

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ****Висновок**

Синтезована передатна функція регулятора повного та пониженого порядків $Kr(s)$ за критерієм H_∞ . Результати моделювання підтвердили ефективність функціонування системи для номінального та внутрішньо збуреного об'єкта. Отже, в результаті впровадження синтезованої системи очікується покращення якості продукту та зменшення витрат енергоносіїв.

Література

1. Francis B.A. A course in H_∞ control theory. - Berlin: Springer-Verlag, 1987. - (Lecture Notes in Control and Information Sciences; Vol. 88);
2. Chiang, R.Y., and M.G. Safonov. H_∞ synthesis using a bilinear pole-shifting transform. AIAA J. Guidance, Control and Dynamics, 15(5):1111-1115, September-October 1992.;
3. Doyle, J.C., K. Glover, P. Khargonekar, and B. Francis, "State-space solutions to standard H_2 and H_∞ control problems," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 34, no. 8, pp. 831-847, August 1989.;
4. Поляк, Б. Т. Управление линейными системами при внешних возмущениях: Техника линейных матричных неравенств / Б. Т. Поляк, М. В. Хлебников, П. С. Щербаков. - М.: ЛЕНАНД, 2014. - 560 с.;
5. Le, V.X., and M.G. Safonov. Rational matrix GCD's and the design of squaring-down compensators - a state space theory. IEEE Trans. Autom.Control, AC-36(3):384-392, March 1992.

References

1. Francis B.A. A course in H_∞ control theory. - Berlin: Springer-Verlag, 1987. - (Lecture Notes in Control and Information Sciences; Vol. 88).;
2. Chiang, R.Y., and M.G. Safonov. H_∞ synthesis using a bilinear pole-shifting transform. AIAA J. Guidance, Control and Dynamics, 15(5):1111-1115, September-October 1992.;
3. Doyle, J.C., K. Glover, P. Khargonekar, and B. Francis, "State-space solutions to standard H_2 and H_∞ control problems," IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 34, no. 8, pp. 831-847, August 1989.;
4. Polyak, B. T. Upravlenye lynejnimoj systemamoj pry vneshnyh vozmushhenyayah: Tehnyka lynejnih matry`chnih neravenstv / B. T. Polyak, M. V. Xlebnykov, P. S. Shherbakov. - M.: LENAND, 2014. - 560 s.;
5. Le, V.X., and M.G. Safonov. Rational matrix GCD's and the design of squaring-down compensators - a state space theory. IEEE Trans. Autom.Control, AC-36(3):384-392, March 1992.

УДК 681.513.7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ГАЗОБЕТОНА

Кулинич Э.М.

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

E-mail: kulinich.eduard@mail.ru, kulinich@zntu.edu.ua

Copyright © 2014 by author and the journal "Automation technological and business - processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

DOI: 10.15673/2312-3125. 21/

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ****Аннотация**

Предложена уточненная математическая модель системы автоматизированного управления процессом утилизации технологических отходов приготовления газобетона. Основными моделируемыми процессами являются процессы дозирования компонентов возвратного шлама (отходов калибровки массивов газобетона и жидких компонентов: воды обмыва и чистой воды). Модель выполнена в виде структурных схем и позволяет с достаточной степенью точности учитывать динамику протекания технологического процесса в сочетании со временем срабатывания соответствующих исполнительных механизмов и градиентом динамики загрузки технологической линии. При разработке модели были учтены особенности работы исполнительных механизмов (заслонок, конвейера отходов порезки, шибера перенаправления потоков), динамика потоков дозируемых компонентов, зависимости динамики поступления компонентов возвратного шлама в дозатор-смеситель от геометрии бункеров дозатора-смесителя, зависимости сигналов обратной связи от усилий, создаваемых потоком компонентов и свойства датчиков веса. Уточненные зависимости модели дают возможность точнее оценивать вес набора компонентов в бункере дозатора-смесителя, скорость истечения компонентов и плотности возвратного шлама. Разработанная модель позволит повысить адекватность компьютерной модели и улучшить качество автоматизированного управления данного технологического процесса. Это обеспечит поддержание минимального колебания уровня возвратного шлама в расходной емкости во время дозирования компонентов газобетонной смеси при плотности в пределах заданной точности. На основе математической и компьютерной моделей разрабатывается комплекс компьютерного моделирования АСУ ТП в сочетании с эмуляцией взаимодействия управляющий контроллер – система визуализации и симуляцией технологического процесса.

