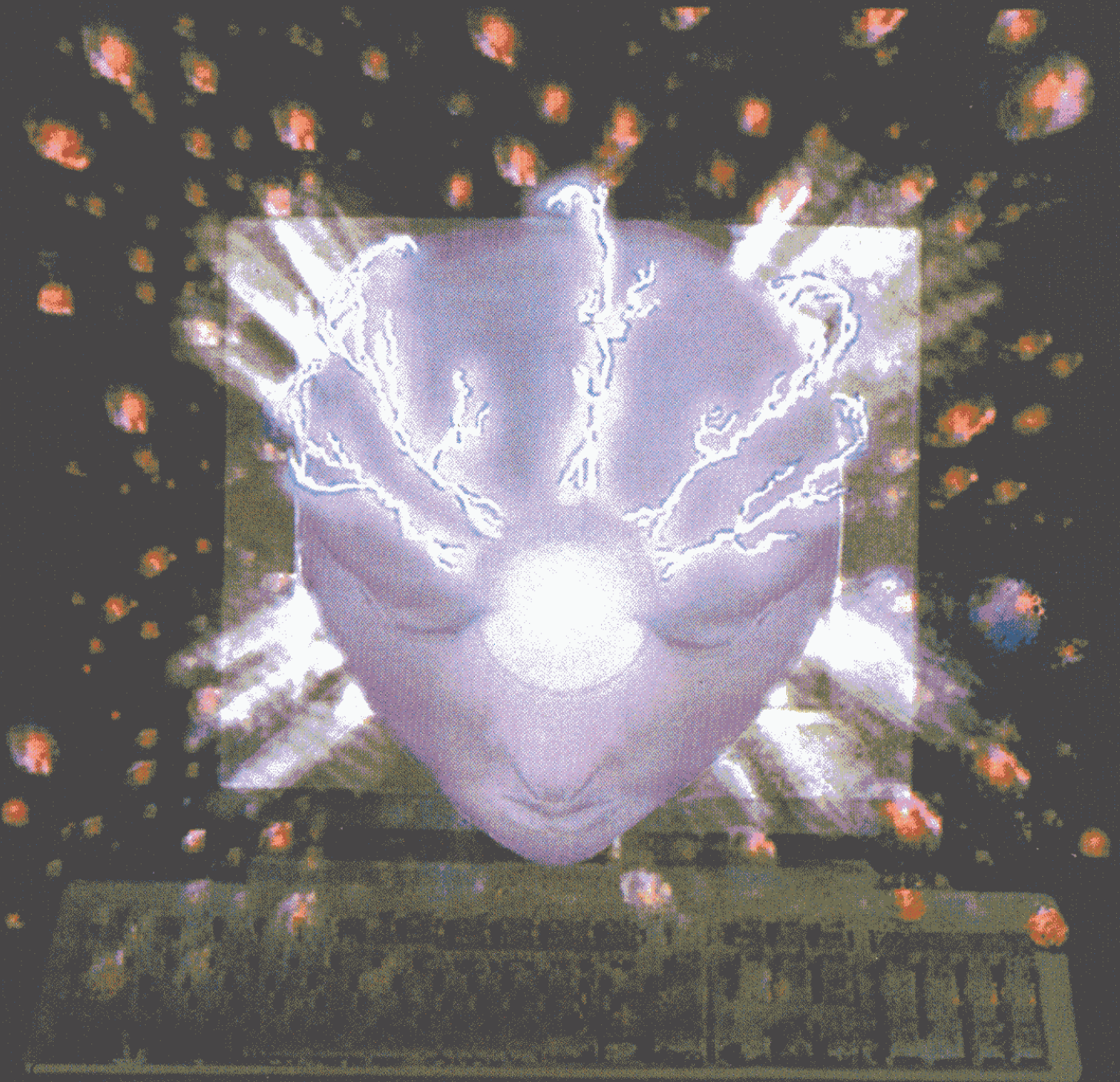


ISSN 1561-5359

ИСКУССТВЕННЫЙ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ИНТЕЛЛЕКТ



2 ' 2011

УДК 681.518

В.А. Резников, К.Е. Ефимцева

Государственный университет информатики и искусственного интеллекта, г. Донецк, Украина.

Терминальное управление шахтным водоотливом

Приведена базовая модель системы шахтного водоотлива. Задача управления движением системы сформулирована как задача терминального управления с заданными начальными и конечными состояниями. Приведены результаты моделирования системы управления при ординарном водопритоке.

