

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

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**RELIABILITY ESTIMATION OF HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTIONS**

Представлены основные позиции расчёта надёжности гидротехнических сооружений как систем. Под системой понимается множество элементов, находящихся в отношениях и связи между собой, которые образуют определенную целостность, единство. Особенностью систем является наличие в их структуре элементов и связей между ними. В теории надежности систем под элементами понимаются любые структурные блоки, необходимые для обеспечения работоспособности системы.

Ключевые слова: надежность, повреждения, отказ, диагностика.

В последние годы в теорию расчета строительных конструкций гидротехнических сооружений стали внедряться вероятностные методы расчета, так как используемые на протяжении многих лет методы расчета, в частности расчет конструкций по предельным состояниям, постепенно начинает не удовлетворять требованиям практики, новым условиям жизни, которые диктует научно-технический прогресс. Требуются неоднородные результаты расчета, которые бы охватывали полный спектр изменения своих характеристик, содержащиеся в наглядном сжатом виде, доступные для переработки и использования.

Одновременно с корректировкой существующих норм предлагается новое содержание критерия качества - вероятность безотказной работы или надежность конструкций.

Актуальность теории надежности базируется на следующих идеях:

- коэффициент запаса является неудобным критерием для оценки пригодности изделия к эксплуатации, так как он стремится к

The basic positions of calculation of reliability of hydraulic engineering constructions, as systems are presented. The system is understood as set of the elements which are in relations and communications among themselves which form certain integrity, unity. Feature of systems is presence in their structure of elements and communications between them. In the theory of reliability of systems elements are understood as any structural blocks necessary for maintenance of working capacity of system.

Key words: reliability, damages, refusal, diagnostics.

единице. Поэтому возникает необходимость создания другого, более универсального критерия, например понятие «надежность конструкций»;

- теоретическое определение надежности изделия позволит заменить поиск оптимальных параметров изделия, основанных на неоднократном проектировании и опытной проверке, что особенно важно для уникальных зданий, таких как гидротехнические сооружения;
- для изделий с высокой социально-экономической ответственностью очень важно знать их надежность, так как их отказ может привести к большому экономическому ущербу и катастрофическим последствиям;
- теория надежности позволяет количественно оценить вероятность отказа изделия и вероятные экономические потери от его отказа.

В связи с постоянно уменьшающейся материалоёмкостью конструкций их надежность снижается. Определить, насколько она снизилась и каково

ее численное значение - это первая задача теории надежности, отражающая аспект безопасности.

Исследований, посвященных изучению надежности строительных конструкций, проведено еще недостаточно. Одной из причин этого является чрезвычайно большая емкость понятия надежности, которое включает в себя вопросы прочности, устойчивости, долговечности, деформативности и т.д. Каждый из этих вопросов, в свою очередь, распадается на множество других. В отдельности многие из них успешно решены или находятся в стадии решения. Вопросы же надежности, являющиеся наиболее общими, находятся в начальной стадии развития. Другой существенной причиной недостаточного изучения надежности строительных конструкций является отсутствие статистических сведений о многочисленных факторах, определяющих надежность конструкций.

Результаты, полученные при использовании нормированных методов расчета (произведенные точно по СНиПу), всегда интерпретируются однозначно. Поэтому такие расчеты носят название детерминированные, а метод расчета - детерминированный (ДМР). В отличие от него вероятностный метод расчета (ВМР) предполагает неоднозначность результата расчета и интерпретирует его с вероятностных позиций, т.е. считает, что результат расчета может быть реализован с какой-то вероятностью.

Поэтому в настоящее время часто прибегают не к определению надежности строительных систем, а хотя бы к их оценке. Исключением не является оценка надежности гидротехнических сооружений, которые в общем случае являются системой по отношению к составляющим его элементам.

Под системой понимается множество элементов, находящихся в отношениях и связи между собой, которые образуют определенную целостность, единство. Особенностью систем является наличие в их структуре элементов и связей между ними. В теории надежности систем под элементами понимаются любые структурные блоки, необходимые для обеспечения работоспособности системы. Существенной особенностью систем является то, что объединенные в систему элементы в своей совокупности дают новое качество.

