

стока г. Костанай вода р. Тобыл «умеренно чистая», чему способствует способность водной экосистемы к самоочищению.

Как видно из таблицы 3, вода на водосборе бассейна р. Тобыл в основном загрязнена тяжелыми металлами ( $Cu, Zn$ ), сульфатами ( $SO_4$ ) и нефтепродуктами, что необходимо учитывать при разработке природоохранных мероприятий.

Выполненная оценка качества воды в бассейне р. Тобыл с использованием коэффициента предельной загрязненности позволила определить степень и характер загрязнения для обоснования водоохранных мероприятий с учетом процессов естественного самоочищения природной системы[7].

#### **Список использованных источников**

1. Водные Ресурсы Казахстан. Оценка, прогноз, управление. Ресурсы речного стока Казахстана. Книга 1: Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстана.- Алматы, 2012.-том VII.- 684 с.

2. Бурлибаев М.Ж., Шенбергер И.В., Бурлибаева Д.М., Симернова Д.А., Сокальский В.А., Айтуреев А.М., Линник А.С., Милуков Д.Ю. Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана.- Алматы: Канагат, 2017.- том 2. – 552 с.

3. Калихман А.Д., Педерсен А.Д., Савенкова Т.П., Сукнев А.Я. Методика «пределов допустимых изменений» на Байкале – участке Всемирного наследия ЮНЕСКО. Иркутск: Оттиск, 1999.

4. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения.- М.: Минздрав СССР.-1988.- 74 с.

5. Шабанов В.В., Маркин В.Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем.- М: МГУП, 2009.- 154 с.

6. Вершинская М.Е., Шабанова В.В., Маркин В.Н. Эколого-водохозяйственная оценка водосбора и водных объектов в бассейне Иртыша//Природообустройство, 2008. -№2. -С.50-57.

7. Козыкеева А.Т., Мустафаев Ж.С., Гастемирова Б.Е. Особенности формирования гидрологического режима водосбора бассейна реки Тобол // МЕЛИОРАЦИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО / Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Шумаковские чтения) «Инновационные технологии мелиорации, водного и лесного хозяйства Юга России». – Новочеркасск: Издательство Лик, 2018.-Выпуск 16. - Часть 1. - С.173-178.

УДК 615.035.4

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕЛИОРАТИВНЫХ КАНАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЕВ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ**

**Н.П. Курбатов**

ФГБОУ ВО «Тверской Государственный технический университет», г. Тверь, Россия

Проектирование и строительство гидротехнических сооружений часто ведется без учета критериев теории надежности и методов математической статистики. В мелиоративном строительстве оценка надежности сооружения и его стоимости имеет огромное экономическое значение.

Каналы с заданными размерами и покрытием должны пропускать расчетный расход воды. Если запроектированный расход не проходит, то его качественные характеристики снижены и требуется либо восстановить их до проектных значений, либо расчеты были выполнены неверно (ошибки проектировщиков).

Конструкция оросительных каналов должна отвечать основным требованиям:

- неразмываемость русла канала, сечение должно быть таким, чтобы при данном уклоне канала  $I$  скорость течения воды не превышала допустимой наибольшей скорости  $v_{0\ max}$ ;

- незаиляемость канала, поперечное сечение должно быть таким, чтобы поток воды обладал необходимой транспортирующей способностью в отношении наносов, условие для определения критической скорости  $v_{0\ min}$ ;

- минимум фильтрации, так как фильтрационные потери в каналах зависят также и от формы поперечного сечения;

- максимум пропускной способности или гидравлического радиуса  $R$ .

Однако, все эти условия, на конкретном канале не могут быть удовлетворены одновременно [1]. Кроме того, планируемый расход может не проходить, если канал зарос травой, скорость движения воды уменьшилась, идет усиленная фильтрация через стенки и дно, при этом все его конструктивные элементы остались без существенных изменений - откосы не размывы, обрушений не наблюдается, крепления имеют незначительные повреждения.

Оросительные системы при эксплуатации подвергаются воздействию различных факторов. Влияние этих факторов проявляется в виде отклонений параметров системы от расчетных значений, изменения в течение эксплуатации коэффициента шероховатости, пропускной способности, коэффициент  $f$  фильтрации. Отклонения иногда могут быть настолько значительными, что дальнейшая эксплуатация системы становится невозможной. Отказ наступает в том случае, когда система или составляющие ее элементы перестают удовлетворять предъявляемым требованиям.

