

А.М. Ханов, А.Е. Кобитянский, А.В. Шафранов, Д.А. Петров
A.M. Khanov, A.E. Kobityansky, A.V. Shafranov, D.A. Petrov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДОЗАТОРНОЙ СИСТЕМЫ С КУЛАЧКОВЫМ ПРИВОДОМ

MATHEMATICAL MODEL OF DOSING SYSTEM WITH CANSHAFT DRIVE

Рассмотрена конструкция дозаторной системы с кулачковым приводом. Предложена расчетная схема и математическая модель дозатора с учетом динамической взаимосвязи ее элементов как единой электрогидромеханической системы. Сформулированы задачи анализа и синтеза динамических и геометрических характеристик дозатора.

Ключевые слова: дозаторные системы, дозатор, математическая модель, кулачковый привод, законы движения.

Construction design of dosing system with canshaft drive was considered. Computation scheme and mathematical model of doser (batching counter) with account of dynamic interrelationship its elements like single hydro-electric system were proposed. Task analysis and synthesis of dynamical and geometrical characteristics of doser were formulated.

Keywords: batching systems, batcher, math model, canshaft drive, movement laws.

В структуре дозаторных систем существенную роль играет вид привода исполнительного органа. Наибольшее распространение получили электромеханические и электрогидравлические типы приводов, отличающиеся как конструктивным исполнением, так и характером движения рабочих органов, что сказывается на параметрах производительности, времени срабатывания, точности и значениях выходного давления [1].

Существенное отличие электромеханического привода дозаторов от электрогидравлического заключается в том, что его конструкция в некоторых случаях позволяет обеспечить плавность работы исполнительного органа и стабильность расхода дозатора. К таким случаям относится применение кулачкового привода, в котором за счет профиля кулачка формируется заданный закон движения плунжера. В качестве примера на рис. 1 представлен дозатор с кулачковым приводом.

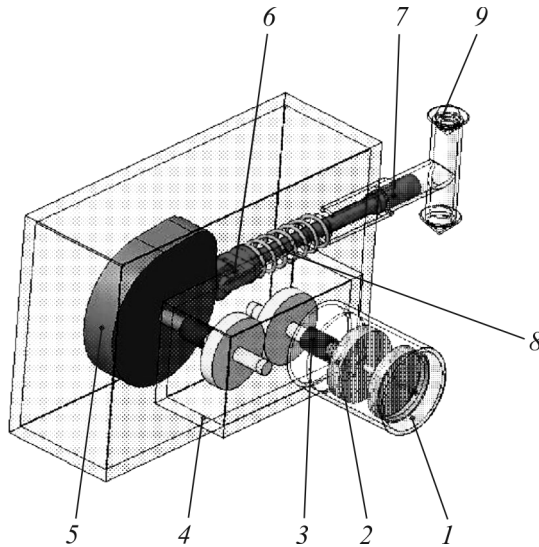


Рис. 1. Конструкция дозаторной системы с кулачковым приводом

Вращательное движение ротора 2 двигателя 1 через муфту 3 и передаточный механизм 4 (в случае его наличия) передается на кулачок 5. За счет профиля кулачка возвратно-поступательное движение толкателя 6 осуществляется по заданному закону. Плунжер дозатора 7 жестко связан с толкателем. В кулачковом механизме может реализовываться как геометрическое замыкание, так и силовое замыкание с помощью пружины 8.

Во время прямого хода плунжера 7 в рабочей камере, содержащей дозируемый материал, создается избыточное давление. Порция материала через клапан 9 вытесняется в нагнетательную магистраль. Обратный ход плунжера, соответствующий процессу всасывания, осуществляется за счет профиля кулачка 5 и силы упругости пружины 8.

С учетом конструктивных особенностей расчетная схема дозатора представлена на рис. 2, обозначение элементов аналогично обозначениям рис. 1. Теоретическая оценка влияния конструктивных и режимных параметров на эксплуатационные и качественные характеристики дозатора может быть реализована с помощью математической модели, которая формируется на основе принципа составной модели, учитывающей динамическую взаимосвязь между элементами дозаторной системы (рис. 2) [2].

