

єдиного ПІ, який зводиться до побудови єдиної АІС, що охоплює процеси оперативного управління ВНЗ. Використано онтологічний метод моделювання ІС на базі багатовимірних моделей. З його допомогою розроблено інфологічну модель АІС, що повністю відображає прагматику досліджуваної системи, тобто не потребує використовувати ніяких додаткових методів для її створення.

Список літератури

1. William S. Davis, David C. Yen The Information System Consultant's Handbook. Systems Analysis and Design. — CRC Press, 1998. — 800 с.
2. Крамаренко В.В., Яловая Е.Н., Завгородний В.В. Онтологическая модель и технологии создания информационного портала ВУЗа // Вісник Академії митної служби України. Серія «Технічні науки». – Дніпропетровськ:АМСУ, 2010. – №2 (44), С. 163-169.
3. Г. Кунц, С. О'Доннел. Управление: Системный и ситуационный анализ управленческих функций // Пер. с англ. под общей ред. Д. М. Гвишиани. М.: Прогресс, 1981. 491 с.
4. Клиланд Д., Кинг В. Системный анализ и целевое управление // Пер. с англ. М. М. Горянова, А. В. Горбунова под ред. И. М. Верещагина. М.: Сов. радио, 1974. 280 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.
Надійшла до редакції 29.10.13*

УДК 622.685: 531.8

© Л.И. Мещеряков, С.Д. Приходченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВНУТРИФАБРИЧНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПО ПРЕДСКАЗЫВАЮЩЕЙ МОДЕЛИ

Рассматривается моделирование системы автоматизации внутрифабричного гидротранспорта на основе контроля по предсказывающей модели. Проведено сравнение предлагаемой системы с аналогами, основанными на применении ПИД-регулятора.

Розглядається моделювання системи автоматизації внутріфабричного гідротранспорту на основі контролю за моделлю, що передбачає. Проведено порівняння пропонованої системи з аналогами, заснованими на застосуванні ПІД-регулятора.

The design is considered of the system of automation of the vnutrifabrichnogo hydraulic conveying on the basis of control on the predictive model. The comparison is conducted of the offered system with the analogues, based on application of ПИД-regulator.

В качестве одной из подзадач автоматизации горно-обогатительных предприятий весьма остро на сегодняшний день стоит проблема автоматизации транспортных линий ГОКов, о чем свидетельствуют работы [1, 2]. Следовательно, построение модели гидротранспортной сети горно-обогатительного предприятия, учитывающей ранее не рассмотренные аспекты, является актуальной задачей.

Базовыми элементами гидротранспортных сетей являются шламовые насосы. Для представления шламового насоса в виде системы роторов Джеффкотта-Лавалья можно считать, что каждая движущаяся деталь механизма представлена в виде ротора Джеффкотта-Лавалья, соединенного с соседними элементами упругим соединением. Тогда, структурную схему шламового насоса, представленного в виде многомассовой системы роторов можно описать как схему, которая показана на рис. 1.