Наиболее характерными признаками невыгодности дальнейшей эксплуатации объекта служат: повышение интенсивности выхода из строя отдельных узлов, элементов, резкий рост расходов на эксплуатацию объекта и потерь в результате простоев.

Увеличение затрат на строительство канала ведет к уменьшению эксплуатационных затрат и наоборот, уменьшение стоимости строительства приводит к увеличению эксплуатационных затрат. Если обозначить через  $C_{стр}$  стоимость строительства каналов и через  $C_{экспл}$  стоимость их эксплуатации за год, то получим общие суммарные затраты за некоторый срок  $t$ :

$$W_{общ} = C_{стр} + t C_{экспл} \quad (1)$$

Приведенные затраты - затраты на строительство и эксплуатацию, условно приведенные к одному году:

$$W = W_{общ} / t = (C_{экспл} + t C_{экспл}) / t = C_{стр} / t + C_{экспл} \quad (2)$$

Определяющим параметром общих затрат на строительство каналов будет тип и конструкция креплений откосов и дна. Максимальная стоимость  $C_{стр}$  - откосы и дно канала забетонированы, при этом  $C_{экспл}$  - минимальны. Минимальная

стоимость  $C_{стр}$  - откосы и дно канала без креплений,  $C_{экспл}$  - максимальная. Схематично эти изменения отражены на рисунке 1.

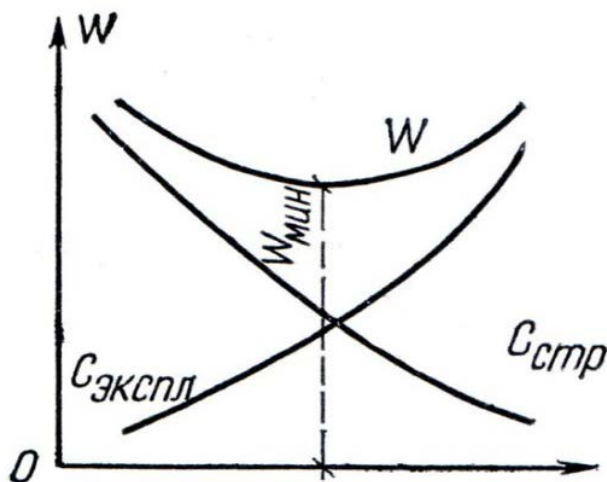


Рисунок 1 - Изменение затрат на строительство и эксплуатацию канала в зависимости от типа креплений

При заданном расходе подаваемой воды  $Q$ , увеличение затрат на крепление откосов ведет к увеличению затрат на строительство водовода и уменьшению эксплуатационных затрат, связанных с периодическим ремонтом. Наоборот, при уменьшении затрат на крепление, увеличиваются эксплуатационные расходы.

Система каналов должна быть запроектирована наиболее экономично и обеспечивать экономически выгодное решение этого комплекса. При проектировании гидротехнических объектов необходимо учитывать вопросы надежности. Долговечность и надежность можно повысить до любого уровня, увеличив запасы, затраты. Риск выхода из строя объекта при этом снижается, стоимость объекта увеличивается. Поэтому необходимо стремиться к оптимальному соотношению между стоимостью и риском [2,3].

Разработать и построить объект без экономических ограничений практически невозможно. Экономичность любой конструкции определяется затратами на ее разработку и эксплуатацию. Канал, построенный с максимальной надежностью и теряющий минимальное количество воды на фильтрацию, будет стоить очень дорого. Себестоимость поданной воды будет высокой. Однако, если проложить канал с минимальными затратами, можно вообще не получить требуемого количества воды, а разрушения будут столь значительны, что через короткий промежуток времени эксплуатация системы станет невозможной. Тем не менее, системы с низкой надежностью в ряде случаев применяются, так как экономически себя оправдывают. Зачем выполнять канал с железобетонным креплением откосов и дна, если он эксплуатируется несколько месяцев в году.

С целью сохранения заданной надежности необходимо правильно организовывать эксплуатацию оросительных систем. Требуемый уровень надежности восстанавливаемых систем обеспечивается профилактическим осмотром и восстановлением. Общее календарное время работы системы состоит из времени

безотказной работы  $t_0$ , времени восстановления  $t_s$  и времени профилактического обслуживания.

