

УДК 681.511.22

Оруджов Г.Г.¹, Алиева А.А.²¹ООО InfoSpace, Баку, Азербайджан²Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан¹gazanfar.orujov@gmail.com, ²almaz40@gmail.com**РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ОБЪЕМОМ ВОДЫ КАСКАДА ВОДОХРАНИЛИЩ**

Для оптимального управления объемом воды каскада водохранилищ необходимо вычисление оптимальных коэффициентов системы. С этой целью предложен алгоритм расчета коэффициентов оптимального управления уровнем воды каскада водохранилищ на основе метода «стандартных коэффициентов». Рассчитанные таким образом оптимальные коэффициенты системы и учет ограничений на параметры управления обеспечивают оптимальность переходного процесса регулирования объемом воды каскада из двух водохранилищ.

Ключевые слова: система автоматического управления, оптимальное управление, каскад водохранилищ, альтернативные датчики информации, коэффициенты оптимального управления, метод «стандартных коэффициентов».

Введение

Известно, что водохранилища, построенные в русле реки, используются для рационального использования водных ресурсов рек и предотвращения наводнений. При этом отслеживание желаемого уровня воды в водохранилище очень важно. С одной стороны, необходимо накопление воды в водохранилище для орошения, а с другой – резервирование свободного объема водохранилища для исключения наводнения. Поддерживание желаемого уровня осуществляется посредством системы автоматического управления (САУ) объемом воды в водохранилищах (ОВВ). Исходя из этого, в настоящей статье приводится расчет оптимальных коэффициентов САУ уровнем воды в водохранилище.

Расчет коэффициентов оптимального управления объемом воды в водохранилище

С использованием информации об объеме поступающей в текущее время в водохранилища воды, прогнозных данных об ожидаемом поступлении воды в водохранилища и информации (снимки дистанционного зондирования Земли), зафиксированной искусственным спутником Земли, производится управление расходом водных ресурсов водохранилищ.

В статье рассматривается вопрос автоматического управления объемом воды в водохранилищах с использованием данных, полученных от перечисленных выше альтернативных датчиков информации о количестве воды в водохранилищах. Объем воды в водохранилище измеряется косвенно, с помощью измерения глубины водоема или с помощью измерения площади зеркала водоема.

Предложена структурная схема автоматического управления объемом воды для одного водохранилища (рис. 1). Передаточная функция системы автоматического управления для одного водохранилища имеет следующий вид [1–4]:

$$W(p) = \frac{V_c(p)}{V_a(p)} = \frac{k_1 k_2 F + k_2 k_3}{p + k_1 k_2 F}, \quad (1)$$

где

- X_g – объем поступающей в водохранилище воды;
 V_a, V_c – желаемый и текущий объемы воды в водохранилище соответственно;
 k_1, k_2 – коэффициенты усиления;
 F – нелинейный элемент, характеризующий способ спуска (сработки) воды;
 A – переключатель альтернативных датчиков;
 H_c – текущее значение уровня воды в водохранилище;
 S_c – текущее значение площади поверхности водохранилища.