Abstract

In paper the refined mathematical model of the automated control system of process utilization of technological waste of aircrete preparation is offered. The main modelled processes are processes of dosing of components of return shlam (waste of calibration of arrays of a aircrete and liquid components: drying waters and clear water). A model is executed as flow diagrams and allows with the sufficient degree of exactness to take into account the dynamics of flowing of technological process in combination with time of wearing-out of corresponding executive mechanisms and gradient of dynamics of loading of technological line. When developing this model, features of the actuators (flaps, conveyer of wastes of cutting, shiber of redirecting of flows), dependencies of flow dynamics of weighed components of return shlam from the dosator-mixer hopper geometry, the dependencies feedback signal from the effort, which generated by the flow properties of the components and weight sensors were taken into account. Refined based models allow us to more accurately assess the weight of the components recruited in the dosator-mixer hopper and the exhaust velocity components and return shlam's density. The developed model will improve the adequacy of the computer model and improve the quality of automated control of the process. It guarantees maintenance of minimum fluctuation of level of return shlam in a supply tank during the dosage of components of aircrete mixture at a density within the limits of the given accuracy. On the basis of mathematical and computer models developed complex computer simulation of ACS in combination with emulation interaction programmable logic controller - system visualization and simulation process.

Ключевые слова:

Математическое моделирование, утилизация технологических отходов, автоматизированная система управления, газобетон

Введение

При производстве газобетонных изделий образуется до 12% технологических отходов. Для повышения эффективности технологической линии (ТЛ) производства газобетона эти отходы необходимо максимально утилизировать и повторно использовать. Процесс разработки эффективных автоматизированных систем управления подобными технологическими процессами (АСУ ТП) требует создание математической модели, которая с достаточной точностью описывает как работу технологического процесса (ТП) в целом, так и функционирование технологических аппаратов, динамику их исполнительных механизмов (ИМ), потоки дозируемых компонентов, датчиков техпроцесса и т.д.

**1 ПИТАНИЯ ТЕОРИИ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

Особенность моделей, используемых в современных АСУ ТП, заключается в их сложности и большой размерности вектора состояния. Как следствие усложнение описания модели и переход от аналитического описания отдельных аппаратов к построению моделей с использованием современных сред и систем проектирования. В этом случае открывается возможность получения компактного представления математической модели всей системы в виде схемы набора моделей и электронного варианта модели. Естественно сохраняется модель динамики технологического аппарата, но как описание элемента модели. Наличие такой математической модели дает возможность выбрать структуру, способы управления и уточнить параметры системы управления.

На основании математической модели строят компьютерную модель АСУ ТП. Это позволяет промоделировать и отладить работу АСУ ТП на этапах проектирования. На основании результатов компьютерного моделирования делается вывод об обоснованности выбранного алгоритма управления, принимается решение о продолжении разработки данного варианта, либо о переходе на другие методы или алгоритмы управления. При дальнейшей разработке производятся работы с компьютерной моделью для отладки прикладного программного обеспечения (ППО) программируемых логических контроллеров (ПЛК) путем совместной симуляции взаимодействия управляющий контроллер – система визуализации – технологический процесс [1, 2]. Такой комплекс моделирования АСУ ТП позволяет построить эффективный компьютерный тренажер ТП, который дает возможность обучать персонал работе на АСУ ТП с моделированием реальных производственных ситуаций без риска повреждения оборудования и потери материала.

Целью данной статьи является разработка уточненной математической модели системы автоматизированного управления процессом утилизации технологических отходов приготовления газобетона (ПГ). При этом необходимо учесть особенности работы ИМ, геометрии бункеров дозаторов, динамики потоков дозируемых компонентов, свойства датчиков техпроцесса.

Материал и результаты исследования

Утилизация отходов порезки позволяет осуществить безотходное производство газобетона и повысить эффективность производства. В процессе утилизации получают жидкий раствор отходов порезки, который повторно используется в ТП как компонент газобетонной смеси. На промышленном предприятии его называют возвратным шламом. В исследуемой в данной работе ТЛ ПГ используется установка утилизации технологических отходов. Ее общий вид и последовательность переработки технологических отходов и установки в целом показаны на рис. 1. Здесь 1, 2- дозаторы-смесители; 3- шибер отходов порезки; 4 – насос подачи воды; 5 – насос выгрузки возвратного шлама; 6, 8 – заслонка набора воды, 7, 9 – заслонки набора промывочной воды; 10, 11- ультразвуковой уровнемер; 12, 13- заслонки выгрузки шлама. Определение плотности возвратного шлама производится путём измерения объёма и массы смесей в дозаторах-смесителях (поз. 1, 2 на рис. 1.) с последующим вычислением плотности. Установка является составной частью подсистемы приготовления возвратного шлама.