Цель профилактического обслуживания - исключить возможность появления отказов системы при ее нормальной эксплуатации. Для этого важно уметь прогнозировать отказы. Полностью исключить отказы в рабочий период не удастся. Поэтому необходимо проектировать систему и эксплуатировать ее так, чтобы обеспечить минимальное время восстановления отказавшего элемента. Важную роль для сохранения надежности систем играет квалификация, подготовка и опыт обслуживающего персонала.

Используя методы математической статистики и теории вероятности и взяв за основу канал-аналог, характерный для данной местности, можно сконструировать канал с минимальными затратами.

Вероятность исправной работы оросительной сети, состоящей из  $N$  элементов канала, в течение времени  $t$  будет равна произведению вероятностей исправной работы ее составных элементов в течение того же времени [4]:

$$P_c(t) = P_1(t) P_2(t) P_3(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (3)$$

Вероятность безотказной работы одного элемента:

$$P_i(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] \text{ или}$$

$$P_i(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad (4)$$

В общем виде формулу (1) можно записать:

$$P_c(t) = e^{-\int_0^t \lambda_1(t) dt} \cdot e^{-\int_0^t \lambda_2(t) dt} \cdot \dots \cdot e^{-\int_0^t \lambda_N(t) dt} = e^{-\sum \int_0^t \lambda_i(t) dt} \quad (5)$$

Если интенсивность отказов будет величиной постоянной, то:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}, \quad (6)$$

Проект канала, выполненный на основе геодезических, геологических и гидрологических изысканий необходимо подвергнуть проверке на экономическую эффективность и надежность. Для этого необходимо:

- выбрать несколько вариантов креплений откосов канала;
- рассчитать надежность и время до прекращения эксплуатации канала с различными вариантами креплений откосов;
- определить финансовые затраты и время восстановления откосов;
- выбирая варианты креплений откосов, следует отдавать предпочтение конструкциям из современных материалов, легкозаменяемых, экологически чистых элементов.

Оптимальная долговечность определяется экономически наиболее выгодным сроком службы сооружения. Это зависит как от технического, так и морального износа. Необходимо стремиться, чтобы срок службы составляющих элементов не был больше срока работы самой системы, или к концу срока службы системы эти элементы окажутся не амортизированными.

Многие элементы креплений откосов канала имеют неодинаковую прочность, износостойкость, сопротивляемость нагрузкам. По срокам службы они значительно отличаются, что вызывает сложные, многочисленные ремонты и как следствие - повышение стоимости эксплуатации.

Необходимо добиваться увеличения количества одновременно заменяемых, легкозаменяемых элементов, одновременно ремонтируемых частей. Повышение интенсивности выхода из строя отдельных узлов, элементов, резкий рост расходов на эксплуатацию объекта и потерь в результате простоев свидетельствуют о неудачном выборе конструкции при проектировании. Оптимальным сроком службы считается тот, при котором эксплуатирующее хозяйство будет нести минимальные затраты и потери, отнесенные к единице продукции. Борьба с моральным износом ведется путем модернизация объекта при ремонте.

При проектировании объектов желательно, чтобы конструкция канала и креплений были по возможности простыми при строительстве и при обслуживании. Практика эксплуатации объектов гидротехнического строительства и гидромелиорации свидетельствует о преимуществах таких систем.

Пример 1: Наблюдениями установлено, что разрушение ж/б покрытий каналов, расположенных в данной местности и работающих постоянно начинает происходить через 25 лет, требуется определить время капитального ремонта канала, чтобы его надежность была не ниже 80%.

Решение 1: Допуская, что распределение событий подчиняется экспоненциальному закону распределения, при среднем сроке службы 25 лет, вероятность работы системы определится по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Через 5 лет надежность системы снизится на 19% , а ее надежность составит 81%:

$$P(5) = e^{-0,04 \cdot 5} = 0,81$$

Однако вероятность того канал будет разрушен и перестанет функционировать подчиняется распределению Пуассона. Разрушения элементов конструкции начнется только через 25 лет и вероятность попадания этого события в некоторый интервал определится по формуле:

$$P(m_1 \leq X \leq m_2) = e^{-\lambda t} \sum_{m=m_1}^{m_2} \frac{(\lambda t)^m}{m!} \quad (7)$$

При  $m_1 = 0$ ;  $m_2 = 25$ ;  $\lambda = 1/25 = 0,04$ ;  $m = 25$ ;

$$P(0 - 25) = \frac{25^{25}}{25!} e^{-25} = 0,079$$

Вероятность того, что через 25 лет канал перестанет функционировать составляет 8%.

