

УДК 627.8

ББК 31.57

А-22

Жемухов Руслан Шихарбиевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математического анализа и теории функций ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет», КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского 173, тел.: 8(8662)77-01-08;

Жемухова Марина Мухамедовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет», КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского 173, тел.: 8(8662)77-01-08;

Алоев Толя Баширович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных информационных технологий ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет», КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского 173, тел.: 8(8662)77-01-08;

Асланова Елена Михайловна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры математического анализа и теории функций ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет», КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского 173, тел.: 8(8662)77-01-08.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСЧЕТОВ НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

(часть II)

(рецензирована)

В работе рассматривается задача автоматизации водохозяйственных расчетов. Предложен подход к решению задачи, при котором имитационное моделирование осуществлено на основе агрегативного подхода. Предложена методика автоматизации водохозяйственных расчетов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, автоматизация водохозяйственных расчетов, диспетчерский график, агрегативный подход.

Zhemukhov Ruslan Shikharbievich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, assistant professor of the Department of Mathematical Analysis and Theory of Functions of FSBEI HPE “Kabardino-Balkaria State University”, the KBU, Nalchik, 173 Chernyshevskiy str., tel.: 8 (8662) 77 01 08;

Zhemukhova Marina Mukhamedovna, Candidate of Technical Sciences, associate professor, assistant professor of the Department of Machines and Equipment for Food Production of FSBEI HPE “Kabardino-Balkaria State University”, the KBU, Nalchik, 173 Chernyshevskiy str., tel.: 8 (8662) 77 01 08;

Aloev Tolya Bashirovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, assistant professor of the Department of Automated Information Technologies of FSBEI HPE “Kabardino-Balkaria State University”, the KBU, Nalchik, 173 Chernyshevskiy str., tel.: 8 (8662) 77 01 08;

Aslanova Elena Michailovna, Candidate of Physics and Mathematics, associate professor, assistant professor of the Department of Mathematical Analysis and Theory of Functions of FSBEI HPE “Kabardino-Balkaria State University”, the KBU, Nalchik, 173 Chernyshevskiy str., tel.: 8 (8662) 77 01 08.

AUTOMATION OF WATER PAYMENTS AT THE REGIONAL LEVEL

(Part II)

(Reviewed)

The problem of automation of water calculations has been considered. An approach to solving the problem has been offered in which the simulation is carried out on the basis of aggregative approach. The technique of automation of water calculation has been proposed.

Keywords: simulation, automation of water calculation, dispatching schedule, aggregation approach.

Алгоритм, используемый в элементе «устройство управления» основан на предположении о том, что компенсация дефицита водных ресурсов в створе системы может быть осуществлена за счет дотации отдачи из вышележащих водохранилищ при наличии избытка водных ресурсов.

Приведем формализованную запись алгоритма управления.

При конструировании алгоритма управления водохранилищами учитывается структура системы, взаимное расположение водохранилища, состав пользователей, их значимость, характер водопотребности (детерминированный или стохастический), а также цели управления различными элементами и системой в целом.

Алгоритм совместного управления водохранилищами каскада базируется на двухтактной схеме работы имитационной модели, в соответствии с которой на первом (информационном) такте определяются состояния створов и водохранилищ системы. Эта информация передается в УУ, где анализируется для последующего принятия решений об изменении попусков из водохранилищ для компенсации дефицитов водных ресурсов в нижележащих створах системы. На втором (управляющем) такте информация о величине дотации попусков из водохранилищ передается из УУ на элементы, моделирующие работу водохранилищ. Показатели функционирования системы подсчитываются на втором такте работы модели при стохастических потребностях в водных ресурсах. При реализации этого алгоритма компенсация дефицитов водных ресурсов в створе осуществляется за счет избытка отдачи в вышележащих водохранилищах.

Приведем формальное описание этого алгоритма.

Выделим на линейной схеме ВХС, изображаемой графом $G(J,R)$, граф $H(A,V)$, где A – множество вершин, соответствующих числу водохранилищ (N) и створов (L'), участвующих в компенсированном регулировании стока ($A=J, N'=N, L'=L, A=N'+L'$), а V – множество ребер, соответствующее гидравлическим связям между водохранилищами и створами из множества A .

