

УДК 627.8-192

С.В. ЕВДОКИМОВ

кандидат технических наук, доцент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Т.В. ДОРМИДОНТОВА

кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой автомобильных дорог и строительных конструкций Самарский государственный архитектурно-строительный университет

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ*ESTIMATION CRITERIA OF RELIABILITY AND TECHNICAL CONDITION OF HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTIONS*

Рассмотрены основные критерии оценки надежности и технического состояния гидротехнических сооружений. Проанализированы основные методы оценки и расчета надежности сложных технических систем. Сделаны выводы и предложены рекомендации по использованию этих методов применительно к гидротехническим объектам и сооружениям.

Ключевые слова: надежность, расчет надежности, критерии оценки, технические системы, гидротехнические объекты и сооружения.

Мониторинг технического состояния гидротехнических сооружений, т.е. наблюдение за техническим состоянием объекта, включает в себя множество методик наблюдения и оценки их результатов. Одними из перспективных и наиболее объективных в настоящее время способов осуществления мониторинга являются методы теории надежности, которые позволяют не только оценить надёжность сооружения, но и объективно обосновать количество и места наблюдений, их периодичность, необходимую достоверность результатов и т.п. Кроме того, с помощью методов теории надежности возможно оценить неэкономическую значимость (безопасность) наблюдаемой конструкции, что в конечном итоге влияет на решения по сохранению

или усилению объекта наблюдения. Использование методов теории надежности позволяет в отличие от других методов исследований технического состояния гидротехнических сооружений обосновать социально значимый коэффициент запаса прочности.

Keywords: reliability, reliability calculation, criteria of estimation, technical systems, hydraulic engineering objects and constructions.

или усилению объекта наблюдения. Использование методов теории надежности позволяет в отличие от других методов исследований технического состояния гидротехнических сооружений обосновать социально значимый коэффициент запаса прочности.

В целом методы теории надежности позволяют в качестве исходных данных использовать статистические характеристики свойств материалов.

Например, в соответствии с результатами статобработки к использованию при обследовании эксплуатируемых гидротехнических железобетонных конструкций, могут быть рекомендованы дублирующие методы как имеющие минимальный коэффициент вариации R_{on}/R_r (табл. 1).

Результаты статобработки методов определения прочности бетона

Таблица 1

Метод определения прочности бетона	Коэффициент вариации	Вероятность попадания в интервал 0,9-1,1
Скалывания	0,085	0,751
Пластических деформаций	0,274	0,284
Упругого отскока	0,283	0,274
Ультразвуковой	0,164	0,46
Ударный	0,199	0,38

На рис. 1 представлен график, отражающий вероятность получения ошибки более 10 % по результатам испытаний одновременно несколькими методами сразу. Как видно из рисунка, коэффициенты вариации отношений R_{on}/R_r в основном имеют большие значения. Поэтому для повышения достоверности результатов целесообразно определять прочность бетона параллельно сразу несколькими методами.

В случае измерения прочности бетона одним

способом, эта надёжность окажется равной W_1 , при измерении вторым способом – W_2 и т.д.

Считая эти измерения независимыми и существенно не отличающимися друг от друга, можно записать, что надёжность среднего способа (определённого как среднеарифметическое по двум средним).

Условимся надёжность используемого метода понимать как вероятность попадания результата произвольного измерения R_{on}/R_r в интервал 0,9 – 1,1.



Рис. 1. Вероятность получения ошибки более +10 % по результатам испытаний одновременно несколькими методами

Таким образом, увеличение количества одновременно используемых способов измерений позволит:

- уменьшить вероятность появления ошибок в 13 и более раз;
- объяснить неоднозначность результатов расчёта;
- учитывать накопление дефектов и увеличение интенсивности их воздействий в течение срока эксплуатации;
- расчётным образом обосновывать безопасность эксплуатации строительных элементов и систем;
- учитывать количество отказов за срок эксплуатации;
- связывать результаты оценки качества с контролем качества строительной продукции;
- различным образом подходить к расчёту надёжности элементов и систем;
- применять математику и вычислительную технику;
- иметь специфичные направления использования.

Использование теории надёжности при мониторинге технического состояния гидротехнических сооружений позволяет повысить объективность заключений о техническом состоянии объекта наблюдения.

При разработке критериев надёжности систем необходимо сформировать группу показателей, дающих в совокупности комплексную вероятностную характеристику состояния сооружения.

Системы, к которым можно отнести все гидротехнические сооружения, могут выполнять одну или несколько задач одновременно, и называются они соответственно одноцелевыми или многоцелевыми.

Критериями надёжности для системы, как известно, являются:

коэффициент готовности – вероятность того, что объект находится в работоспособном состоянии в произвольный момент времени;

коэффициент технического использования – отношение математического ожидания времени нахождения системы в работоспособном состоянии ко времени эксплуатации;

вероятность безотказной работы;

срок службы;

наработка на отказ;

среднее время технического обслуживания или ремонта;

среднее время восстановления работоспособности;

удельная суммарная трудоёмкость восстановления работоспособного состояния.

