

Кереселидзе Д.Н., Григолия Г.Л.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ

Качество воды в водохранилищах обусловлено находящимися в воде различными химическими и биологическими элементами, повышенная концентрация которых часто превышает ПДК и вызвана различными антропогенными факторами.

Таковыми факторами, например, являются поверхностный и подземный сток, с прилегающих земельных угодий, и водная эрозия. Методы определения этих факторов неоднозначны, вследствие чего неоднозначным является также и оценка качества воды в водохранилищах. Поэтому, для оценки определения качества воды предлагается новый подход. С целью установления количественного состава и свойств воды водохранилищ использованы подходы теории надежности, которые с успехом применяются для решения различных задач водных проблем гидромелиорации.

Качество воды в водохранилищах определяется концентрацией растворенного в ней каждого ингредиента. Поэтому, надежность оценки качества воды должна быть установлена как параметрическая надежность, которая представляет вероятность того, что в течение T времени, концентрации ингредиентов не превысят свои ПДК:

$$P=P(z \subset Q)=P \{ R_{11}<z_1<R_{12}; R_{21}<z_2<R_{22}; \dots; R_{i1}<z_i<R_{i2} / t \leq T \}, \quad (1)$$

где $R_{11}, R_{12}, \dots, R_{in}$ являются ПДК для i -го ингредиента.

Когда в течение определенного периода времени концентрация хотя бы одного из ингредиентов превысит свое ПДК, можно считать, что имеет место «отказа в системе», т.е. ухудшение качества воды. Эти «отказы» характеризуются случайными и независимыми друг от друга вероятностями. В таком случае приближенная надежность качества воды или же вероятность «безотказности» в интервале T времени, можно выразить как произведение случайных и независимых вероятностей:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t). \quad (2)$$

Этой зависимостью подсчитаны вероятность «безотказности» или вероятность не превышения концентраций NO_2 и NH_4 (азотных соединений) своих ПДК в Тбилиском и Сионском водохранилищах.

Из расчетов установлено, что вероятность безотказности подчиняется экспоненциальному распределению, поэтому функция вероятности для NO_2 и NH_4 выражается следующим образом:

$$P = \exp(-\alpha t). \quad (3)$$

Вычисленные по зависимости (3) показатели вероятности для NO_2 и NH_4 в Тбилиском водохранилище соответственно равны 78,9% и 85,6%. Отсюда приближительная вероятность для азотных соединений в Тбилиском водохранилище равна 67,5%. Аналогично, в случае Сионского водохранилища вероятность для NH_4 равна 76,6%, для NO_2 - 89,6% а в целом для азотных соединений - 68,6%.

При решении задач параметрической надежности нельзя пренебрегать изменением этих параметров во времени. В таком случае для расчета вероятности качества воды водохранилища возможно применение теории выбросов случайных функции. Для решения поставленной задачи необходимо принять расчетный уровень, по отношению к которому необходимо искать выпадение случайной функции. Таким уровнем можно принять ПДК i -го ингредиента. В данном случае вероятность выброса, т.е. вероятность того, что в течение времени dt функция $K(t)$ превысит ПДК, может быть выражена следующим образом

$$P[K(t) < K_{ПДК}; K(t+dt) > K_{ПДК}]. \quad (4)$$

При использовании теории выбросов необходимо выполнение определенных требований. Так, в частности, изменчивость i -го ингредиента должна подчиняться закону нормального распределения, а процесс должен быть непрерывным и дифференцируемым. После удовлетворения этих условий, путем простых математических преобразований, получаем уравнение для среднего числа выбросов, которое впервые было получено Райесом и является фундаментальным уравнением статистической механики. В нашем случае это уравнение имеет следующий вид:

$$\Pi_{K_{ПДК}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\sigma_K^1}{\sigma_K} \exp \frac{-(K_{ПДК} - M_K)^2}{2\sigma_K^2}, \quad (5)$$

где σ_K^1 представляет первое производное среднеквадратического отклонения $K(t)$ процесса, для установления которого, применительно к загрязняющим элементам Тбилиского, Сионского и Цалкского водохранилищ, определены корреляционные функции, представляющие σ_K^1 величины при шаге $r=1$.