Дальнейшие построения проведем для случая, когда граф $H(A,V)$ является деревом. Это предположение, безусловно, не исчерпывает всех возможных случаев, встречающихся в реальных ВХС. Однако структура большинства ВХС соответствует этому. В частности, сюда можно включить линейный каскад, системы водохранилищ на притоках и их комбинации.

Выпишем для n -го для водохранилища уравнение нижней границы зоны компенсации

$$C_i^n(t) = C_i^n + \frac{C_{i+1}^n - C_i^n}{\Delta t_i} (t - t_i) \quad (9)$$

$$W_{\min}^n \leq v_i^{\tilde{p}n}(t) \leq C_i^n(t) \leq W_{\max}^n$$

Здесь $v_i^{\tilde{p}n}(t)$ – координата границы зоны гарантированной отдачи (индекс \tilde{p}) n -го водохранилища, C_i^n , C_{i+1}^n – координаты нижней границы компенсации соответственно в моменты t_i , t_{i+1} . Выделим в графе $H(A,V)$ – M -уровней иерархии следующим образом. Каждый уровень иерархии образует створы с переменными потребностями в воде и водохранилища, непосредственно

осуществляющие водоподачу в эти створы. Будем считать также, что два гидравлически связанных водохранилища находятся на разных уровнях иерархии.

В соответствии с автономно-иерархическим подходом будем полагать, что компенсацию дефицита водных ресурсов в створах m -го уровня иерархии осуществляют в первую очередь водохранилища m -го уровня иерархии, затем $(m-1)$ -го $(m-2)$ -го и так далее.

Каждое водохранилище в системе на информационном такте посылает в УУ

$$\begin{aligned} \Phi^{nm}(t) &= \left\{ \gamma_i^{nm}(z(\cdot), t), \lambda_i^{nm}(t), b_i^{nm}(t) \right\} \\ \Phi_i^{nm}(t) &\in \Phi^I(t), \end{aligned} \quad (10)$$

$\Phi^I(t)$ – множество сигналов на информационном такте,

где $\gamma_i^{nm}(z(\cdot), t)$ – приоритет n_m водохранилища на m -ом уровне иерархии на I -ом интервале, $\lambda_i^{nm}(t)$ – индикатор, а $b_i^{nm}(t)$ – величина дотации отдачи из n_m -го водохранилища. $\lambda_i^{nm}(t) = 0$ и $b_i^{nm}(t) = 0$ при $C_i^{nm}(t) \geq W_i^{nm}(t) \leq W_{\min}^n$, т.е. наполнение водохранилища находится в зоне безразличия или зоне ограничений.

В зоне компенсации диспетчерского графика

$$\left(C_i^{nm}(t) \geq W_i^{nm}(t) \leq W_{\max}^{nm} \right) \lambda_i^{nm} = 1,$$

а дотация отдачи равна

$$b_i^{nm}(t) = \max \left\{ 0, \left[\lambda_i^{nm}(t) - \frac{C_{i+1}^{nm} - W_i^{nm}(t)}{t_{i-1} - t} - P^n(W_i^{nm}(t), t) - Q_i^{nm}(t) \right] \right\} \quad (11)$$

Каждый створ на информационном такте посылает в УУ сигнал вида

$$\Phi_i^{lm}(t) = \left\{ \lambda_i^{lm}(t), b_i^{lm}(t) \right\}, \Phi_i^{lm}(t) \in \Phi^I(t), \quad (12)$$

где индикатор $\lambda_i^{lm}(t) = 1$ при дефиците водных ресурсов и $b_i^{lm}(t) = d_i^{lm}(t)$. При этом $\lambda_i^{lm}(t) = 0$, при избытке водных ресурсов и $b_i^{lm}(t) = 0$.

Обозначим множество створов, относящихся к m -му уровню иерархии и имеющих дефицит водных ресурсов, через $L_m^-(t)$, а множество водохранилищ m -ого уровня иерархии через $N_m^+(t)$.