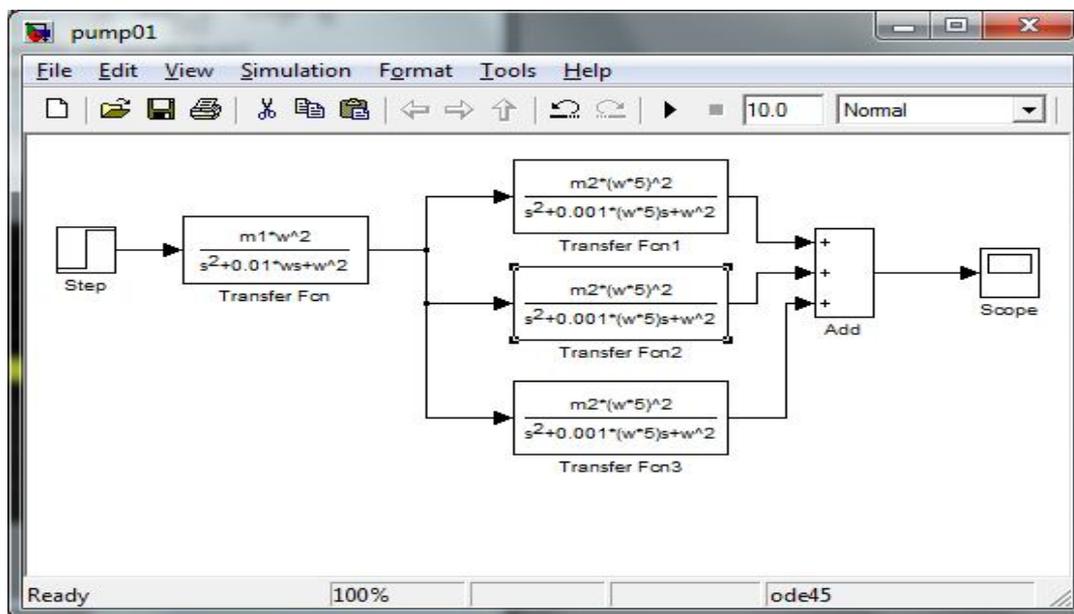


Рис. 1. Структурная схема шламового насоса

Передаточная функция системы, приведенной на рис 1, представляет собой выражение вида (1)

$$G(s) = \frac{Num(s)}{Den(s)}$$

$$Num(s) = 6.1 \cdot 10^{10} s^6 + 1.7 \cdot 10^{12} s^5 + 1.1 \cdot 10^{17} s^4 + 2.1 \cdot 10^{18} s^3 + 6.91 \cdot 10^{22} s^2 + 6.5 \cdot 10^{23} s + 1.4 \cdot 10^{28}$$

где

$$Den(s) = s^{10} + 47.12 s^9 + 2.5 \cdot 10^6 s^8 + 9.4 \cdot 10^7 s^7 + 2.3 \cdot 10^{12} s^6 + 6.6 \cdot 10^{13} s^5 + 9.9 \cdot 10^{17} s^4 + 1.9 \cdot 10^{19} s^3 + 1.7 \cdot 10^{23} s^2 + 1.6 \cdot 10^{24} s + 3.6 \cdot 10^{27}$$

(1)

На рис. 2 показана ступенчатая реакция модели шламового насоса.

Реакция системы высоко колебательная, как и ожидалось при коэффициенте затухания = 0,001.

Основным преимуществом использования замкнутой системы контроля перед незамкнутой, является уменьшение чувствительности системы к внешним и внутренним возмущениям, влияющим на систему. Внутренние измене-

ния здесь конечно будут характеризованы изменениями в значениях основных параметров системы.