С учетом жесткой связи двигателя и кулачка уравнение движения вращающейся массы ротора, передаточного механизма и кулачка для стационарного режима работы при линеаризации механической характеристики двигателя [3]:

$$I_{\Pi} \ddot{\phi} = (M_0 - \beta \phi) U(t) - M_{\text{сн}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{п}}$ – приведенный момент инерции ротора двигателя, муфты, передаточного механизма и кулачка; φ – угол поворота ротора двигателя и кулачка; M_0 – величина номинального крутящего момента двигателя; β – коэффициент крутизны статической характеристики, определяемый по известным методикам и справочным данным; $U(t)$ – функция управления, $U(t) = \begin{cases} 1, t < T_0 \\ 0, t \geq T_0 \end{cases}$, где T_0 – время отключения двигателя; $M_{\text{сн}}$ – приведенный момент сил сопротивления.

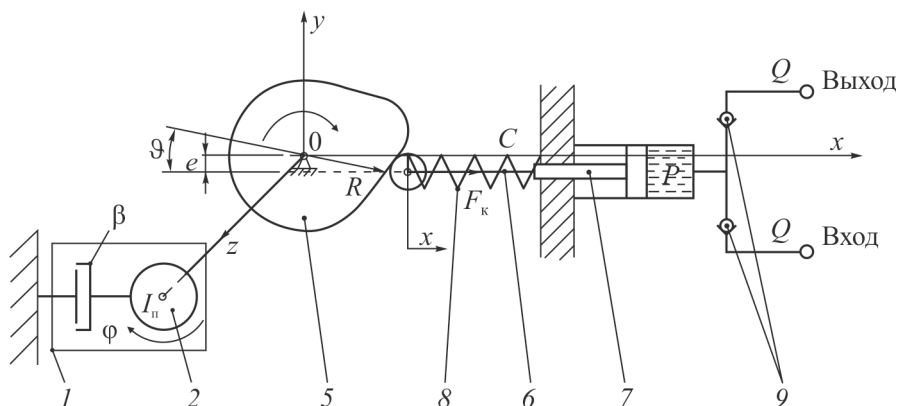


Рис. 2. Расчетная схема дозатора с кулачковым приводом

Движение толкателя-плунжера в цилиндре в предположении сжимаемости жидкости описывается соотношением

$$m_{\text{п}} \ddot{x} = F_{\text{к}} - F_{\text{тр}} - F_{\text{пр}} - F_{\text{сн}}, \quad (2)$$

где $m_{\text{п}}$ – приведенная масса плунжера; x – перемещение плунжера; $F_{\text{к}}$ – осевое усилие на толкатель со стороны кулачка; $F_{\text{тр}}$ – результирующая сила трения уплотнений и реакций в опорах, $F_{\text{тр}} = k_{\text{т}} F_{\text{р}}$, где $k_{\text{т}}$ – коэффициент трения; $F_{\text{р}}$ – результирующая реакций в опорах и уплотнениях); $F_{\text{пр}}$ – сила упругости пружины, $F_{\text{пр}} = cx$, (где c – коэффициент жесткости пружины); $F_{\text{сн}}$ – сила сопротивления нагнетанию жидкости в дозаторе, $F_{\text{сн}} = pS$, где p – давление жидкости в дозаторе, S – площадь плунжера дозатора.

Динамика процессов, происходящих в цилиндре и клапанах дозатора, описывается следующими уравнениями [4, 5]:

$$\begin{cases} \dot{p} = k^{-1}(\dot{x}S - Q), \\ Q = \begin{cases} G\sqrt{|p - p_{\text{выход}}|}, \dot{x} > 0, \\ 0, \dot{x} = 0, \\ G\sqrt{|p - p_{\text{вход}}|}, \dot{x} < 0, \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

где k – коэффициент упругости полости с жидкостью (зависит от изменения объема цилиндра, упругости жидкости и материала цилиндра), $k = f(\dot{x})$; G – пропускная способность клапана (зависит от геометрических параметров клапана), принимается $G = \text{const}$; Q – расход дозируемой жидкости через клапан дозатора; $p_{\text{вход}}$, $p_{\text{выход}}$ – давление жидкости магистрالياх: нагнетательной (выход) и питательной (вход).

