

4. <http://www.railpower.com>.
5. <http://www.transport.alstom.com>.
6. Барский В. А. Анализ эффективности применения гибридных тяговых передач на маневровых тепловозах / В. А. Барский, В. А. Иванов, А. Е. Фришман, Г. И. Яровой // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. Тематический выпуск: «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Днепродзержинск : ДГТУ, 2007. – С. 328–329.
7. Орловський І. А. Математическа модель частотно-регульованого асинхронного тягового електропривода дизель-поезда с усовершенствованной системой управления / И. А. Орловський, Е. В. Страколист // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университе-  
та. Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». – Днепродзержинск : ДГТУ, 2007. – С. 261–264.
8. Волков А. В. Математическая модель многодвигательного частотно-регулируемого асинхронного электропривода дизель-поезда с векторной системой управления / А. В. Волков, И. А. Орловский // Технічна електродинаміка – Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки», Ч. 6. – 2008. – С. 31–36.
9. Шавьолкін О. О. Перетворювальна техніка: навчальний посібник / О. О. Шавьолкін, О. М. Наливайко. Під загальною редакцією канд. техн. наук доц. О. О. Шавьолкіна. – Донецьк-Краматорськ : ДДМА, 2008. – 329 с.
10. <http://hybrids.ru>.

Поступила в редакцію 07.05.09 г.

*Разработана математическая модель и система управления гибридного асинхронного тягового привода дизель-поезда с применением мощной аккумуляторной батареи. Выполнено исследование разработанной модели в системе Matlab.*

*Mathematical model and control system of hybrid asynchronous traction drive of diesel engine-multiple unit train with the powerful storage battery use are designed. The developed model research in system MatLab is executed.*

УДК 621.313

В. В. Зиновкин, Э. М. Кулинич

## Моделирование автоматизированного электропривода дозатора технологической линии приготовления газобетона

*Предложены математическая модель и структурно-логическая схема автоматизированного электропривода дозатора технологической линии приготовления газобетона с учетом параметров управляющих устройств, преобразователя частоты и исполнительных механизмов.*

### Введение

В настоящее время газобетоны получают все большее распространение в промышленном и гражданском строительстве ввиду ряда физико-технологических преимуществ по сравнению с другими строительными материалами. Их технологические процессы характеризуются большими темпами совершенствования и разнообразием используемого технологического оборудования [1–6]. Управление системами автоматизированного электропривода технологического процесса осуществляются по совокупности сигналов с линейными и нелинейными электромеханическими параметрами [7]. Для повышения эффективности технологических процессов приготовления газобетона и согласования режимов исполнительных механизмов и параметров используются современные цифровые и микропроцессорные устройства и привода [2–6]. Однако такие технические решения не удов-

летворяют технико-экономическим требованиям в условиях неопределенностей и несогласованностей отдельных электромеханических параметров управления при колебаниях напряжения, набросах и сбросах мощности, изменениях внешних факторов (температуры, влажности, вибрации и т. д.) [1, 3, 5, 6]. Для повышения эффективности управления техпроцессом в таких условиях, системы управления электропривода приготовления газобетона целесообразно исследовать как многопараметрические, а сигналы управления, в зависимости от электромеханических параметров, классифицировать по характерным признакам [7, 8]. Это позволяет отыскивать критерии оптимальности для линейных и нелинейных параметров независимо [9]. Анализ литературных источников свидетельствует о необходимости дальнейшего развития и конкретизации данного вопроса в сочетании с современными исполнительными механизмами и уп-

© В. В. Зиновкин, Э. М. Кулинич 2009 г.

равляющими микропроцессорными устройствами, а систему управления рассматривать как многопараметрическую. Поэтому исследование и моделирование режимов управления технологическими процессами приготовления газобетонов с учетом указанного приобретают особую актуальность и востребованы промышленностью.

