УДК 681.513.7

Кулинич Э. М.

Старший преподаватель, Запорожский национальный технический университет, Украина, E-mail: kulinich@zntu.edu.ua

УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫМ ДОЗИРОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГАЗОБЕТОНА

Разработана уточненная математическая модель системы автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием сухих компонентов технологического процесса приготовления газобетона. В ней были учтены особенности работы исполнительных механизмов, динамики потоков дозируемых компонентов, зависимостей поступления компонентов газобетонной смеси в дозатор от геометрии бункеров дозатора, сигнала обратной связи от усилий, создаваемых потоком компонентов и свойств датчиков веса. Разработанная модель позволит повысить адекватность компьютерной модели и улучшить качество автоматизированного управления данного технологического процесса.

Ключевые слова: *математическое моделирование, дозирование сухих компонент, автоматизированная система управления технологическим процессом, газобетон*

ВВЕДЕНИЕ

В процессе разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) требуется получение математической модели достаточно точно описывающей работу технологического процесса (ТП), динамику исполнительных механизмов (ИМ), потоки дозируемых компонентов, оборудования ТП, датчики техпроцесса и т.д. Наличие такой математической модели позволяет выбрать структуру, способы управления и уточнить параметры системы управления. На основании математической модели строят компьютерную модель АСУ ТП. Это дает возможность 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]. Этот отлаженный комплекс моделирования АСУ ТП позволяет построить эффективный компьютерный тренажер ТП, который дает возможность обучать персонал работе с моделированием реальных производственных ситуаций без риска повреждения оборудования и потери материала.

Так как процесс дозирования сухих компонентов технологического процесса приготовления газобетона (ПГ) является сложными и состоит из нескольких более мелких стадий, то были исследованы модели похожих технологических процессов и аппаратов. В [3] описывается модель весового дозирования сыпучих материалов, где используется модель асинхронного двигателя при двухскоростном способе весового дозирования без описания преобразователя частоты (ПЧ). Здесь также учитывается задержка, с которой материал попадает в бункер, определяемой временем падения. Высота падения а, следовательно, время падения определяются по упрощенной (цилиндрической) геометрии бункера. При этом не учитывается скорость истечения материала из расходной емкости и динамическая составляющая его веса. В [4–7] хорошо исследованы динамика потоков различных материалов, свойства различных материалов и их истечения из бункеров, что позволяет описать отдельные процессы, бункерные устройства, но в основном описано однокомпонентное дозирование, а в [7] – непрерывное дозирование. Наиболее подробно, с учетом многих факторов, процесс дискретного дозирования сыпучих материалов описан в работах [8, 9]. Однако там описан только набор компонентов с помощью вибропитателя без выгрузки. Кроме того не связана высота падения с геометрией бункера и с объемом набранного материала.

Имеющиеся математические описания в этих и многих других работах процессов и агрегатов дозирования представляют собой ценный, но разрозненный материал, который требовал обобщения в виде одной модели дозирования сухих компонентов в составе технологического процесса ПГ. 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 и компьютерной моделей всей системы. Естественно сохраняется модель динамики технологического аппарата, но как описание элемента модели всей технологической линии.

©Кулинич Э. М., 2014

Предложенная в этой работе модель является результатом развития математической модели от однокомпонентного дозирования [10], где дозатор представлял собой простое интегрирующее звено, до модели [11] двухкомпонентного дозирования. В [11] модель дозатора имеет описание тензометрического моста датчика веса, учитывается масса пустого дозатора и выгружаемых компонентов, но не учитывается скорость истечения компонентов, динамика потоков компонентов и их влияние вместе с геометрией дозатора на динамику изменения детектируемого веса. Также недостает более точного описания динамики работы ИМ.

Целью данной статьи является разработка уточненной математической моделей системы автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием процесса приготовления газобетона, где учитываются особенности работы ИМ, геометрия бункеров дозаторов, динамика потоков дозируемых компонентов, свойства датчиков техпроцесса и др.

Материал и результаты исследования. Для построения математической модели исследуем влияние основных факторов и возможных режимов на динамику процесса дозирования сухих компонентов газобетонной смеси [4 - 9]. При производстве газобетонов используется весовой способ дозирования сухих (известковое вяжущее, гипс и цемент, зола уноса, сухие добавки) компонентов, при этом сухие компоненты подаются в дозатор при помощи шнековых питателей. На практике используется процесс либо многокомпонентного дозирования [11] (в один общий дозатор несколько компонентов), либо однокомпонентного дозирования (в отдельный дозатор один компонент) [10]. Для управления ИМ дозирования применяется локальное управление в сочетании с использованием преобразователя частоты (ПЧ) и ПЛК.