Характерными чертами систем являются:

- разнообразие выполняемых функций, большие размеры по числу элементов, высокая стоимость;
- сложная иерархическая структура, предусматривающая сочетание централизованного управления с автономностью отдельных элементов, наличие управляемых частей, самоорганизация, адаптация;
- сложность поведения: сложные взаимоотношения между элементами, сложные петли обратных связей, зависимость работоспособности отдельного элемента от характера поведения других элементов и т.п.;
- наличие связей между элементами (подсистемами) системы, а также связей с внешней средой, определяющих эффективность ее функционирования;
- целенаправленность, нередко уникальность.

При оценке надежности системы возникают различные методологические проблемы, часто связанные с техническими и экономическими вопросами. Список проблем открывается понятием «отказ системы». Это понятие не очевидное, так как строительная система является, как правило, многоцелевой.

Однако количество отказавших элементов в эксплуатируемом гидротехническом сооружении не может быть беспределным – так как наступит момент, когда отказы осложнят безопасную работу объекта.

Эти примеры свидетельствуют о сложности понятия «отказ системы», а также о резервах надежности сооружения, которые на сегодняшний день теоретически еще не могут быть учтены.

Другая не менее серьезная проблема - количественная оценка отказа системы. Если исходить из классических представлений о системе как о множестве элементов, соединенных последовательно, параллельно или комбинированно, то во многих случаях результаты вычислений не будут соответствовать истинному положению дел.

Поэтому одна из серьезнейших задач надежности систем - формулировка понятия отказа и методов количественного его определения.

Для решения этой задачи можно предложить за отказ системы считать следующее:

- вероятность отказа одного элемента в предположении последовательного соединения элементов;
- математическое ожидание вероятностей отказов по всем исполняемым функциям;
- обеспеченное значение математического ожидания вероятностей отказов по всем исполняемым функциям;
- одно из математических ожиданий (или их обеспеченных значений) по группам функциям.

Основные положения по вопросу оценки надежности системы:

- в данном случае под системой понимается гидротехническое сооружение;
- надежность системы - понятие относительное, в отличие от надежности элементов (конструкций сооружения);
- надежность сооружения - степень выполнения функций, предписанных этому сооружению;
- основные функции ГТС: безопасности, комфортности, технического обеспечения, специальные. Каждая из этих функций состоит из различных подфункций;
- для определения (оценки) надежности ГТС функции и подфункции связывают между собой по принципу параллельного и последовательного соединения элементов, образуя надежность схему.

Существует несколько различных теорий, позволяющих определять (оценивать) надежность гидротехнических сооружений. Среди них выделяют основные три: функциональную, элементную, комбинированную.

Суть функциональной теории: считается, что гидротехническое сооружение выполняет ряд функций, т.е. объект делят по функциональному признаку. Среди таких функций выделяют функции безопасности, комфортности, технического обеспечения, специальные. Каждая из них, в свою очередь, состоит из различных подфункций. Надежность сооружения складывается из соотношения надежностей данных функций.

Суть элементной теории: любое гидротехническое сооружение состоит из составляющих его элементов (конструкций). Каждый элемент выполняет определенные функции. Надежность любого элемента определяется либо по степени выполнения элементом своих функций, либо по композиции распределений прочности и нагрузки, а надежность гидротехнического сооружения складывается из соотношения надежностей элементов.

Суть комбинированной теории: надежность любой подфункции определяется путем построения распределений прочности и нагрузки, на основе которых строится результирующее распределение, по которому и определяют надежность любой подфункции.

Для каждой подфункции распределения прочности и нагрузки будут иметь различную размерность. Поэтому задачей является приведение всех размерностей к одной эталонной единице, чтобы впоследствии можно было просуммировать распределения прочности и нагрузки каждой подфункции, тем самым получив распределения прочности и нагрузки сооружения, и построить результирующее распределение для сооружения и по нему вычислить надежность. При этом обязательно нужно учитывать значимость подфункций.