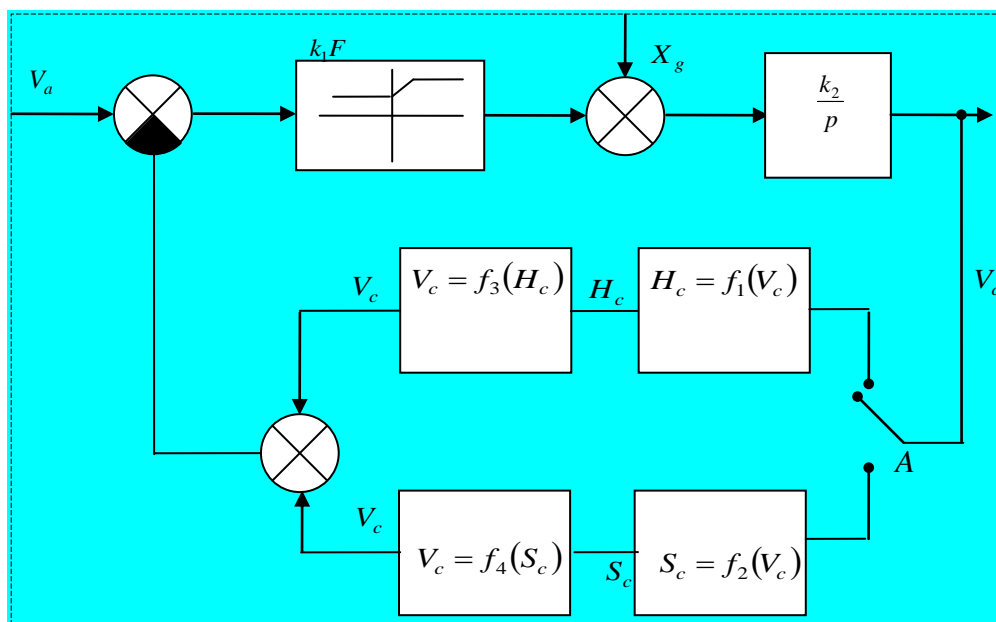


Рис. 1. Структурная схема системы управления объемом воды для одного водохранилища

Полученной передаточной функции (1) соответствует следующее дифференциальное уравнение:

$$V_c'(t) = k_1 k_2 F(V_a(t) - V_c(t)) + k_2 X_g(t). \quad (2)$$

Численный эксперимент был проведен на примере Мингячевирского водохранилища. Переходный процесс для начальных условий и ограничений ($11\,000$ млн $[м^3]$, $V_c(t_{\text{кон}}) = 5\,000$ млн $[м^3]$, ограничение на скорость спуска воды из водохранилища равно $150\,000$ $[м^3/\text{сутки}]$) для Мингячевирского водохранилища, рассчитанные на основе дифференциального уравнения (2), приведены в графическом виде на рис. 2, где 1, 2 – графики $V_c(t)$, соответственно, без ограничения на скорость спуска воды из водохранилища и с ограничением на скорость спуска воды из водохранилища (с учетом нелинейного элемента F); 3, 4 – графики $V_c'(t)$, соответственно, без ограничения на скорость спуска воды из водохранилища и с ограничением на скорость спуска воды из водохранилища (с учетом нелинейного элемента F); 5 – конечный объем воды в водохранилище.

Для численного решения дифференциального уравнения (2) применен метод Рунге-Кутты.