Рассмотрим процесс многокомпонентного дозирования с использованием автоматизированного электропривода дозатора сухих ТП ПГ [10, 11]. Эффективность его работы обеспечивается за счет использования математической модели АСУ ТП приготовления газобетона в сочетании с ПЧ Micromaster4xx и ПЛК SIMATIC S7 фирмы SIEMENS. Структурная схема управления двухкомпонентным дозатором сухих ТП ПГ приведена на рис. 1, где: 1 и 2 – шнековые питатели; 3 и 4 – асинхронные электродвигатели (АД); 5 –входные поворотные заслонки; 6 – бункер дозатора; 7 – тензометрические датчики; 8 – выходная поворотная заслонка; 9 – управляющий ПЛК; 10 – ПЧ; 11 – устройство операторного контроля, 12 – ПК верхнего уровня управления; 13 и 14 – расходные бункера. Пунктирными линиями показано движения сухих компонентов газобетонной смеси.

В модели дозирование сухих компонентов осуществляется при помощи двух шнековых питателей, в которых

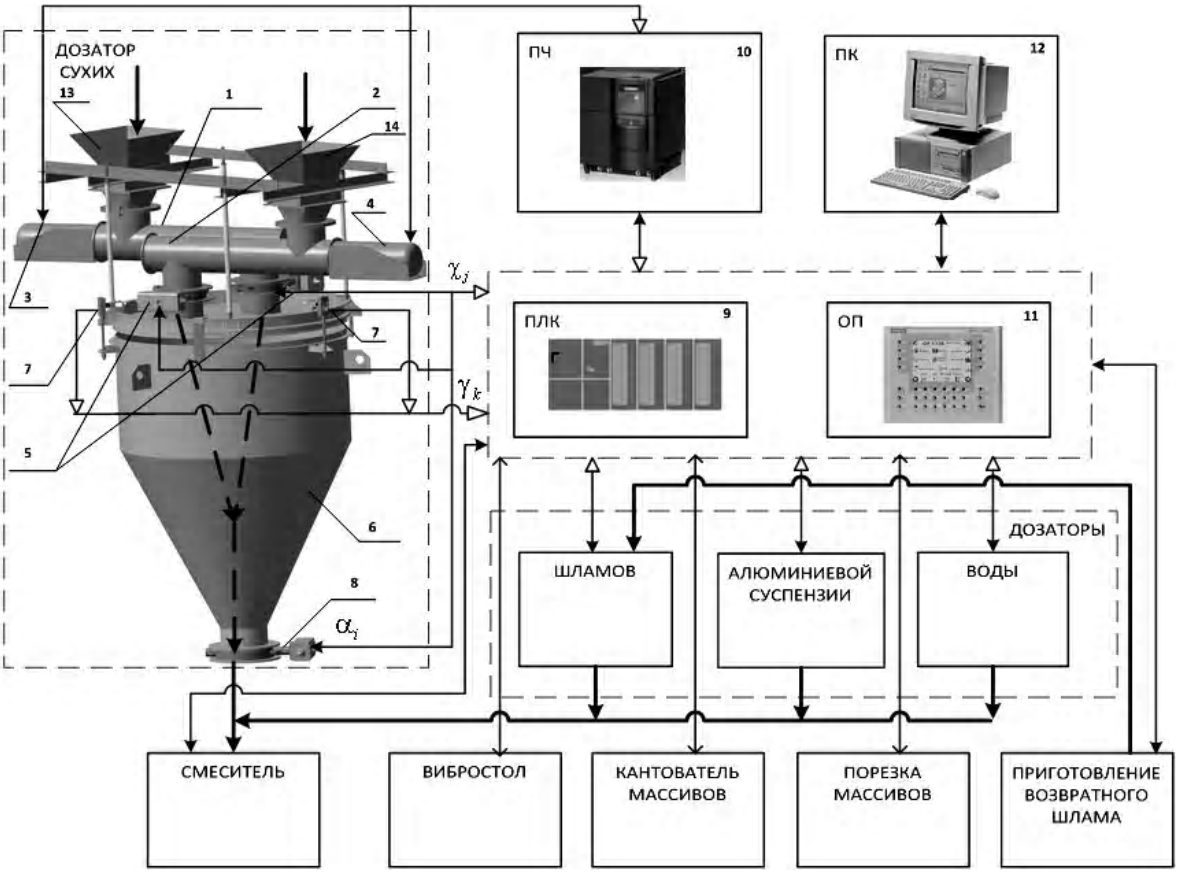

Рисунок 1 – Структурная схема управления двухкомпонентным дозатором технологической линии приготовления газобетона и взаимосвязи АСУ и ИМ

в качестве ИМ используются АД. Управление режимами этих двигателей осуществляется от ПЧ. В качестве исходных данных используется информация $f_{упр}(t)$, поступающая от ПЛК, управляющие сигналы которого обеспечивают соответствующие режимы двигателей. Для сопоставления режимов работы управляющих и ИМ в динамике используем сигналы ПЧ и тензометрических датчиков дозатора (поз.7 на рис. 1). Первые характеризуют режимы электропривода, а вторые – загрузку дозатора компонентами.