**Постановка задачи исследования**

Будем исследовать автоматизированный электропривод дозатора технологической линии приготовления газобетона. Для этого рассмотрим математическую и компьютерную модели, в основе которых будем использовать методологические подходы и принципиальные основы многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона в сочетании с преобразователем частоты (ПЧ) Micromaster420 и программируемого логического контроллера (ПЛК) SIMATIC S7 фирмы SIEMENS.

Внешний вид расположения исполнительных и управляемых механизмов дозатора, а также каналы управления показаны на рис. 1. На рис. 1 приняты следующие обозначения основных элементов системы техпроцесса: шнековые элементы (1, 2); асинхронные электродвигатели (3, 4); входные поворотные заслонки (5); бункер (6); тензометрические датчики (7); выходная поворотная заслонка (8); контроллер управления (9); частотный преобразователь (10); устройство операторного контроля (11), компьютер верхнего уровня управления (12). Пунктирными линиями показано направление движения сыпучих компонент сухой смеси газобетона.

Задача заключается в необходимости обеспече-

ния автоматизированного управления набором компонент сыпучих составляющих газобетона в дозатор в нужных пропорциях. Данная стадия техпроцесса осуществляется при помощи двух шнековых питателей, приводимых асинхронными электродвигателями. Управление режимами этих двигателей осуществляется от преобразователя частоты. В качестве исходных данных используем информацию, поступающую от контролера  $f_{yup}(t)$ , управляющие сигналы которого определяет режимы работы двигателей. Последние обеспечивают технологический процесс работы дозатора. Для сопоставления режимов работы управляющих и исполнительных механизмов в динамике используем сигналы преобразователя частоты и тензометрических датчиков в дозаторе. Первые характеризуют режимы электропривода, а вторые – загрузку дозатора.

**Математическая модель управления электроприводом дозатора** технологической линии базируется на анализе многопараметрического сигнала  $\xi(t)$ , который является суммой сигналов управляющих и исполнительных механизмов, некоторые из которых обладают соответствующими инерционными особенностями. Затем полученные результаты используем для разработки компьютерной модели. В общем случае, во временном интервале протекания технологического процесса  $\Delta t = t_2 - t_1$ , многопараметрический сигнал управления должен описываться дифференциальным уравнением второго порядка

$$\Delta t \cdot \frac{\partial^2 \xi(t, q)}{\partial^2 t} + (t_1 + t_2) \cdot \frac{\partial \xi(t, q)}{\partial t} + \xi(t) = f_{yup}(t) \Big|_{q=const} \quad (1)$$

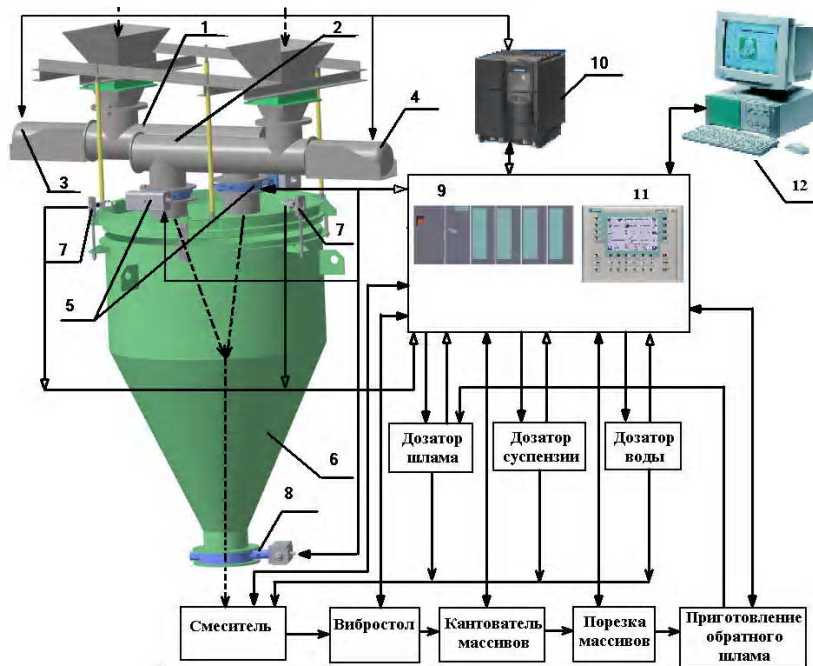


Рис. 1. Общий вид дозатора технологической линии приготовления газобетона и взаимосвязи параметров системы управления