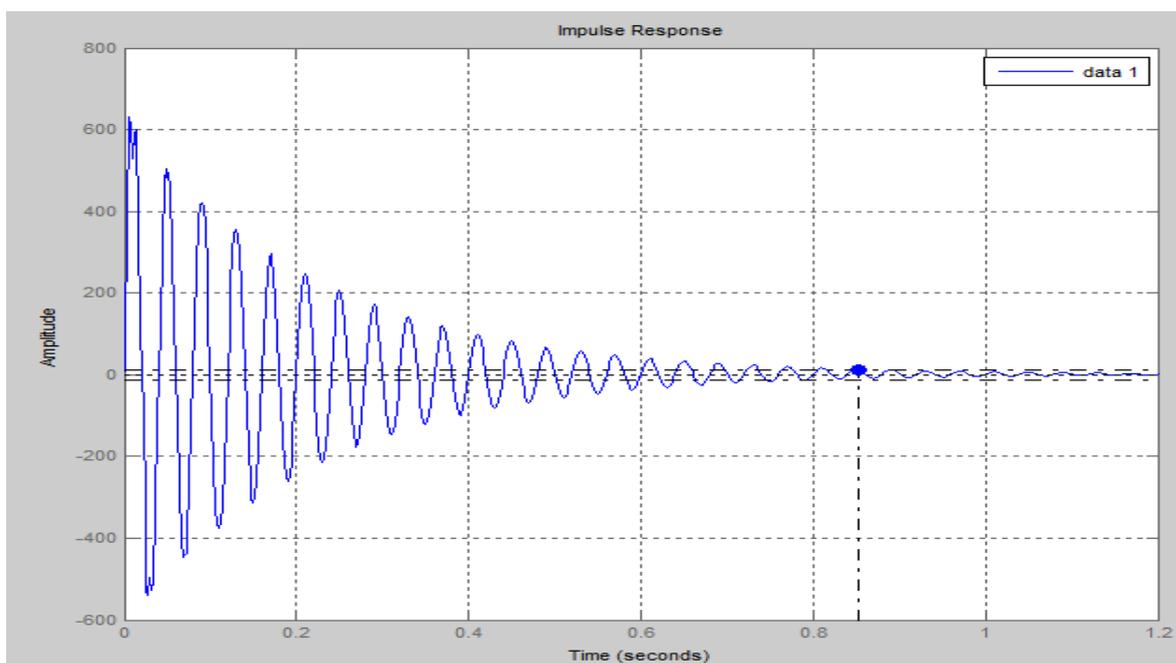


Рис. 2. Реакция модели шламowego насоса на ступенчатое воздействие

Внешние изменения, которые влияют на производительность, будут определяться как возмущения. Эти возмущения отражаются как изменения в окружающей среде системы, способные влиять на производительность. Примерами возмущений могут являться волны на выходе управляемой системы. Ниже приведено моделирование только для модели ротора Джеффкотта-Лавала и определенных возмущений.

