

УДК 681.513.7

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОЗИРОВАНИЕМ ЖИДКИХ КОМПОНЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОБЕТОНА

Э. М. Кулинич

Запорожский национальный технический университет,
ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, 69063, Украина. E-mail: kulinich.eduard@mail.ru, kulinich@zntu.edu.ua

Предложена уточненная математическая модель системы автоматизированного управления многокомпонентным дозированием жидких компонентов технологического процесса приготовления газобетона. При разработке модели были учтены особенности работы исполнительных механизмов (двух- и трехпозиционных заслонок), 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 и свойств датчиков веса. Уточненные зависимости модели дают возможность точнее оценивать вес набора компонентов в бункере дозатора и скорость истечения компонентов из расходной емкости. Разработанная модель позволит повысить адекватность компьютерной модели и улучшить качество автоматизированного управления данного технологического процесса. На основе математической и компьютерной моделей разрабатывается комплекс компьютерного моделирования автоматизированных систем управления технологическими процессами в сочетании с эмуляцией взаимодействия управляющий контроллер–система визуализации и симуляцией технологического процесса.

Ключевые слова: математическое моделирование, автоматизированная система управления, газобетон.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ДОЗУВАННЯМ РІДИННИХ КОМПОНЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ГАЗОБЕТОНУ

Е. М. Кулинич

Запорізький національний технічний університет
вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69063, Україна. E-mail: kulinich.eduard@mail.ru, kulinich@zntu.edu.ua

Запропоновано уточнену математичну модель системи автоматизованого керування багатоконпонентним дозуванням рідинних компонентів технологічного процесу приготування газобетону. При розробці моделі були враховані особливості роботи виконавчих механізмів (двох- і трьохпозиційних заслінок), залежності динаміки подачі компонентів газобетонної суміші в дозатор від геометрії бункерів дозатора, динаміки потоків компонентів, що дозуються, залежності сигналу зворотного зв'язку від зусиль, створюваних потоком компонентів і властивостей датчиків ваги. Уточнені залежності моделі дають можливість точніше оцінювати вагу набору компонентів у бункері дозатора й швидкість витікання компонентів із витратної ємності. Розроблена модель дозволить підвищити адекватність комп'ютерної моделі й поліпшити якість автоматизованого керування даного технологічного процесу. На базі математичної й комп'ютерної моделей розробляється комплекс комп'ютерного моделювання автоматизованої системи керування технологічними процесами в поєднанні з емуляцією взаємодії керуючого контролера–системи візуалізації й симуляцією технологічного процесу.

Ключові слова: математичне моделювання, автоматизована система керування, газобетон.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Разработка эффективных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) невозможна без получения математической модели, адекватно описывающей работу технологического процесса (ТП), исполнительных механизмов (ИМ), динамику потоков дозируемых компонентов, режимы оборудования ТП, преобразования сигналов от датчиков техпроцесса и т.д. Наличие достаточно точной математической модели облегчает выбор структуры, метода управления и позволяет установить стартовые параметры системы управления на начальном этапе проектирования. Для проверки правильности выбранного варианта АСУ по математической модели строят компьютерную модель АСУ ТП. Это дает возможность промоделировать и отладить работу АСУ ТП на этапах проектирования. На последующих этапах разработки производятся работы с компьютерной моделью для отладки

прикладного программного обеспечения (ППО) программируемых логических контроллеров (ПЛК) путем совместной работы симуляцией взаимодействия управляющий контроллер–система визуализации–технологический процесс [1–3]. Такой комплекс моделирования АСУ ТП позволяет построить эффективный компьютерный тренажер ТП, который дает возможность обучать персонал работе с моделированием реальных производственных ситуаций с виртуальным оборудованием без риска повреждения оборудования и потери материала.

Целью данной работы является разработка уточненной математической модели системы автоматизированного управления многокомпонентным дозированием жидких компонентов технологического процесса приготовления газобетона (ПГ). При этом необходимо учесть особенности работы ИМ, геометрии бункеров дозаторов, динамики потоков дозируемых компонентов, свойства датчиков веса.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

При получении газобетонной смеси используются жидкие компоненты (горячая и холодная), возвратный и песчаный шлам, а также суспензия алюминиевой пудры, которые дозируются совместно с сухими. Для этого используются три многокомпонентных дозатора жидких компонентов с весовым способом дозирования. Приведем результаты исследований ТП многокомпонентного дозирования жидких компонентов на примере дозатора шламов [4, 5]. В технологической линии (ТЛ) этот дозатор используется для дозирования трёх компонентов: песчаного и возвратного шламов, а также холодной воды. Структурная схема трехкомпонентного дозатора шламов ТЛ ПГ и взаимосвязей между системой управления и ИМ приведена на рис. 1. Здесь приняты следующие обозначения основных элементов системы ТП: 1, 2 и 3 – трёхпозиционные заслонки; 4 – выходная двухпозиционная поворотная заслонка; 5 – бункер дозатора; 6 – тензометрические датчики с узлами встройки; 7 – ПЛК; 8 – устройство операторного контроля.