Постановка задачи

Шахтный водоотлив, как один из важных элементов системы безопасности, характеризуется большими затратами электроэнергии [1, 2]. Это обусловлено целым рядом факторов различного характера, среди которых наибольший «вес» имеет неэффективное управление системой водоотлива, поскольку график работы водоотливных установок, например, за декаду или месяц в подавляющем большинстве случаев формируется на основе интуиции и опыта эксплуатационного персонала. Поэтому задача разработки системы управления шахтным водоотливом, обеспечивающей снижение затрат на электроэнергию, несомненно является актуальной

Представим систему водоотлива i -го горизонта в виде структурной схемы, показанной на рисунке 1, на котором обозначено: U_i – управление насосом i -го горизонта, Q_{ni} – производительность насоса i -го горизонта, $\text{м}^3/\text{ч}$; Q_i – приток воды в водосборник i -го горизонта, $\text{м}^3/\text{ч}$; V_i – объем воды в водосборнике i -го горизонта, м^3 .

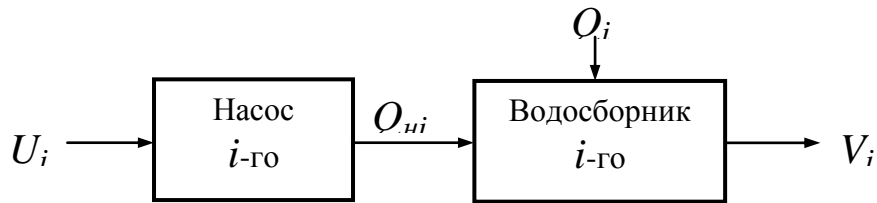


Рисунок 1 – Структурная схема системы водоотлива i -го горизонта

При этом $Q_i = Q_{i,i} + Q_{i,i-1}$, где $Q_{i,i}$ – «естественный» приток воды в водосборник i -го горизонта, $Q_{i,i-1}$ – приток воды в водосборник i -го горизонта из водосборника $(i-1)$ -го горизонта.

Переменную $V_i(t)$ будем называть движением системы водоотлива i -го горизонта (или движением i -й подсистемы).

Задачу сформулируем следующим образом: необходимо перевести i -ю подсистему из начального состояния $V_i(t_{in})$ в заданное конечное состояние $V_i(t_{ik})$ с помощью такого управления U_i , при котором обеспечиваются минимальные энергозатраты E_i при $V_{imin} \leq V_i(t) \leq V_{imax}$, $V_i(t_{in}) = V_i(t_{ik})$, $Q_{ni} = const$, $Q_i = const$.

В формализованном виде:

$$E_i \rightarrow \min_{U_i \in \Theta_i}, \quad (1)$$

где

$$\Theta_i : \begin{cases} V_i = f_i(t, Q_{ni}, Q_i), \\ Q_{ni} = const, \\ Q_i = const, \\ V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax}, \\ V_i(t_{ik}) = V_i(t_{in}). \end{cases} \quad (2)$$

Анализируя область определения управления Θ_i , обратим внимание на следующее:

1) условие $Q_{ni} = const$ означает, что производительность насоса i -го горизонта не регулируется, и потому задачу синтеза управления можно рассматривать как задачу разработки программы $U_i(t_i)$ включения-выключения насоса;

2) из условия $Q_i = const$ следует, что на данном этапе решения задачи приток воды i -го горизонта рассматривается как ординарный (стабильный), то есть рассматривается невозмущенное движение i -й подсистемы;

3) условие $V_i(t_{ik}) = V_i(t_{in})$ предопределяет равенство объема воды в водосборнике i -го горизонта в начале и в конце заданного календарного периода T , что позволит при ординарном притоке не изменять программу управления на протяжении нескольких периодов T .

С учетом этих замечаний поставленную задачу можно сформулировать таким образом: необходимо разработать программу управления $U_i(t_i)$ насосом i -го горизонта,

которая обеспечивает перевод i -й подсистемы за заданный промежуток времени $T = t_{ik} - t_{in}$ в заданное состояние $V_i(t_{ik})$.

Следовательно, поставленную можно рассматривать как задачу терминального управления. Терминальное управление – это управление, цель которого заключается в переводе объекта в заданное конечное состояние в заданный момент времени.

Главная особенность терминальных задач состоит в неединственности их решения. Иными словами, жесткие требования по точности управления предъявляются только конечной (терминальной) точке, тем самым допуская для формирования оставшейся части траектории известный произвол.

Модель решения задачи

Анализ работ [3, 4, 5, 6] показывает, что терминальные системы управления отличаются от других систем, в первую очередь, способом организации процесса управления. Здесь предусматривается прогнозирование будущего движения системы от текущего до терминального момента времени и формирование процесса изменения управляющего воздействия (программы управления), приводящего систему в заданное конечное состояние. Кроме того, задачи терминального управления, как правило, являются многокритериальными, поскольку требование точного достижения терминального состояния в заданный момент времени дополняется критерием интегрального типа.