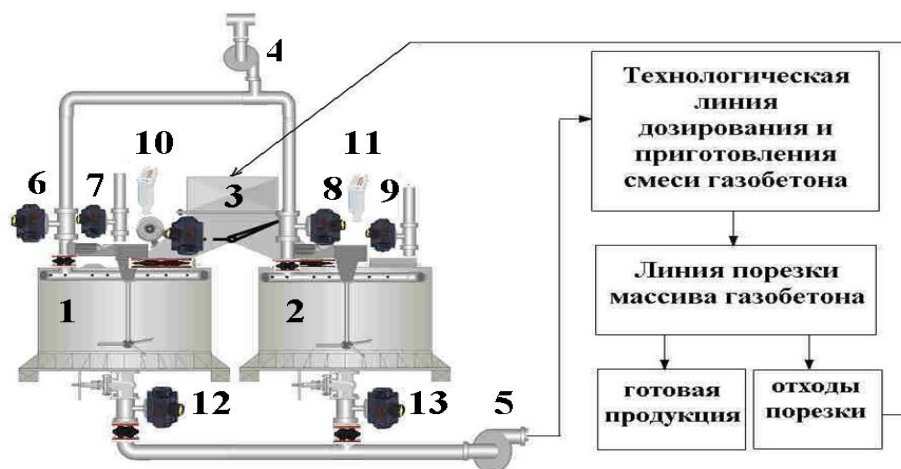


Рис.1 Общий вид установки процесса утилизации технологических отходов и структурная схема технологической линии производства газобетона



1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

Управление ТП использования технологических отходов осуществляется автоматически по разработанной программно-алгоритмической системе. Особенностью этой системы является использование разработанного циклического алгоритма, при помощи которого ТП и работа установки осуществляется в автоматическом режиме. При этом процесс выполняется попеременно в каждом дозаторе-смесителе до получения заданной плотности возвратной смеси.

Процесс приготовления возвратного шлама зависит от оптимального управления и определяет эффективность утилизации отходов порезки и стабильность запаса этого компонента в подсистеме дозирования и повторяемость циклов дозирования. Это, в свою очередь, влияет на эффективность всей линии. Директивное управление обеспечивает поддержание минимального колебания уровня возвратного шлама в расходной емкости во время его дозирования компонентов при плотности в пределах заданной точности.

Для построения математической модели исследуем влияние основных факторов и возможных режимов на динамику процессов дозирования компонентов возвратного шлама [2Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Структурно-логическая схема математической модели многокомпонентного дозирования ТП приготовления возвратного шлама показана на рис.2. Основными элементами этой модели являются узлы электропневмопривода заслонок дозаторов-смесителей, конвейера и технологических емкостей, структурно-логическая модель ПЛК и, непосредственно, многокомпонентные дозаторы-смесители технологической линии приготовления газобетона.