На рис. 2 приведена структурная схема математической модели управления двухкомпонентного дозирования ТП ПГ в виде схемы набора моделей, взаимосвязанных между собой логическими связями. Она содержит структурно-логические схемы моделей ПЛК и двухкомпонентного дозатора ТП ПГ. Здесь приняты следующие обозначения блоков: «ПЛК» – программируемый логический контроллер, который осуществляет анализ информации сигналов обратных связей и формирует сигналы оптимального, для данного временного интервала, управления; блок «ПЧ» – моделирует функции преобразователя частоты, связанные с влиянием настроек параметров ПЧ Micromaster4xx на выходной сигнал силовой части этого преобразователя, а также связку ПЧ–АД–редуктор; блоки «Шнек i» описывают зависимость производительности i-го шнекового питателя от частоты на выходе связки ПЧ–АД–редуктор; блоки «Заслонка i» предназначены для обеспечения поступления i-го компонента смеси; блоки «Емкость i» формируют сигналы потока дозируемого материала на основании производительности шнекового питателя, состояния заслонки на выходе технологической накопительной емкости и плотности дозируемого компонента.

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 исполнительных механизмов. 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 $F_i(t)$, поступающих в дозатор.

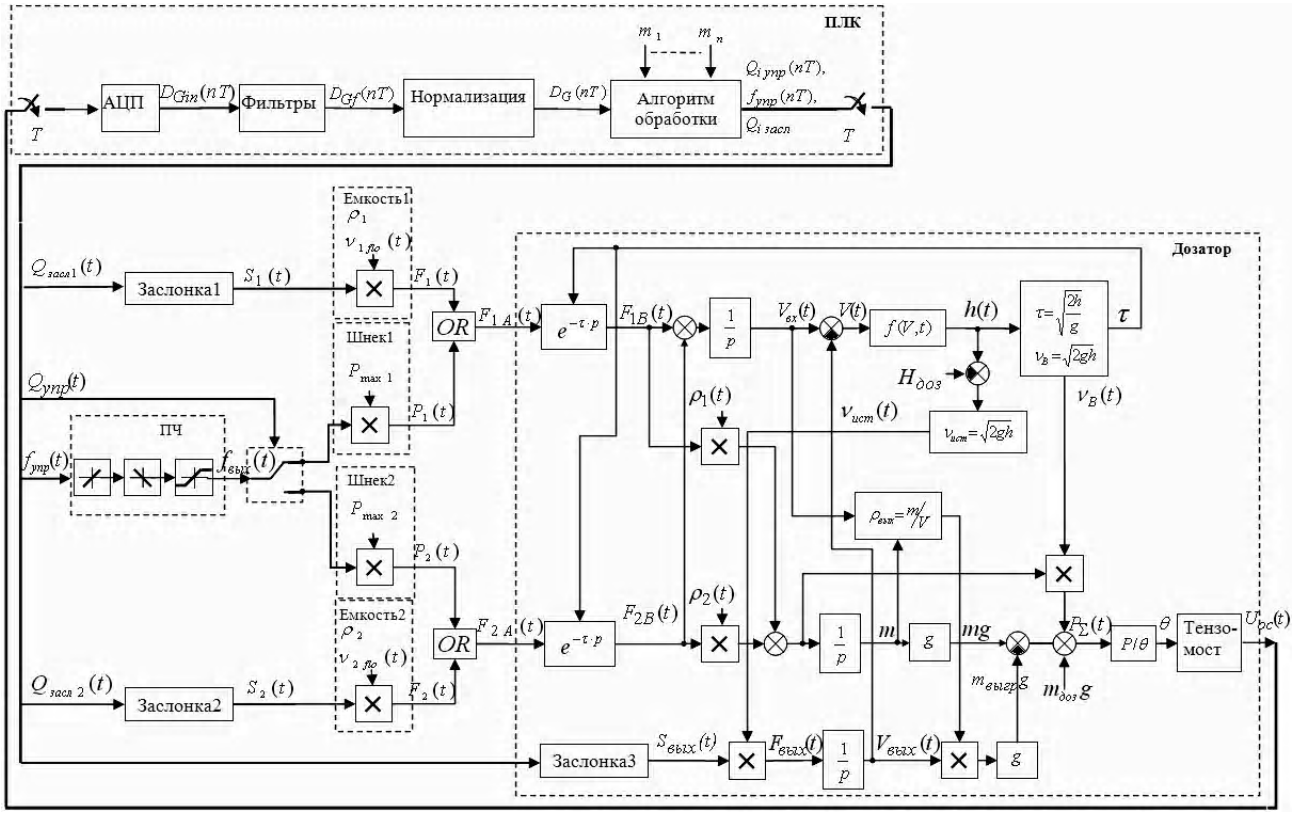

Рисунок 2 – Структурная схема математической модели АСУ двухкомпонентным дозированием ТЛ приготовления газобетона

Главным ИМ является шнековый питатель. Частота вращения шнека питателя на выходе связки ПЧ– АД–редуктор, которая является первым определяемым параметром математической модели набора в функции входного параметра управления определяется выражением [3, 7, 8, 9]:

$$f_{вых}(t)=\begin{cases} f_{упр}(t)+\Delta f_{упр}(t)\cdot(1-e^{-3t/T_{ramp1}}) \\ если\ \Delta f_{упр}(t)>0; \\ f_{упр}(t)-\Delta f_{упр}(t)\cdot(1-e^{-3t/T_{ramp2}}) \\ если\ \Delta f_{упр}(t)<0, \end{cases} \quad (1)$$