Синтез систем терминального управления осуществляется в два этапа. На первом этапе из условия экстремума интегрального критерия находится класс функций, определяющих программу управления. В частности, в работе [4] показано, что при терминальном управлении динамическими объектами, которые описываются дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, программную управляющую функцию рекомендуется определять в классе полиномов вида:

$$U = \sum_{j=0}^m C_j t^j, \quad (3)$$

где m – число ограничений на фазовые координаты, C_j - параметры управления.

На втором этапе решается задача синтеза системы управления с обратной связью, что обеспечивает требуемое качество терминального управления при возмущенном движении системы, а также при возможных изменениях параметров объекта. Управление с обратной связью – это управление, при котором текущее управляющее воздействие вырабатывается с учетом состояния объекта управления. Кроме учета текущего состояния

объекта управления, программное управление должно обеспечивать точное выполнение терминальных условий и известную «близость» новых траекторий (программ) к исходной программной траектории, соответствующей номинальным начальным условиям [5, 6].

Обратимся к рассматриваемой нами системе. Динамика движения i -й подсистемы описывается дифференциальным уравнением первого порядка вида:

$$\frac{dV_i(t)}{dt} = Q_{i,i}(t) + Q_{i,i-1}(t) - Q_{ni}(t), \quad V_i(0) = V_0 \quad (4)$$

Управляющая функция может принимать только два состояния (включено, выключено), а число ограничений на число фазовых координат в терминальной точке равно порядку системы. В работах [4, 5, 6] показано, что полученные для таких условий управляющие функции оказываются оптимальными по интегральному критерию:

$$J = \frac{1}{2} \int_0^T U^2(t) dt, \quad (5)$$

где U – программное управление.

Минимизация интегрального функционала предполагает минимизацию энергетических затрат на управление.

Обозначим через x_i время работы насоса i -го горизонта, а через y_i - время простоя насоса i -го горизонта. Плата за электроэнергию может производиться как по среднему тарифу, так и по многотарифной сетке. Учитывая, что при многотарифной сетке стоимость электроэнергии различна для разного времени суток (день, ночь, пик, полупик), то справедливо следующее равенство:

$$x_i + y_i = 12 \quad (6)$$

Кроме того, в качестве расчетного календарного периода T примем сутки, начало которых приходится на 23.00.

С учетом сказанного, время работы-простоя насоса i -го горизонта определялось из следующего уравнения:

$$V_i^k = V_i^0 - (Q_{ni} - Q_{i,i}) \cdot x_i + 12Q_{i,i} + Q_{i,i-1}t_{i-1}, \quad (7)$$

где V_i^0 - объем воды в водосборнике на начало работы (23.00);

V_i^k - объем воды в водосборнике к 11.00;

t_{i-1} - время работы насоса $(i-1)$ -го горизонта за 12 ч.

Из уравнения (7) с учетом равенства (6) формулы для расчета x_i и y_i имеют вид:

$$\begin{cases} x_i = V_i^0 - V_i^k + 12Q_{i,i} + Q_{i,i-1}t_{i-1}, \\ y_i = 12 - x. \end{cases} \quad (8)$$

Стоимость электроэнергии, затраченной i -м горизонтом за время T , определялась следующим образом:

при оплате по среднему тарифу

$$E_i(T) = \sum_{k=1}^n N_{ik} x_{ik} e_{1k}, \quad (9)$$

при оплате по многотарифной сетке

$$E_i(T) = \sum_{k=1}^n N_{ik} x_{ik} e_{2k}, \quad (10)$$

где n – общее число включений насоса i -го горизонта за время T ;

e_1 - стоимость 1 кВт·ч при оплате по среднему тарифу, грн/1 кВт·ч;

e_2 - стоимость 1 кВт·ч при оплате по многотарифной сетке, грн/кВт·ч.

Результаты моделирования

В качестве объекта управления была принята система водоотлива шахты «Чайкино», которая характеризуется следующими параметрами:

- горизонт № 1: глубина залегания – 476 м, объем водосборника – 900 м³, ординарный приток воды – 7 м³ /ч, мощность приводного двигателя – 800 кВт, производительность насосной установки - 280 м³ /ч;

- горизонт № 2: глубина залегания – 651 м, объем водосборника – 800 м³, ординарный приток воды – 14 м³ /ч, мощность приводного двигателя – 200 кВт, производительность насосной установки - 160 м³ /ч, суммарный приток зумпфа – 130 м³;

- горизонт № 3: глубина залегания – 908 м, объем водосборника – 1000 м³, ординарный приток воды – 17 м³ /ч, мощность приводного двигателя – 200 кВт, производительность насосной установки - 160 м³ /ч.