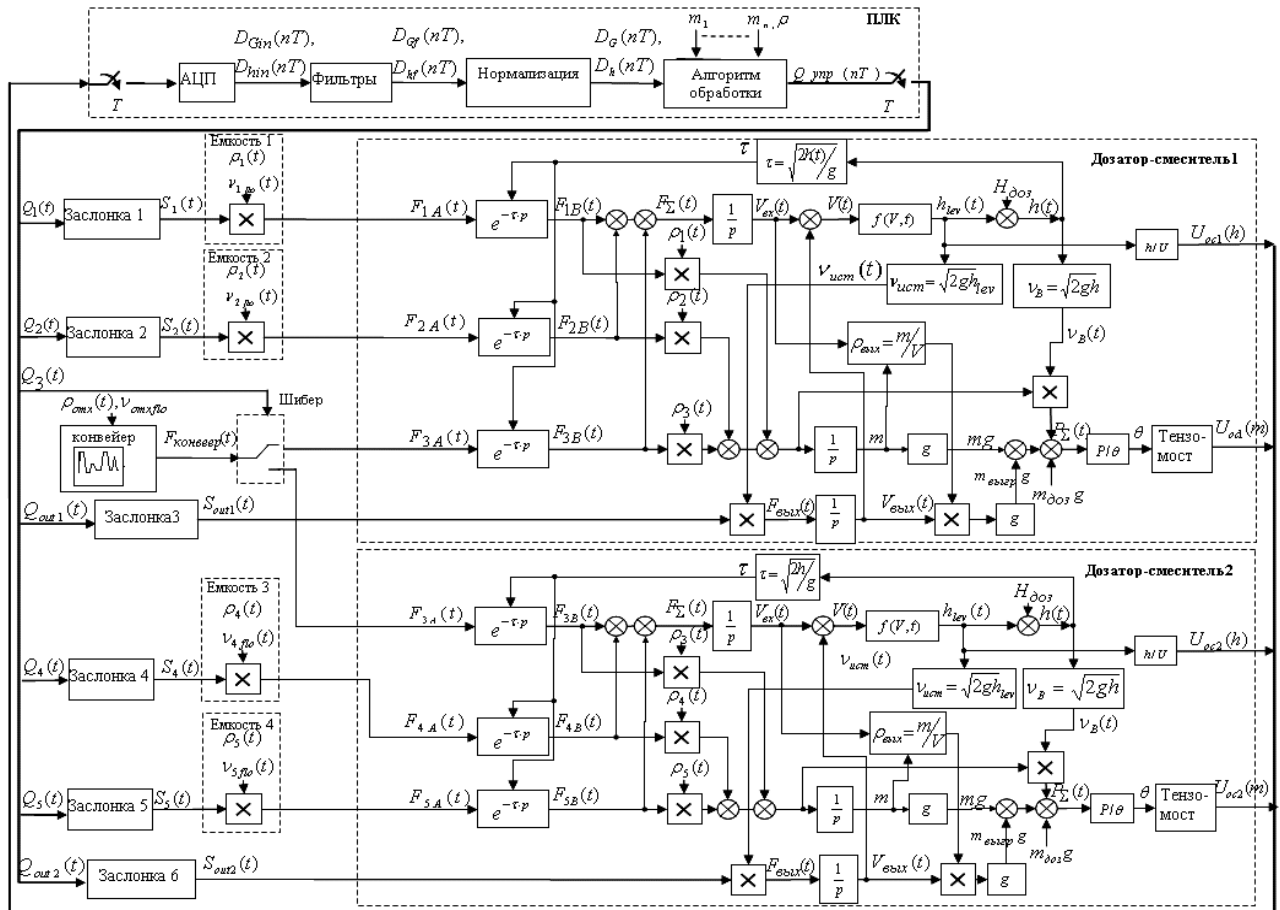


Рис.2 Структурная схема математической модели приготовления возвратного шлама линии приготовления газобетона

Математическая модель основана на том, что поток i -го компонента $F_i(t)$, используемый при приготовлении возвратного шлама, который описывается вектором следующих параметров:

$$F_i(t) = \{F_i(t, q), \rho_i(t), t_i^0\}, \quad (1)$$



1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ

где $F_i(t, q)$ – параметр потока соответствующего компонента, характеризующийся $\rho_i(t)$ – плотностью дозируемого компонента, $v_{flo}(t)$ – скоростью его истечения/прохождения (зависит от вязкости компонента, давления в магистрали и трения) и t_i° – температурой компонента; q – параметр, характеризующий особенности используемых управляющих устройств и ИМ.

Параметры потоков жидких компонентов $F_i(t, q)$, которые в точках А (см. рис.3 тчк. А – выход заслонки) будем обозначать как $F_{1A}(t)$, $F_{2A}(t)$, $F_{4A}(t)$ и $F_{5A}(t)$, зависят от состояния соответствующей выходной заслонки и

$$F_{iA}(t) = F_i(t, q) = \mu_i \cdot S_i(t, q, \alpha_3) \cdot v_{ifloA}(t), \quad (2)$$

находится по следующей формуле:

где μ_i – коэффициент расхода; $v_{ifloA}(t)$ – скорость истечения компонентов из расходной емкости в начальном приближении принята постоянной и равна:

$$v_{ifloA}(t) = \sqrt{\Delta p \cdot \frac{2g}{\rho_i}}, \quad (3)$$

где Δp – перепад давления на выходе заслонки (изменяется в зависимости от уровня компонента в расходной емкости или давления в магистрали); ρ_i – плотность компонента; g – ускорение свободного падения.

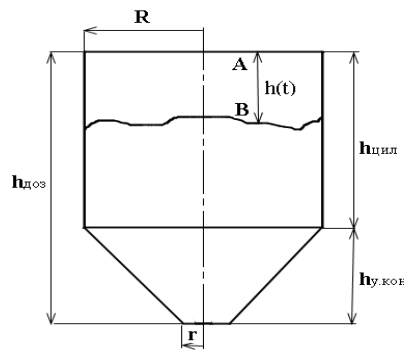


Рис.3 Геометрия бункера дозатора и его загрузка компонентами

В уравнении (2) $S_i(t, q, \alpha_3)$ – площадь открытия заслонки, определяющая ее пропускную способность:

$$S_i(t, q, \alpha_3) = \frac{\pi \cdot D_{3i}^2}{4} \cdot (1 - \cos \alpha_3(t)),$$

$$\alpha_3(t) = \begin{cases} 90 \cdot (1 - e^{-3t/T_{откр i}} - \frac{t}{T_{откр i}} \cdot e^{-3t/T_{откр i}}) & ; \text{если } Q_i(t) = 1; \\ \frac{90}{T_{откр i}} \cdot e^{-t/T_{откр i}} & ; \text{если } Q_i(t) = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $D_i(t, q, \alpha_3)$ есть приведенный диаметр заслонки (шибера), который зависит от D_{3i} – диаметра заслонки (шибера); α_3 – угол открытия заслонки (шибера); $T_{откр i}$ – время ее открытия.

