

10-я Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2002"
Украина, Сумы, 10-13 сентября 2002 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В УСТАНОВКЕ ПО ПЕРЕКАЧКЕ ОТВАЛЬНЫХ ХВОСТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

MODELING AND MANAGEMENT OF DYNAMIC PROCESSES IN INSTALLATION ON SWAPPING RESIDUAL OF TAILS OF METALLURGICAL MANUFACTURE

МОРОЗОВ Геннадий Александрович, начальник группы,
ЯРОСЛАВЦЕВ Сергей Владимирович, к.т.н., начальник отдела,
ДП «Турбонасос» ФГУП КБХА, г. Воронеж, Россия.

***Abstract.** The purpose of given clause is the development of mathematical models of physical processes, and also laws of regulation in systems of automatic control of installations on transitive modes of operations ensuring their optimization.*

Перспективными разработками в рамках конверсии предприятия являются энергетические гидромеханические установки, используемые на горно-обогатительных фабриках для и транспортировки измельченных рудных материалов (пневмогидравлическая схема установки СПОХ800 представлена на рис. 1).

Установка СПОХ800 имеет в своем составе агрегаты автоматики с электрогидравлическими приводами и построена на основе электронасосного агрегата. Электронасосный агрегат (ЭНА) оснащен гидромuftой с целью регулирования частоты вращения. Современному научно-техническому уровню разработок данного класса установок соответствуют построенные по иерархическому принципу электронные системы автоматического управления и контроля (САУК). Поэтому на данном этапе весьма важным аспектом является теоретическое обоснование используемых подходов к построению математического обеспечения подобных САУК.

Целью данной статьи является разработка математических моделей физических процессов, а также законов регулирования в системе автоматического управления установки на переходных режимах работы, обеспечивающих их оптимизацию.

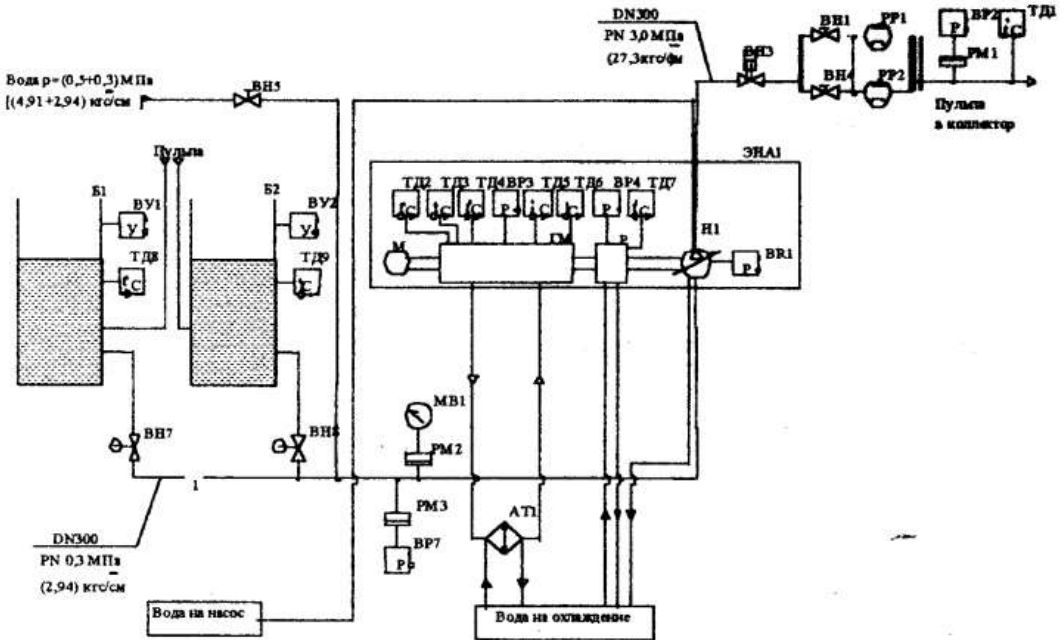


Рисунок 1 - Схема пневмогидравлическая принципиальная установки СПОХ800

Актуальность проблемы связана с отсутствием в отрасли инженерных методик расчета и анализа экспериментальных данных, полученных по результатам статистической обработки результатов испытаний, а также отсутствием законов регулирования САУК для данного типа энергетических систем, максимально учитывающих характерные нелинейные особенности физических процессов.

Математическая модель переходных процессов

Модель строится по агрегативному принципу, т. е. на основе модулей, описывающих характерные процессы в узлах и агрегатах установки с использованием эмпирических коэффициентов, полученных по результатам статистической обработки экспериментальных данных.