Превышение концентрации i -го ингредиента над ПДК - явление редкое и для его прогнозирования можно использовать закон Пуассона. Математически это допущение записывается следующим образом:

$$P = \frac{\Pi_{K_{ПДК}} e^{-n_{K_{ПДК}} \cdot t}}{m} \quad (6)$$

Для того, чтобы избежать превышения концентрации i -того ингредиента над ПДК, т.е. не допустить загрязнения воды i -тым ингредиентом, необходимо принять значение превышения $K(t)$ функции над ПДК равным $m=1$. Вследствие этого, выражение (6) принимает следующий вид

$$P = \exp(-n_{K_{ПДК}} \cdot t). \quad (7)$$

Если выражение (7) будем решать совместно с двухразмерной функцией $f(K, K^1)$ распределения по отношению к M_K , получим параметр показателя надежности η_0 , который впервые получил Ц.Е.Мирцхулава для прогнозирования различных деформаций гидротехнических сооружений и эрозийных процессов. В нашей задаче параметр η_0 выражается следующим образом:

$$\eta_0 = 1 + \sqrt{\frac{-2\sigma_K^2 \ln \pi \left(\frac{1 \pi \rho}{1 \Gamma_{ПДК}} \right)}{M_K^2}}. \quad (8)$$

Таким образом, для расчета показателя надежности обязательно установление статистических параметров (M_K , σ_K , σ_K^1) вариационного ряда i -го ингредиента и средней величины (Π_K) выпадений. Для Тбилисского, Сионского и Цалкинского водохранилищ их значения представлены в таб. 1.

Таким образом, можно утверждать, что при помощи показателя надежности η_0 , который также представляет функцию надежности, можно прогнозировать вероятность превышения концентрации i -го ингредиента над своим ПДК.

Отказ каждого элемента качества воды можно характеризовать обобщенной сопротивляемостью - внешним взаимодействием и внутренним напряженным состоянием. Например, водохранилища Грузии в основном загрязняются различными биогенными элементами и ядохимикатами, занесенными с прилегающих территорий.

Поступление этих элементов в значительном количестве вызывает превышение их концентраций над ПДК. В таком случае вызывающим фактором превышения для i -го ингредиента или, что тоже, нагрузкой, можно принять величину i -го ингредиента, занесенного в водохранилище поверхностным стоком, а концентрация того же ингредиента составляет внутреннюю сопротивляемость. Отсюда вероятность загрязнения водохранилища с учетом внешней напряженности (Q_H) и внутренней сопротивляемости (Q_C) может быть выражена следующим образом

$$P_H = P(Q_H > Q_C) \approx P(Q_H - Q_C > 0). \quad (9)$$

Отсюда соотношение между надежностью и риском определяется выражением $P_H + R = 1$. В ряде случаев пересечение кривых напряженности и сопротивляемости дает риск загрязнения водохранилища.

Водохр.	Эл.	M_K	σ_K	σ_K^1	Π_K	$P=0,1\eta_0$	$P=0,5\eta_0$	$P=0,9\eta_0$	ПДК
Тбилисское	БПК	1.88	1.36	0.150	0.112	1.76	1.88	2.01	3.0
	NH ₄	0.43	0.41	0.014	0.0053	1.15	1.27	1.40	0.40
	NO ₂	0.019	0.024	0.0018	0.011	1.53	1.65	1.78	0.02
	Cu	0.0049	0.0052	0.0002	0.006	1.02	1.12	1.25	0.001
	НФ	0.039	0.060	0.0049	0.0128	1.43	1.64	1.66	0.05
Сионское	БПК	1.81	1.10	0.029	0.0023	1.72	1.83	1.95	3.0
	NH ₄	0.59	0.60	0.040	0.0099	1.09	1.20	1.33	0.40
	NO ₂	0.017	0.019	0.014	0.0338	1.59	1.70	1.83	0.02
	Cu	0.006	0.009	0.0005	0.0071	1.01	1.10	1.19	0.001
	НФ	0.037	0.042	0.0033	0.0001	1.37	1.49	1.61	0.05
Цалкинское	БПК	2.43	0.98	0.053	0.0073	1.34	1.47	1.89	3.0
	NH ₄	1.08	0.42	0.023	0.0028	1.24	1.35	1.46	0.40
	NO ₂	0.026	0.015	0.0007	0.0069	1.23	1.34	1.46	0.02
	Cu	0.011	0.012	0.00009	0.00084	1.17	1.17	1.29	0.001
	НФ	0.078	0.072	0.0038	0.4x10 ⁻⁴	1.05	1.16	1.28	0.05

В большинстве случаев напряженность и сопротивляемость определяются совокупностью возмущений, поэтому в качестве закона их распределения можно принять закон нормального распределения Гаусса. При таких допущениях и значениях математического ожидания (M_{Q_C} , M_{Q_H}) и среднеквадратических отклонений (σ_{Q_C} , σ_{Q_H}), риск загрязнения воды в водохранилище i -тым ингредиентом можно выразить следующим образом

$$P_H = \Phi \left[\frac{M_{Q_C} - M_{Q_H}}{\sqrt{\sigma_{Q_C}^2 + \sigma_{Q_H}^2}} \right], \quad (10)$$

где Φ - функция Лапласа, значения которой приведены в специальных таблицах.