Компенсация дефицита водных ресурсов в этих створах из водохранилищ m -го уровня иерархии возможна, если

$$\sum_{n_m \in N_m^+(t)} b_i^{nm}(t) \geq \sum_{l_m \in L_m^-(t)} b_i^{lm}(t), \quad (13)$$

Если это условие не выполняется, просматривается состояние створов и водохранилищ $(m-1)$ -го уровня иерархии и т.д., «снизу вверх» против течения реки до k -го уровня иерархии.

Общее условие компенсации дефицита в створах можно записать так (суммирование ведется снизу вверх):

$$\sum_{j=m}^k \sum_{n_j \in N_j^+(t)} b_i^{nj}(t) \geq \sum_{j=m}^k \sum_{l_j \in L_j^-(t)} b_i^{lj}(t) \quad (14)$$

Невыполнение неравенства (14) для всей системы означает отсутствие в ней резервов отдачи. Если компенсация дефицита водных ресурсов в створе на m -ом уровне иерархии заканчивается на k -ом уровне, то просмотр состояния створов и водохранилищ системы начинается вновь на $(k-1)$ -ом уровне и т.д.

После работы вышеописанного алгоритма на управляющем такте УУ выдает сигналы $R_i(t) = r_i^{n_j}(t)$, представляющие собой дотации отдачи из водохранилищ. При компенсации дефицита водных ресурсов в створах скорректированная отдача из водохранилищ на k^* -ом иерархическом уровне равна:

$$Q_i^{n_{k^*}}(t) = Q_i^{P_{n_{k^*}}}(t) + \sum_{j=k}^{k^*} \sum_{n_j \in N_j^+(t)} \lambda_i^{n_j}(t) r_i^{n_j}(t), \quad (15)$$

где

$$r_i^{n_j}(t) = \left\{ \sum_{j=k}^m \sum_{l \in L_j(t)} b_i^{l_j}(t) - \sum_{j=k}^m \sum_{n_j \in N_j^+(t)} b_i^{n_j}(t) \right\}, m = k. \quad (16)$$

На втором такте вновь осуществляется прогонка модели с скорректированными отдачами из водохранилищ системы.

Рассмотрим более подробно особенности определения полезной емкости и построения диспетчерского графика головного водохранилища, подающего воду в магистральный канал некоторой оросительной системы (ОС).

В соответствии с постановкой задачи будем предполагать, что головное водохранилище обслуживает несколько ОС, поэтому рассматривается некоторое «фиктивное» водохранилище, обеспечивающее потребности орошаемых массивов с заданной надежностью.

Для определения емкости «фиктивного» водохранилища (будем для определенности называть его далее головным) воспользуемся следующим расчетным приемом.