Компоненты дозируются поочередно: сначала песчаный, затем возвратный шлам, после этого дозируется вода обмыва. Каждый компонент дозируется своей трехпозиционной заслонкой из соответствующей расходной емкости. Они образуют один канал потока компонентов газобетонной смеси. Применительно к решаемой задаче необходимым условием является использование текущей информации о динамике наполнения дозатора компонентами газобетонных смесей.

Эффективное дозирование достигается путем нахождения оптимальных моментов переключений ИМ в соответствующие позиционные состояния. Оценка количества жидких компонентов смеси в дозаторе осуществляется по весовым показателям. Для измерения веса используются тензометрические датчики (поз. 6, рис. 1). Система управления (СУ)

должна обеспечивать минимальное время дозирования компонентов в пределах заданной точности.

Структурно-логическая схема математической модели многокомпонентного дозирования жидких компонентов (на примере дозатора шламов) ТП ПГ показана на рис. 2. Основными элементами этой модели являются узлы электропневмоприводов заслонок дозатора и технологических емкостей, структурно-логическая модель ПЛК и непосредственно многокомпонентный дозатор шлама ТЛ ПГ. Эта математическая модель существенно отличается от дозатора сухих компонентов тем, что здесь в качестве ИМ используются только пневмоприводы, управление которыми осуществляется дискретными сигналами $Q_i(t)$. На рис. 2 показана последовательность преобразований физической переменной потока компонентов газобетонной смеси в вес компонентов в дозаторе и суммарного веса дозатора в сигнал обратной связи $U_{oc}(t)$, который поступает для дальнейшего анализа в блок ПЛК.

В динамическом режиме ТЛ приготовления газобетонных смесей в блоке ПЛК выполняется анализ соответствия текущей информации заданию на дозирование компонентов $m_1..m_n$ и веса компонентов в дозаторе $D_G(nT)$. По оценке контролируемых параметров и степени рассогласования производится корректировка модели управления ТП и отработка алгоритма оптимального дозирования. При этом учитываются как предписанные значения заданий, так и контролируемые параметры и сигналы ИМ.

На основании результирующей информации осуществляется анализ состояний блокирующих узлов и других ИМ.

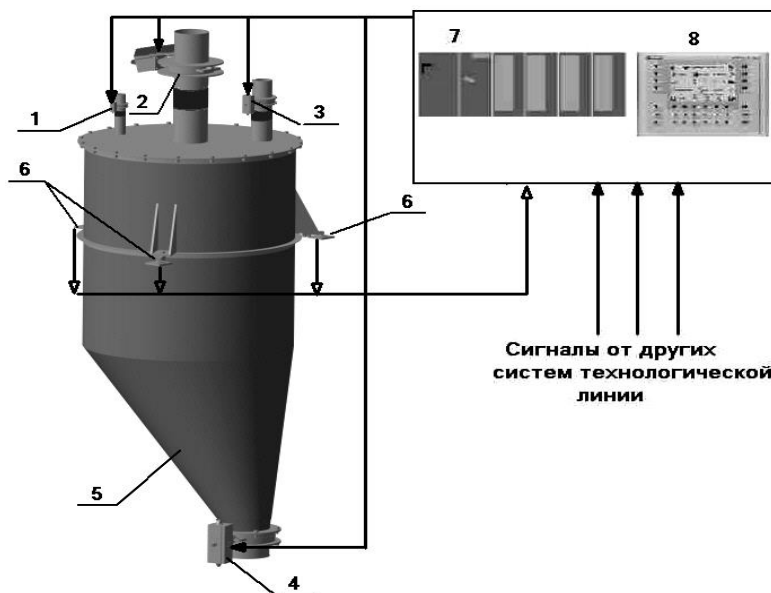


Рисунок 1 – Структурная схема управления трехкомпонентного дозирования жидких компонентов