где $f_{упр}(t)$– управление от контроллера через аналоговый вход ПЧ в пределах $f_{\max}$и $f_{\min}$ – ограничений частоты ПЧ; $\Delta f_{упр}(t)$– изменение сигнала управления в соответствии с постоянными времени разгона T_{ramp1} и торможения T_{ramp2}.

При этом поток компонента модулируется производительностью шнекового питателя $P_i(t,q)$, которая зависит от максимальной производительности шнекового питателя $P_{\max}(q)$ [10], частоты на выходе ПЧ–АД–редуктор $f_{вых}(t)$и управления контактором привода шнека $Q_{упрi}(t)$:

$$P_i(t)=P_{\max i}(q)\cdot f_{вых}(t)\cdot Q_{упрi}(t).. \quad (2)$$

Поток $F_i(t)$ компонентов из расходной емкости зависит от состояния выходной заслонки $Q_{заслi}(t)$ и находится по следующей формуле:

$$F_i(t)=S_i(t)\cdot \nu_{flo}(t), \quad (3)$$

где $S_i(t)$ – площадь открытия заслонки, определяющая ее пропускную способность:

$$S_i(t)=\frac{\pi\cdot D_{зi}^{\ 2}}{4}\cdot(1-\cos\alpha_з(t)),$$

$$\alpha_з(t)=\begin{cases} 90\left(1-e^{-3t/T_{открi}}-\dfrac{t}{T_{откр\ i}}\cdot e^{-3t/T_{открi}}\right) \\ -если\ \ Q_{заслi}(t)=1; \\ \dfrac{90}{T_{открi}}\cdot e^{-t/T_{открi}} \\ -если\ \ Q_{заслi}(t)=0. \end{cases} \quad (4)$$

В уравнении (4) $D_{зi}$ – диаметр заслонки (шибера); $\alpha_з(t)$– угол открытия заслонки (шибера); $T_{откр\ i}$ – время ее открытия. Это уравнение подходит к всем двухпозиционным заслонкам, например, на выходе шнекового питателя или расходной емкости, и отражает динамику их работы.

Скорость истечения компонентов из расходной емкости в начальном приближении принимается постоянной и равна:

$$\nu_{iflo}(t)=\lambda_i\cdot\sqrt{3{,}2\cdot g\cdot R_i}=\lambda_i\cdot\sqrt{3{,}2\cdot g\cdot\frac{D_{зi}}{4}}, \quad (5)$$

где R_i – гидравлический радиус заслонки; λ_i – коэффициент истечения компонентов (он принимает, соответственно, следующие численные значения для сухих, зернистых, порошкообразных λ=0,55–0,65, для крупнозернистых, кусковых λ=0,3–0,5, для пылевидных λ=0,2–0,25) [4].