Помимо вышеперечисленного, сложные технические системы, такие как гидротехнические объекты, обладают следующими критериями надёжности:

- вероятностью выполнения системой всех поставленных перед ней задач;
- вероятностью выполнения системой наиболее важных задач;
- вероятностью выполнения системой определённого количества поставленных перед ней задач;
- математическим ожиданием числа выполненных системой задач.

Существуют и другие критерии, которые возникают по мере необходимости.

Расчёт надёжности гидротехнических сооружений устанавливает перед собой две задачи:

– оценку надёжности всего гидротехнического объекта;

– оптимальное распределение заданной надёжности по конструкциям гидротехнического объекта.

Существуют следующие методы оценки и расчёта надёжности технических систем, по которым следует определять критерии надёжности:

- по качественному критерию;
- по количеству отказавших в ней элементов;
- логико-вероятностный;
- надёжностных схем систем.

Рассмотрим некоторые из критериев надёжности для вышеперечисленных методов применительно к гидротехническим объектам.

Расчёт надёжности системы по качественному критерию. Этот метод расчёта надёжности строительной системы предлагается поставить в зависимость от её технико-экономической и социальной значимости.

Системы, к которым предъявляются высокие требования по надёжности (уникальные сооружения, АЭС, плотины и др.), можно принять равными надёжности элемента или исполняемой функции системы с максимальной вероятностью отказа. Системы, к надёжности которых предъявляется средний уровень требований (промышленные здания, жилые многоэтажные дома), можно принять равными обеспеченному значению надёжности по всем элементам или исполняемым функциям. Уровень обеспеченности определяется из экономических соображений; характер статистического распределения надёжностей элементов или функций системы требует специального изучения (в каждом конкретном случае). Системы, к которым предъявляются значительно меньшие требования по надёжности (животноводческие здания, жилые малоэтажные дома, временные здания и сооружения и т.п.), можно принять равными математическому ожиданию надёжностей элементов или функций системы.

Расчёт надёжности системы по количеству отказавших в ней элементов. В некоторых случаях отказ системы наступает при достижении определённого качества отказавших элементов (без предыдущего восстановления). В таких случаях надёжность системы, в частности надёжность гидротехнического объекта, можно определить по вероятности отказа определённого количества элементов. Для этой цели целесообразно использовать теорему о повторении опытов. Используя её, можно определить вероятности появления:

- точно заданного количества отказавших элементов системы;
- количества отказавших элементов не более заданного.

В случае, если вероятности отказов каждого элемента системы равны, а вероятность отказа системы соответствует точно заданному количеству её элементов (n), вероятность её отказа определяется по формуле

$$P_{m,n} = C_n^m p^m q^{n-m}, \quad (1)$$

где C_n^m - количество сочетаний из n по m ; p - вероятность отказа; $q = 1 - p$; m - число элементов

в системе; n – число отказавших элементов.

Вероятности отказов каждого элемента могут быть не равными друг другу. В этом случае вероятность появления заранее определенного количества отказов вычисляется по формуле

$$R_{m,n} = \sum_{i=m}^n P_{i,n} \quad (2)$$

где $P_{i,n}$ – вероятность отказа.

Таким образом, смысл расчёта надёжности системы по количеству отказавших в ней элементов заключается в том, что вероятность отказа системы принимают с вероятностью отказа n или не более n элементов системы.

Логико-вероятностный метод. Это метод системного анализа, в котором решение задач осуществляется на основе построения структурных схем исследуемых объектов. Работу таких объектов можно представить с помощью алгебры логики, а количественную оценку – с помощью теории вероятностей.

Логико-вероятностный метод приспособлен для полной автоматизации наиболее сложных процессов построения расчетных математических моделей, которые не могут быть построены традиционными ручными способами моделирования из-за структурной сложности и высокой размерности.

Данный метод состоит из четырёх этапов:

1. Структурно-логический. На этом этапе осуществляется постановка задачи.

2. Определение логической функции работоспособности системы (построение логической модели функционирования исследуемой системы).

3. Определение расчетной вероятностной модели системы (расчет вероятностных показателей).

4. Выполнение расчетов системных характеристик (расчет показателей, необходимых для решения задач системного анализа) с помощью полученной вероятностной модели.

Логико-вероятностный метод позволяет анализировать информацию, получать достаточно надежные статистические выводы (в условиях малой выборки и высокой размерности пространства переменных), подбирать функцию, которая подходит для полученных распределений. Главным достоинством метода является наблюдение за состоянием гидротехнического объекта с помощью ЭВМ, что избавляет исследователя как от необходимости изучения графических моделей, так и от непосредственного анализа последствий каждого отказа элементов.