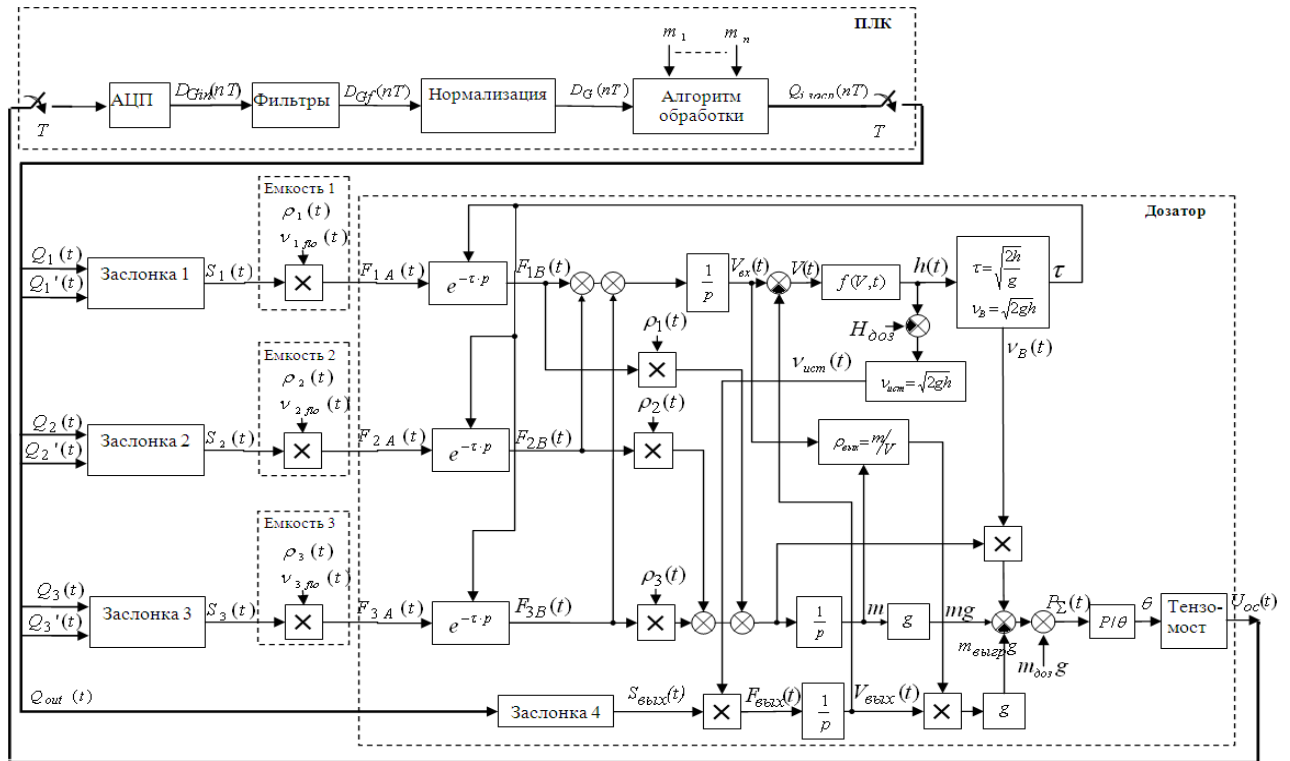


Рисунок 2 – Структурно-логическая схема математической модели дозирования жидких компонентов газобетонной смеси

В результате отработки текущего программного цикла алгоритма дозирования ПЛК выдаёт скорректированный сигнал управления на соответствующие ИМ. Изменение состояния ИМ приводит к изменению потока компонентов газобетонной смеси $F_{iB}(t)$, поступающего в дозатор.

Конечным параметром, характеризующим производительность дозатора ТЛ и СУ, является весовой показатель i -го компонента газобетона:

$$G_i(t) = \int_{t_1}^{t_2} F_{iB}(t, q) \rho_i(t) g dt, \quad (1)$$

который пропорционален i -му потоку – $F_{iB}(t, q)$ и плотности дозируемого компонента $\rho_i(t)$ на интервале времени $[t_1, t_2]$; g – ускорение свободного падения.

