ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57109— 2016

ВНУТРЕННИЙ ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

Контроль технического состояния и оценка безопасности гидротехнических сооружений на внутренних водных путях

Требования безопасности

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом «Гипроречтранс» (ОАО «Гипроречтранс»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 032 «Внутренний водный транспорт»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 сентября 2016 г. № 1250-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 2016

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 4
5 Контроль технического состояния и оценка безопасности сооружения 5
Приложение А (справочное) Критериальная шкала 13
Приложение Б (обязательное) Определение значимости критериев безопасности 15
Приложение В (обязательное) Порядок учета критериев подгруппы е3, характеризующих наличие и состояние предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения 23
Приложение Г (обязательное) Зависимость верхней границы расчетной вероятности возникновения аварий сооружения от показателя безопасности 25
Приложение Д (рекомендуемое) Табличная форма результатов расчетов 26
Приложение Е (справочное) Пример расчета показателей технического состояния и безопасности однокамерного судоходного шлюза 27
Библиография 30

Введение

Применение настоящего стандарта обеспечивает выполнение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ, Технического регламента «О безопасности зданий и сооружений» и Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» в части контроля технического состояния и оценки безопасности сооружений, в том числе при составлении и экспертизе деклараций безопасности, деклараций соответствия, подтверждении соответствия сооружений, страховании рисков аварий, а также при составлении других необходимых документов.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВНУТРЕННИЙ ВОДНЫЙ ТРАНСПОРТ

Контроль технического состояния и оценка безопасности гидротехнических сооружений на внутренних водных путях

Требования безопасности

Inland water transport. Control of technical condition and safety assessment of hydraulic structures of inland water transport. Safety requirements

Дата введения — 2017—05—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает общие требования при контроле технического состояния и оценке безопасности сооружений в ходе проектирования, строительства, капитального ремонта, эксплуатации, реконструкции, консервации и ликвидации сооружений, в том числе при составлении и экспертизе деклараций безопасности, деклараций соответствия, подтверждении соответствия сооружений, страховании рисков аварий, а также при составлении других необходимых документов.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на следующие гидротехнические сооружения на внутренних водных путях:

- судоходные гидротехнические сооружения, входящие в состав комплексных гидроузлов;
- гидротехнические сооружения, входящие в состав судоходных гидроузлов.

1.3 Положения настоящего стандарта могут быть использованы при контроле технического состояния и оценке безопасности портовых и других гидротехнических сооружений всех типов и конструкций, а также сооружений железнодорожного и автомобильного транспорта, независимо от их отраслевой и ведомственной принадлежности.

1.4 Настоящий стандарт устанавливает:

- термины и определения применительно к разработке и утверждению критериев безопасности, контролю технического состояния и оценке безопасности сооружений;
- классификацию аварий в зависимости от степени их опасности для сооружений и окружающей среды;
- номенклатуру возможных видов технических состояний и уровней безопасности сооружений;
- структуру критериев безопасности сооружений;
- общие положения и правила контроля технического состояния и оценки безопасности сооружений.

1.5 Настоящий стандарт применяется расположенными на территории Российской Федерации юридическими и физическими лицами, в том числе предприятиями, учреждениями, организациями или объединениями предприятий независимо от форм собственности, в том числе:

- юридическими и физическими лицами, осуществляющими проектирование (включая инженерные изыскания), строительство, капитальный ремонт, эксплуатацию, реконструкцию, консервацию и ликвидацию сооружений;
- федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный контроль (надзор) за безопасностью сооружений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 22.0.05—97 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения

Издание официальное

ГОСТ 27.002—89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 15467—79 Управление качеством. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 19185—73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 19919—74 Контроль, автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники

ГОСТ 20911—89 Техническая диагностика. Термины и определения

ГОСТ 27751—2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ Р 54257—2010 Надежность строительных конструкций и оснований

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 15467, ГОСТ 19185, ГОСТ 19919, ГОСТ 20911, ГОСТ 20911, ГОСТ 22.0.05, ГОСТ 27.002, [1], [2], [3], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **авария сооружения**: Опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

3.2 **авария гидродинамическая:** Авария на гидротехническом сооружении, связанная с распространением с большой скоростью воды (волны прорыва) и создающая угрозу возникновения техногенной чрезвычайной ситуации.

3.3 **безопасность сооружений:** Свойство сооружений, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов [4].

3.4 **вторая группа предельных состояний:** Группа расчетных предельных состояний, которые ведут к частичной непригодности сооружения к эксплуатации.

3.5 **гидротехническое сооружение:** Сооружение для использования водных ресурсов, а также для борьбы с вредным воздействием вод.

