

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТЫМИ ВОДООТЛИВНЫМИ УСТАНОВКАМИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.

Р.В. Федюн

Донецкий государственный технический университет, Донецк, Украина

В последние десятилетия в угольной промышленности Украины получила интенсивное развитие тенденция освоения все более глубоких горизонтов шахт. Углубление горных работ, ведущее к увеличению высоты водоподъёма, приводит к возникновению проблемы водоотлива из глубоких шахт. Водоотлив глубоких шахт может быть реализован по различным технологическим схемам. Перспективной является схема ступенчатого водоотлива "из насоса в насос". Для исследований принята трехступенчатая водоотливная установка (ТВУ) по схеме "из насоса в насос". Такое упрощение позволяет получить теоретические выкладки и результаты, которые полностью характеризуют особенности систем управления многоступенчатыми водоотливными установками, и могут быть легко обобщены для водоотливов с большим количеством ступеней.

Первичный анализ особенностей функционирования ТВУ показал, что это многомерный, многосвязный объект.

На основании математического описания процессов, протекающих в объекте, формируется математическая модель объекта управления. Модель ТВУ состоит из моделей трех ступеней, каждая из которых в свою очередь состоит из модели трубопровода и модели граничных условий. Модель трубопровода представлена в виде типовых четырехполюсников, описывающих нестационарное движение жидкости в трубопроводе.

На переходные процессы в трубопроводах оказывают влияние граничные условия. Способ задания граничных условий определяется видом выбранной структурной схемы трубопровода и выбранным способом управления.

Граничные условия трубопровода определяются характеристиками насоса. Наибольшее распространение на главных водоотливных установках угольных шахт получили секционные центробежные насосы. Для изучения переходных

процессов в гидравлических системах важно располагать динамическими характеристиками насосного агрегата в целом. Он состоит из центробежного насоса, асинхронного электродвигателя (как правило, с короткозамкнутым ротором), соединительной муфты и управляемой задвижки.

Структура граничных условий определяется выбранным способом управления насосной установкой. Анализ существующих способов управления показал, что для условий горных предприятий наиболее приемлемо управление дросселированием нагнетательного трубопровода управляемой задвижкой.

Таким образом, получена модель граничных условий, которая отражает сущность процессов в насосной установке, удовлетворяет принятой структурной схеме трубопровода и выбранному способу управления.

Модель ТВУ реализовывалась и исследовалась с использованием системы научных и инженерных расчетов MATLAB.

Для упрощения решения задачи синтеза системы автоматического управления осуществлена формализация модели объекта методом пространства состояний. Дискретная модель ТВУ в пространстве состояний имеет вид:

$$x(k+1) = \Phi x(k) + Hu(k), \quad (1)$$

$$y(k) = C^T x(k), \quad (2)$$

где $x(k)$ – вектор состояния; $y(k)$ – вектор выхода; $u(k)$ – вектор входа;

Φ – матрица динамики объекта; H – матрица входа объекта;

C – матрица выхода объекта.

Модель (1),(2) для ТВУ имеет параметры: три входных (управляющих) координаты (вектор $u(k)$): U_1, U_2, U_3 ; шесть выходных (управляемых) координат (вектор $y(k)$) – напор на входе и выходе ступени: напор P_1, P_2, P_3 и подпор H_2, H_3, H_4 ; четырнадцать переменных состояния (вектор $x(k)$). В качестве переменных состояния выбраны гидравлические параметры водоотлива – напор и подача в различных точках ТВУ.

Исследования объекта управления на управляемость и наблюдаемость осуществлялось на основании критериев Кальмана. Установлено, что ТВУ является полностью управляемой и полностью наблюдаемой.

В силу технологических особенностей функционирования многоступенчатой водоотливной установкой известно, что к переходным процессам по координатам, характеризующим режим перекачки, предъявляются требования монотонности. Кроме того, на технологические параметры, принятые в качестве переменных состояния и управляющие координаты наложены естественные технические ограничения (предельное допустимое давление, максимальная подача насосов из условия возникновения кавитации).

Для исследуемого объекта наиболее подходит обобщенный квадратичный критерий качества. Он позволяет получить требуемый вид кривых переходных процессов при оптимальном быстродействии. Квадратичный критерий – это один из критериев, при котором для линейных систем получается оптимальный закон управления с обратной связью по состоянию (выходу). Синтез алгоритма оптимального управления состоит в формировании такого вектора управляющих переменных $u(k)$ из вектора переменных состояния $x(k)$, который переводит систему в конечное состояние и минимизирует следующий функционал:

$$I = x^T(N)Sx(N) + \sum_{k=0}^{N-1} [x^T(k)Qx(k) + u^T(k)Ru(k)] \quad (3)$$

где S, Q, R – матрицы весовых коэффициентов функционала качества.

Определение оптимального управления $u(k)$ является задачей динамической оптимизации, которая может быть решена с использованием методов вариационного исчисления, принципа максимума Понтрягина или принципа оптимальности Беллмана. Решение поставленной задачи осуществлялось с использованием дискретного принципа максимума Понтрягина. В результате получен оптимальный регулятор состояния:

$$u^o(k) = -Kx(k) \quad (4)$$

где K – матрица оптимального регулятора:

$$K = (R + H^T P H)^{-1} H^T P \Phi \quad (5)$$

где P – коэффициент Риккати, который определяется из матричного алгебраического уравнения Риккати:

$$P = \Phi^T P (I + HR^{-1}H^T P)^{-1} \Phi + Q \quad (6)$$

Основные трудности, с которыми приходится сталкиваться при решении задач синтеза алгоритма оптимального управления – выбор элементов весовых матриц в критерии качества. Применительно к ТВУ при принятых переменных состояния можно считать, что допустимые отклонения фазовых координат в любой момент времени вносят в функционал качества одинаковый вклад, так как представляют собой переменные одной физической природы – гидравлические параметры перекачки (напор и подача). Для оценки влияния элементов весовых матриц на значение функционала качества выполнены исследования на ЭВМ. Это позволило установить степень влияния элементов весовых матриц на параметры переходных процессов.

Для восстановления не измеряемых переменных состояния синтезирован оптимальный наблюдатель состояния. Анализ структуры модели ТВУ в пространстве параметров состояния показал, что часть переменных состояния можно непосредственно измерить (эти переменные состояния являются выходными координатами объекта). Поэтому, был синтезирован оптимальный наблюдатель состояния пониженного порядка. В качестве критерия оптимальности для наблюдателя так же использован обобщенный квадратичный критерий качества. Он позволяет спроектировать наблюдатель состояния, который оказывается более “быстрым” по сравнению с объектом. Это осуществляется с помощью соответствующего выбора весовых матриц функционала качества.

Произведена оценка качества полученной системы управления. Для этого проведено моделирование различных режимов работы ТВУ вместе с полученным регулятором. Анализ результатов моделирования показал, что качество управления соответствует заданным показателям качества для объектов такого класса.