При наборе соответствующих компонентов используется трехпозиционная круглая поворотная заслонка. Ее пропускная способность зависит от площади открытия, которая регулируется двумя сигналами $Q_i(t)$ и $Q_i'(t)$ соответственно на открытие заслонки на 90 и 30° , т.е. сигналами управления грубого и точного набора i -го компонента смеси [6]. Эти операции описаны равенствами

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

где $\alpha_3(t)$ – угол открытия заслонки – равен:

$$\alpha_3(t) = \begin{cases} 30 \left(1 - e^{-t/T_{откр i}} - \frac{t}{T_{откр i}} e^{-t/T_{откр i}} \right), & \text{если } Q_i'(t) = 1 \wedge Q_i(t) = 0; \\ \frac{30}{T_{откр i}} e^{-t/T_{откр i}}, & \text{если } Q_i'(t) = 0 \wedge Q_i(t) = 0; \\ 90 \left(1 - e^{-t/T_{откр i}} - \frac{t}{T_{откр i}} e^{-t/T_{откр i}} \right), & \text{если } Q_i(t) = 1; \\ \frac{90}{T_{откр i}} e^{-t/T_{откр i}}, & \text{если } Q_i(t) = 0 \wedge Q_i'(t) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Поток i -го компонента на входе дозатора в точке А (рис. 3, выход из заслонки) определяется параметром потока $F_i(t, q)$ компонентов из расходной емкости:

$$F_{iA}(t) = F_i(t, q) = \mu_i S_i(t, q, \alpha_3) v_{iA}(t), \quad (4)$$

где μ_i – коэффициент расхода; $v_{iA}(t)$ – скорость истечения компонентов из расходной емкости.

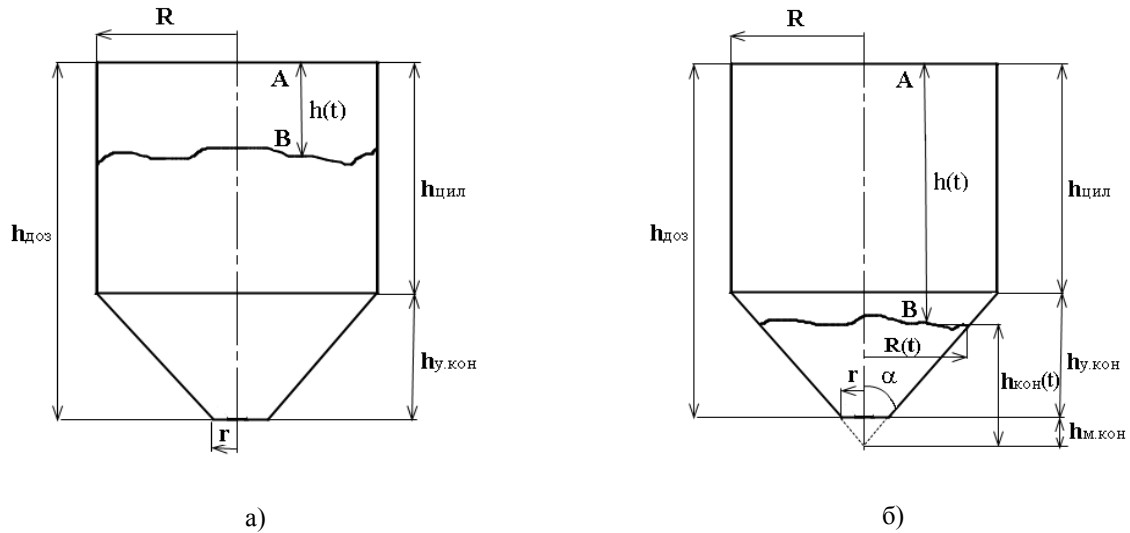


Рисунок 3 – Возможные варианты загрузки компонентами газобетонной смеси:
а) в цилиндрической; б) в конической части дозатора

В начальном приближении она принята постоянной и равна:

$$v_{i\text{лоА}}(t) = \sqrt{\Delta p \frac{2g}{\rho_i}}, \quad (5)$$

где Δp – перепад давления на выходе заслонки (изменяется в зависимости от уровня компонента в расходной емкости); ρ_i – плотность компонента; g – ускорение свободного падения [7].

Однако скорость истечения меняется стохастическим образом из-за изменения перепада давления вследствие колебаний уровня в расходной емкости, неоднородности материалов, погодных условий, набора компонентов в расходные емкости во время дозирования. Поэтому в процессе дозирования требуется идентификация скорости истечения потока компонентов, с учетом этого изменения момента переключения набора (грубо/точно) и стабилизация потока дозируемых компонентов.