3.6 **портовое гидротехническое сооружение;** ПГС: Гидротехническое сооружение, предназначенное для обеспечения безопасности плавания, швартовки, стоянки и обслуживания судов, грузопереработки и обслуживания пассажиров.

3.7 **судоходное гидротехническое сооружение;** СГТС: Гидротехническое сооружение на водном пути для обеспечения судоходства.

3.8 **качественная характеристика:** Характеристика, использующая неколичественные шкалы для ее измерения.

3.9 **количественная характеристика:** Характеристика, использующая количественные шкалы для ее измерения.

3.10 **контроль технического состояния:** Проверка соответствия значений качественных признаков и количественных параметров сооружения требованиям технической документации и определение на этой основе вида технического состояния в данный момент времени.

3.11 **критерий безопасности сооружения (качественный):** Совокупность качественных признаков, характеризующих наиболее значимое свойство сооружения, и правила оценки этих признаков.

3.12 **критерий безопасности сооружения (количественный):** Совокупность качественных параметров, характеризующих наиболее значимое свойство сооружения, и правила оценки этих параметров.

3.13 **оценка безопасности сооружения:** Совокупность операций по определению уровня безопасности сооружения.

3.14 **оценка критериев безопасности:** Совокупность операций по определению значений критериев безопасности и сопоставление их с предельно допустимыми значениями, в том числе на рекомендуемой настоящим стандартом критериальной шкале.

3.15 **параметр сооружения:** Признак сооружения, количественно характеризующий любые его свойства или состояния.

3.16 **подтверждение соответствия**: Документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров [5].

3.17 **первая группа предельных состояний**: Группа расчетных предельных состояний, которые ведут к полной непригодности сооружения к эксплуатации.

3.18 **показатель технического состояния сооружения;** ТС: Обобщенный результат оценок критериев безопасности сооружения, характеризующих его наиболее значимые свойства, который дает возможность на рекомендуемой настоящим стандартом критериальной шкале линейно упорядочить сооружения по техническому состоянию, а также определить вид технического состояния сооружения.

3.19 **показатель безопасности сооружения;** БС: Обобщенный результат оценки показателей технического состояния, условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения, соответствия проекта действующим нормам и правилам проектирования, который дает возможность на рекомендуемой настоящим стандартом критериальной шкале линейно упорядочить сооружения по безопасности (по степени защиты жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов).

3.20 **показатель условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения;** УЭ: Обобщенный результат оценки критериев безопасности сооружения, характеризующих условия эксплуатации сооружения, влияющих на его безопасность, который дает возможность на рекомендуемой настоящим стандартом критериальной шкале линейно упорядочить сооружения по условиям эксплуатации.

3.21 **показатель соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования;** НП: Обобщенный результат оценки критериев безопасности сооружения, характеризующих соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования, который дает возможность на рекомендуемой настоящим стандартом критериальной шкале линейно упорядочить сооружения по степени соответствия проекта действующим нормам и правилам.

3.22 **предельно допустимые значения критерия безопасности:** Значения критерия безопасности сооружения, превышение которых соответствуют переходу сооружения из одного вида технического состояния в другой, а также из одного уровня безопасности в другой.

Примечание — Различают следующие предельно допустимые значения:

- *К*1 — значение критерия безопасности сооружения, превышение которого соответствует переходу сооружения из работоспособного состояния в ограниченно работоспособное и (или) из нормального уровня безопасности в пониженный;

- *К*2 — значение критерия безопасности сооружения, превышение которого соответствует переходу сооружения из ограниченно работоспособного состояния в предаварийное и (или) из пониженного уровня безопасности в неудовлетворительный;

- *К*3 — значение критерия безопасности сооружения, превышение которого соответствует переходу сооружения из предаварийного состояния в аварийное и (или) из неудовлетворительного уровня безопасности в опасный.

3.23 **признак сооружения:** Качественная или количественная характеристика любых свойств или состояний сооружений.

3.24 **расчетное предельное состояние**: Гипотетическое предельное состояние объекта, наступающее в случае, когда внешние воздействия, характеристики материалов и другие параметры берутся наихудшими из возможных для данного момента времени, а в расчетные зависимости введены коэффициенты безопасности.

3.25 **свойство:** Объективная особенность сооружения, которая может проявляться при его создании, эксплуатации или использовании.

3.26 **свойство наиболее значимое:** Свойство, определяющее вид технического состояния сооружения.

3.27 **сценарий аварии:** Краткое описание причин и последовательности развития аварии на сооружении.

3.28 **техническое состояние:** Совокупность подверженных изменению в процессе строительства или эксплуатации свойств сооружения, характеризуемая в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на это сооружение.

Примечание — Различают следующие виды технического состояния: исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, предаварийное, аварийное.