Из-за неоднородности физических свойств компонентов, различных условий хранения материалов, влияния погодных условий, процессов поступления в соответству-

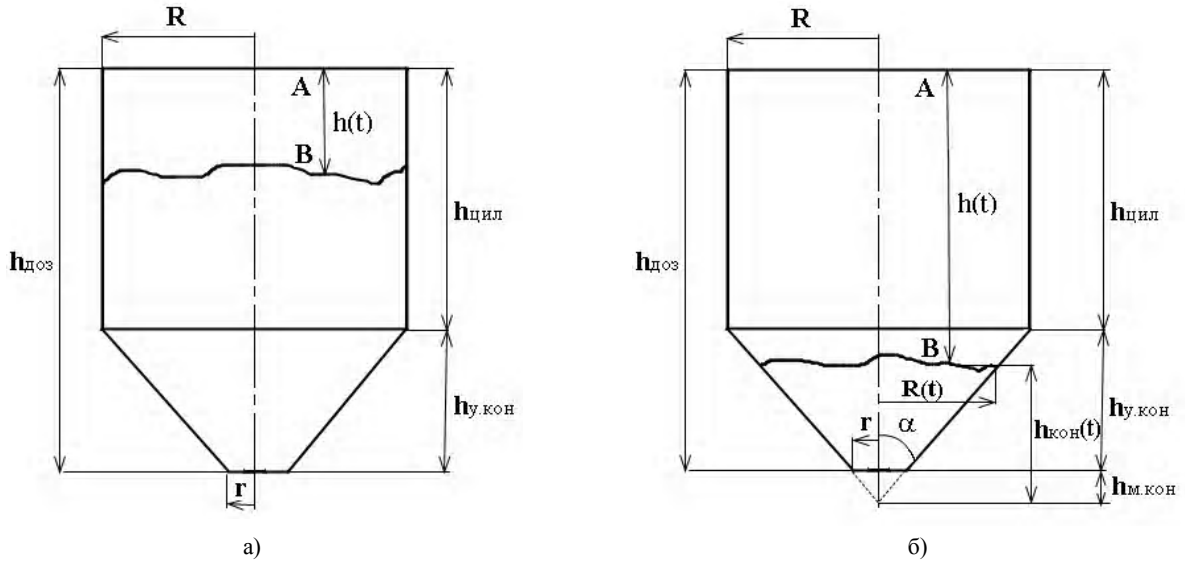

Рисунок 3 – Возможные варианты загрузки компонентами газобетонной смеси: а) – в цилиндрической и б) – в конической части дозатора

ющие технологические емкости, а также явлениями неоднородного распределения компонентов на выходе из расходной емкости, скорость истечения компонентов изменяется.

Поток компонента на выходе из шнекового питателя $F_{iA}(t)$, согласно (2) и (3), в зависимости от соотношения производительности шнекового питателя $P_i(t)$ и потока $F_i(t)$ компонентов из расходной емкости определяется следующим образом:

$$F_{iA}(t)=\begin{cases} F_i(t)=S_i(t)\cdot \nu_{iflo}(t), \\ \quad если\, P_i(t)\geq F_i(t); \\ P_i(t)=P_{i\max}\cdot f_{вых}(t)\cdot Q_{i\,упр}(t), \\ если\;\; F_i(t)>P_i(t), \end{cases} \qquad (6)$$

где $P_{\max i}$ – максимальная производительность шнекового питателя.

Масса компонентов в дозаторе m и масса пустого дозатора $m_{доз}$ создают статическое усилие $P_{стат}$, 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 около 0,5с) увеличивается, а затем стабилизируется на меньшем значении. Это поясняется инерционностью ИМ и временем τ падения частиц компонентов от выходного патрубка заслонки питатель (точка А рис. 3) до точки падения(точка В), а также динамическим воздействием $P_{дин}$ падающих компонентов на емкость дозатора в течении времени дозирования [4–6, 8]. Для получения информации о текущем весе компонентов в блоке «Дозатор» интегрируются соответствующие сигналы их потоков в точке падения В. При этом общий их вес определяется по статическому усилию $P_{стат}$ с учетом выгруженных компонентов и веса дозатора:

$$\begin{aligned} P_{стат}(t)&=G(t)=G_{доз}+ \\ &+g\cdot\left(\sum_{i=1}^{2}\int_{t_1}^{t_2}F_{iB}(t)\cdot\rho_i(t)\,dt-\int_{t_1}^{t_2}F_{выгр}(t)\cdot\rho_{выгр}dt\right)= \\ &=m_{доз}\cdot g+g\cdot\left(\sum_{i=1}^{2}m_i(t)-m_{выгр}\right), \end{aligned} \qquad (7)$$

где, $G_{доз}, m_{доз}$ – вес и масса пустого дозатора; $F_{iB}(t)$ – поток дозируемых компонентов в точке В (см. рис. 3). В этом случае этот поток определяется выражением:

$$F_{iB}(t)=F_{iA}(t-\tau) \qquad (8)$$

где $F_{iA}(t)$ – поток дозируемых компонентов на выходе заслонки питателя (см. рис. 3 точка А) [4–8].