Масса компонентов в дозаторе m и масса пустого дозатора $m_{\text{доз}}$ создают статическое усилие $P_{\text{стат}}$, пропорциональное весу дозатора с компонентами газобетонной смеси $G(t)$. Как показывает практика дозирования, после отключения и закрытия заслонки вес в дозаторе еще некоторое время (в течение до 0,5 с) увеличивается, а затем стабилизируется на меньшем значении. Это поясняется инерционностью ИМ и временем τ стабилизации падения частиц компонентов от выходного патрубка заслонки набора (точка А, рис. 3) до точки падения (точка В), а также динамическим воздействием $P_{\text{дин}}$ падающих компонентов на емкость дозатора в течение времени дозирования [8, 9]. Для получения информации о текущем весе компонентов в блоке «Дозатор» интегрируются соответствующие сигналы их потоков в точке падения В. При этом общий их вес определя-

ется по статическому усилию $P_{\text{стат}}$ с учетом выгруженных компонентов и веса дозатора:

$$\begin{aligned} P_{\text{стат}}(t) = G(t) = G_{\text{доз}} + \\ + g \left(\sum_{i=1}^3 \int_{t_1}^{t_2} F_{iB}(t) \rho_i(t) dt - \right. \\ \left. - \int_{t_1}^{t_2} F_{\text{выгр}}(t) \rho_{\text{выгр}} dt \right) = \\ = m_{\text{доз}} g + g \left(\sum_{i=1}^3 m_i(t) - m_{\text{выгр}} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

где $F_{iB}(t)$ – поток дозируемых компонентов в точке В (рис. 3). В этом случае этот поток $F_{iB}(t)$ определяется выражением

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

где, $F_{iA}(t)$ – поток дозируемых компонентов на выходе заслонки питателя (рис. 3, точка А) [8–10].

Для разработки модели анализа динамики поступления компонентов газобетонной смеси в бункер дозатора учитываем время падения частиц компонентов τ от выходного патрубка заслонки набора (рис. 3, точка А) до точки падения (точка В). Это позволяет оценить динамическое воздействие $P_{\text{дин}}$ падающих компонентов в течение времени дозирования. С учетом этого разработана структурная схема модели набора компонента в бункер дозатора, которая приведена на рис. 4 [8–10].

В данной модели необходимо найти $P_{\text{дин}}(t)$. С этой целью скорость падения частиц набираемого компонента v_B определяется по высоте падения частиц компонентов $h(t)$ и времени падения частиц компонентов τ .

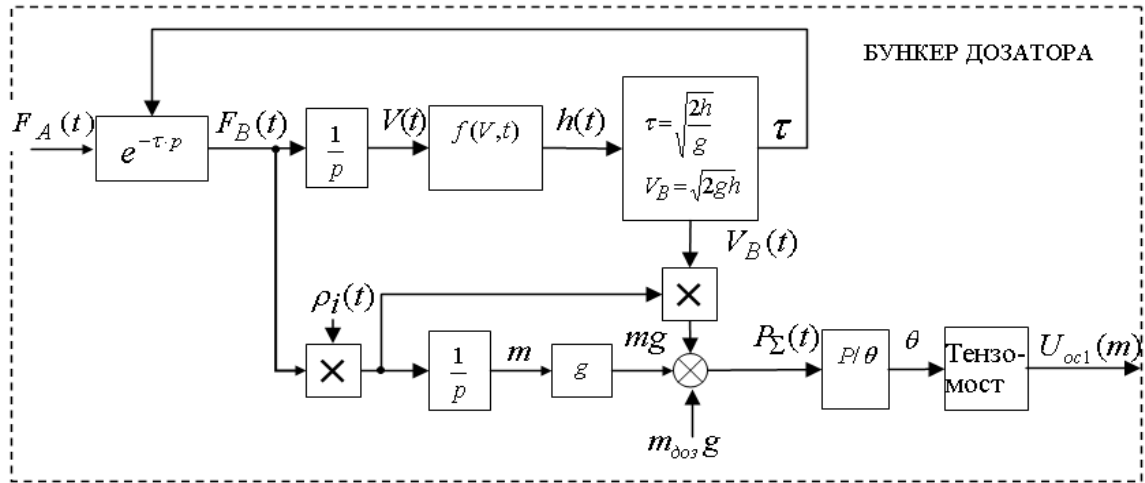


Рисунок 4 – Структурная схема модели анализа динамики поступления компонентов газобетонной смеси в бункер дозатора

Для этого воспользуемся геометрическими размерами и формой реального дозатора, которые приведены на рис. 3.

Объем дозатора состоит из объема его цилиндрической и конической (усеченный конус) части:

$$V_{доз} = V_{цил} + V_{кон} = \pi R^2 h_{цил} + \frac{1}{3} \pi h_{у.кон} (R^2 + Rr + r^2). \quad (8)$$

Объем компонентов в дозаторе $V(t)$ определяем по выражению

$$V(t) = V_{вх}(t) - V_{вых}(t) = \sum_{j=1}^3 \int_{t_1}^{t_2} F_i(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} F_{вызр}(t) dt. \quad (9)$$

Рассмотрим возможные технологические состояния дозатора в динамическом режиме. В первом случае объем поступивших компонентов может оказаться больше емкости конической части дозатора, а во втором – меньше.