К возможностям логико-вероятностного метода можно отнести следующее:

- на примерах влияния законов распределения времени исправной работы и времени восстановления надежности резервированной системы;
- исследование влияния метода на надежность системы;
- исследование надежности системы методом зависимых (параллельных) испытаний;
- исследование абсолютной надежности системы по результатам наблюдения отказов её элементов и др.

На данном этапе развития этого метода можно сделать следующие выводы:

1. Логико-вероятностный метод – это вид вычислительного эксперимента.
2. Его достоинства позволяют решать задачи надежности.
3. Широкое использование компьютерной техники позволяет учитывать различные особенности функционирования системы.

Расчёт надёжных схем систем. Как правило, гидротехнические сооружения как техническая система является многоцелевой и многофункциональной. Все функции этой системы должны выполняться одновременно. Количество отказавших элементов в системе не может быть бесконечным. Может наступить момент, когда количество одновременно возникших отказов приведёт к небезопасной эксплуатации объекта. Это осложняет понятие «отказ системы», делает его менее чётким.

В связи с нечёткостью определения понятия отказа для гидротехнического объекта целесообразно говорить не о надёжности объекта, а о надёжности исполнения функций, предписанных этому объекту.

Любая строительная конструкция имеет индивидуальный набор функций. Исследования позволили объединить все функции в четыре большие группы: функцию безопасности, функцию комфорта, функцию технического обеспечения и группу специальных функций.

Схему предписанных для исполнения функций можно превратить в надёжностную схему объекта, используя различного рода соединения, аналогичные электрическим.

Надёжностная схема системы состоит из последовательных и параллельно соединённых элементов. При этом способ соединения определяется либо логически, либо экономически.

Очевидно, что все функции, которые исполняет система, а также все элементы в функции безопасности следует рассматривать как последовательные соединения. Эти решения имеют логическую основу.

Последовательное соединение элементов – это соединение, при котором отказ хотя бы одного элемента приводит к отказу всей системы. Например, отказ по огнестойкости конструкций или по экологической чистоте материалов приводит к отказу функции безопасности, что, в свою очередь, означает отказ всей системы.

Надёжность системы при последовательном соединении равна произведению надёжностей отдельных элементов и всегда меньше надёжности наименее надёжного элемента.

Логическое обоснование имеет также параллельное соединение элементов специальной функции.

При параллельном соединении надёжность системы больше надёжности самого надёжного элемента. Отказ системы с параллельным соединением наступает лишь после отказа полностью всех элементов.

Кроме того, все элементы в системе с параллельными соединениями должны иметь одинаковое функциональное назначение. Параллельное соединение в теории надежности рассматривается как способ повышения надежности системы за счёт дублирования, резервирования.

Для оценки надежности исполнения функции комфортности можно использовать формулы для системы с последовательным и параллельным соединениями элементов.

Надежность исполнения функции технического обеспечения определяется на основе представления её как системы с комбинированными соединениями.

Комбинированное соединение элементов объединяет способы с параллельным и последовательным соединением.

Распределение заданной надежности системы по её элементам. Так как гидротехнические сооружения являются многофункциональными, то надежность таких объектов, состоящих из параллельно соединённых элементов, запишется в следующем виде:

$$W = 1 - Q_{\text{сис}} = 1 - (1 - W_1)(1 - W_2) \dots (1 - W_n) = 1 - \prod (1 - W_i), \quad (3)$$

где Q – вероятность отказа; W_i – минимальная надежность i – го элемента; n – количество параллельно соединённых элементов в системе.

Исследований зависимости надежности исполнения специальных функций от каких-либо факторов к настоящему времени не произведено. Поэтому для её оценки возможно элементы этой функции соединить параллельно, так как при отказе одной из специальных функций объекта может быть предписано исполнение другой, более подходящей. Можно предположить, что одним из наиболее весомых факторов, определяющих надежность специальных функций, является время морального старения проектного решения.

Задача по определению критериев надежности является первоочередной, решение которой позволит оценивать надежность и техническое состояние таких сложных и уникальных сооружений, как гидротехнические объекты. Причем для различных гидротехнических объектов существуют свои критерии оценки надежности, определение которых возможно после проведения экспериментальных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей [Текст] / Е.С. Вентцель - М: Высшая школа, 1999. – 575 с.
2. Дорохов, А.Н. Обеспечение надежности сложных технических систем [Текст] / А.Н. Дорохов, В.А. Керножицкий, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова. – М.: Лань, 2011. – 352 с.
3. Лычев, А.С. Вероятностные методы расчета строительных элементов и систем [Текст]: учеб. пособие / А.С. Лычев; СамГАСА. – Самара, 1995. - 140 с.
4. Лычев, А.С. Надежность строительных систем [Текст] / А.С. Лычев; СамГАСА. - Самара, 2002. - 140 с.

© Евдокимов С.В., Дормидонтова Т.В., 2011