Использование рассмотренной модели для решения практических задач затруднительно вследствие отсутствия данных наблюдений над загрязняющими элементами, влекомыми поверхностными потоками в водохранилище с прилегающих земельных угодий. В связи с этим, можно использовать приближенное значение надежности качества воды на основе зависимости, полученной детерминистическим способом, которая функционально связывает итоговый обобщенный параметр с независимыми параметрами. Эта зависимость может иметь вид

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n).$$

Если зависимость линейная, то тогда получение математического ожидания и среднеквадратического отклонения не связано с большими трудностями.

Этим методом был определен риск загрязнения Тбилисского водохранилища биогенными элементами, который для азотных соединений составил 26%, а для фосфатных - 18%. Аналогичные оценки для Сионского и Цалкинского водохранилищ дали величину риска загрязнения азотными соединениями соответственно 27 и 38%.

Как видно, загрязненность водохранилищ биогенными элементами доходит до катастрофического уровня, что может повлечь за собой (в особенности в случае Цалкинского водохранилища) активизацию эвтрофикационных процессов, что в конечном итоге может означать гибель водохранилища.

უკ 551.48:627.8.

წყალსაცავებში წყლის ხარისხის განსაზღვრის საიმედოობის შეფასება. /დ.კერესელიძე, გ.გრიგოლია/. შპი-ს შრომათა კრებული. _ 2001. _ ტ. 106. _ გვ.72-77. _ ქართ.; რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

წყალსაცავების წყლის შემადგენლობისა და ხარისხის რაოდენობრივი განსაზღვრისთვის გამოყენებულ იქნა საიმედოობის თეორიის რიგი დებულება. წყლის ხარისხის საიმედოობად მიღებულია მის განმსაზღვრელი ქიმიური ელემენტების ისეთი ალბათური მნიშვნელობა, როდესაც მათი კონცენტრაციები არ აღემატება ზღვრულ დასაშვებ მნიშვნელობებს. წყლის ხარისხის საიმედოობა შეფასებული იქნა პარამეტრული მოდელით, რისთვისაც გამოყენებულია შემთხვევითი ფუნქციების ამოვარდნათა თეორია. სამგორის, სიონისა და წალკის წყალსაცავების წყლის ხარისხის ზოგიერთი ელემენტებისათვის დადგენილ იქნა საიმედოობის მახასიათებლები. ცხრ.1.

UDC 551.48:627.8.

Assessment of reliability of determination of quality of water in reservoirs. /D.Kereselidze, G.Grigolia/. Transactions of the Institute of Hydrometeorology. 2001.-V.106.-p.72-77.-Georg.: Summ. Georg., Eng., Russ.

To make a quantitative determination of the water composition and its features in reservoirs, a number of problems of a reliability theory have been used. The water quality is considered to be reliable, if concentrations of chemical elements, determining the water quality, do not exceed the maximum permissible values. The water quality reliability has been assessed as a parametric model, using the theory of random functions fall-out. The reliability characteristics have been determined for some elements of the quality of water in Samgori, Sioni and Tsalka reservoirs.Tab.1.

УДК 551.48:627.8.

Оценка надежности определения качества воды в водохранилищах. /Кереселидзе Д.Н., Григолия Г.Л./ Сб. Трудов Института гидрометеорологии АН Грузии. – 2001. – т.106. – с.72-77. – Груз.; рез. Груз., Англ., Русск.

Для определения состава и количественных показателей качества воды в водохранилищах использован ряд положений теории надежности. За критерий надежности принято вероятное значение определяющих качество воды химических элементов, когда их концентрации не превосходят предельно допустимых значений. Надежность качества воды оценивается на основе параметрической модели, для чего использована теория выбросов случайных функций. Установлены показатели надежности для некоторых элементов качества воды Тбилисского, Сионского и Цалкинского водохранилищ. Таб.1.