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

В данной модели необходимо найти $P_{дин}(t)$. С этой целью скорость падения частиц набираемого компонента ν_B определяется по высоте падения частиц компонентов $h(t)$ и времени падения частиц компонентов τ. Для этого воспользуемся геометрическими размерами и формой реального дозатора (рис. 3).

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

$$\begin{aligned} V_{доз}&=V_{цил}+V_{кон}=\pi\cdot R^2\cdot h_{цил}+ \\ &+\frac{1}{3}\cdot\pi\cdot h_{у.кон}\cdot(R^2+R\cdot r+r^2), \end{aligned} \qquad (9)$$

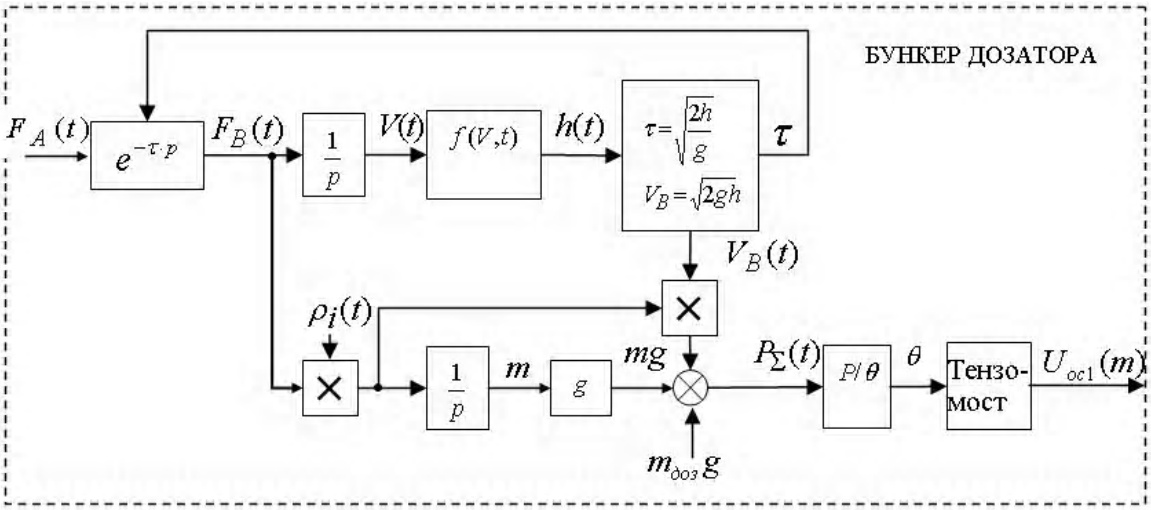

Рисунок 4 – Структурная схема модели анализа динамики поступления компонентов газобетонной смеси в

где $V_{кон}$ – объем конусной части бункера дозатора; R и r – радиусы цилиндрической части дозатора и усеченного конуса.

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

$$V(t) = V_{вх}(t) - V_{вых}(t) = \\ = \sum_{j=1}^{2} \int_{t_1}^{t_2} F_{iB}(t)dt - \int_{t_1}^{t_2} F_{выгр}(t)dt. \quad (10)$$

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. 3а) высота падения частиц компонента будет равна:

$$h(t) = \frac{V_{доз} - V(t)}{\pi \cdot R^2}. \quad (11)$$

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

$$V(t) = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot tg^2\alpha \cdot (h^3{}_{кон}(t) - h^3{}_{м.кон}). \quad (12)$$

Откуда высота падения частиц компонентов $h(t)$ определяется по следующей формуле:

$$h(t) = h_{доз} - \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V(t)}{\pi \cdot tg^2\alpha \cdot}}. \quad (13)$$

Тогда общая формула высоты падения компонента:

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

где α – угол конуса дозатора; $h_{доз}$ – высота бункера дозатора.