Пример 2: Канал построен без креплений откосов. Наблюдениями установлено, что канал расположен в данной местности и работает постоянно, его откосы станут разрушаться в первый год эксплуатации, и критических значений размывы достигнут через 3 года. Определить время капитального ремонта канала, чтобы его надежность была не ниже 80%.

Решение 2: Считая, что распределение событий подчиняется экспоненциальному закону распределения, при среднем сроке службы 3 года, вероятность работы системы определится по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Уже через 1 год надежность системы составит 72% .

Но, вероятность того, что канал будет разрушен и перестанет функционировать, подчиняется распределению Пуассона. Вероятность попадания этого события в некоторый интервал определится по формуле:

$$P(m_1 \leq X \leq m_2) = e^{-\lambda t} \sum_{m=m_1}^{m_2} \frac{(\lambda t)^m}{m!}$$

При  $m_1 = 0$ ;  $m_2 = 3$ ;  $\lambda = 1/3 = 0,33$ ;  $m = 3$

$$P(0 - 3) = \frac{3^3}{3!} e^{-3} = 0,075$$

Вероятность того, что через 3 года канал перестанет функционировать, составляет 7,5%.

Таким образом, при проектировании канала задача состоит в том, чтобы производственные возможности оптимально согласовывать с экономическими

затратами. Оптимальный уровень качества объекта – это сочетание его различных свойств (технических, экономических, эстетических), которое обеспечивает определение потребности с минимально возможными издержками на их создание и эксплуатацию

Долговечность сооружения должна измеряться экономически наиболее выгодным сроком службы, ограниченным физическим и моральным износом. Физический износ неотвратим. Профилактические ремонты могут лишь отдалить этот период. Физическому износу подвергаются кроме действующих сооружений, не работающие, не участвующие в процессе эксплуатации гидротехнические объекты, так как на них воздействует окружающая среда. Моральный износ наступает в результате технического прогресса - создания более экономичных и современных сооружений. Ремонтировать сооружение, модернизировать или сменить его, решается в каждом отдельном случае с учетом условий работы конструкции на основе технико-экономических расчетов.

Надежность и долговечность можно повысить до любого уровня, увеличив запасы, затраты. Естественно, риск выхода из строя объекта при этом снижается, стоимость объекта увеличивается. Поэтому необходимо стремиться к оптимальному соотношению между стоимостью и риском.

#### **Список использованных источников**

1. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М.: Издание автора 1927.-476.
2. Р. Хевиленд. Инженерная надежность и расчет на долговечность, Перевод с английского Б. А, Чумаченко М.-Л. Энергия, 1966.
3. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. –М.: Колос,1974.-279с.
4. Курбатов Н.П. Методы определения пропускной способности канала с помощью теории вероятности. «Мелиорация и водное хозяйство», 2013, №1.

УДК 627.157: 002.637 (282.247.41)/624.131.1

## **ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ КЛЯЗЬМЫ**

**Б.И. Корженевский, Г.Ю. Толкачев, Т.А. Ильина, Е.Н. Гетьман**  
ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», г. Москва, Россия

**Введение.** Комплексное использование водных объектов требует изучения их экологического состояния и оценки уровня техногенной нагрузки. Для всех техногенно развитых территорий наблюдается формирование литогеохимических аномалий в донных отложениях (ДО). Тонкие фракции ДО вследствие своих высоких сорбционных свойств накапливают широкий комплекс загрязняющих веществ (ЗВ) и потому могут служить индикатором техногенной нагрузки на водный объект. Отметим, что оценка техногенной нагрузки только на основе данных о составе и концентрациях ЗВ в воде не может быть корректной без специальных режимных наблюдений из-за сильных флуктуаций расходов воды, концентраций взвешенных и растворенных веществ в течение года. В данной ситуации оперативным источником информации о состоянии водных систем могут являться показатели загрязненности ДО. Результаты их исследования позволяют установить наиболее неблагоприятные в экологическом отношении участки и скорректировать состав и объем мониторинга.