Поток технологических отходов порезки $F_{3A}(t)$ на выходе шибера, в определенные моменты времени, зависит от потока отходов с конвейера линии порезки газобетонных массивов $F_{конвейер}(t, q)$ и ограничивается текущей пропускной способностью шибера. Пропускная способность шибера переключения потока пропорциональна отношению площади открытия шибера $S_3(t, q, \alpha)$ к площади открытого шибера $S_{3_откр}$ и состоянию сигнала управления этого шибера $Q_3(t)$:



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

$$F_{3A}(t) = \begin{cases} F_3(t, q) = S_3(t, q, \alpha) / S_{3_откр} \cdot Q_3(t) \cdot F_{конвейер}(t), & \text{если } S_3(t, q, \alpha) < S_{3_откр}; \\ F_{конвейер}(t), & \text{если } S_3(t, q, \alpha) = S_{3_откр}. \end{cases} \quad (5)$$

Здесь поток технологических отходов порезки $F_{конвейер}(t)$ равен:

$$F_{конвейер}(t) = P_{конвейер}(t) \cdot G_{отх}(t), \quad (6)$$

где $P_{конвейер}(t)$ – производительность конвейера, которая зависит от скорости приводного двигателя; $G_{отх}(t)$ – вес отходов порезки, попадающих на конвейер.

Масса компонентов в дозаторе-смесителе m и масса пустого дозатора-смесителя $m_{доз}$ создают статическое усилие $P_{стат}$, пропорциональное весу дозатора-смесителя с компонентами смеси возвратного шлама $G(t)$. Как показывает практика дозирования, после отключения и закрытия заслонки (остановки конвейера подачи отходов) вес в дозаторе-смесителе еще некоторое время (в течение до 0,5с) увеличивается, а затем стабилизируется на меньшем значении. Это поясняется инерционностью ИМ и временем τ стабилизации падения частиц компонентов от выходного патрубка заслонки питатель (точка А рис.3) до точки падения (точка В рис.3), а также динамическим воздействием $P_{дин}$ падающих компонентов на емкость дозатора в течении времени дозирования [6]. Для получения информации о текущем весе компонентов в блоке «Дозатор» интегрируются соответствующие сигналы их потоков в точке падения В – $F_{iB}(t)$. В этом случае этот поток $F_{iB}(t)$ определяется выражением:

$$F_{iB}(t) = F_{iA}(t - \tau). \quad (7)$$

При этом общий их вес определяется по статическому усилию $P_{стат}$ с учетом выгруженных компонентов и веса дозатора:

$$\begin{aligned} P_{стат}(t) = G(t) = G_{доз} + g \cdot \left(\sum_{i=1}^3 \int_{t_1}^{t_2} F_{iB}(t) \cdot \rho_i(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} F_{выгр}(t) \cdot \rho_{выгр} dt \right) = \\ = m_{доз} \cdot g + m \cdot g - m_{выгр} \cdot g = m_{доз} \cdot g + g \cdot \left(\sum_{i=1}^3 m_i(t) - m_{выгр} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Для разработки модели анализа динамики поступления компонентов газобетонной смеси в бункер дозатора учитываем время падения частиц компонентов τ от выходного патрубка заслонки питателя (точка А) до точки падения (точка В). Это позволяет оценить динамическое воздействие $P_{дин}$ падающих компонентов в течении времени дозирования. Чтобы найти $P_{дин}(t)$ скорость падения частиц набираемого компонента v_B определяется по высоте падения частиц компонентов $h(t)$ и времени падения частиц компонентов τ . Для этого воспользуемся геометрическими размерами и формой реального дозатора, которые приведены на рис. 3.

Обычно объем бункера дозатора состоит из объема его цилиндрической и конической (усеченный конус) части, но дозатор-смеситель почти не имеет конической части, поэтому его объем равен:

$$V_{доз} = V_{цил} + V_{кон} = \pi \cdot R^2 \cdot h_{цил} + \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h_{кон} \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) \approx \pi \cdot R^2 \cdot h_{цил}. \quad (9)$$

В блоке «Дозатор-смеситель» суммируются сигналы потоков в точке В (7) поступающих компонентов с получением суммарного потока набираемых компонентов:

$$F_{\Sigma}(t) = \sum_1^3 F_{iB}(t), \quad (10)$$

затем интегрируем суммарный поток набираемых компонентов и поток выгружаемой смеси $F_{вых}(t)$. В результате получаем объем набираемых компонентов $V_{вх}(t)$ и объем выгружаемой смеси $V_{вых}(t)$. Отсюда получаем текущий объем компонентов в дозаторе-смесителе:



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

$$V(t) = \int_{t_1}^{t_2} F_{\Sigma}(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} F_{\text{вих}}(t) dt = V_{\text{вх}}(t) - V_{\text{вих}}(t). \quad (11)$$