где  $t_1$  и  $t_2$  – время начала и окончания управления технологическим процессом;  $\xi(t, q)$  – выходной сигнал контролера;  $f_{\text{ynp}}(t)$  – сигнал управления двигателями шнековых питателей;  $q$  – параметр, характеризующий особенности системы управления, использующихся управляющих и исполнительных устройств и механизмов. Для решения нашей задачи параметр  $q$  принимаем постоянным.

Поскольку отыскиваем алгоритм управления с начальными данными  $\xi(t_1) = 0, \frac{\partial \xi(t_1)}{\partial t} = 0$  в текущее  $\xi(t_2) = \xi_k, \frac{\partial \xi(t_2)}{\partial t} = 0$  с учетом ограничения технической возможности преобразователя частоты в пределах  $f_{\text{min}} \leq |f| \leq f_{\text{max}}$ , то дифференциальное уравнение (1) преобразуем к следующей системе, удобной для дальнейших исследований:

$$\left. \begin{aligned} t_1 \cdot \frac{\partial \xi_2(t)}{\partial t} + \xi_2(t) &= \lambda(t)_{\text{ynp}}, \\ t_2 \cdot \frac{\partial \xi_1(t)}{\partial t} + \xi_1(t) &= \xi_2(t). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В результате преобразования системы (2) к форме Коши приходим к следующей системе:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial_2 \xi(t)}{\partial t} &= t_1^{-1} \cdot [\lambda(t)_{\text{ynp}} - \xi_2(t, q)] = f_1(\xi_2(t), u), \\ \frac{\partial_1 \xi(t)}{\partial t} &= t_2^{-1} \cdot [\xi_2(t) - \xi_1(t, q)] = f_2(\xi_2(t), \xi_1(t)). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для прояснения физической сущности системы (3) и нахождения вспомогательных переменных  $\varphi_1(t)$  и  $\varphi_2(t)$ , характеризующих динамику протекания управляемых сигналов, составляем следующую, сопряженную системе (3) систему

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varphi_1(t)}{\partial t} &= - \left[ \frac{\partial f_1(\xi_2(t), u)}{\partial \xi_2(t)} \cdot \varphi_1(t) + \frac{\partial f_2(\xi_2(t), \xi_1(t))}{\partial \xi_2(t)} \cdot \varphi_2(t) \right], \\ \frac{\partial \varphi_2(t)}{\partial t} &= - \left[ \frac{\partial f_1(\xi_2(t), u)}{\partial \xi_1(t)} \cdot \varphi_1(t) + \frac{\partial f_2(\xi_2(t), \xi_1(t))}{\partial \xi_1(t)} \cdot \varphi_2(t) \right]. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В результате преобразований решение для вспомогательных функций принимает следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1(t) &= \Pi_1 \cdot e^{t/t_2} + \Pi_2 \cdot e^{t/t_1}, \\ \varphi_2(t) &= \Pi_0 \cdot e^{t/t_2}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Для получения общего вида управляемого сигнала система (5) должна удовлетворять условиям Гамильтона. Исследования показали, что при удовлетворении этих условий система (5) имеет следующее решение:

$$\left. \begin{aligned} &\text{в общем виде} \\ H_1(t) &= f_1(t) \cdot t_1^{-1} (k_u - \xi_2(t) + \varphi_2(t) \cdot t_2^{-1} \cdot (\xi_2(t) - \xi_1(t))), \\ &\text{максимальное значение} \\ H_1(t)_{\text{max}} &= (\Pi_1 \cdot e^{t/t_2} - \Pi_2 \cdot e^{t/t_1}) * \\ &\quad * (k_u \cdot t_1^{-1} \cdot u_{\text{max}}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Поскольку полученные решения удовлетворяют формальным условиям, то закон управления технологическим процессом приготовления газобетона принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} u(t) &= \text{sign} \varphi_1(t) \cdot u_{\text{max}} = \\ &= \text{sign}(\Pi_1 \cdot e^{t/t_2} - \Pi_2 \cdot e^{t/t_1}) \cdot u_{\text{max}}(t) = \\ &= f_{\text{ynp}}(t) \cdot u_{\text{max}}(t). \end{aligned} \quad (7)$$