При разработке математической модели переходных процессов приняты следующие допущения: динамика электрических процессов в ЭНА, диффузионных и процессов перемешивания в зумпфе, гидравлических процессов в магистрали подачи суспензии в ЗУМПФ не учитывается; возмущения по расходу суспензии в ЗУМПФ составляют от $-37,4\%$ до $+12,5\%$ от номинального значения; возмущения по линейному напряжению электропитания на входе установки изменяются в пределах $\pm 15\%$ от номинального значения (оборудование эксплуатируется в условиях промышленных помех), помехи в канале измерения уровня суспензии в ЗУМПФ и в канале измерения расхода суспензии через ЭНА отсутствуют. Суспензия руд – ньютоновская, несжимаемая жидкость с плотностью, равной плотно-

сти гидросмеси, и кинематической вязкостью, определяемой по формуле: $\mu = \mu_0 \cdot (1 - \beta)^{-2,8}$, где μ_0 – кинематическая вязкость воды, β – объемное содержание твердого в смеси.

Отдельные агрегаты имеют следующие характеристики.

Пульповый насос. На входе в насос допускаемое абсолютное давление не должно быть менее 0,112 МПа (1,12 кгс/см²). Гидравлический КПД насоса определяется на основании статистической обработки результатов гидравлических испытаний насоса-прототипа. Гидравлический расчет рабочих характеристик проводится для воды, затем осуществляется пересчет параметров насоса на перекачиваемую гидросмесь. Изменение ширины лопасти в меридиональном сечении от v_1 до v_2 в расчете принимается линейным. Потери мощности на трение в подшипниках и сальниковых уплотнениях насоса оцениваются в 1–2 % от потребляемой мощности насоса.

Асинхронный электродвигатель привода насоса. Нерегулируемый.

Гидромуфта. Регулирование режимов осуществляется путем изменения степени заполнения гидромуфты рабочей жидкостью по заданному закону.

Зумпф (приемочное устройство для суспензии). Смесь в зумпфе распределена равномерно, с одинаковой плотностью по объему.

Пульпопровод. Длина до 15 км. Течение несжимаемой жидкости по жесткой трубе.

Математические модели процессов регулирования в системе разделения суспензии руд

При разработке моделей приняты следующие допущения: процессы регулирования рассматриваются в рамках концепции возмущенно-невозмущенного движения Ляпунова, допускается максимально возможное упрощение описания процессов при сохранении наиболее существенных особенностей физических явлений – нелинейностей статических характеристик узлов и агрегатов.

В качестве переменных состояния (фазовых координат) x и управления u приняты относительные отклонения от номинальных значений. Относительные отклонения получены разложением в ряд Тейлора исходных уравнений, описывающих физические процессы.

Нелинейная модель объекта управления

Нелинейную модель получаем путем отбрасывания всех членов ряда Тейлора выше квадратичных. Принимая значения величин p_0, p_1, p_2 равными нулю, получаем на основе гипотезы линеаризации линейную модель динамики объекта управления.

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= A_{1,1} \cdot x_1 + A_{1,2} \cdot x_2 + B_1 \cdot (p_0 \cdot x_2^2 + (1 + p_1 \cdot x_2) \cdot u + p_2 \cdot u^2), \\ \dot{x}_2 &= A_{2,1} \cdot x_1 + W \cdot v, \\ y_1 &= C_1 \cdot x_1, \\ y_2 &= C_2 \cdot x_2. \end{aligned} \right\}$$

Синтез нелинейного регулятора уровня суспензии в зумпфе методом алгоритмического конструирования

В соответствии с методикой, предложенной в работе [2], закон управления нелинейного квазиоптимального регулятора будет иметь следующий вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{n_1 \cdot \omega_{\max} \cdot (R^{-1} \cdot b_2 \cdot (k_{21} \cdot x_1 + k_{22} \cdot x_2) + p_0 \cdot x_2^2 + (1 + p_1 \cdot x_2) \cdot u + p_2 \cdot u^2)}{1 + p_1 \cdot x_2 + 2 \cdot p_2 \cdot u}$$

Для рассматриваемого контура регулирования (скалярное управление) решение задачи сводится к структурной схеме, представленной на рис. 2.