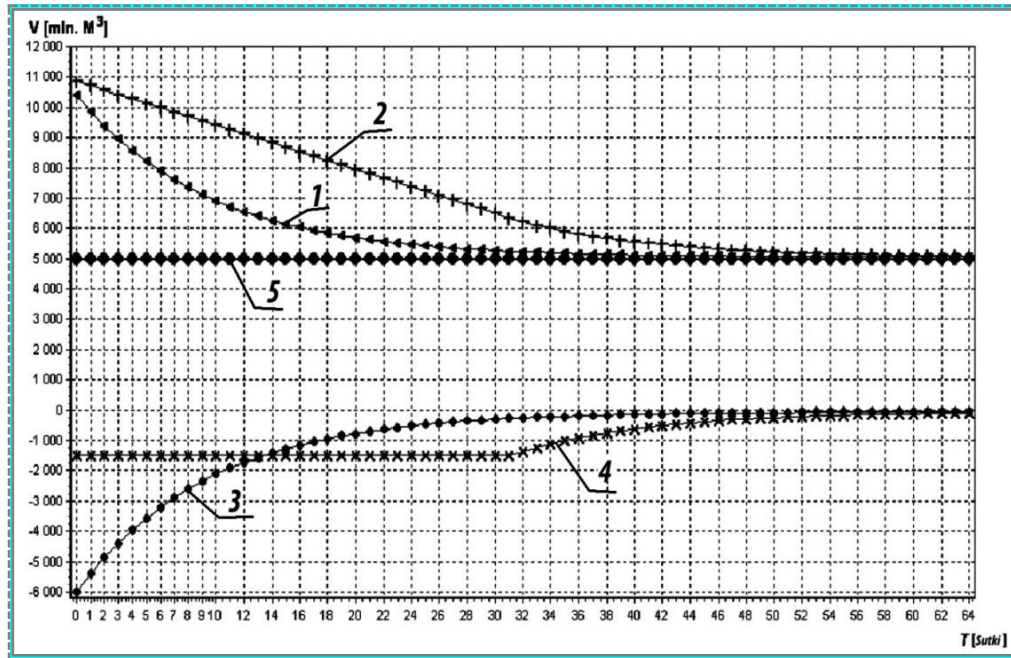


Рис. 2. Переходный процесс спуска воды из водохранилища

Рациональное управление водными ресурсами может дать более ощутимый положительный эффект, если оно осуществляется каскадом водохранилищ в речном бассейне. Это логично еще и потому, что, как правило, на крупных реках существует несколько водохранилищ [4].

С учетом структурной схемы для одного водохранилища [1 – 5] и каскада из двух водохранилищ можно предложить следующую структурную схему (рис. 3):

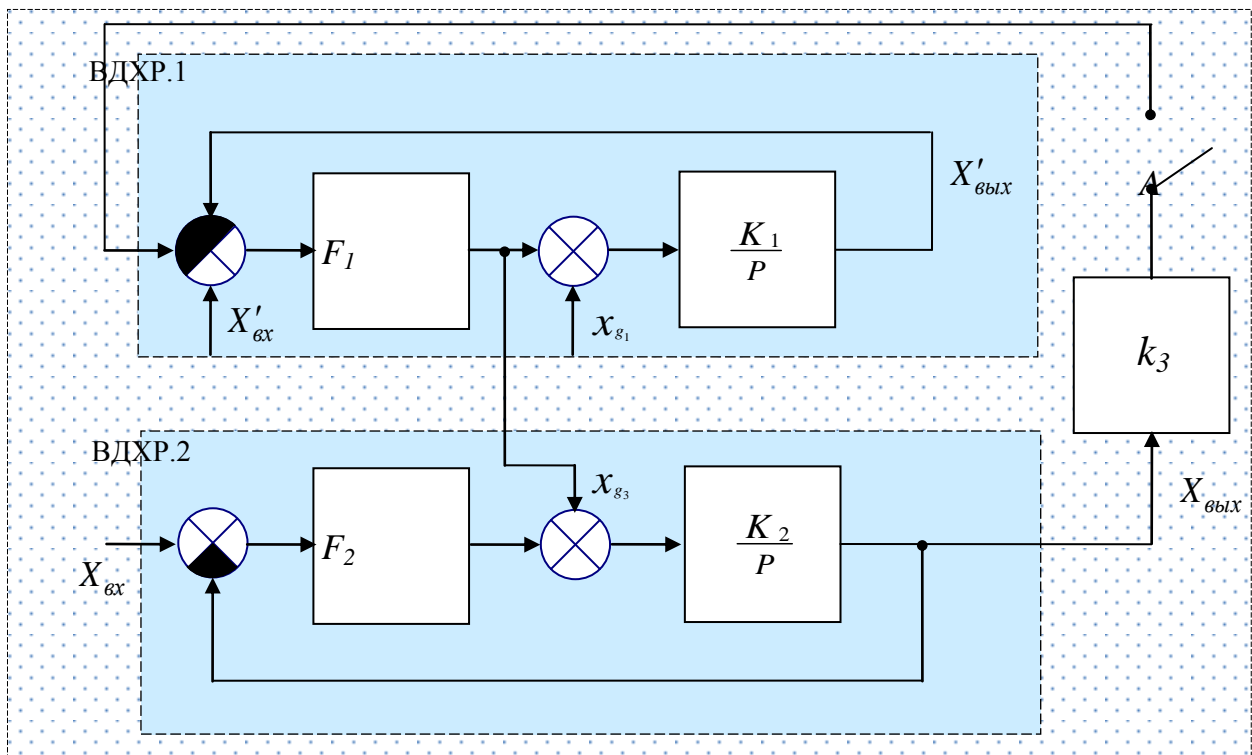


Рис. 3. Структурная схема модели системы автоматического управления объемом воды для каскада из двух водохранилищ