В таблице 1 приведена стоимость электроэнергии, в соответствии с действующими нормативными документами.

Таблица 1 – Стоимость электроэнергии

Время суток	Стоимость электроэнергии за 1 ч Вт·ч		
	по среднему тарифу	по многотарифной сетке	
8.00-11.00	0,32	пик	0,635
11.00-20.00		полупик	0,35
20.00-22.00		пик	0,635
22.00-8.00		норма	0,0887

Результаты моделирования представлены на рисунках 2, 3 и 4, на которых обозначены графики работы насосов, графики изменения объема воды в водосборниках (движение системы), графики потребления и суммарных затрат электроэнергии.

Кроме того, в таблицах 2 и 3 показаны результаты расчетов стоимости электроэнергии, из анализа которых следует, что при применении предложенной программы управления насосными агрегатами и оплаты электроэнергии по многотарифной сетке, шахта может ежегодно экономить более 776 548,08 грн.

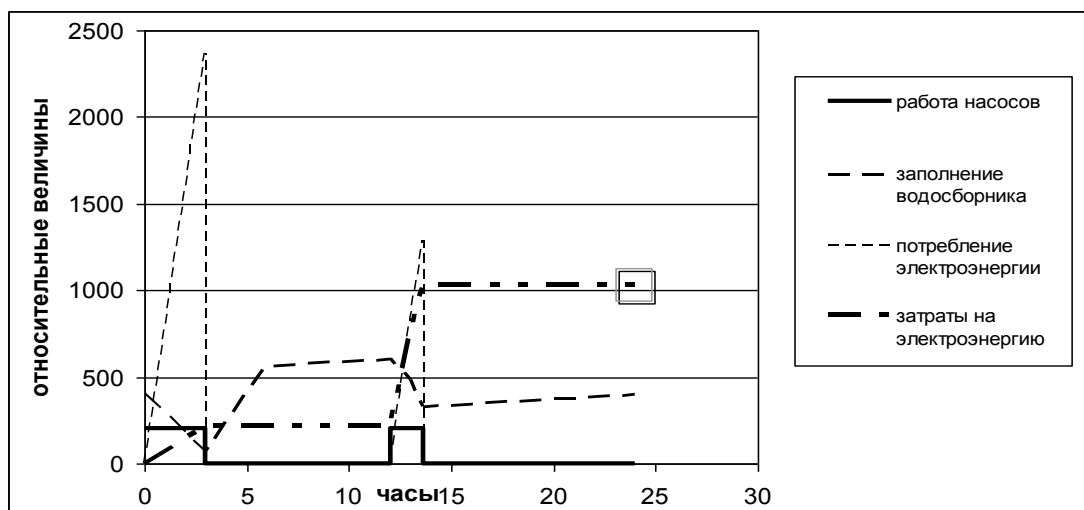


Рисунок 2 – Динамика работы первого горизонта шахты

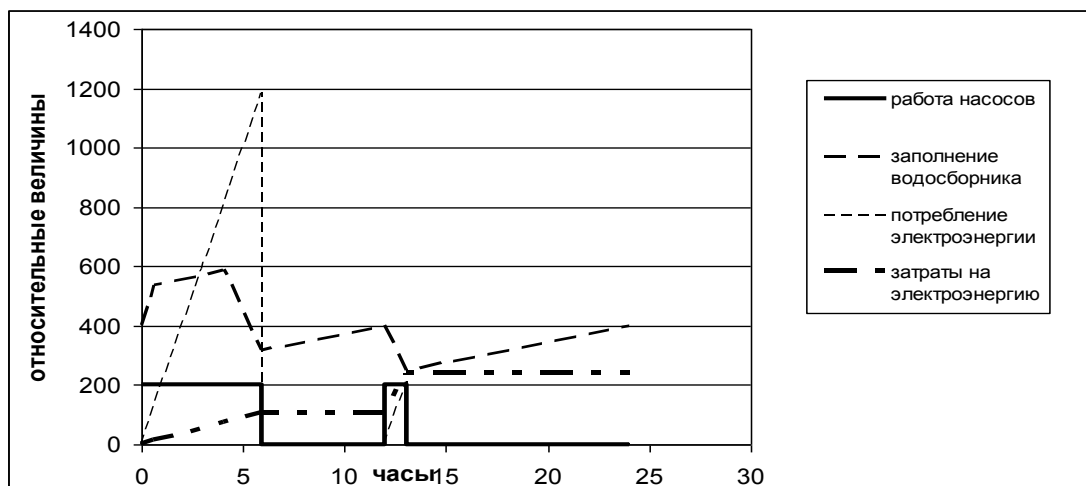


Рисунок 3 – Динамика работы второго горизонта шахты

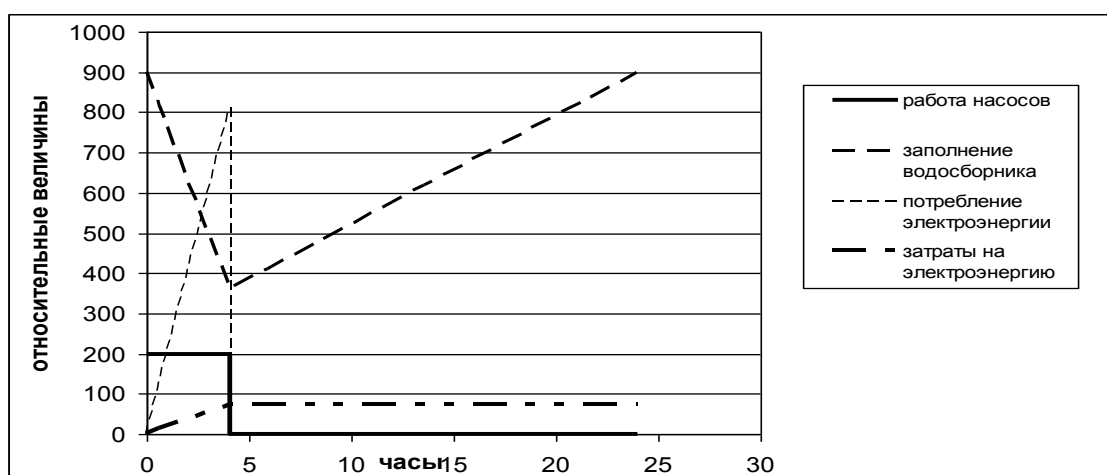


Рисунок 4 - Динамика работы третьего горизонта шахты

Таблица 2 -Результаты расчетов стоимости электроэнергии

Горизонты	Время работы, ч	Оплата электроэнергии, грн					
		В сутки		В месяц		В год	
		по сред. тарифу	по многотар. сетке	по сред. тарифу	по многотар. сетке	по сред. тарифу	по многотар. сетке
1	4,58	2344,96	1027,92	70348,80	30837,648	844185,60	370051,78
2	6,96	890,88	238,193	26726,400	7145,802	320716,80	85749,62
3	4,05	259,20	71,85	7776,000	2155,410	93312,00	25864,92

Таблица 3 – Экономия при оплате электроэнергии

Горизонты	Экономия при оплате электроэнергии, грн		
	В сутки	В месяц	В год
1 (476 м)	131 7,04	39511, 152	474133 ,82
