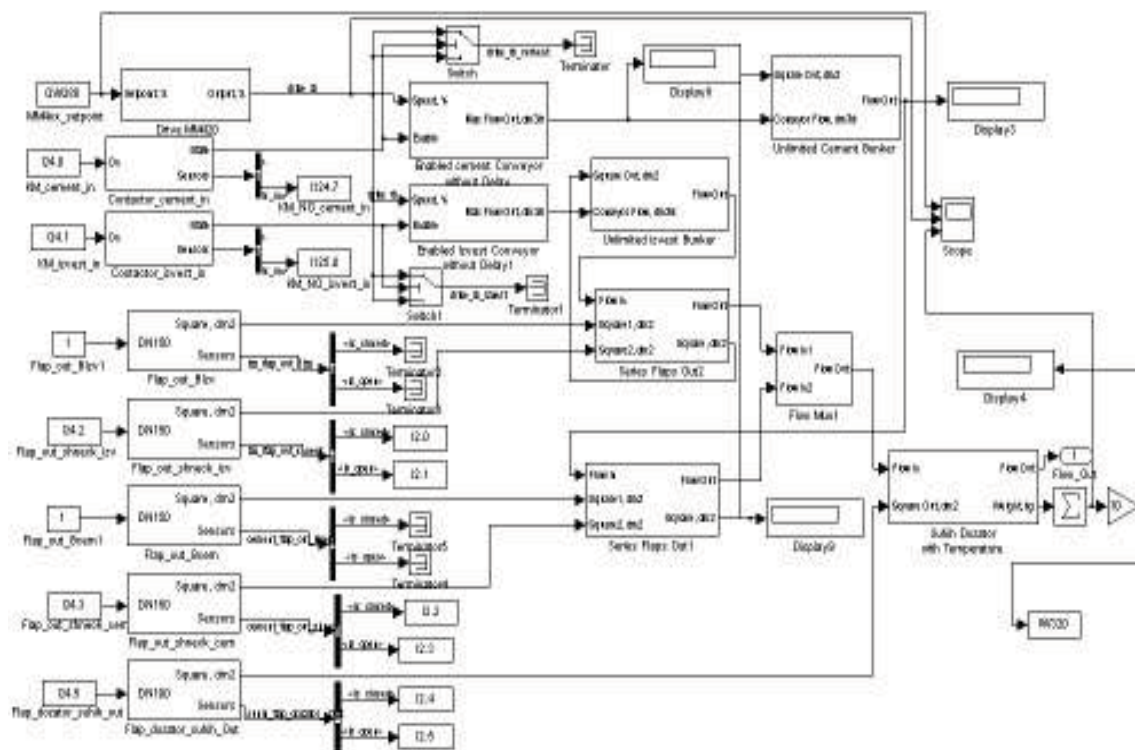


Рис. 3. Структурно-логическая схема компьютерной модели двухкомпонентного дозатора газобетонной смеси технологической линии приготовления газобетона

Результаты моделирования показаны на рис.4, где а) $f_{\text{oi}\delta}(t)$ - сигнал управления от контроллера с выхода ЦАП (цифро-аналоговый преобразователь) через аналоговый вход преобразователя частоты (на рис.3 этот сигнал подается с входа контроллера QW288); б) $f_{\text{au}\delta}(t)$ - сигнал управления электроприводами шнеков, подаваемый через контактор с входа частотного преобразователя; г) $G(t)$ - текущее значение веса дозатора (на рис.3 этот сигнал подается на вход контроллера IW320).

Сигнал $G(t)$ представляет собой результат симуляции суммарного сигнала тензодатчика в блоке Дозатор, квантователя, АЦП, фильтров и нормализации в блоке ПЛК, показанных на структурной схеме на рис.2. В процессе моделирования, путем изменения сигналов управления ПЛК, осуществлялось грубое и точное регулирование дозирования компонент.