Для получения массы компонентов в дозаторе интегрируем сумму объемы компонентов умноженных на их плотность:

$$m = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^3 F_{iB}(t) \cdot \rho_i dt. \quad (12)$$

Высота падения частиц компонента будет равна:

$$h(t) = \frac{V_{\text{доз}} - V(t)}{\pi \cdot R^2}. \quad (13)$$

Для отходов порезки, подаваемых конвейером, начальная вертикальная скорость частиц будет нулевой, тогда время падения, определяется по формуле:

$$\tau = \sqrt{\frac{2h(t)}{g}}. \quad (14)$$

Скорость падающих компонентов (технологических отходов порезки) в точке касания с поверхностью уже поступивших в дозатор определяется формулой:

$$v_B = \tau g = \sqrt{2g h(t)}. \quad (15)$$

При падении потока жидкого компонента (вода обмыва, чистая вода), исходя из условия сохранения энергии и учитывая скорость в точке А (3), его скорость в момент касания поверхности (точка В) определяется по следующей формуле:

$$v_{iB}(t) = \sqrt{v_{iAoA}^2(t) + 2gh(t)}, \quad (16)$$

тогда время падения, определяется по формуле:

$$\tau = \frac{\sqrt{v_{iAoA}^2(t) + 2gh(t)} - v_{iAoA}}{g}. \quad (17)$$

При абсолютно неупругом соударении (скорость после взаимодействия равна нулю) динамическая сила воздействия падающего материала определяется по следующей формуле:

$$P_{\text{дин}}(t) = F_{iB}(t) \cdot \rho_i \cdot v_{iB}. \quad (18)$$

Очевидно, что сила воздействия на тензометрический датчик с учетом падающего i -го компонента будет определяться выражением:

$$P_{\Sigma}(t) = P_{\text{стат}}(t) + P_{\text{дин}}(t). \quad (19)$$

Под воздействием усилия $P_{\Sigma}(t)$ происходит деформация $\Theta(t)$ механической части системы тензодатчиков.

$$\Theta(t) = \alpha_T \cdot G(t), \quad (20)$$

где α_T – коэффициент, зависящий от материала и формы тензометрических датчиков, а также конструкции узластройки и погрешности сопряжения тензометрических датчиков и емкости дозатора.

Для каждого датчика используются паспортные данные. Основным параметром тензометрических датчиков является их чувствительность к деформации (растяжению). Она характеризуется тензорезистивным коэффициентом GF , численное значение которого определяется как:



**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО
УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

$$GF = \frac{\Delta R/R_0}{\Theta_0}, \quad (21)$$

где $\Delta R/R_0$ – отношение относительного изменения сопротивления тензометрического датчика к его относительному удлинению – Θ_0 .

Изменение деформации тензодатчиков приводит к изменению активного сопротивления тензорезисторного моста. При этом изменяется выходное напряжение каждого из тензометрических датчиков. Абсолютное изменение сопротивления тензометрического датчика в зависимости от изменяющихся показателей:

$$\Delta R(t) = R_0 \cdot GF \cdot \Theta(t). \quad (22)$$

При приложенном напряжении питания U_{ex} сигнал на выходе j -го тензометрического датчика будет равен:

$$U_j(t) = k_T \cdot GF \cdot \Theta(t) \cdot U_{ex}, \quad (23)$$

где k_T – зависит от способа организации измерительного моста тензометрического датчика, j – количество тензометрических датчиков на дозатор.

Сигналы со всех тензометрических датчиков дозатора суммируются и усредняются (в соединительной коробке). При наличии трех тензометрических систем усредненный результирующий сигнал о степени загрузки дозатора равен:

$$U_{oc}(t) = \frac{\sum_{j=1}^3 U_j(t)}{3}. \quad (24)$$

Этот сигнал, который на структурной схеме (рис. 1) обозначен как $U_{oci}(m)$, используется в качестве обратной связи для ПЛК.

Сигнал обратной связи $U_{oc}(t)$ поступает в ПЛК через блок аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Выборка АЦП производится частотой с периодом равным периоду T программного цикла опроса ПЛК. На структурной схеме (рис. 2) этот процесс выполняется в квантователе с периодом T . Далее оцифрованный входной сигнал обратной связи $D_{Gin}(nT)$ поступает на систему фильтров. Система фильтрации состоит из двух последовательно соединённых фильтров: фильтра среднего значения с глубиной выборки до 250 измерений и цифрового фильтра (по выбору: 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 $D_{Gf}(nT)$ к форме представления значения веса $D_G(nT)$, удобной для обработки программой управления в ПЛК. С учетом (19) – (24), а также конечного времени преобразования сигнала в аналоговом тракте ПЛК сигнал обратной связи по весу представим следующим выражением:

$$U_{oc}(t) = K_{oc} P_{\Sigma} - T_1 \frac{dU_{oc}}{dt}, \quad (25)$$

где K_{oc} – коэффициент обратной связи, учитывающий параметры датчика и тензоусилителя; T_1 – постоянная времени фильтра весоизмерительной части системы.