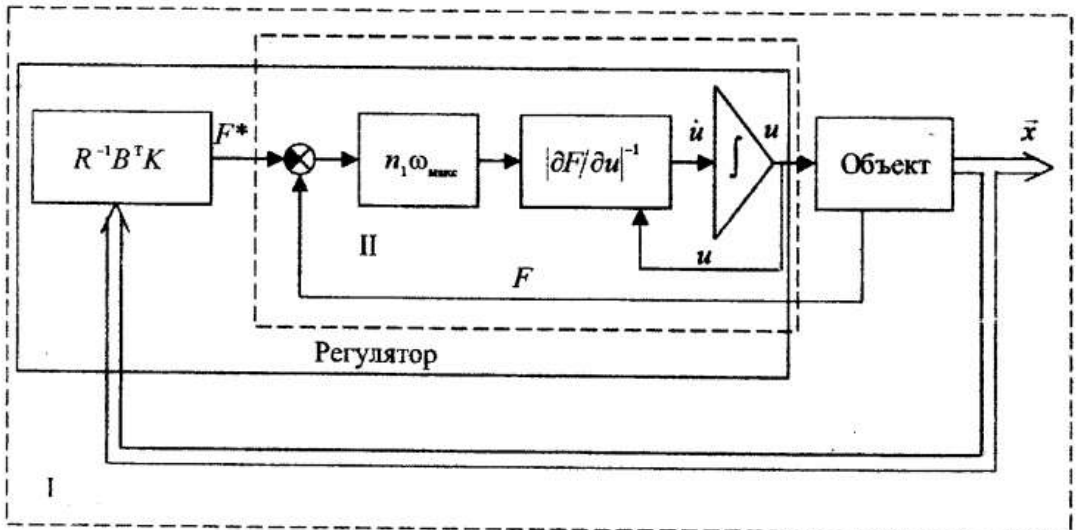


Рисунок 2 - Структурная схема замкнутой нелинейной системы регулирования

Расчетно-экспериментальное исследование характеристик цифрового контура регулирования уровня компонента в приемочном устройстве

На рис. 3 представлена регулировочная характеристика установки по перекачке отвальных хвостов, для различных уровней суспензии в ЗУМП-Фе. Эта характеристика используется для настройки системы на стационарных режимах.

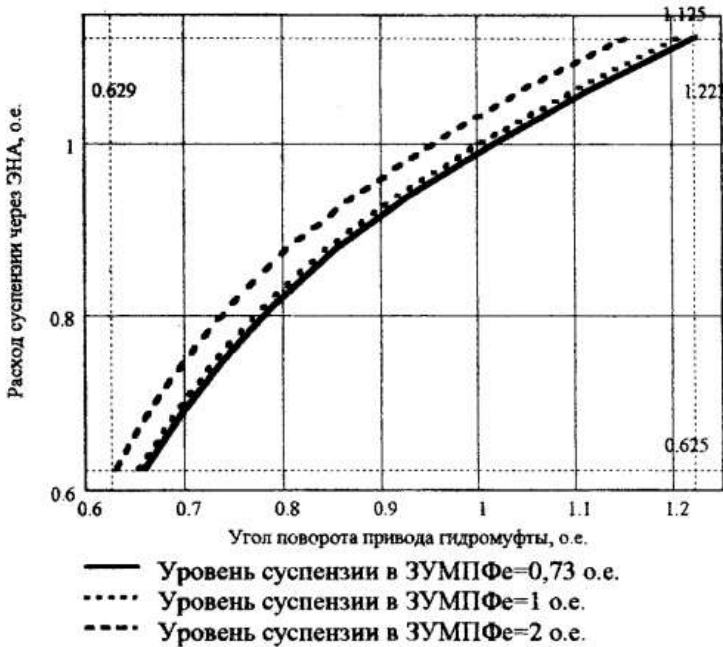


Рисунок 3 - Регулировочная характеристика установки по разделению суспензии руд

Исследование динамических характеристик регуляторов на имитационном стенде

В табл. 1 представлены максимальные и минимальные значения величины постоянного возмущения, при котором выполняются требования технического задания для каждого конкретного типа регуляторов (для рассматриваемой схемы регулирования параметров номинального режима).

Границы значений величины возмущения определяется допустимым уровнем суспензии в ЗУМПФе.

Таблица 1 – Границы значений величин возмущения

| Тип регулятора | Значение величины возмущения | Массовый расход суспензии в ЗУМПФ, % от номинального | |
|-----------------------------|------------------------------|--|-------|
| | | Min | Max |
| По статическим связям | | 98,5 | 110,3 |
| Оптимальный линейный | | 96 | 112 |
| Квазиоптимальный нелинейный | | 96,2 | 112,8 |
| Предельный нелинейный | | 95,2 | 123,7 |

На рис. 4 представлены переходные процессы в системе по уровню суспензии в ЗУМПФе для оптимального линейного и квазиоптимального нелинейного регуляторов. Величина возмущения принята $-1,5\%$ и $+10,3\%$ от номинального значения.