Применительно к решаемой задаче и использованию технических характеристик преобразователя частоты уравнение (7) удобно представить в следующем виде:

$$f_{\text{вых}}(t) = f_{\text{ynp}}(t) \cdot \varepsilon(x, \xi) \cdot \beta(z, v), \quad (8)$$

где  $f_{\text{вых}}(t)$  – частота на выходе преобразователя частоты;  $f_{\text{ynp}}(t)$  – управление от контролера через аналоговый вход преобразователя частоты;  $\varepsilon(x, \xi)$  – параметры, характеризующие разгон-торможение;  $\beta(z, v)$  – параметры, характеризующие частотные характеристики преобразователя частоты.

Для моделирования технологического процесса в сочетании с управляющими сигналами, полученные результаты на математической модели приведем в соответствие с технологическими параметрами.

Конечным параметром, характеризующим производительность дозатора технологической линии и системы управления, является весовой показатель компонентов газобетона

$$G(t) = \int_{t_1}^{t_2} P(t, q) \cdot F(t) dt, \quad (9)$$

который пропорционален производительности шнекового питателя

$$P(t, q) = P_{\text{max}}(q) \cdot f_{\text{вых}}(t) \quad (10)$$

и потока материала

$$F(t, q) = S(t, q) \cdot \rho(t). \quad (11)$$

Остальные обозначения в (9)–(11) следующие:  
 $P_{max}(q)$  – наибольшая производительность шнека;  
 $S(t, q)$  – пропускная способность заслонки, зависящая от площади открытия заслонки.

**Структурно-логическая схема математической модели** автоматизированного электропривода дозатора технологического процесса приготовления газобетона показана на рис. 2. На этом рисунке приняты следующие обозначения:

- блок ПЛК осуществляет анализ технологической информации с учетом обратных связей (в частности, сигнал о весе дозируемого материала в дозаторе) и формирует сигнал оптимального, для данного временного интервала, управления режимом дозатора;
- блок ПЧ моделирует функции частотного преобразователя, связанные с влиянием настроек параметров преобразователя частоты Micromaster420 на выходной сигнал силовой части этого преобразователя;
- блок Шнек описывает зависимость производительности шнекового питателя от частоты на выходе частотного преобразователя;
- блок Бункер формирует сигнал потока дозируемого материала на основании производительности шнекового питателя, состояния заслонки на выходе технологического накопительного бункера и плотности дозируемого материала;
- блок Дозатор интегрирует поступающий поток дозируемого материала и формирует сигнал веса материала в дозаторе. Этот сигнал, по сути, симулирует сигнал с тензометрических датчиков дозатора и является сигналом обратной связи для ПЛК.

ПЛК на основании задания на дозирование и сигнала обратной связи веса в дозаторе  $G(t)$  формирует сигнал управления  $f_{ymp}(t)$  для преобразователя ПЧ. Блок ПЧ осуществляет преобразования этого сигнала в сигнал на выходе силовой части преобразователя  $f_{вых}(t)$ , который является процентным выражением выходной частоты преобразователя от номинальной частоты электродвигателя шнекового питателя. Сигнал  $f_{вых}(t)$  в блоке Шнек преобразуется в сигнал текущей производительности шнека  $P(t)$ , подаваемый на вход блока Бункер. В блоке Бункер на основании производительности шнека и состояния заслонки  $S(t)$ , которое поступает с блока Заслонка, а также плотно-

сти дозируемого материала формируется сигнал потока материала  $F(t)$  на выходе расходного бункера в дозатор. Блок Дозатор интегрирует сигнал потока материала. На выходе блока Дозатор выдается сигнал веса материала в дозаторе, являющийся сигналом обратной связи для ПЛК.