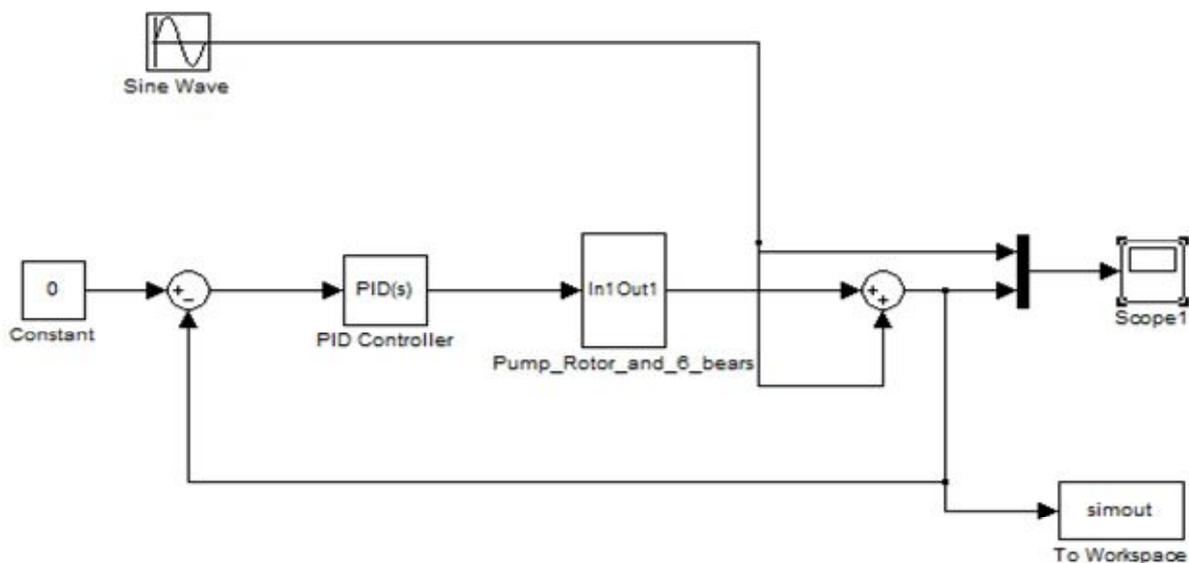


Рис. 3. Схема моделирования насоса с ПИД-регулятором

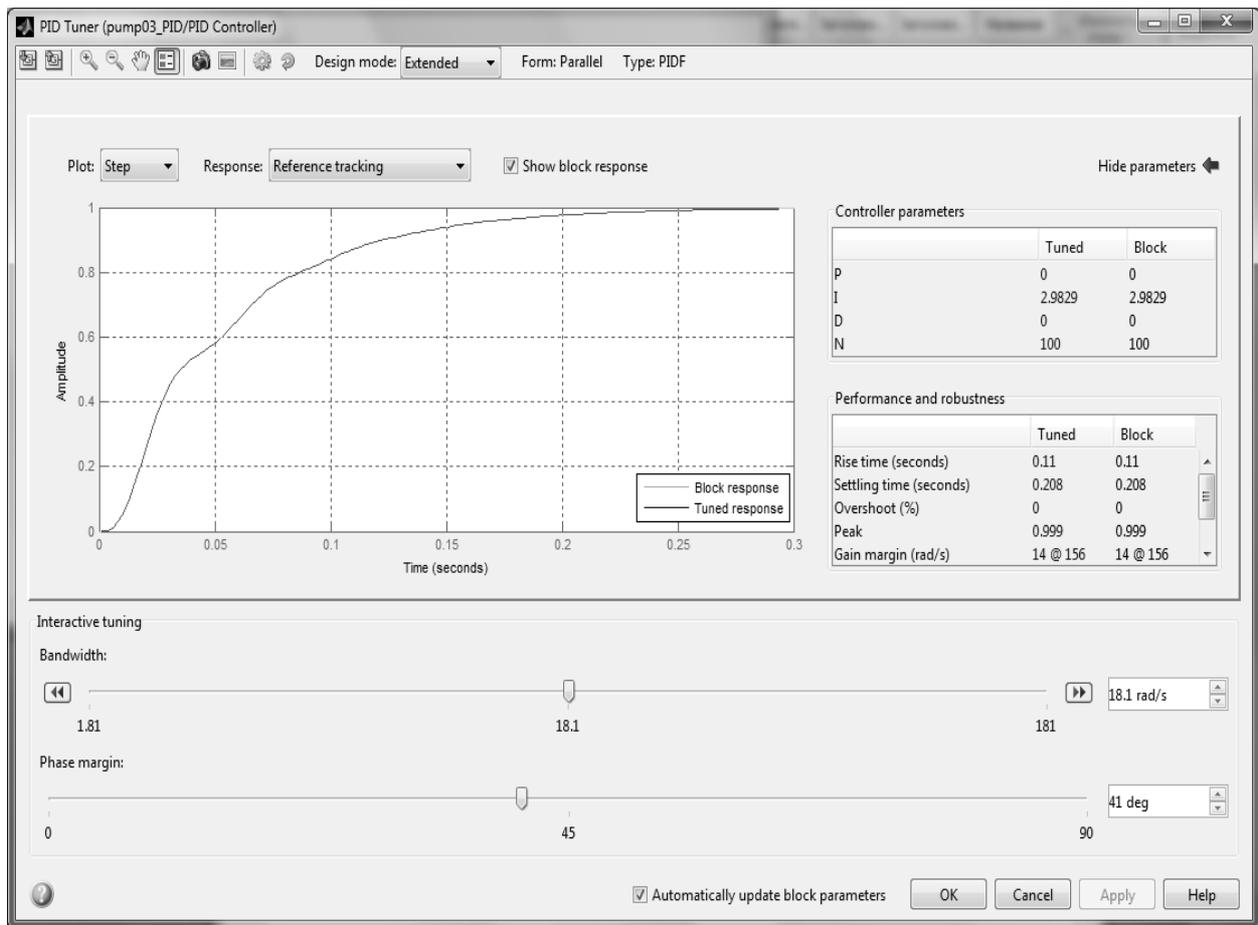


Рис. 4. Вариант ПИД-регулятора и его параметры

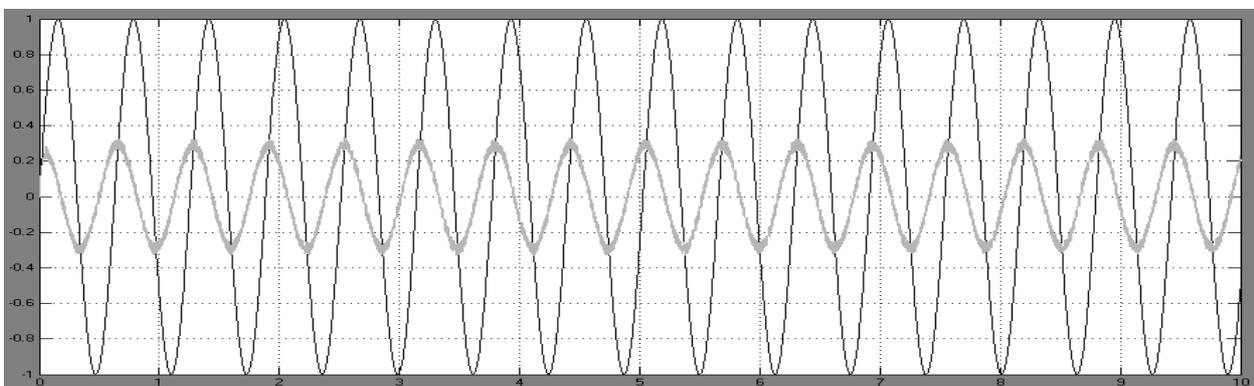


Рис. 5. Регулирование ПИД-регулятором. Частота 10 Гц. серая – выходное значение смещения ротора, черная – возмущения.

Контроль по предсказывающей модели (КПМ) использует:

- встроенную динамическую модель процесса;
- историю прошлых управляющих решений;
- функцию оптимизации затрат J над горизонтом предсказания, для вычисления оптимальных управляющих воздействий.

КПМ – стратегия управления, которая использует модель процесса для прогнозирования ответа на будущий промежуток, определяемый как горизонт прогноза. Будущее состояние на входах управления в свою очередь определяется пу-