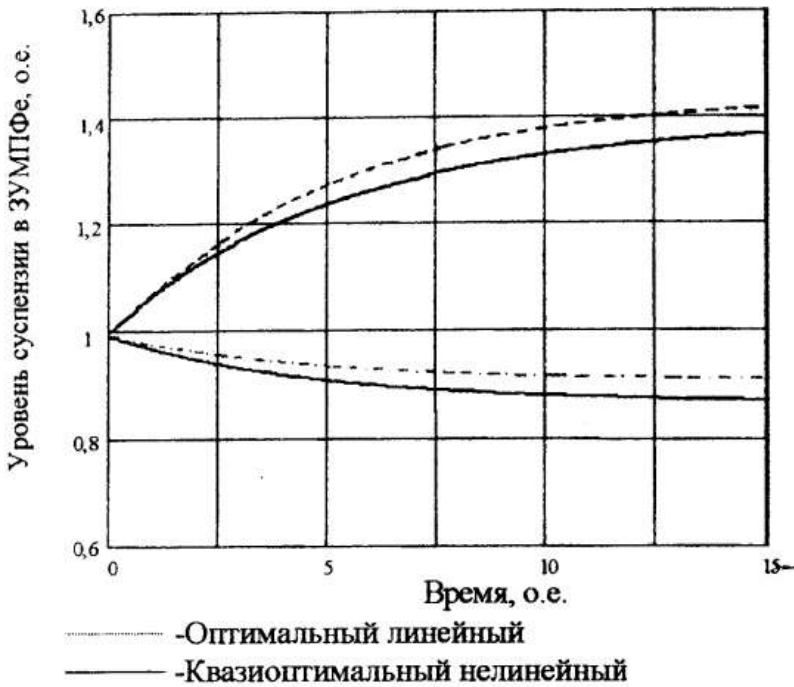


Рисунок 4 – Переходные процессы по уровню при наличии возмущения

В табл. 2 представлены характеристики оценки качества переходного процесса при одинаковых значениях суммарных величин постоянных возмущений, при которых выполняются требования технического задания для всех типов регуляторов.

Таблица 2 – Показатели качества переходных процессов

| Показатели качества Тип регулятора | Статическая ошибка, % от номинала | | Время переходного процесса, о.е. | |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| | Мин. воз- мущение | Макс. воз- мущение | Мин. воз- мущение | Макс. воз- мущение |
| По статическим связям | -26 | 100 | 6,8 | 23,7 |
| Оптимальный линейный | -10,3 | 40 | 3,7 | 19,3 |
| Квазиоптималь- ный нелинейный | -10,8 | 37,7 | 3,5 | 17,4 |
| Предельный нелинейный | -0,5 | 1,9 | 1,6 | 20 |

Как показывает анализ полученных данных (табл. 1), квазиоптимальный нелинейный регулятор имеет диапазон парирования возмущений в статике на % больше, чем используемый в настоящее время.

Научной новизной является то, что модели и законы управления разработаны на основе обобщения опыта и подходов, накопленных в процессе проектирования и испытаний жидкостных ракетных и газотурбинных двигателей, а также турбодетандерных энергоустановок.

Выводы

1. Как показывает анализ полученных данных (табл. 2), квазиоптимальный нелинейный регулятор имеет приемлемые показатели качества процессов регулирования и превосходит используемые в настоящее время в составе действующих установок регуляторы по своим показателям качества:
 - времени переходного процесса – на 10–100 %;
 - статической ошибке – на 5–230 %;
 - отсутствию перерегулирования.
2. Степень достоверности и обоснованности результатов расчетов на стационарных режимах обеспечивается точностью совпадения с экспериментальными данными 3–5 %.
3. Степень достоверности и обоснованности результатов расчетов на переходных режимах обеспечивается точностью совпадения с экспериментальными данными 10–15 %.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Шевяков А.А. Автоматика авиационных и ракетных силовых установок. М.: Машиностроение, 1965.
2. Ярославцев С.В. Метод алгоритмического конструирования оптимальных регуляторов нелинейных систем по принципу обобщенных управляющих сил. /Механика в авиации и космонавтике. Отв. ред. С. В. Челомей. М.: Машиностроение, 1995.
3. Эскизный проект. Пояснительная записка. СПОХ800.00-00.001ПЗ.
4. Ярославцев С.В. Моделирование и оптимизация переходных процессов в системе разделения суспензии руд. /Научно-технический юбилейный сборник. КБ химавтоматики – ИПФ «Воронеж», 2001.