По геометрическим данным емкостей дозаторов-смесителей и вычисленному объему компонентов в дозаторе-смесителе согласно (9) – (13) определяется динамически уровень заполнения дозатора-смесителя $h_{lev}(t) = f(V, t)$.

Сигнал обратной связи по уровню вычисляется по формуле, описывающей работу ультразвукового датчика уровня:

$$U_{oci}(h) = \frac{U_{span} \cdot h_{lev}(t)}{h_{span}}, \quad (26)$$

где U_{span} – диапазон изменения выходного напряжения датчика при заданном при параметризации диапазоне изменения уровня h_{span} . Для датчика уровня дозатора-смесителя $U_{span} = 10V$ при $h_{span} = 1,6м$; $h_{lev}(t)$ – уровень набранных компонентов в дозаторе:

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

$$h_{levj}(t) = H_{доз} - h(t), \quad (2.56)$$

где $H_{доз}$ – высота бункера дозатора.

Сигналы $U_{oci}(m)$ и $U_{oci}(h)$ поступают на вход блока аналогового ввода ПЛК, где квантуются по времени цикла ПЛК с получением 16-ти разрядных цифровых значений $D_{Gin}(nT)$ и $D_{hin}(nT)$. После цифровой обработки сигналов: фильтрации и нормализации получают параметры веса $D_G(nT)$ и уровня $D_h(nT)$ компонентов смеси в дозаторах-смесителях. По определяемым значениям веса и объема смеси в дозаторе находим ее плотность:

$$\rho(t) = \frac{m}{V(t)}. \quad (27)$$

Выводы

Разработана уточненная математическая модель системы автоматизированного управления дозированием и приготовлением возвратного шлама, являющегося одним из наиболее сложных и ответственных процессов. Модель выполнена в виде структурных схем и позволяет с достаточной степенью наглядности и точности учитывать динамику протекания технологического процесса в сочетании со временем срабатывания соответствующих исполнительных механизмов и градиентом динамики загрузки технологической линии. Также при разработке были учтены особенности работы ИМ (заслонок, конвейера отходов порезки, шибера перенаправления отходов), зависимости динамики поступления компонентов газобетонной смеси в дозатор от геометрии бункеров дозатора, динамики потоков дозируемых компонентов, зависимости сигнала обратной связи от усилий, создаваемых потоком компонентов, а также свойства датчиков веса и уровня. Уточненные зависимости модели позволяют оценивать вес, объем и плотность набираемых компонентов в бункере дозатора-смесителя и скорости компонентов не только в статике, но и в динамике. Разработанная модель позволит улучшить компьютерную модель данного технологического процесса, на основе которой строится комплекс совместного компьютерного моделирования взаимодействия управляющий контроллер – система визуализации – технологический процесс.

Литература

1. Кулинич Э.М. Метод моделирования и визуализации многопараметрической системы управления технологическим процессом приготовления газобетона / Э.М. Кулинич, В.В. Зиновкин, С.Е. Шаповалов // Электротехника та електроенергетика. – 2010. – № 2. – С. 56–61.;
2. Кулинич Э.М. Методологические основы моделирования системы управления технологическим процессом производства газобетона / Э.М. Кулинич, С.Е. Шаповалов // Стратегія якості у промисловості і освіті : міжнар. конф., 4–11 червня 2010р.: тези докл. – Варна, Болгарія, 2010. – Т. 1(2). – С. 231–234. ;
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. Кулинич Э.М. Моделирование оптимального управления многопараметрическим технологическим процессом приготовления газобетона / Э.М. Кулинич, В.О. Мирный, Ю.Н. Умеров, руковод. В.В. Зиновкин // «Компьютерные технологии и информационные системы в электротехнике» : Всероссийский конкурс научных работ студентов, магистрантов и аспирантов (Тольятти, 29 ноября 2011 года): сборник материалов. – Тольятти: ТГУ, 2011. – С. 37-46.;
5. Кулинич Э.М. Моделирование процесса приготовления возвратного шлама из технологических отходов производства газобетона / Э.М. Кулинич // Проблемы информационных технологий. – 2012. – №2 (012). – С.62-66.;
6. Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование жидкостей / Ю.Д. Видинеев – М.: Энергия, 1967 – 109 с.;
7. Бондаренко В.И. Определение передаточной характеристики вибропитателя в системе дискретного весового дозирования / В.И. Бондаренко, В.В. Осадчий, А.В. Пирожок // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – Вип. 30. – С. 379-380.;
8. Видинеев Ю.Д. Автоматическое непрерывное дозирование сыпучих материалов / Ю.Д. Видинеев. – М.: 1974. – 120 с.;
9. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков – М.: Машгиз, 1964. – 215 с.;