2 (651 м)	652 ,69	19580, 598	234967 ,18
3 (908 м)	187 ,35	5620,5 90	67447, 08
Всего:	215 7,08	64712, 340	776548 ,08

Заключение

Предложенный в данной работе способ управления системой шахтного водоотлива предполагает программное управление без обратной связи. Это полностью оправдано тем, что рассматривается невозмущенное движение системы.

В то же время в реальной системе управления, для которой и разработан данный алгоритм, предусмотрен комплект датчиков, позволяющих контролировать уровень воды в водосборниках, давлении, токи приводных электродвигателей и т.п. Это позволяет не только обеспечить эксплуатационный персонал необходимой информацией, но и создает возможность постановки и решения задачи управления возмущенным движением системы шахтного водоотлива (то есть с учетом возможных приливов и отливов) и корректировки управляющих функций в зависимости от технического состояния оборудования.

Литература

1. Бойко Н.Г. Рудничные (шахтные) водоотливные и вентиляторные установки: конспект / Н.Г. Бойко; ДонНТУ, каф. «Энерго-механические системы». – Донецк, 2009. – 168 с.
2. Попов В.М. Водоотливные установки: Справочное пособие. – М.: Недра, 1990. – 253с.
3. От «Эры Трапезникова» к новым временам. Теория терминальных систем управления // <http://www.ipu65.narod.ru>
4. Батенко А.П. Системы терминального управления. – М: Радио и связь, 1984. – 160с.
5. Крутько П.Д. Алгоритма терминального управления линейными динамическими системами // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1998. - № 6. – С. 33-45.
6. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики в теории автоматического управления. Цикл лекций: Учебное пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 2004. - 576с.