

Проблемы определения остаточного ресурса технического состояния закрытых водосбросов низконапорных гидроузлов

М.А. Бандурин

В настоящее время более 80% водопроводящих сооружений отработали значительно свой нормативный срок эксплуатации. В то же время отмечается одновременное возрастание нагрузки на стареющие гидротехнические сооружения, что при отсутствии необходимых квалифицированных кадров и технической ремонтной базы неизбежно приведет к росту числа аварий, обусловленных эксплуатационными причинами.

На низконапорных гидроузлах закрытые водосбросы применяют в основном для пропуска расходов, не превышающих $100 \text{ м}^3/\text{с}$. Среди таких водосбросов наиболее широко распространены конструкции сифонного, ковшового и шахтного типов. Сооружение возводят из пяти типов унифицированных изделий. К недостаткам конструкции сооружения относятся трудность обеспечения высокой степени герметичности соединения напорных труб в реальных условиях строительства и эксплуатации, а также цикличность работы [1].

Функции водоприемника в сооружении выполняет шахта, верхнюю кромку которой располагают на отметке нормального подпорного уровня.

К дефектам строительства можно отнести [2], что на некоторых элементах сооружения произведена некачественная заделка швов, что также явилось одной из причин размыва грунта и появления пазух. Недостаточное уплотнение насыпи и отсутствие подготовки привело к частичному или полному разрушению крепления нижнего бьефа ряда сооружений.

Выявление причин, влияющих на состояние сооружений на пересечениях, поиск методов расчета и неразрушающих способов контроля

по оценке их работы, продлению срока службы и т.п. является первостепенной задачей на современном этапе [3].

В последние годы при оценке остаточного ресурса сооружений водохозяйственного комплекса широкое распространение получила интегральная оценка риска аварии [4, 5]:

$R_a < 0,15$ – нормальный уровень безопасности, степень риска аварии малая;

$0,15 < R_a < 0,30$ – пониженный уровень безопасности, степень риска аварии умеренная;

$0,30 < R_a < 0,50$ – неудовлетворительный уровень безопасности, степень риска аварии большая;

$R_a > 0,50$ – опасный уровень, аварийная ситуация.

Остаточный ресурс водопроводящих сооружений позволяет установить безопасный срок их эксплуатации без ограничений или с ограничениями, либо принять решение о ремонте или ликвидации сооружений и части его элементов [6].

Остаточный ресурс для безопасной эксплуатации водопроводящих сооружений определяться на основании системного анализа с разработкой структурной схемы динамической системы, имеющей ряд подсистем. Основным свойством, определяющим ресурс системы, является надежность ее элементов, т.е. надежность и безотказность работы в течение определенного срока эксплуатации. Надежность и безотказность работы системы в целом определяется из условия, что каждый элемент системы может находиться в одном из двух состояний – работоспособном или отказа [7, 8].

Работоспособность (коэффициент надежности) подсистемы $R_{n.c.}$, определяется из выражения:

$$R_{n.c.j} = 1 - \Phi_{n.c.}$$

где $\Phi_{n.c.}$ – общий физический износ (отказ) подсистемы, который

определяется по формуле:

$$\Phi_{n.c.} = \frac{\sum_{j=1}^m \Phi_{kj} \cdot Z_j}{\sum_{j=1}^m Z_j}$$

Φ_{kj} – физический износ сооружений подсистемы j-го вида;

Z_j – коэффициенты влияния j-х видов сооружений на состояние других;

m – общее количество видов сооружений в подсистеме [9].

Физический износ сооружений подсистемы определяется из выражения:

$$\Phi_{kj} = \sum_{i=1}^n \Phi_i \cdot \frac{P_i}{P_k}$$

где Φ_i – физический износ участка сооружения; P_i – размеры (площадь или длина) поврежденного участка, m^2 или м; P_k – размеры всей конструкции, m^2 или м; n – число поврежденных участков.

Оценки вероятности (1) работоспособного состояния системы $R \{j(c)\}$, структурная функция которой выражена через минимальные пути и минимальные сечения, определяются из соотношения:

$$\prod_{j=1}^k \left(1 - \prod_{i \in kj} q_i \right) \leq R[\varphi(\chi)] \leq 1 - \prod_{j=1}^P \left(1 - \prod_{i \in Pj} r_i \right) \quad (1)$$

где q_i – вероятность отказа i-ой подсистемы; r_i – вероятность безотказной работы i-ой подсистемы; P – количество всех путей; k – количество всех сечений.

Определим остаточный ресурс (2) водопроводящих сооружений

$$P = \frac{(P(j(\chi)) - 0,75) \cdot 100\%}{k_{зд}} \quad (2)$$

где 0,75 – минимальное значение коэффициента надёжности сооружений; $k_{зд}$ – коэффициент скорости физического износа сооружения, %, определяемый по формуле: $k_{зд} = k_{н.э.} + k_n$

На рис. 1, 2 показано моделирование эксплуатации закрытых водосбросов с учетом статических и динамических нагрузок [10, 11, 12].