Сопоставительный анализ результатов исследований показал, что при изменении режимов дозирования выходная частота ПЧ находится в границах нормированных параметров. При этом весовые показатели сухих компонент в дозаторе изменяются с задержкой до 0,5с относительно подачи $f_{oi\ddot{o}}(t)$. Частота выходного сигнала ПЧ (рис.4.б) возрастает до заданного значения значительно быстрее по сравнению с изменением весового показателя (рис.4в). Это поясняется инерционностью управляющих устройств и исполнительных механизмов, а также особенностями протекания техпроцесса. После стабилизации электрических режимов электропривода процесс заполнения дозатора сухими компонентами смеси газобетона возрастает по линейному закону до момента наполнения. После отключения электродвигателей в течение приблизительно 1с имеет место стабилизация веса дозатора, сопровождаемая некоторым перерегулированием значения веса, которое стабилизируется на меньшем значении. Это соответствует реальной картине набора, т.к. по окончании набора еще действует кинетическая энергия падающего в дозатор компонента смеси. Кроме того плотность цемента выше плотности известкового вяжущего, поэтому эти перерегулирования более выражены на этапе дозирования цемента. Эти перерегулирования носят систематический характер и зависят от плотности материалов, высоты падения и равномерности потока дозируемого материала. Снижение влияния перерегулирования на точность дозирования производится программным путём с помощью введения самонастраивающейся системы коррекции упреждения работы исполнительных механизмов. Работа этой системы также промоделирована в этой работе. Как видно на рис.4в, промоделированная система дозирования обеспечила отработку задания (набор 100 кг известкового вяжущего, а затем 80 кг цемента) с точностью до 1%. Приведённые результаты согласуются с экспериментальными данными с достаточной для инженерных задач точностью.

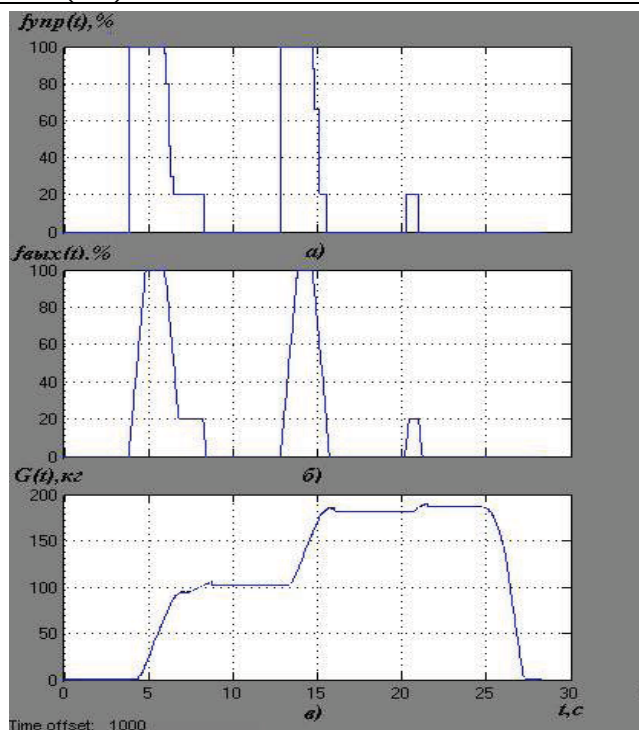


Рис.4 Результаты моделирования динамических режимов дозатора

Выводы

1. Разработаны математическая и компьютерная модели автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием составляющих газобетонных смесей многопараметрической технологической линии приготовления газобетона.

2. Двухкомпонентный процесс дозирования известкового вяжущего и цемента, смоделированный в среде Simulink пакета Matlab совместно с симуляцией работы системы управления на базе ПЛК в связке пакетов фирмы Siemens: PlcSim, Step-7 и WinCC Flexible, показал принципиальную возможность и пути повышения эффективности технологической линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зиновкин В.В. Многопараметрическая система автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона / Зиновкин В.В., Кулинич Э.М. // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2009.- №3/3(39).- С. 38-43.
2. Зиновкин В. В. Многокритериальная автоматизированная система управления технологическим процессом приготовления газобетона / В. В. Зиновкин , Э. М. Кулинич // ISDMCI-2009 : міжнар. конф., 19-22 травня 2009 р. : тези докл. - Євпаторія, 2009. - Т. 2. - С. 608-611.
3. Зиновкин В. В. Моделирование процесса утилизации отходов в технологии производства газобетона / В. В. Зиновкин , Э.М. Кулинич // Стратегія якості у промисловості і освіті : міжнар. конф., 6-13 червня 2009р.: тези докл. - Варна, Болгарія, 2009. - Т. 2. - С. 176-179.
4. Зиновкин В.В. Моделирование автоматизированного электропривода дозатора технологической линии приготовления газобетона / Зиновкин В.В., Кулинич Э.М. // Електротехніка та електроенергетика.- 2009. - №2.- С. 49-53.