

«Средазгипроводхлопок», «Узгипроводхоз» институттары және «Гидропроект» АҚ жобалаумен 1953-1957 жылдары салынған, 1957 жылы 29 желтоқсанда пайдалануға берілген. Бұл су қоймасы 64 жылдан бері жұмыс істейді. Қазіргі уақытта Үшқызыл су қоймаларының гидротехникалық құрылыстарының техникалық жағдайын тексеру және олардың сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыру бойынша ұсыныстар беру қажет.

Бұл мақала университет профессорлары, оқытушылар-экономистер, магистранттар мен студенттер, геодезистер мен су қоймаларының жұмысын ұйымдастыруға қызығушылық танытқан мамандар үшін пайдалы болуы мүмкін.

**Кілт сөздер:** гидротехникалық құрылыстар, жер бөгеті, мұнара шығысы, сенімділік, қауіпсіздік, сүзу коэффициенті, дренаж.

## ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION OF HYDRAULIC STRUCTURES UCHKYZYL RESERVOIR

**Ibraimov A., Bakiev M.R., Kodirov O., Kakhkharov U., Matkarimov O.**

*Tashkent Institute of Irrigation and Mechanization of Agriculture Engineers,  
city Tashkent, Republic of Uzbekistan*

### **Abstract**

Uchkyzyl water reservoir of bulk type, seasonal regulation is located in downstream of the Surkhandarya River in 18 km North-West of Termez city, in Angora village of Surkhandarya region of the Republic of Uzbekistan. Uchkyzyl water reservoir was designed by the Institute «Sredazgiprovodkhhlopok», «Uzgiprovodkhoz» and «CAO Hidroproekt» and was built in between 1953-1957. It was put into operation on December 29, 1957. This reservoir is operated for 60 years. Currently, it requires checking technical condition of hydraulic structures of Uchkyzyl water reservoirs and give recommendations to improve their reliability and safety are relevant. This article can be useful for university lecturers, postgraduates and students, scholars and specialists interested in the organization of reservoir operation.

**Key words:** hydraulic engineering constructions, ground dam, tower water outlet, reliability, safety, filtration coefficient, drainage.

**УДК 70.23.15**

## ОЦЕНКА РЕСУРСА СЛОЖНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

**Кузьмич Л.В.<sup>1</sup>, Кузьмич С.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт водных проблем и мелиорации национальной академии аграрных наук,  
Киев, Украина,*

<sup>2</sup>*Национальный университет водного хозяйства и природопользования,  
Ровно, Украина*

### **Аннотация**

В статье определен перечень задач для оценки и обоснования ресурса сложных гидротехнических сооружений, предложен подход к анализу развития процесса истощения ресурса на основании функции повреждения (отказа).

Предложен подход к оценке ресурса при малоцикловой и многоцикловой усталости материала гидротехнических конструкций под механическими воздействиями и ползучести, который базируется на моделировании основных физических стадий развития процесса истощения ресурса, стадий зарождения и распространения по всему телу конструкции

микрповреждений до образования макроскопических трещин, их развития и достижения критических размеров. Поскольку оценка выполняется на основании функции повреждения, для ее определения необходимо учитывать неопределенности, возникающие из-за изменчивости технологических ситуаций, в которых выставляются диагнозы.

**Ключевые слова:** сооружение, эксплуатация, ресурс, остаточный ресурс, повреждение, отказ, трещина, усталость.

## **Введение**

Важной задачей современного водного хозяйства и гидротехнического строительства является оценка ресурса сложных потенциально опасных инженерных гидротехнических конструкций на стадии проектирования, прогноз и оценка остаточного ресурса в процессе эксплуатации, продление срока службы гидротехнических конструкций после истечения нормативного срока эксплуатации.

Эксплуатационные условия работы таких конструкций характеризуются разного рода воздействиями, которые ведут к деградации конструкционных материалов и истощению ресурса конструкций в целом. Процессы истощения ресурса являются многостадийными, нелинейными и взаимосвязанными.

При оценке и обосновании ресурса сложных гидротехнических конструкций необходимо решить следующие задачи:

- элементный анализ конструкции, условий эксплуатации, технологии изготовления и начальной дефектности;
- выявление доминирующих узлов, приводящих к истощению ресурса конструкции в целом;
- моделирование истощения ресурса с учетом деградации конструкционных материалов и условий эксплуатации;
- осуществление расчетов и экспериментальных исследований для выявления опасных зон в конструкциях и определение конкретных характеристик процессов истощения ресурса в этих опасных зонах;
- формирование соответствующих баз данных с целью накопления информации о процессах истощения ресурса в сложных гидротехнических конструкциях и получение необходимой информации для оперативной оценки и прогноза остаточного ресурса в процессе эксплуатации;
- создание методики оперативной оценки и прогноза остаточного ресурса в процессе эксплуатации сложных гидротехнических конструкций;
- получение необходимой информации для принятия решения о продлении срока эксплуатации гидротехнических конструкций, их ремонте, реконструкции или замене.