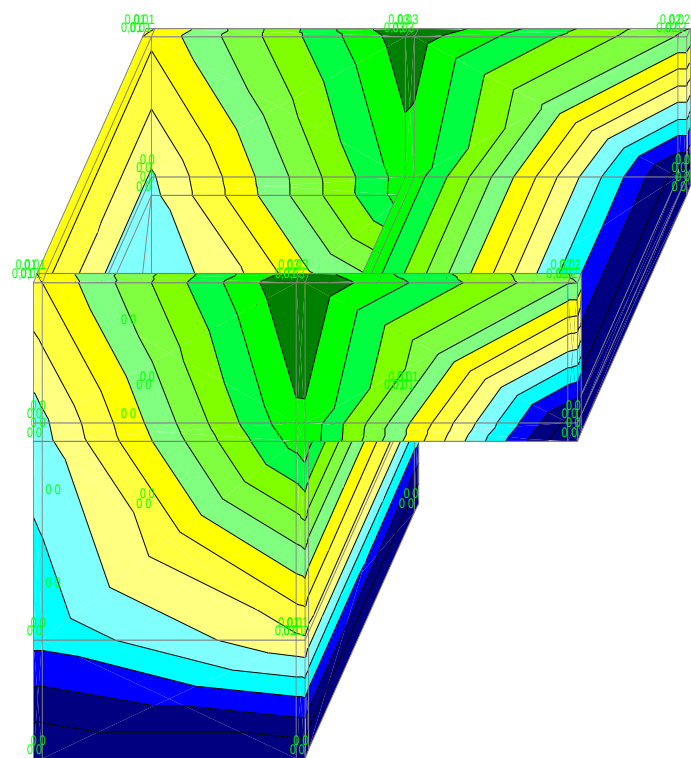


Рис. 1. Эпюра напряжений от статических нагрузок

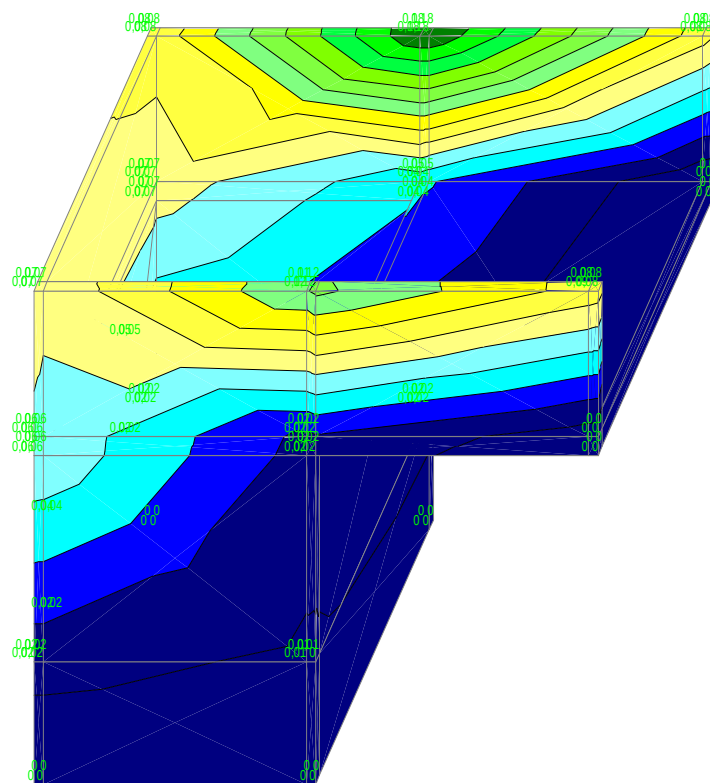


Рис. 2. Эпюра напряжений от динамических нагрузок

Выводы:

1. Разработана концепция оценки остаточного ресурса водопроводящих сооружений на примере закрытых водосбросов, основанная на моделировании процесса нагружения.
2. Одной из злободневных задач в настоящее время в сфере обеспечения безопасности длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений является оценка остаточного ресурса.
3. Представленная технология оценки остаточного ресурса, основанная на имитационном статистическом моделировании, позволяет учитывать случайный характер изменения во времени силовых воздействий на конструкцию, прочностных свойств, процессов деградации расчетных элементов и индивидуальных особенностей сооружения.
4. Допустимые вероятности опасных отказов должны быть установлены на основании комплекса расчётно-экспериментальных исследований.

Литература:

1. Бандурин М.А. Совершенствование методов проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений [Текст] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 1. С. 68-79.
2. Hickman A.R. Carriers cut back coverage for construction defects / American Agent & Broker. 2003. Т. 75. № 7. С. 24.
3. Ищенко А.В. Анализ потерь на фильтрацию и КПД крупных облицованных каналов [Текст] // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2006. № 1. С. 53-61.
4. Бандурин М.А. Проблемы оценки остаточного ресурса длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] / М.А. Бандурин // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/891> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Бандурин М.А. Мониторинг и расчет остаточного ресурса аварийных мостовых переездов через водопроводящие сооружения [Электронный ресурс] / М.А. Бандурин // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1260> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6. Бандурин М.А. Особенности технической диагностики длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] / М.А. Бандурин // «Инженерный вестник Дона», 2012, № 2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/861> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

7. Бандурин М.А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния мостовых переездов на водопроводящих каналах [Текст] // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2012. № 4. С. 110-124.

8. Бандурин М.А. Численное моделирование объемного противофильтрационного геотекстильного покрытия с изменяемой высотой ребра [Электронный ресурс] / М.А. Бандурин, В.А. Бандурин // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1911> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

9. Atkinson Andrew R. The role of human error in construction defects / Structural Survey. 1999. Т. 17. № 4. С. 231-236.

10. Бандурин М.А. Совершенствование методов продления жизненного цикла технического состояния длительно эксплуатируемых водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] / М.А. Бандурин // «Инженерный вестник Дона», 2013, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1510> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

11. Бандурин М.А. Применение программно-технического комплекса для решения задачи проведения эксплуатационного мониторинга и определения остаточного ресурса водопроводящих сооружений [Электронный ресурс] / М.А. Бандурин // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1200> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

12. Бандурин М.А. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния Ташлинского дюкера на Право-Егорлыкском канале [Электронный ресурс] / М.А. Бандурин // «Инженерный вестник Дона», 2012, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2012/889> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.