Для определения надежности подфункций гидротехнического сооружения применяют вероятностные методы расчета. Для создания такой базы нужно учитывать следующие факторы:

- расчет надежности должен производиться на основе надежности схемы;
- между подфункциями существуют довольно сложные связи, которые и следует выявить;
- следует учитывать значимость подфункций;
- формула для определения надежности складывается из соотношения надежностей подфункций.

Увеличение количества подфункций не вызовет существенного увеличения точности полученных результатов, поэтому рекомендуется пользоваться только основными подфункциями. У наиболее значимых нужно определять величину надежности, а у менее значимых величину надежности можно и оценивать.

В целом методы теории надежности позволяют:

- в качестве исходных данных использовать статистические характеристики свойств материалов;
- объяснять 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;
- использовать математику и вычислительную технику;
- иметь специфичные направления использования.

Обычно в качестве основной вероятностной модели прочности бетона, прочности арматуры, геометрических размеров изделий используется нормальный закон распределения. Опыт показывает, что не всегда нормальный закон с достаточной точностью описывает (выравнивает) статистические распределения производственных погрешностей. Это возможно вследствие того, что нормальный закон, как и любой другой закон, имеет свою область применимости. Существуют случайные величины, распределение которых в принципе не может описываться этим законом.

В каждой конструкции есть своё конкретное значение прочности бетона, прочности арматуры, геометрических размеров и от каждого из них, в том числе и от статистического распределения нагрузки, существует конкретная вероятность отказа. Существует обеспеченное значение прочности бетона, прочности арматуры, геометрических размеров – не имеющее распределения.

Прочность бетона, с одной стороны, является случайной величиной или явлением (так как обусловлена свойствами строительных материалов) и определяется до момента разрушения, т.е. достиже-

ния такого состояния, приводящего конструкцию в состояние отказа после приложения нагрузки, а с другой стороны, прочность – не случайное явление, а дискретная величина.

Необходимо определить надёжности всех несущих конструкций сооружения с учётом действующих нагрузок.

Сочетание всех конструкций, а также каждой по отдельности, имеющих минимальную надёжность, и будет представлять собой опасное событие (сочетание).

Анализ экономических последствий может помочь оценить значимость каждой конструкции в гидротехническом сооружении.

Необходимо определить порядок разрушения сооружения и оценить наибольшее значение конструкции, так как эта конструкция определяет надёжность всего объекта.

Вероятностный исход экономических последствий представляет собой вероятность отказа, умноженную на детерминированные экономические последствия, т. е. ущерб от разрушений.

Полученная надёжность гидротехнического сооружения будет находиться в зависимости от экономических потерь.

Надёжность функционирования гидротехнических сооружений определяется их диагностикой с использованием современных технологий неразрушающего контроля, наличием связи службы мониторинга со службой эксплуатации. Своевременное устранение обнаруженных во время наблюдений нарушений состояния сооружений или правил их эксплуатации позволило бы предотвратить многие аварии гидротехнических сооружений.

Масштабы последствий природно-техногенных воздействий на строительные объекты непосредственно связаны с их техническим состоянием, на которое значительное влияние оказывают изменения, происходящие в окружающей среде. Они могут иметь как природный характер (глобальное потепление климата, изменение сейсмичности и др.), так и техногенный (интенсивное развитие производств и транспорта, изменения экологического состояния окружающей среды и изменения физико-химических свойств грунтов под сооружениями и др.).

Для принятия эффективных решений по снижению уровня риска возникновения аварийных ситуаций на территориях, подверженных природно-техногенным воздействиям, необходима объективная информация о техническом состоянии объектов, которую можно получить посредством мониторинга прочностных ресурсов зданий и сооружений.

Данная система описания технического состояния сооружений позволит в любой момент получить обширную информацию о строительном объекте и осуществить его основательную проверку, потому что законы, нормы и положения только тогда нужны, когда они реально применимы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
2. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании [Текст] / В.Д. Райзер. – М.: АСВ, 2010.
3. СТО 36554501-014-2008 - Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [Текст]. – М.: ФГУП НИЦ Строительства, 2008.
4. www.qpiko.ru [Электронный ресурс].
5. www.stroinauka.ru [Электронный ресурс].
6. www.securpress.ru [Электронный ресурс].

© Евдокимов С.В., Дормидонтова Т.В., 2012