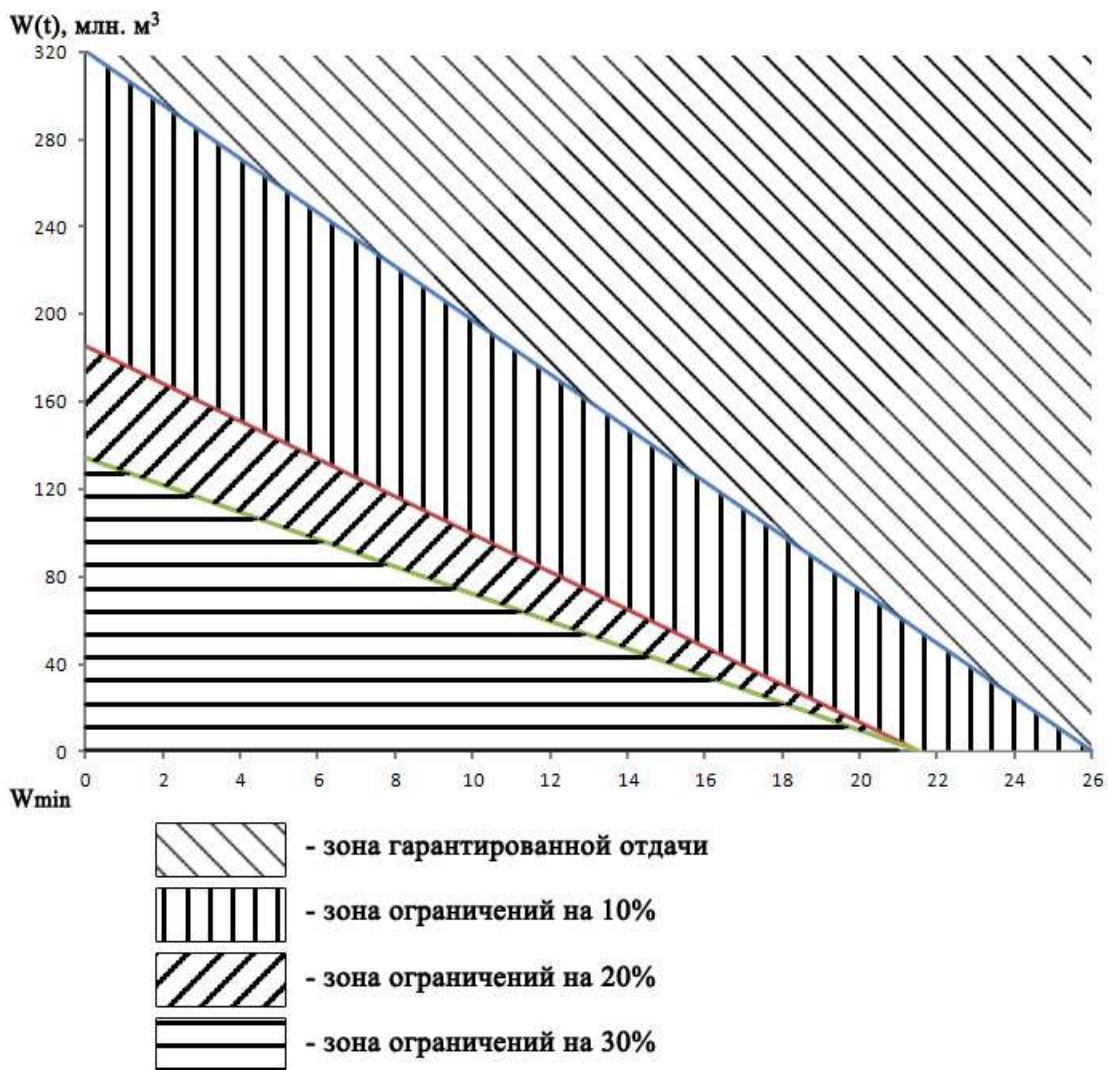


Рисунок 2. Диспетчерский график головного «фиктивного» водохранилища Лёво-Егорлыкской оросительной системы (Ставропольский край)

Построим кривую обеспеченности суммарной водопотребности по ОС. Далее, для всех лет, близких к расчетной обеспеченности по условиям естественного увлажнения «ходом назад», от точки конца вегетационного периода, строится интегральная кривая водопотребности для каждого года. Максимальная ордината точки, соответствующей началу вегетационного периода, и будет представлять собой полезную емкость головного водохранилища.

Для целей моделирования будем предполагать, что сработка водохранилища будет производиться в течение вегетационного периода с последующим «мгновенным» наполнением. Поэтому диспетчерский график будет состоять из зоны гарантированной отдачи и зоны ограничений.

Зона гарантированной отдачи, в свою очередь, разделяется на зону компенсации и буферную зону. Если наполнение водохранилища находится в зоне компенсации диспетчерского графика, то оно может увеличивать свою отдачу для снижения дефицита водных ресурсов ниже по течению, если нет, то оно обслуживает собственных пользователей в соответствии со своим диспетчерским графиком.

Методика построения верхней границы зоны ограничений не отличается от изложенной в [6], и поэтому здесь не приводится. Нижняя граница зоны компенсации определяется из имитационных экспериментов.

В результате проведения имитационных экспериментов, по изложенному выше алгоритму, построен диспетчерский график «фиктивного» водохранилища для Лево-Егорлыкской оросительной системы (Ставропольский край, площадь орошаемых земель при полном развитии системы будет составлять около 60 тыс. га). Расчеты велись за период времени 1956-1985 гг. Априори решена задача оптимизации структуры сельскохозяйственного производства и затем рассчитан режим орошения и оросительные нормы для сельскохозяйственных культур, затем ирригационная водопотребность.

Рассмотрим теперь систему показателей оценки качества функционирования ОС.

Обеспеченность – по числу бесперебойных лет (надежность системы) – P_m , по объему поставленной воды – P_w , по длительности перебойных периодов – P_T и по глубине перебоев – P_d .