Для первого случая, когда объем компонентов больше емкости конической части дозатора (рис. 3,а), высота падения частиц компонента будет равна:

$$h(t) = \frac{V_{доз} - V(t)}{\pi R^2}. \quad (10)$$

Для второго случая, когда объем набранных компонентов меньше объема конической части (рис. 3,б), объем набранных в конусной части компонентов равен:

$$V(t) = \frac{1}{3} \pi t g^2 \alpha (h_{кон}^3(t) - h_{м.кон}^3), \quad (11)$$

откуда высота падения частиц компонентов $h(t)$ определяется по выражению

$$h(t) = h_{доз} - \sqrt[3]{\frac{3V(t)}{\pi t g^2 \alpha}}. \quad (12)$$

Учитывая ненулевую начальную скорость, при падении потока компонента его скорость в момент касания поверхности (точка В, рис. 3) определяется по выражению

$$v_{iB}(t) = \sqrt{v_{iFloA}^2(t) + 2gh(t)}, \quad (13)$$

где высота падения частиц компонента будет равна:

$$h(t) = \begin{cases} h_{доз} - \sqrt[3]{\frac{3V(t)}{\pi t g^2 \alpha}}, & \text{если } V(t) < V_{кон}; \\ \frac{V_{доз} - V(t)}{\pi R^2}, & \text{если } V(t) > V_{кон}. \end{cases} \quad (14)$$

Тогда время падения определяется по выражению

$$\tau = \frac{\sqrt{v_{iFloA}^2(t) + 2gh(t)} - v_{iFloA}}{g}. \quad (15)$$

При абсолютно неупругом соударении (скорость после взаимодействия равна нулю) динамическая сила воздействия падающего материала определяется по уравнению [10]

$$P_{дин}(t) = F_{iB}(t) \rho_i v_{iB}. \quad (16)$$

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

$$P_{\Sigma}(t) = P_{снм}(t) + P_{дин}(t). \quad (17)$$

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

$$\Theta(t) = \alpha_T G(t), \quad (18)$$

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) [10]. Она характеризуется тензорезистивным коэффициентом GF , численное значение которого определяется как

$$GF = \frac{\Delta R / R_0}{\Theta_0}, \quad (19)$$

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:

$$\Delta R(t) = R_0 GF \Theta(t). \quad (20)$$

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

$$U_j(t) = k_T GF \Theta(t) U_{ex}, \quad (21)$$

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:

$$U_{oc}(t) = \frac{\sum_{j=1}^3 U_j(t)}{3}. \quad (22)$$

Этот сигнал используется в качестве обратной связи для ПЛК.

Сигнал обратной связи $U_{in}(t)$ поступает в ПЛК через блок аналого-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 (18)–(23), а также конечного времени преобразования сигнала в аналоговом тракте ПЛК, сигнал обратной связи по весу представим выражением

$$U_{oc}(t) = K_{oc} P_{\Sigma} - T_1 \frac{dU_{oc}}{dt}, \quad (23)$$

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

Сигнал $U_{in}(t)$ поступает на вход блока аналогового ввода ПЛК, где он преобразуется в шестнадцатиразрядный цифровой код $D_{Gin}(nT)$. Для выделения полезного сигнала в блоке ПЛК производится цифровая обработка сигнала в следующей последовательности: сначала осуществляется фильтрация и формирование сигнала $D_{Gf}(nT)$. Затем выполняется нормализация для отображения веса компонентов смеси в килограммах $D_G(nT)$. На основании последнего $D_G(nT)$, текущего состояния техпроцесса θ , задания набора компонентов m_i и совокупности сигналов состояния ИМ $\rho(\theta, t)$ формируются соответствующие сигналы управления. Применительно к рассматриваемому ТП, для трёхкомпонентного дозирования управление заслонками примет вид дискретных сигналов:

$$Q_{ynp}(\theta, t) = \begin{cases} Q_i(\theta, t) \vee Q'_i(\theta, t), \\ \theta - \text{дозирования } i = 1, \dots, 3; \\ Q_{out}(\theta, t), \\ \theta - \text{выгрузки}. \end{cases} \quad (24)$$