На рис. 3 приняты следующие обозначения:

F_1, F_2 – нелинейные элементы, характеризующие способ спуска (сработки) воды, соответственно из первого и второго водохранилищ;

k_1, k_2, k_3 – коэффициенты управления;

A – ключ для включения обратной связи для управления первым водохранилищем в зависимости от состояния второго водохранилища;

X'_{ex}, X_{ex} – желаемые объемы воды, соответственно в первом и втором водохранилищах;

$X'_{бых}, X_{бых}$ – текущие объемы воды в водохранилище, соответственно для первого и второго водохранилищ;

X_{g_1}, X_{g_2} – объемы поступающей воды, соответственно в первое и второе водохранилища.

Следует отметить, что предлагаемая структурная схема обеспечивает управление уровнем воды в нижнем по течению реки водохранилище каскада, т.е. пока в нижнем водохранилище система успешно справляется с управлением уровнем воды, ключ A открыт, если нет, то ключ A замкнут. Это означает, что в случае необходимости к управлению уровнем воды во втором водохранилище подключается первое водохранилище.

САУ со структурной схемой на рис. 3 имеет следующую передаточную функцию:

$$X_{бых}(p) = \frac{k_2(p^2 + F_2p + k_1F_1F_2) - pX_{g_1}(p)k_1k_2F_1}{p^2(1 + k_2k_3F_1) + pk_2F_2 + k_1k_2} X_{ex}(p). \quad (3)$$

Если принять $k_3 = 1, F_1 = F_2 = 1$, то получим:

$$X_{бых}(p) = \frac{k_2(p^2 + p + k_1) - pX_{g_1}(p)k_1k_2}{p^2(1 + k_2) + pk_2 + k_1k_2} X_{ex}(p). \quad (4)$$

С операторного вида перейдем к оригиналу:

$$\begin{aligned} X_{бых}^{(2)}(t)(1 + k_2) + k_2X_{бых}^{(1)}(t) + k_2X_{ex}^{(1)}(t) = \\ = k_2X_{ex}^{(2)}(t) + k_2X_{ex}^{(1)}(t) - k_1k_2X_{g_1}^{(1)}(t)X_{g_1}^{(1)}(t). \end{aligned} \quad (5)$$

Характеристическое уравнение передаточной функции (4) имеет следующий вид:

$$p^2 + \frac{k_2}{1 + k_2}p + \frac{k_1k_2}{1 + k_2} = 0. \quad (6)$$

Для определения оптимальных коэффициентов k_1, k_2 системы управления применен метод «стандартных коэффициентов» [6].

Для обеспечения переходного процесса системы автоматического управления с требуемым качеством (без перерегулирования) достаточно, чтобы корни характеристического уравнения были действительными, отрицательными и кратными.

Ниже представлены коэффициенты характеристического уравнения до 8-го порядка по методу «стандартных коэффициентов»:

$$p + \omega_0 \tag{7}$$

$$p^2 + 2\omega_0 p + \omega_0^2 \tag{8}$$

$$p^3 + 3\omega_0 p^2 + 3\omega_0^2 p + \omega_0^3$$

$$p^4 + 4\omega_0 p^3 + 6\omega_0^2 p^2 + 4\omega_0^3 p + \omega_0^4$$

$$p^5 + 5\omega_0 p^4 + 10\omega_0^2 p^3 + 10\omega_0^3 p^2 + 5\omega_0^4 p + \omega_0^5$$

$$p^6 + 6\omega_0 p^5 + 15\omega_0^2 p^4 + 20\omega_0^3 p^3 + 15\omega_0^4 p^2 + 6\omega_0^5 p + \omega_0^6$$

$$p^7 + 7\omega_0 p^6 + 21\omega_0^2 p^5 + 35\omega_0^3 p^4 + 35\omega_0^4 p^3 + 21\omega_0^5 p^2 + 7\omega_0^6 p + \omega_0^7$$

$$p^8 + 8\omega_0 p^7 + 28\omega_0^2 p^6 + 56\omega_0^3 p^5 + 70\omega_0^4 p^4 + 56\omega_0^5 p^3 + 28\omega_0^6 p^2 + 8\omega_0^7 p + \omega_0^8$$