При нулевой начальной скорости частиц время падения, определяется по формуле:

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

Скорость падающего компонента вблизи области касания с поверхностью уже поступивших в дозатор определяется формулой:

$$\nu_B = \tau g = \sqrt{2g\,h(t)}. \quad (16)$$

При абсолютно неупругом соударении (скорость после взаимодействия равна нулю) динамическая сила воздействия падающего материала определяется по следующей формуле [9]:

$$P_{дин}(t) = F_{iB}(t) \cdot \rho_i \cdot \nu_B = \sqrt{2gh(t)} \cdot F_{iB}(t) \cdot \rho_i(t). \quad (17)$$

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

$$P_{\Sigma}(t) = P_{стат}(t) + P_{дин}(t). \quad (18)$$

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

$$\Theta(t) = \alpha_T \cdot G(t), \quad (19)$$

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

Основным параметром тензометрических датчиков является их чувствительность к деформации (растяжению) [10]. Она характеризуется тензорезистивным коэффициентом GF, численное значение которого определяется как:

$$GF = \frac{\Delta R / R_0}{\Theta_0}, \quad (20)$$

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:

$$\Delta R(t) = R_0 \cdot GF \cdot \Theta(t). \quad (21)$$

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

$$U_j(t) = k_T \cdot GF \cdot \Theta(t) \cdot U_{ex}, \quad (22)$$

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:

$$U_{oc}(t) = \frac{\sum_{j=1}^{3} U_j(t)}{3}. \quad (23)$$

Этот сигнал используется в качестве обратной связи и поступает в ПЛК через блок аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Выборка АЦП производится с периодом 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 следующим выражением:

$$U_{oc}(t) = K_{oc}P_{\Sigma} - T_1\frac{dU_{oc}}{dt}, \qquad (24)$$

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

Приведенная математическая модель отличается от модели в [11] тем, что в ней учитывается скорость истечения компонентов (3), (5) и (6), динамика потоков компонентов (6), (8), (15), (16) и их влияние вместе с геометрией дозатора (9) - (14) на динамику изменения детектируемого веса (17). Однако недостает более точного описания динамики работы ИМ(шнекового питателя (1), заслонок (4). В модели уточнена динамика сигнала обратной связи по весу (24).

Использование в модели дополнительных параметров в (5) и учет реальных геометрических размеров дозатора увеличивает адекватность разработанной модели. Добавление влияния динамических усилий, создаваемых потоком падающих компонентов также позволяет точнее моделировать динамику набора веса, как это было показано в (16).

ВЫВОДЫ

Разработанная уточненная математическая модель системы автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием сухих компонентов технологического процесса приготовления газобетона позволила учесть особенности работы ИМ (заслонок, привода шнекового питателя), 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 позволяют дополнительно оценивать динамическую составляющую веса набора компонентов в бункере дозатора и скорость истечения компонентов из расходной емкости. Разработанная модель позволит улучшить компьютерную модель данного технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулинич Э. М. Метод моделирования и визуализации многопараметрической системы управления технологическим процессом приготовления газобетона / Э. М. Кулинич, В. В. Зиновкин, С. Е. Шаповалов // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 2. – С. 6–61.
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. Ткачев В. С. Оптимизация процесса весового дозирования сыпучих материалов / В. С. Ткачев, В. А. Ужеловский, В. В. Грубов // Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – Днепропетровск: ПГАСА, 2009. – № 8. – С. 7–13.
4. Зенков Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 223 с.
5. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков – М. : Машгиз, 1964. – 215 с.
6. Каталымов А. В. Дозирование сыпучих и вязких материалов: учебник / А. В. Каталымов, В.А. Любартович. – Л.: Химия, 1990. – 240 с.
7. Видинеев Ю. Д. Автоматическое непрерывное дозирование жидкостей / Ю. Д. Видинеев – М. : Энергия, 1967 – 109 с.
8. Осадчий В. В. Определение мгновенной производительности вибропитателя на основании сигнала с датчика веса в системе дискретного дозирования / В. В. Осадчий // Вісник КДПУ – Кременчук: КДПУ, – 2008. – Вип.4 (51) Част. 2. – С. 91–93.
9. Осадчий В. В. Уточнение взаимосвязей и параметров электромеханической системы дозирования вибрационного типа / В. В. Осадчий // Материалы IX международной научно-технической конференции «Електромеханічні системи, методи моделювання і оптимізації» КГПУ. 15–17 мая 2007 г. – Вип.4 (45), Част. 2. – С. 19–21.
10. Зиновкин В. В. Моделирование автоматизированного электропривода дозатора технологической линии приготовления газобетона / В. В. Зиновкин, Э. М. Кулинич // Електротехніка та електроенергетика – 2009. – № 2. – С. 49–53.
11. Зиновкин В. В. Моделирование автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием многопараметрического процесса приготовления газобетона / В. В. Зиновкин, Э. М. Кулинич // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2009. – Випуск 6 (65) – С. 53–64.

Статья поступила в редакцию 10.12.2014.
После доработки 16.12.2014.