Необходимо отметить, что структурная схема приведена для дозирования одного компонента. Для двух компонентов добавляется еще по одному блоку Бункер, Шнек и Заслонка, а также блок переключения режима дозирования и сумматор потоков двух разных компонентов.

**Результаты исследований и их анализ.** Результаты компьютерного моделирования динамических режимов системы автоматизированного электропривода дозатора технологической линии приготовления газобетона приведены на рис. 3. На рис. 3, а) и б) показаны изменения управляющих сигналов преобразователя частоты и режим работы электродвигателей в зависимости от времени, соответственно. На рис. 3, б) также показан характер протекания процесса дозирования сухих компонентов газобетона во времени. В процессе моделирования, в зависимости от характера протекания режимов и изменения сигнала управления ПЛК, осуществлялось грубое и более точное регулирование. Сопоставительный анализ результатов исследований показал, что при изменении режимов дозирования выходная частота ПЧ находится в границах нормированных параметров. При этом весовые показатели сухих компонентов в дозаторе изменяются с задержкой до 2 с относительно подачи  $f_{зад}(t)$ . Частота выходного сигнала ПЧ (рис. 2, б) возрастает до номинального значения значительно быстрее по сравнению с изменением весового показателя (рис. 2, в). 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 0,5 с имеет место стабилизация процесса наполнения бункера. Приведенные результаты согласуются с экспериментальными данными с достаточной для инженерных задач точностью.

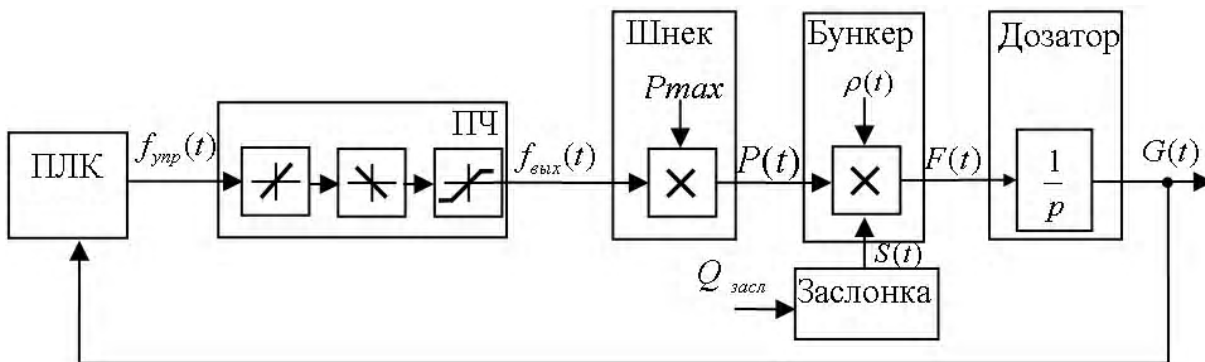


Рис. 2. Структурно-логическая схема компьютерной модели автоматизированного электропривода дозатора технологической линии приготовления газобетона для дозирования одного компонента