Основными вопросами для решения этих вопросов являются:

- Выбор макропеременных, которые отражают существенные процессы истощения ресурса на микро - и макроуровнях;
- обоснование сроков истощения ресурса с учетом степени повреждения (отказа);
- моделирование процессов деформирования и истощение ресурса;
- выявление основных факторов, влияющих на скорость процессов истощения ресурса и разработка конкретных зависимостей для этих воздействий;
- моделирование зависимости скоростей процессов истощения ресурса гидротехнических конструкций на всех стадиях развития от условий эксплуатации;
- разработка принципов эквивалентности процессов истощения ресурса между собой и экспериментальными данными исследований;
- установление корреляционных зависимостей между параметрами математических моделей истощения ресурса и параметрами диагностики состояния конструкционного материала;

- разработка методики и алгоритма оперативной оценки ресурса и прогноза остаточного ресурса гидротехнических конструкций в процессе эксплуатации на основании полученной предварительной информации;

- определение реальных эксплуатационных параметров сложных гидротехнических конструкций на протяжении всего времени их эксплуатации.

Оценка остаточного ресурса есть многоуровневый итерационный процесс последовательной детализации и оптимизации диагностических решений. Недостаточная изученность отдельных явлений не позволяет иметь полностью математически формализованное описание конструкции. Поскольку оценка осуществляется на основании функции повреждения (отказа), то для ее определения нужно учитывать неопределенности, возникающие из-за непостоянства технологических ситуаций, в которых ставятся диагнозы.

### **Материалы и методика исследований**

Решение поставленных задач требует адекватного информационного обеспечения за счет повышения надежности функционирования гидротехнических конструкций, применение систем внутреннего контроля и оперативной диагностики состояния технических составляющих. Однако все эти меры не решают в полном объеме поставленные задачи, особенно в условиях медленной эволюции характеристик объектов исследования, их большой размерности, условий наблюдения за протеканием процессов и изменчивости факторов, на них влияющих, информацию о которых можно отнести к категории нечетких множеств. Сами модели процессов носят эмпирический и полуэмпирический характер [1].

При выполнении работы использовались такие методы исследований, как информационно-аналитической, расчетно - сравнительный, математико - статистический.

Математическое моделирование не только эффективно дополняет традиционные методы, применяемые в расчетно-экспериментальных исследованиях, но и все чаще оказывается единственным подходом к прогнозированию возможности и последствий эксплуатации сложных гидротехнических объектов в экстремальных и аварийных условиях, когда другие методы или непригодные, или не могут быть использованы из-за экономических, экологических или иных соображений.

В основу моделирования процессов деформирования и истощения ресурса взято: уравнение термовязкопластичности, уравнение развития макродефектов, критерии устойчивости процессов истощения ресурса и эволюционные уравнения [1, 2, 3].

Уравнение термовязкопластичности содержат в себе микропараметры, учитывающие влияние накопления повреждений на физико-механические свойства материала конструкции [1, 4, 5].

Критерии, что оценивают устойчивость процессов истощения ресурса, основанные на контроле величины производной повреждения (отказа) по обобщенным энергетическим параметрам и является внутренним временем данных физических процессов [1, 6-9].

Эволюционные уравнения повреждений учитывают физические стадии процесса накопления повреждений, влияние параметров напряженно - деформированного состояния конструкции, температуры, вида траектории деформирования и влияние деформирования на скорость процесса накопления повреждений, его нелинейный характер, нелинейное суммирование повреждений при изменении режима нагрузки и от различных механизмов истощения ресурса [4, 6, 10].

Существующие инженерные подходы к оценке ресурса при многоцикловой и малоцикловой усталости базируются на известных данных нагрузки на конструкцию в виде определенного нестационарного процесса, задается значениями эквивалентных напряжений или деформаций. С помощью известных методик реальный нестационарный процесс деформирования приводится к симметричному блочному процессу, причем разные части одного цикла могут относиться к различным нагрузкам. Используются правила линейного суммирования повреждений. Степень повреждения оценивается относительным количеством циклов (усталость) или относительным времени (ползучесть). Процессы формирования и истощения ресурса моделируются отдельно.

Для каждой стадии процесса истощения ресурса устанавливается обобщенный энергетический параметр, характеризующий конкретные условия протекания процесса для каждой опасной зоны конструкции, который зависит от соответствующих долей диссипации энергии на создание микродефектов в рамках соответствующего механизма истощения ресурса.