тем минимизации индивидуальных критериев, например, отклонением от желаемой уставки, более (части) этого будущего интервалом, контроль горизонта. На самом деле реализуются только значения вычисленных оптимальных ходов управления для первого образца и алгоритм повторяет ту же процедуру для следующего образца. Основным преимуществом КПМ является ограничение пропускной способности: в отличие от большинства других стратегий контроля, ограничения на входы и выходы могут быть включены в КПМ-оптимизацию [3]. Еще одним преимуществом КПМ является его способность предвидеть будущие события, как только они проявляются на горизонте прогноза.

Закон КПМ-управления может быть легко представлен следующей иллюстрацией.

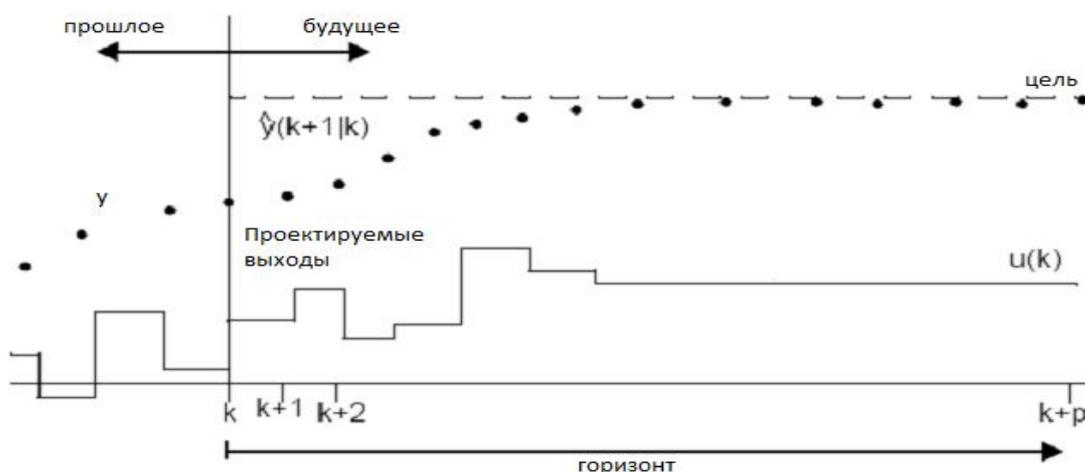


Рис. 6. Закон управления КПМ

В случае шламового насоса рассматривается следующая структура: насос, приводится в движение приводом, перед которым установлен КПМ-контроллер. Обратная связь от насоса поступает на вход контроллера. Также учитывается возмущения модели и возмущения насоса (рис. 7).