Кулинич Е. М.
Старший викладач, Запорізький національний технічний університет, Украина

УТОЧНЕННЯ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ДВОКОМПОНЕНТНИМ ДОЗУВАННЯМ *ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ГАЗОБЕТОНУ*

Розроблена уточнена математична модель системи автоматизованого керування двокомпонентним дозуванням сухих компонентів технологічного процесу приготування газобетону. У ній були враховані особливості роботи виконавчих механізмів, динаміки потоків компонентів, що дозуються, залежностей подачі компонентів газобетонної суміші в дозатор від геометрії бункерів дозатора, сигналу зворотного зв'язку від зусиль, створюваних потоком компонентів і властивостей датчиків ваги. Розроблена модель дозволить підвищити адекватність комп'ютерної моделі і поліпшити якість автоматизованого керування даного технологічного процесу.

Ключові слова: *математичне моделювання, дозування сухих компонент, автоматизована система управління технологічним процесом, газобетон.*

Kulynych E.M.
Senior Lecturer, Zaporizhzhia National Technical University, Ukraine

REFINEMENT OF THE MODEL OF TWO-COMPONENT DOSING AUTOMATED CONTROL FOR THE PROCESS OF AERATED CONCRETE PREPARATION

A refined mathematical model of the automated control system with two-component dosing of dry components for the aerated concrete preparation process are worked out. Developing this model the features of the actuators (valves, drive screw feeder), dependencies of flow dynamics of weighed components from the meter hopper geometry, the feedback signal dependencies from the effort generated by the flow properties of the components and weight sensors are taken into account. These models allow us to have more accurate assess for the weight of the components necessary in the meter hopper and the exhaust velocity components from the supply tank. The developed model improves the computer model adequacy and the quality of the process automated control.

Keywords: *mathematical modeling, dosing of dry components, automated process control system, aerated concrete.*

REFERENCES

1. Kulinich Je. M., Zinovkin V. V., Shapovalov S. E. Metod modelirovanija i vizua-lizacii mnogoparametricheskoj sistemy upravlenija tehnologicheskim processom prigotovlenija gazobetona, *Elektrotehnika ta elektroenergetika*. 2010, No. 2, pp. 56–61.
2. Kulinich Je. M., Shapovalov C. E. Metodologicheskie osnovy modelirovanija sistemy upravlenija tehnologiche-skim processom proizvodstva gazobetona, *Strategija jakosti u promislovosti i osviti : mizhnar. konf.,* 4–11 chervnja 2010, Varna, Bolgarija, 2010, Vol. 1(2), pp. 231–234.
3. Tkachev V. S., Uzhelovskij V. A., Grubov V. V. Optimizacija processa vesovogo dozirovanija sypuchih materialov, *Vestnik Pridneprovskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury*. Dnepropetrovsk, PGASA, 2009, No. 8, pp. 7–13.
4. Zenkov R. L., Grinevich G. P., Isaev V. S. Bunkernye ustrojstva, Moscow, Mashinostroenie, 1977, 223 p.
5. Zenkov R. L. Mehanika nasypnyh gruzov. Moscow, Mashgiz, 1964, 215 p.
6. Katalymov A. V., Ljubartovich V. A. Dozirovanie sypuchih i vjazkih materialov: uchebnik, Leningrad, Himija, 1990, 240 p. 7. Vidineev Ju. D. Avtomaticheskoe nepreryvnoe dozirovanie zhidkostej, Moscow, Jenergija, 1967 – 109 p.
8. Osadchij V. V. Opredelenie mgnovennoj proizvoditel'nosti vibropitatelja na osnovanii signala s datchika vesa v sisteme diskretnogo dozirovanija, *Visnik KDPU*, Kremenchuk: KDPU, 2008, Vip.4(51) Chast 2, pp. 91–93.
9. Osadchij V. V. Utochnenie vzaimosvjazej i parametrov *jelektromehanicheskoj sistemy dozirovanija vibracionnogo tipa, Materialy IX mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Elektromehanichni sistemi, metodi modeljuvannja i optimizacії» KGPU. 15–17 maja 2007,* Vip. 4(45), Chast. 2, pp. 19–21.
10. Zinovkin V. V., Kulinich Je. M. Modelirovanie avtomatiziro-vannogo jelektroprivoda dozatora tehnologiche-skoj linii prigotovlenija gazobetona, *Elektrotehnika ta elektroenergetika*. 2009, No. 2, pp. 49–53.
11. Zinovkin V. V., Kulinich Je. M. Modelirovanie avtomatiziro-vannogo upravlenija dvuhkomponentnym dozi-rovaniem mnogoparametricheskogo processa prigotovlenija gazobetona, *Sistemni tehnologiї. Regional'nij mizhvuzivs'kij zbirnik naukovih prac'*. Dnipropetrovs'k, 2009, Vip. 6(65), pp. 53–64.