При проведении имитационных экспериментов обеспеченность по числу бесперебойных лет сравнивается с нормативом расчетной обеспеченности, который задается априори. Показатели обеспеченности ОС вычисляются по формулам:

$$P_m = \frac{m}{m+1} 100\%; P_w = \left(1 - \frac{\sum_k D_k}{\sum_k W_k} \right) 100\%$$

$$P_T = \left(1 - \sum_k \frac{\Delta_k}{T_n} \right) 100\%; P_d = P \left(\frac{\gamma_{ij}(t)}{\alpha_{ij}} < \varphi_{ij} \right).$$

Здесь, m – число бездефицитных лет; n – число лет наблюдений; D_k – объем дефицита в k -ом году; W_k – объем водопотребления в k -ом году; φ_{ij} – допустимый предел снижения потребностей участников водохозяйственного комплекса.

Литература:

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1977. 399 с.
2. Голубятникова Н.А., Жемухов Р.Ш., Шнайдман В.М. Планирование использования водных и земельных ресурсов оросительной системы с учетом антропогенных воздействий // Водные ресурсы. 1995. Т. 24, №4. С. 454-459.
3. Жемухов Р.Ш. Антропогенное изменение климата и управление водными и земельными ресурсами оросительной системы // Известия КБНЦ РАН. 2003. №2(10). С. 1-2.
4. Жемухов Р.Ш. Система математических моделей для управления водными и земельными ресурсами оросительной системы в условиях антропогенного изменения климата // Моделирование устойчивого регионального развития: материалы Второй междунар. конф. Т. 2. Нальчик, 2007. С. 180-184.
5. Жемухов Р.Ш. Система математических моделей для управления водными и земельными ресурсами оросительной системы с учетом экономических показателей и экологических последствий // Известия КБНЦ РАН. 2005. №2(14). С. 14-20.
6. Жемухов Р.Ш. Моделирование ирригационной водопотребности для водохозяйственных расчетов в условиях изменений климата // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2003. №6. С. 38-43. (прил.).
7. Жемухов Р.Ш. Многокритериальный выбор стратегии водопользования оросительной системы // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2003. №6. С. 43-49. (прил.).

8. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Водохозяйственные расчеты. Л.: Гидрометеиздат. 1952. 392с.

9. Шнайдман В.М. Проведение водохозяйственных расчетов с помощью агрегативной имитационной модели // Водные ресурсы. 1988. №3. С. 124-131.

References:

1. *Buslenko N.P. Simulation of complex systems. M.: Nauka. 1977. P. 399.*

2. *Golubyatnikova N.A., Zhemukhov R.Sh., Schneidman V.M. Planning for the use of water and land resources, irrigation system, taking into account anthropogenic influences // Water resources. 1995. V. 24. №4. P. 454 - 459.*

3. *Zhemukhov R.Sh. Anthropogenic climate change and management of land and water irrigation system // Proceedings of KBSC RAS. 2003. №2 (10). P. 1 - 2.*

4. *Zhemukhov R.Sh. The system of mathematical models for the management of land and water irrigation system in the conditions of anthropogenic climate change// Modeling of sustainable regional development: proceedings of the Second International Conference. V. 2. Nalchik, 2007. P.180 -184.*

5. *Zhemukhov R.Sh. The system of mathematical models for the management of land and water irrigation system based on economic indicators and environmental impacts // News of KBSC RAS. 2005. №2 (14). P. 14 - 20.*

6. *Zhemukhov R.Sh. Simulation of irrigation water demand for water calculations in terms of climate change // Proceedings of the universities. North-Caucasus Region. Natural Sciences. 2003. №6. P. 38 - 43.*

7. *Zhemukhov R.Sh. Multi-criteria selection of the strategy of water irrigation system // Proceedings of the universities. North-Caucasus region. Natural Sciences. 2003. №6. P. 43-49.*

8. *Kritskii S.N., Menkel M.F. Water management calculations. L.: Gidrometeoizdat, 1952. P. 392.*

9. *Schneidman V.M. Carrying out water calculations using aggregate simulation model // Water Resources. 1988. №3. P. 124-131.*