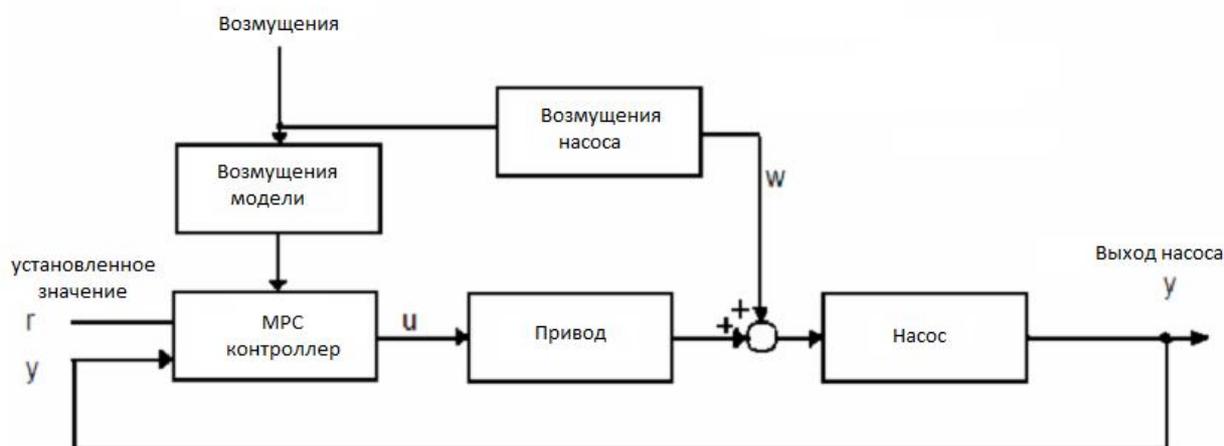


Рис. 7. Замкнутая система с КПМ

Возмущения описаны как простая синусоида с частотой вращения рабочего колеса насоса или частотой вращения подшипников. Шум измерений может быть смоделирован, как невзвешенное волнение. Для точности моделирования необходимы следующие переменные: привод и насос – модели в шаговом формате КПМ, используемом для оценки состояния в контроллере КПМ.

Для любого предполагаемого набора настоящих и будущих управляющих воздействий $Du(k), Du(k + 1), \dots, Du(k + m - 1)$ будущее поведение выходов процесса $y(k + 1|k), y(k + 2|k), \dots, y(k+p|k)$ может быть предсказано по горизонту прогноза p . m текущих и будущих управляющих воздействий ($m \leq p$) вычисляются для минимизации квадратичной цели формы (2)

$$\begin{aligned} \min_{\Delta u(k) \dots \Delta u(k+m-1)} & \sum_{l=1}^p \|\Gamma_l^y (y(k+l|k) - r(k+l))\|^2 + \\ & + \sum_{l=1}^m \|\Gamma_l^u (\Delta u(k+l-1))\|^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь используются матрицы весов для вычисления отдельных компонентов u или y на определенных промежутках времени будущего. $r(k+l)$ – вектор будущих эталонных значений (уставки). Хотя рассчитывается m управляющих воздействий, применяется только $(Du(k))$ первое из них. На следующем интервале контроллер получает новые значения измеряемого выхода, горизонт контроля смещается на один шаг и повторяется вышеописанный цикл вычислений. В результате закон управления называют «движущийся горизонт» или «уходящий горизонт».

«Предвидимые» выходы процесса $y(k+1|k), \dots, y(k+p|k)$, зависят от текущего измерения $\hat{y}(k)$ и от предположений, которые мы делаем о неизмеримых нарушениях и измерениях шума, влияющие на выходы.

Вышеописанная модель рассчитана в системе Matlab при помощи системы MPC Toolbox. Общим представлением линеаризованного инварианта дискретного времени в пространстве состояний, используемом в MPC Toolbox, является (3)

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \Phi x(k) + \Gamma_u u(k) + \Gamma_d d(k) + \Gamma_w w(k) \\ y(k+1) &= \bar{y}(k) + z(k) = Cx(k) + D_u u(k) + D_d d(k) + D_w w(k) + z(k) \end{aligned} \quad (3)$$

где x – вектор из n состояний переменных; u представляет n_u управляемых переменных; d представляет n_d измеряемых, но свободно изменяющихся переменных (измеряемые возмущения); w представляет n_w неизмеряемых свободно изменяющихся переменных; y – вектор n_y выходов объекта управления; z – из-

мерение шума; Φ и Γ – матрицы постоянных соответствующих размеров. Переменная $\hat{y}(k)$ представляет собой выход объекта без добавления шума.