На базе обобщенных энергетических параметров формулируются принципы эквивалентности процессов истощения ресурса между собой в их эквивалентности экспериментальным данным. Реализуется принцип нелинейного суммирования повреждений.

### Основные результаты исследований НИР

Задачи в рамках механики повреждений формулируются как связь между процессами деформирования и накопления повреждений. Составляются эволюционные уравнения накопления повреждений и определяются критерии устойчивости процессов истощения ресурса гидротехнических конструкций [11].

В нашем случае эволюционное уравнение накопления повреждений имеет вид:

$$w = \sum_z \frac{\alpha_k + 1}{l_{k+1}} f_k(q_k) z_k^{\alpha_p} (1 - w)^{-r_k} \langle z_k \rangle, 0 \leq w \leq w_f < 1, h = e, p, c, \quad (1)$$

где  $w$  – нормированная функция повреждения (отказа);  $q_k$  – параметры напряженно-деформированного состояния и вида траектории деформирования;  $z_k$  – нормированные судьбы диссипации на создание микродефектов по механизмам много циклической усталости  $z_e$ , мало циклической усталости  $z_p$ , ползучести  $z_c$ ;  $\alpha_k, r_k$  – материальные параметры – функции температуры;  $w_f$  – критическое значение микротрещины.

Уравнение (1) интегрируется вместе с уравнениями термовязкопластичности через параметры  $q_k, z_k, z_e$  и температуру  $T$ . В свою очередь материальные параметры уравнений термопластичности зависят от накопленных повреждений (отказов).

При доминирующих механизмах мало цикловой и много циклической усталости процесс накопления повреждений описывается уравнением:

$$w = 1 - \left\{ 1 - \left[ (\alpha_p - 1) \int_0^{z_e} f_p(q_k) z_e^{\alpha_p} \langle dz_e \rangle + (\alpha_e + 1) \int_0^{z_k} f_e(q_k) z_k^{\alpha_e} \langle dz_k \rangle \right]^{\frac{1}{r+1}} \right\}, \quad (2)$$

$$\langle x \rangle = \begin{cases} x & \text{при } x > 0 \\ 0 & \text{при } x \leq 0 \end{cases}$$

или

$$w = 1 - (1 - [y_p^{\alpha_p+1} + y_c^{\alpha_c+1}])^{\frac{1}{r+1}}, \quad (3)$$

Где  $y_p$  та  $y_e$  – малоцикловая и многоцикловая усталости, как параметры внутреннего времени процесса:

$$y_p = [(\alpha_p + 1) \int_0^{z_p} f_p(q_k) z_p^{\alpha_p} \langle dz_p \rangle]^{\frac{1}{\alpha_p+1}}, \quad (4)$$

$$y_e = [(\alpha_e + 1) \int_0^{z_e} f_e(q_k) z_e^{\alpha_e} \langle dz_e \rangle]^{\frac{1}{\alpha_e+1}},$$

$$z_p = \frac{W_p - W_a}{(W_f - W_a)_p}, z_e = \frac{W_e - W_y}{W_{fe}}, \quad (5)$$

где  $W_p$ ,  $W_e$  - доли энергии диссипации, направленные на образование микродефектов при малоцикловой и многоцикловой усталости. Материальные функции  $W_a$ ,  $W_y$  отражают окончание стадии зарождения микродефектов при малоцикловой и многоцикловой усталости ( $z_k = 0$  при  $W_p < W_a$  и  $W_e < W_y$ ), а материальные функции  $W_{fe}$  - критическое значение соответствующих энергий.

### Обсуждение полученных данных

Согласно уравнений (2) - (4) для каждого процесса, который характеризуется индивидуальной историей термосиловой нагрузки на определенный объем материала, соответствует своя кривая накопления повреждений в плоскости переменных  $w \sim W_p$  ( $w \sim z_p$ ),  $w \sim W_e$  ( $w \sim z_e$ ), и при изменении режимов термосиловой нагрузки происходит переход с одной кривой на другую (нелинейное суммирование). На фазовых плоскостях  $w \sim y_p$  та  $w \sim y_e$  каждому механизму истощения ресурса соответствуют единые обобщенные кривые повреждения. При этом скорости движения по этим кривым зависят от конкретных параметров нагрузки.

### Выводы

Для принятия решения по остаточному ресурсу необходимо на основании анализа технического состояния гидротехнической конструкции составить ее модель и задать критерий оценки эксплуатационного режима.

Предложенный подход по оценке произведенного ресурса в случае доминирования механизмов малоцикловой усталости, многоцикловой усталости, ползучести или их сочетании базируется на моделировании основных физических стадий развития процесса истощения ресурса, стадий зарождения и распространения по всему телу конструкции микроповреждений до образования макроскопической трещины, ее развития и достижения ее критического размера.