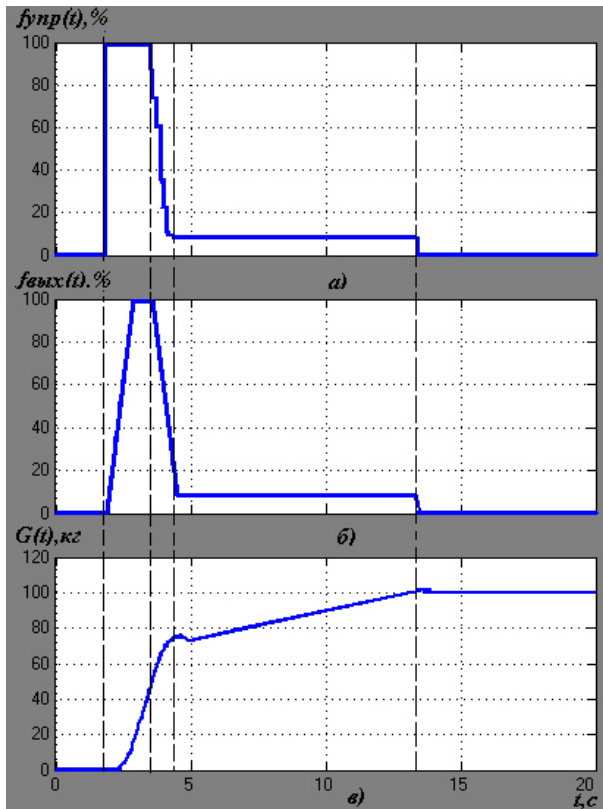


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования автоматизированного электропривода технологического процесса приготовления газобетона

### Выводы

1. Разработанные математическая модель автоматизированного электропривода технологического процесса дозирования сухих компонентов газобетона и ее структурно-логическая схема позволяют, с достаточной для инженерной практики точностью, моделируют динамические режимы исполнительных и управляющих механизмов технологической линии приготовления газобетонов и позволяют проверить степень согласованности параметров применяющегося электромеханического оборудования.

2. Наполнение дозатора компонентами сухой смеси газобетона осуществляется с задержкой до 4 с по сравнению с сигналами на открытие и закрытие технологических заслонок, что поясняется инерционностью электропривода и шнековых элементов.

3. Для повышения эффективности вновь разраба-

тываемых автоматизированных систем управления технологическим процессом приготовления газобетона целесообразно продолжить исследования в направлении учета влияния вероятностных факторов и параметров всей технологической линии в целом, а также условий работы электроприводов в сочетании с другими элементами и исполнительными механизмами.

### Перечень ссылок

1. Большаков В. И. Производство изделий из автоклавного бетона в Украине / Большаков В. И., Мартыненко В. А. // Теория и практика производства и применения ячеистого бетона в строительстве. Сб. науч. трудов. Вып. 3. – 2007. – С. 8–12.
2. Кларе М. Производство ячеистобетонных изделий по технологии фирмы «Маза-Хенке» / Кларе М., Иванов А. // Строительный рынок. – 2006. – № 9–10. – С. 17–19.
3. Beitzel H. Quality-assured manufacture of self-compacted concrete by changing the relevant machine parameters in concrete mixers / Beitzel H. // BFT. – 2007. – № 1. – P. 32–45.
4. Сердюк В. Р. Перспективы производства ячеистых бетонов автоклавного твердения / Сердюк В. Р., Христинич А. В., Лемешев М. С. // Сб. Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2007. – № 24. – С. 18–21.
5. G. Zapotochna-Sytek Автоклавный ячеистый бетон в странах Европы / G. Zapotochna-Sytek // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2007. – № 24. – С. 59–70.
6. G. Zapotochna-Sytek: Rozwoj Autoklawizowanego betonu komorkowego na tle 20 Konferencji «Jadwisinskich» / G. Zapotochna-Sytek // Materiały 20 Konferencji Naukowo-Technicznej Jadwisin. – 2006. – Str. 389–405.
7. Зиновкин В. В. Многокритериальная автоматизированная система управления технологическим процессом приготовления газобетона / Зиновкин В. В., Кулинич Э. М. // Матеріали міжнар. конференції «ISDMCI-2009», (Євпаторія, 19–22 травня). – 2009. – Т. 2. – С. 608–611.
8. 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.

Поступила в редакцию 02.02.09 г.

*Запропоновано математичну модель та структурно-логічну схему автоматизованого електроприводу технологічної лінії приготування газобетону з урахуванням параметрів керуючих пристроїв, перетворювача частоти та виконуючих механізмів.*

*Mathematical model and structurally-logical scheme of the automated electric drive of technological process of aerocrete preparation taken into account the actuation devices parameters, the frequency converter and executive mechanisms are offered.*