Определяются величины $\Gamma = [\Gamma_u \ \Gamma_d \ \Gamma_w]$; $D = [D_u \ D_d \ D_w]$.

В качестве модели привода принимается модель, разработанная на основе технической документации на шламовый насос [4], передаточная функция которой находится в следующем виде

$$A(s) = \frac{2474s + 3.53^6}{s^2 + 1.529s + 98565} \quad (4)$$

Передаточная функция возмущений принимается равной частоте работы шламового насоса, т.е. 25 Гц.

$$D(s) = \frac{25 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 25)^2}{s^2 + (2 \cdot \pi \cdot 25)^2} \quad (5)$$

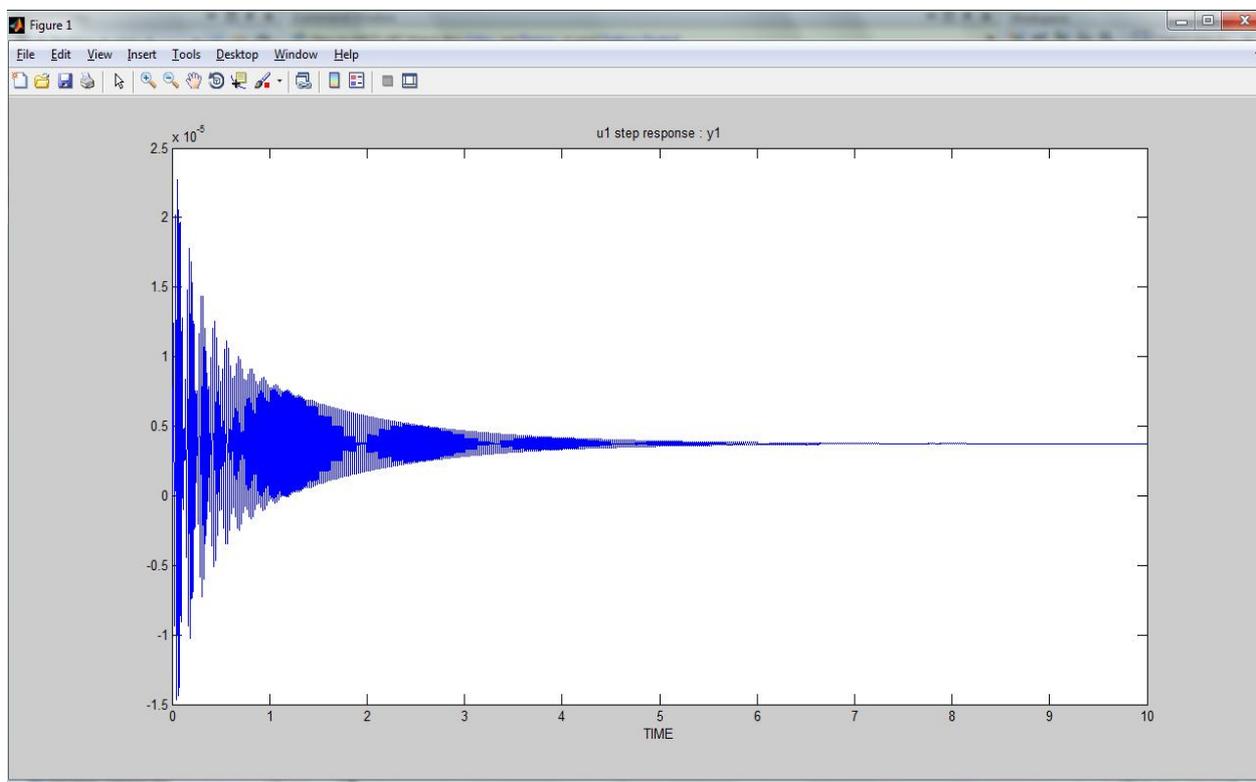


Рис. 8. Реакция двигателя шламового насоса на шаговое воздействие

На рис. 9 представлены результаты моделирования для модели интеллектуального контроллера. Выходное значение смещения ротора показано в первой графе. Второй график представляет значения управляющей переменной. И последний график показывает синусоидальный сигнал, который представляет колебания на резонансной частоте.