На рис. 4 представлены графики нормированных переходных процессов для систем до 8-го порядка:

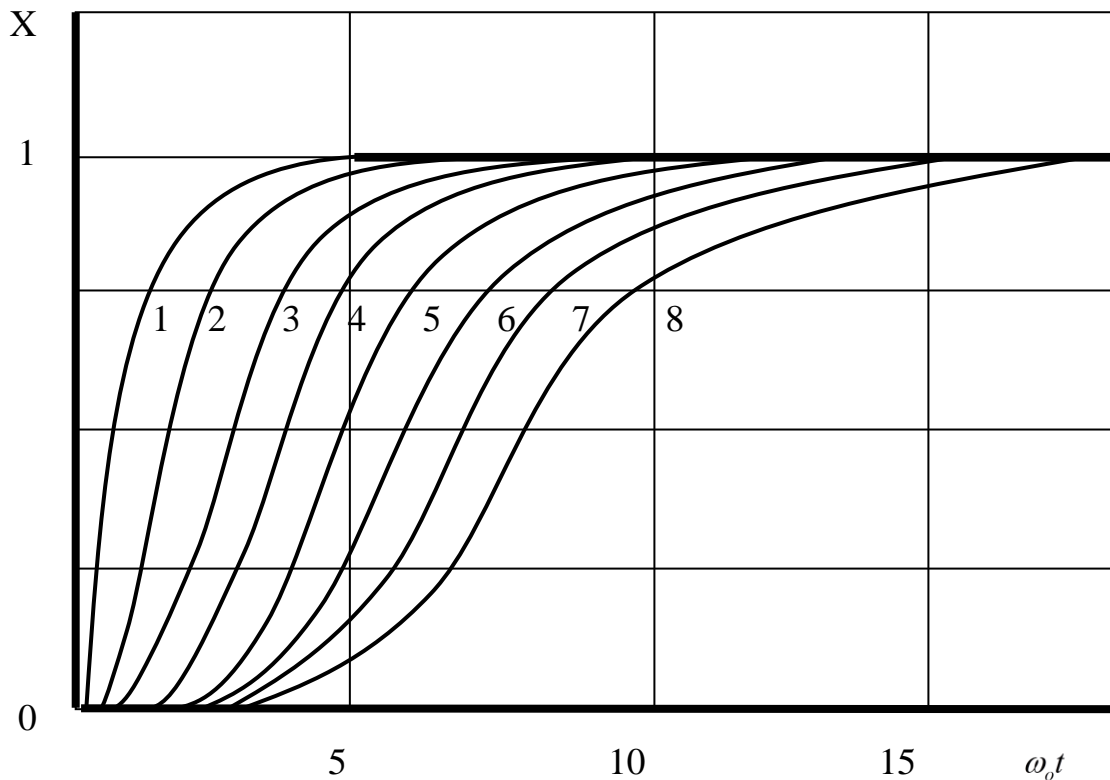


Рис. 4. Графические представления нормированных переходных процессов для систем по методу «стандартных коэффициентов»

Коэффициенты такого характеристического уравнения являются биномиальными в соответствии с выражением (8):

$$s^2 + 2\omega_0 s + \omega_0^2 = 0.$$

Здесь

$$\omega_0 = \frac{\tau}{t}, \text{ где}$$

τ – нормированное время переходного процесса;

t – желаемое время переходного процесса.

Решаем систему уравнений относительно k_1 и k_2 :

$$\begin{cases} \frac{k_2}{1+k_2} = 2\omega_0, \\ \frac{k_1 k_2}{1+k_2} = \omega_0^2. \end{cases}$$

Откуда

$$k_1 = \frac{\omega_0}{2}, \quad k_2 = \frac{2\omega_0}{1-2\omega_0}.$$

Таким образом, вычисляются коэффициенты оптимального управления k_1, k_2 , которые обеспечивают плавный переход процесса управления каскадом из двух водохранилищ без перерегулирования, что очень важно для физической реализуемости процесса управления. Плавный вид переходного процесса способствует долговечности агрегатов управления процессом.