**1 ПИТАННЯ ТЕОРІЇ, МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ЕФЕКТИВНОГО АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТИПУ**

10. Катыльмов А.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов: учебник / А.В. Катыльмов, В.А. Любартович. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.;
11. Зенков Р.Л. Бункерные устройства / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.;
12. Осадчий В.В. Уточнение взаимосвязей и параметров электромеханической системы дозирования вибрационного типа / В.В. Осадчий // Материалы IX международной научно-технической конференции «Электромеханические системы, методы моделирования и оптимизации» КГПУ. 15-17 мая 2007 г. – Вып.4 (45), Част. 2. – С. 19-21.

References

1. Kulinich Je.M. Metod modelirovanija i vizua-lizacii mnogoparametricheskoj sistemy upravlenija tehnologicheskim processom pri-gotovlenija gazobetona / Je.M. Kulinich, V.V. Zinovkin, S.E. Shapovalov // Elektrotehnika ta elektroenergetika. – 2010. – № 2. – S. 56–61.;
2. Kulinich Je.M. Metodologicheskie osnovy modelirovanija sistemy upravlenija tehnologicheskim processom proizvodstva gazobetona / Je.M. Kulinich, S.E. Shapovalov // Strategija jakosti u promislovosti i osviti : mizhnar. konf., 4–11 chervnja 2010r.: tezi dokl. – Varna, Bolgarija, 2010. – T. 1(2). – S. 231–234.;
3. Zinovkin, V.V. Modelirovanie processa utilizacii othodov v tehnologii proizvodstva gazobetona / V.V. Zinovkin, Je.M. Kulinich // Strategija jakosti u promislovosti i osviti : mizhnar. konf., 6–13 chervnja 2009r. : tezi dokl. – Varna, Bolgarija, 2009. – T. 2. – S. 176 – 179.;
4. Kulinich Je.M. Modelirovanie optimal'nogo upravlenija mnogoparametricheskimi tehnologicheskimi processami pri-gotovlenija gazobetona / Je.M. Kulinich, V.O. Mirnyj, Ju.N. Umerov, rukovod. V.V. Zinovkin // «Komp'juternye tehnologii i informacionnye sistemy v jelektrotehnike» : Vserossijskij konkurs na-uchnyh rabot studentov, magistrantov i aspirantov (Tol'jatti, 29 nojabrja 2011 goda): sbornik materialov. – Tol'jatti: TGU, 2011. – S. 37-46.;
5. Kulinich Je.M. Modelirovanie processa prigotovlenija vozvratnogo shlama iz tehnologicheskix othodov proizvodstva gazobetona / Je.M. Kulinich // Problemy informacionnyh tehnologij. – 2012. – №2 (012). – S.62-66.;
6. Vidineev Ju.D. Avtomaticheskoe nepreryvnoe dozirovanie zhidkostej / Ju.D. Vidineev – M.: Jenergija, 1967 – 109 s.;
7. Bondarenko V.I. Opredelenie peredatochnoj harakteristiki vibropitatelja v sisteme diskretnogo vesovogo dozirovanija / V.I. Bondarenko, V.V. Osadchij, A.V. Pirozhok // Vestnik Nacional'nogo tehničeskogo universiteta «Har'kovskij politehničeskij institut». – Har'kov: NTU «HPI». – 2008. – Vip. 30. – S. 379-380.
8. Vidineev Ju.D. Avtomaticheskoe nepreryvnoe dozirovanie sypuchih materialov / Ju.D. Vidineev. – M.: 1974. – 120 s.;
9. Zenkov R.L. Mehanika nasypnyh грузов / R.L. Zenkov – M.: Mashgiz, 1964. – 215 s.;
10. Katalymov A.V. Dozirovanie sypuchih i vjazkih materialov: uchebnik / A.V. Katalymov, V.A. Ljubartovich. – L.: Himija, 1990. – 240 s.;
11. Zenkov R.L. Bunkernye ustrojstva / R.L. Zenkov, G.P. Grinevich, V.S. Isaev. – M.: Mashinostroenie, 1977. – 223 s.;
12. Osadchij V.V. Utochnenie vzaimosvjazej i parametrov jelektromehaničeskoj sistemy dozirovanija vibracionnogo tipa / V.V. Osadchij // Materialy IX mezhdunarodnoj nauchno-tehničeskoj konferencii «Elektromehaničeskie sistemy, metody modelirovanija i optimizacii» KGPU. 15-17 maja 2007 g. – Vip.4 (45), Chast. 2. – С. 19-21.