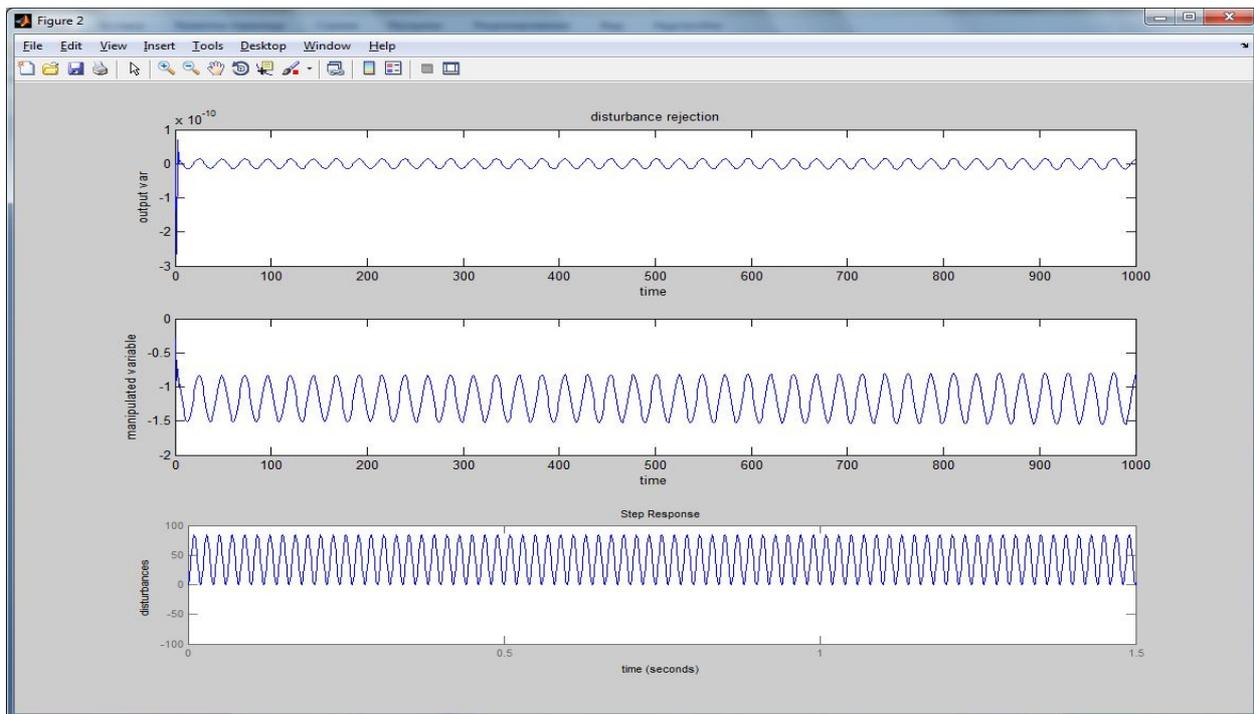


Рис. 9. Результаты моделирования системы, которая управляется КПМ-контроллером

Как видно из полученного графического отображения выходного значения смещения ротора шламового насоса, система в целом работает стабильно, не входя в резонанс. Кроме того, амплитуда колебаний системы на 20 % меньше, чем при регулировании ПИД-регулятором.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение для моделирования системы управления шламового насоса в структуре внутризаводского гидротранспорта многомассовой моделью роторов Джеффкотта-Лавала является оправданным и актуальным. Кроме того, применение в контуре управления метода контроля по предсказывающей модели дает лучшие результаты, нежели применение в аналогичной ситуации стандартного ПИД-регулятора.

Список литературы

1. Приходченко С.Д. Построение математической модели шламового насоса и исследование ее динамических характеристик. // Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. работ. Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 77. – с. 159-166
2. Приходченко С.Д. Экспериментальное исследование процесса гидротранспортирования шлама по потребляемой двигателем насоса мощности // Гірничя електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006 – вип 77. – с. 113-119
3. Rolf Findeisen and Frank Allgöwer. An introduction to nonlinear model predictive control. In 21st Benelux Meeting on Systems and Control, Veidhoven, pages 1–23, 2002.
4. Центробежные грунтовые и фекальные насосы. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1971, 67 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 11.11.13*