Заключение

В статье приведен алгоритм расчета оптимальных коэффициентов системы автоматического управления уровнем воды в каскаде водохранилищ. Управление ресурсами водохранилищ предложенным способом позволит предотвратить наводнения в речном бассейне, а также осуществить накопление водных ресурсов реки для орошения.

Литература

1. Бесекерский В.А. Теория автоматического управления. М.: Профессия, 2004, 747 с.
2. Алиева А.А. Система управления уровнем воды в водохранилищах / IV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям, Красноярск, 3–5 ноября 2003 г., стр.13–14, http://www.ict.nsc.ru/ws/show_abstract.dhtml?ru+83+6335
3. Алиева А.А., Панахов Н.А. Разработка контура управления объемом водных ресурсов в водохранилищах / V Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям с участием иностранных ученых, Новосибирск, Россия, 1–3 ноября, 2004 г., стр.56–57, http://www.ict.nsc.ru/ws/show_abstract.dhtml?ru+111+8586
4. Оруджов Г.Г., Алиева А.А., Расулова Н.В. Разработка системы автоматического управления объемом воды в водохранилище с применением элементов ГИС-технологий // Научно-технический и производственный журнал «Мехатроника, Автоматизация, Управление» (МАУ), М: Новые технологии, 2012, стр.22–26.

5. Aliyeva A., Rasulova N. Regulation Water Reservoir Resources Using Alternative Sensors /, IV International Conference Problems of Cybernetics and Informatics PCI2012, Baku, 2012, pp.94–96, <http://pci2012.science.az/publication.php?cat=7>
6. Кузовков Н.Т. Системы стабилизации летательных аппаратов. М: Высшая школа. 1976, 304 с.

UOT 681.511.22

Orucov Qəzənfər H.¹, Əliyeva Almaz Ə.²

¹InfoSpace MMC, Bakı, Azərbaycan

²AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

¹gazanfar.orujov@gmail.com, ²almaz40@gmail.com

Su anbarları silsiləsində suyun səviyyəsinin optimal idarə edilməsi əmsallarının hesablanması

Su anbarları silsiləsindəki suyun həcmnin optimal idarə edilməsi üçün sistemin optimal idarəetmə əmsallarının hesablanması vacibdir. Bu məqsədlə “standart əmsallar” metoduna əsaslanan optimal idarəetmə əmsallarının hesablanması alqoritmi təklif edilmişdir. Bu metodla hesablanmış optimal idarəetmə əmsalları və idarəetmə parametrlərinə qoyulan məhdudiyətlərin nəzərə alınması iki su anbarından ibarət silsilədəki suyun həcmnin idarə olunması prosesinin optimallığını təmin edir.

Açar sözlər: avtomatik idarəetmə sistemi, optimal idarəetmə, su anbarı silsiləsi, alternativ məlumat vericiləri, optimal idarəetmə əmsalları, “standart əmsallar” metodu.

Gazanfar H. Orujov¹, Almaz A. Aliyeva²

¹InfoSpace LLC, Bakı, Azərbaycan

²Institute of Information Technology of ANAS, Bakı, Azerbaijan

¹gazanfar.orujov@gmail.com, ²almaz40@gmail.com

Calculation of optimal control coefficients of water level for water reservoirs chains

Optimal controlling volume in water reservoirs chains it is necessary computation the optimal coefficients of the system. For this purpose was proposed an algorithm for calculating the coefficients of the optimal control water level in reservoirs chains on the basis of "standard coefficients." It provides the optimality of the process of the controlling water volume in a water chain of two reservoirs by taking into account optimum coefficients which calculated by this method and the restrictions on the parameters of the control.

Keywords: automatic control, optimal control, reservoirs chains, alternative sensor information. optimal control coefficients, the method of "standard coefficients".