### Список литературы

1. Коротких Ю.Г., Бех О.И. Уравнения механики поврежденной среды для циклических неизотермических процессов деформирования [Текст] / Ю.Г. Коротких // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Методы решения: Всесоюз. межвуз. сб. / Горьк. ун-т.- 1989. С.96-100.
2. Маковкин Г.А., Юдников С.Г., Нестеров А.П. Оценка остаточной усталостной долговечности путем математического моделирования процессов повреждения. [Текст] / Г.А. Маковкин // «Промышленная безопасность – 2005». Сб. статей. исследование технического состояния зданий и сооружений в процессе экспертизы промбезопасности опасных производственных объектов. Н. Новгород: Изд. ННГАСУ, 2005. С.66-68.
3. Volkov I.A., Korotkikh Yu.G., Tarasov I.S., Shishulin D.N. Numerical modeling of elastoplastic deformation and damage accumulation in metals under low-cycle fatigue conditions // J. Strength of Materials. – 2011. – Vol. 43б, No. 4. – P. 471–485.
4. Казаков Д.А., Капустин С.А., Коротких Ю.Г. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и конструкций. [Текст] / Д.А. Казаков – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 1994. – 225с.
5. Волков И.А., Коротких Ю.Г., Шишулин Д.Н. Экспериментальные методы определения материальных параметров теории пластического течения [Текст] / И.А. Волков // Прикладная механика и технология машиностроения: сб. науч. тр. / под ред. В.И. Ерофеева, С.И. Смирнова и Г.К. Сорокина – Н. Новгород: Интелсервис, 2010. – №2(17). – С. 189–203.
6. Большухин М.А. Зверев Д.Л., Кайдалов В.Б. Оценка долговечности конструкционных материалов при совместных процессах малоцикловой и многоцикловой усталости

[Текст] / М.А. Большухин // Проблемы прочности и пластичности: межвуз. сб. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 2010. – №72. – С. 28–35.

7. V. Babich. Estimation of flexures of the reinforced concrete elements according to the National Ukrainian & European standards [Text] / V. Babich, V. Dovbenko, L. Kuzmych, T. Dovbenko // МАТЕС Web of Conferences. Vol. 116, 02005 (2017), DOI: 10.1051/mateconf/201711602005.

8. L. Kuzmych. Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems [Text] / L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; M. Duk. // Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, Vol.10808, 2018, 108085J; doi:[10.1117/12.2501661](https://doi.org/10.1117/12.2501661)

9. L. Kuzmych, V. Kvasnikov. [The Method of Evaluation of the Resource of Complex Technical Objects, in Particular, Aviation](#) / Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries, Chapter 9 (pages 214-230). IGI Global Core Reference Title in Science & Engineering for 2019. <https://www.igi-global.com/book/handbook-research-artificial-intelligence-applications/232757>

10. Korobiichuk, I., Kuzmych, L., Kvasnikov, V. The system of the assessment of a residual resource of complex technical structures // MECHATRONICS 2019: Mechatronics 2019: Recent Advances Towards Industry 4.0. pp 350-357. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-29993-4\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-29993-4_43)

11. Кузьмич Л.В. Подходы к оценке ресурса технических объектов и систем [Текст] / Л.В. Кузьмич // Вестник Житомирского государственного технологического университета. Серия: Технические науки. - 2018. - Вып. №2 (82). - С. 204 - 207. DOI:[https://doi.org/10.26642/tn-2018-2\(82\)-204-207](https://doi.org/10.26642/tn-2018-2(82)-204-207)

## RESOURCE ASSESSMENT OF COMPLEX HYDRAULIC STRUCTURES

**Kuzmych L.<sup>1</sup>, Kuzmych S.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Water Problems and Land Reclamation of the National Academy of Agrarian Sciences, Kyiv, Ukraine,*

<sup>2</sup>*National University of Water Resources and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine*

### **Abstract**

The article defines a list of tasks for assessing and justifying the resource of complex hydraulic structures, an approach to the analysis of the development of the resource depletion process based on the damage (failure) function is proposed.

The approach is proposed to assess the resource in low-cycle and high-cycle fatigue of the material of hydraulic structures under mechanical stress and creep, which is based on modeling the main physical stages of the development of the resource depletion process, the stages of initiation and propagation of microdamages throughout the structure of the structure until the formation of macroscopic cracks, their development and the achievement of critical sizes. Since the assessment is carried out on the basis of the damage function, in order to determine it, it is necessary to take into account the uncertainties arising from the variability of technological situations in which diagnoses are made.

**Key words:** construction, operation, resource, residual life, damage, failure, crack, fatigue.