В выражении (23) для стадий дозирования $Q_i(\theta, t)$ – сигнал управления привода заслонкой грубого набора i -го компонента смеси. В этом режиме открытие и закрытие заслонок осуществляется согласно логическому состоянию, определяемому следующими условиями:

$$Q_i(\theta, t) = \begin{cases} 1, & \text{если } G_i(t) < (G_{i3} - \Delta G_{iT}); \\ 0, & \text{если } G_i(t) \geq (G_{i3} - \Delta G_{iT}), \end{cases} \quad (25)$$

а сигнал управления заслонкой точного набора

$$Q'_i(\theta, t) = \begin{cases} 0, & \text{если} \\ [G_i(t) > (G_{i3} - \Delta G_{iynp})] \vee \\ \vee [G_i(t) < (G_{i3} - \Delta G_{iT})]; \\ 1, & \text{если} \\ (G_{i3} - \Delta G_{iT}) \geq G_i(t) \leq \\ \leq (G_{i3} - \Delta G_{iynp}). \end{cases} \quad (26)$$

Діаграма процесу дозирования жидких компонентів газобетонної суміші з допомогою тріхпозиційної заслонки приведена на рис. 5.

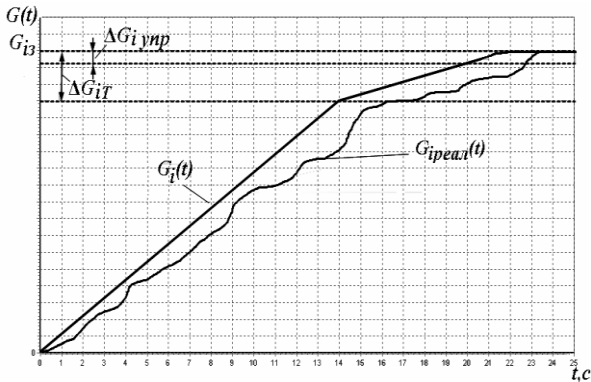


Рисунок 5 – Діаграма процесу дозирования жидких компонентів газобетонної суміші з допомогою тріхпозиційної заслонки

На діаграмі, де $\Delta G_{i\tau}$ – різниця ваги від заданого ваги компонента G_{i3} , при якій відбувається перехід в режим точного дозирования i -го компонента суміші; $\Delta G_{i\text{упр}}$ – значення ваги (упреждение) від заданого ваги G_{i3} , при якому виробляється закриття заслонки в режимі точного дозирования i -го компонента газобетонної суміші.

ВИВОДИ. Розроблена уточнена математична модель системи автоматизованого управління багатокомпонентним дозированием жидких компонентів, являющегося одним з найбільш складних і відповідальних процесів приготування газобетона. При розробці були учтені особливості роботи ІМ (двох і тріхпозиційних заслонок), залежності динаміки поступлення компонентів газобетонної суміші в дозатор від геометрії бункерів дозатора, динаміки потоків дозируемых компонентів, залежності сигналу зворотного зв'язу від зусиль, створюваних потоком компонентів і властивостей датчиків ваги. Уточнені залежності моделі дозволяють точніше оцінювати вагу набору компонентів в бункері дозатора і швидкість истечения компонентів з расходної ємкості. Розроблена модель дозволить удосконалити комп'ютерну модель даного технологічного процесу.

ЛИТЕРАТУРА

- Кулинич Э.М., Зиновкин В.В., Шаповалов С.Е. Метод моделювання і візуалізації багатопараметричної системи управління технологічним процесом приготування газобетона // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – Вип. 2. – С. 56–61.
- Кириязов И.Н., Хобин В.А. Программно-технічний комплекс для налагодки прикладного програмного забезпечення автоматизованої системи оптимізації завантаження ПТЛ сыпучими матеріалами // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – 2014. – Вип. 4. – С. 29–43.
- Грибов В.В., Коростелёв А.Я., Койда А.А. Тестирование програмного забезпечення і обробка алгоритмів АСУТП для нафтогазового комплексу // Промислові АСУ і контроллери. – 2005. – Вип. 1. – С. 42–45.
- Кулинич Э.М., Зиновкин В.В. Моделювання оптимального управління процесом дозирования багатокомпонентного технологічного процесу приготування газобетона // Електротехніка та електроенергетика. – 2011. – Вип. 2. – С. 54–60.
- Моделювання автоматизованого управління багатокомпонентним дозированием технологічного процесу приготування газобетона / Э.М. Кулинич, В.В. Зиновкин, Ю.А. Крисан, С.И. Арсеньева // Вісник національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – Вип. 57/2010. – С. 271–277.
- Осадчий В.В. Уточнення взаємозв'язів і параметрів електромеханічної системи дозирования вібраційного типу // Матеріали ІХ міжнародної науково-технічної конференції «Електромеханічні системи, методи моделювання і оптимізації» КГПУ, 15–17 травня 2007 г. – Вип. 4 (45), част. 2. – С. 19–21.
- Механіка жидкості і газу / Ю.Л. Курбатов, В.И. Шелудченко, В.В. Кравцов. – Севастополь: Вебер, 2003. – 226 с.
- Бункерні пристрої / Р.Л. Зенков, Г.П. Гриневич, В.С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.
- Дозирование сыпучих і вязких матеріалів: учебник / А.В. Каталимов, В.А. Любартович. – Л.: Хімія, 1990. – 240 с.
- Осадчий В.В. Визначення миттєвої продуктивності вібропитателя на основі сигналу з датчика ваги в системі дискретного дозирования // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 4/2008 (51), част. 2. – С. 91–93.