Силовые параметры, действующие на кулачок со стороны толкателя, определяются на основе рис. 2 [3, 6]:

$$M_{\text{сп}} = F_{\text{к}} R \text{tg} \vartheta = F_{\text{к}} \left(\frac{\left(\frac{\dot{x}}{\dot{\phi}} \right) \pm e}{x + X_0} \right) R,$$

где ϑ – угол давления, $\vartheta = \text{arctg} \left(\frac{\left(\frac{\dot{x}}{\dot{\phi}} \right) \pm e}{x + X_0} \right)$; R_0 – начальный радиус кулачка;

e – эксцентриситет; X_0 характеризует нижнее положение толкателя относительно оси вращения кулачка, $X_0 = \sqrt{R_0^2 - e^2} = \text{const}$; R – текущий радиус кулачка, $R = \sqrt{R_0^2 + x^2 + 2xX_0}$.

С учетом соотношений (1)–(3) и силовых характеристик кулачка математическая модель дозаторной системы имеет вид

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{\text{п}} \ddot{\phi} = (M_0 - \beta \dot{\phi}) U(t) - M_{\text{сп}}, \\ M_{\text{сп}} = F_{\text{к}} \left(\frac{\left(\frac{\dot{x}}{\dot{\phi}} \right) \pm e}{x + X_0} \right) R, \\ X_0 = \sqrt{R_0^2 - e^2} = \text{const}, \\ R = \sqrt{R_0^2 + x^2 + 2xX_0}, \\ m_{\text{п}} \ddot{x} = F_{\text{к}} - F_{\text{тр}} - F_{\text{пр}} - F_{\text{сп}}, \\ \dot{p} = k^{-1} (\dot{x} S - Q), \\ Q = \begin{cases} G \sqrt{|p - p_{\text{выход}}|}, & \dot{x} > 0, \\ 0, & \dot{x} = 0, \\ G \sqrt{|p - p_{\text{вход}}|}, & \dot{x} < 0. \end{cases} \end{array} \right. \quad (4)$$

Система (4) позволяет решать прямую и обратную задачи по анализу и синтезу дозаторной системы. В случае прямой задачи задаются профилем кулачка и законом движения плунжера-толкателя, определяя количественные, качественные и эксплуатационные характеристики системы дозирования. При решении обратной задачи на основе заданных критериев качества функционирования дозатора определяется закон движения плунжера и проектируется профиль кулачка.

Таким образом, предложенная математическая модель (4) дает возможность определения оптимальных параметров дозатора с кулачковым приводом с помощью направленного моделирования динамических процессов.

Список литературы

1. Гуревич А.Л., Соколов М.В. Импульсные системы автоматического дозирования агрессивных жидкостей. – М.: Энергия, 1973. – 112 с.
2. Математическая модель дозаторной системы / А.М. Ханов, А.Е. Кобитянский, А.В. Шафранов, Д.А. Петров // Изв. Самар. науч. центра РАН. Современные технологии в промышленности, строительстве и на транспорте. – 2012. – Т. 14, № 4. – С. 1329–1334.
3. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1990. – 592 с.
4. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода / И.И. Бажин [и др.]; под общ. ред. С.А. Ермакова. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.

5. Гладких П.М., Дмитриенко О.В. Исследование динамической жесткости гидроцилиндра объемного гидропривода с учетом растворенного воздуха в рабочей жидкости // Вестник национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Технологии в машиностроении». – Харьков, 2010. – № 54. – С. 25–30.

6. Кобитянский А.Е. Анализ и синтез плоских кулачковых механизмов: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 119 с.

Получено 21.05.2013

Ханов Алмаз Муллаянович – доктор технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mtf-dekanat@pstu.ru, mtf@pstu.ru).

Кобитянский Алексей Ефимович – кандидат технических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: detali@pstu.ru).

Шафранов Алексей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: a_shafranov@mail.ru).

Петров Дмитрий Алексеевич – аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: petrovmail88@gmail.com).

Khanov Almaz Mullayanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: mtf-dekanat@pstu.ru, mtf@pstu.ru)

Kobityansky Aleksey Efimovich – Candidate of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: detali@pstu.ru).

Shafranov Aleksey Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: a_shafranov@mail.ru).

Petrov Dmitriy Alekseevich – Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: petrovmail88@gmail.com).