**MATHEMATICAL MODEL OF DOSING AUTOMATED CONTROL
OF THE PROCESS OF PREPARATION AIRCRETE**

E. Kulynych

Zaporizhzhya National Technical University

ul. Zhukovskogo, 64, Zaporozhye, 69063, Ukraine. E-mail: kulinich.eduard@mail.ru, kulinich@zntu.edu.ua

In paper the refined mathematical model of the automated control system with multi-component dosing liquid components of the process of preparation of aircrete is offered. When developing this model, features of the actuators (two and three-position flaps), dependencies of flow dynamics of weighed components from the dosator 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 hopper and the exhaust velocity components from the supply tank. The developed model will improve the adequacy of the computer model and improve the quality of automated control of the process.

Key words: mathematical modeling „automated process control system, aircrete.

REFERENCES

1. Kulinich, Je.M., Zinovkin, V.V. and Shapovalov, S.E. (2010), "Method of modelling and visualisation of a multiparametre control system by technological process of preparation of aircrete", *Elektrotehnika ta elektroenergetika*, Vol. 2, pp. 56–61. (in Russian)
2. Kiryazov, I.N. and Hobin, V.A. (2014), "A software and hardware complex for debugging of the applied software of the automated system of optimization of loading of in line transport line bulks", *Avtomatizaciya tehnologichnih i biznes procesiv*, Vol. 4, pp. 29–43. (in Russian)
3. Gribov, V.V., Korostelyov, A.Ya. and Koyda, A.A. (2005), "Testing of the software and working off of algorithms of the PCS for an oil and gas complex", *Promyshlennye ASU i kontrollery*, Vol. 1, pp. 42–45. (in Russian)
4. Kulinich, Je.M. and Zinovkin, V.V. (2011), "Modelling of optimum control by process of dosing of multicomponent technological process of aerocrete preparation", *Elektrotehnika ta elektroenergetika*, Vol. 2, pp. 54–60. (in Russian)
5. Kulinich, E.M., Zinovkin, V.V., Krisan, Yu.A. and Arsenyeva, S.I. (2010), "Simulation of automated control multi-component dosing process of preparation of aerated concrete", *Visnyk natsionalnogo tekhnichnogo universytetu "KhPI"*, NTU "KhPI", Kharkiv, Vol. 57, pp. 271–277. (in Russian)
6. Osadchiy, V.V. (2007), "Clarification of the relationship and electromechanical dosing system vibration type", *Visnyk Kremenchutskogo derzhavnogo politekhnichnogo universytetu imeni Mykhayla Ostrogradskogo*, KGPU, Kremenchyk, Vol. 4, no. 45, part 2, pp. 19–21. (in Russian)
7. Kurbatov, Ju.L., Sheludchenko, V.I. and Kravcov, V.V. (2003), *Mehanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of liquid and gas], Veber, Sevastopol. (in Russian)
8. Zenkov, R.L., Grinevich, G.P. and Isaev, V.S. (1977), *Bunkernye ustroystva* [Hopper device], Mashinostroyeniye, Moscow. (in Russian)
9. Katalymov, A.V and Lyubartovich, V.A. (1990), *Dozirovanie sypuchih i вязких materialov: uchebnik* [Dosing of loose and viscous materials], Himiya, Leingrad. (in Russian)
10. Osadchiy, V.V. (2008), "Determination of instant productivity of a vibrofeeder on the basis of a signal from the weight sensor in system of discrete dosing", *Visnyk KDPU*, Vol. 4, no. 51, part 2, pp. 91–93. (in Russian)

Стаття надійшла 15.04.2015.