3.29 **исправное техническое состояние:** Состояние сооружения, при котором оно соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

3.30 **работоспособное техническое состояние:** Состояние сооружения, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

3.31 **ограниченно работоспособное техническое состояние:** Состояние сооружения, при котором имеются повреждения, приводящие к некоторому снижению несущей способности строительных конструкций и эксплуатационных характеристик оборудования, но отсутствует опасность внезапного разрушения; сооружение может выполнять заданные функции с пониженными показателями или частично, при контроле его состояния, продолжительности и условий эксплуатации.

3.32 **предаварийное техническое состояние:** Состояние сооружения, характеризующееся снижением несущей способности строительных конструкций и повреждениями оборудования, при котором существует опасность для пребывания людей; необходимо проведение страховочных мероприятий, усиление конструкций, ремонт оборудования.

3.33 **аварийное техническое состояние**: Состояние сооружения, характеризующееся повреждениями и деформациями строительных конструкций, свидетельствующими об исчерпании их несущей способности и опасности обрушения, а также повреждениями оборудования, создающими возможность аварии; необходимо проведение срочных противоаварийных мероприятий.

3.34 **техногенная чрезвычайная ситуация:** Состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

3.35 **уровень безопасности:** Качественный результат оценки безопасности сооружения.

Примечание — Различают следующие уровни безопасности: нормальный, пониженный, неудовлетворительный, опасный [3].

3.36 **нормальный уровень безопасности:** Уровень безопасности, при котором значения критериев безопасности не превышают предельно допустимых (*К*1) для работоспособного состояния.

Примечание — При нормальном уровне безопасности эксплуатация осуществляется без нарушений действующих законодательных актов, норм и правил, предписания органов государственного контроля и надзора выполняются.

3.37 **пониженный уровень безопасности:** Уровень безопасности, при котором значения критериев безопасности не превышают предельно допустимых (*К*2) для ограниченно работоспособного состояния, а условия эксплуатации соответствуют нормальному уровню безопасности.

Примечание — Либо при работоспособном техническом состоянии сооружений эксплуатация осуществляется с нарушением действующих законодательных актов, норм и правил, предписания органов государственного контроля и надзора не полностью выполняются.

3.38 **неудовлетворительный уровень безопасности:** Уровень безопасности, при котором значения критериев безопасности не превышают предельно допустимых (*К*3) для предаварийного состояния, при этом эксплуатация возможна с ограничениями.

3.39 **опасный уровень безопасности:** Уровень безопасности, при котором значения критериев безопасности превышают предельно допустимые (*К*3) для предаварийного состояния; при этом эксплуатация недопустима.

4 Общие положения

4.1 В соответствии с настоящим стандартом контроль технического состояния и оценка безопасности сооружения выполняют на основе анализа сценариев аварий с использованием критериев безопасности сооружений.

4.2 Контроль технического состояния и оценка безопасности сооружения выполняют по результатам:

- текущих эксплуатационных наблюдений за качественными признаками и количественными параметрами, характеризующими наиболее значимые свойства сооружения, условия эксплуатации сооружения, влияющие на его безопасность, а также соответствие проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования;
- периодических, специальных и преддекларационных обследований сооружений.

4.3 Контроль технического состояния (определение вида технического состояния сооружения) проводят по результатам определения показателя технического состояния сооружения (ТС).

4.4 Оценку безопасности (определение уровня безопасности сооружения) проводят по результатам определения показателя безопасности сооружения (БС).

4.5 Показатель безопасности сооружения (БС) определяют на основе обобщения показателя технического состояния сооружения (ТС), показателя условий эксплуатации сооружения, влияющих на его безопасность (УЭ), а также показателя соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования (НП).

4.6 Показатель технического состояния сооружения (ТС) определяют на основе обобщения результатов оценок следующих групп критериев безопасности:

Группа А — количественные параметры, полученные в результате инструментальных наблюдений за наиболее значимыми свойствами сооружения;

Группа Б — качественные признаки, полученные в результате наблюдений за наиболее значимыми свойствами сооружения без применения инструментальных средств измерения;

Группа В — признаки, характеризующие соответствие сооружения требованиям конструкторской (проектной) документации.

4.7 Показатель условий эксплуатации сооружения, влияющих на его безопасность (УЭ), определяют на основе обобщения результатов оценок следующих групп критериев безопасности:

Группа Г — признаки, характеризующие соответствие условий эксплуатации сооружения проекту и нормативным требованиям;

Группа Д — признаки, характеризующие степень готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации аварий.

4.8 Показатель соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования (НП) определяют на основе обобщения результатов оценок критериев безопасности подгрупп е1, е2, е3 группы Е:

- подгруппа е1 — соответствие проекта сооружения действующим нормам и правилам при расчете по первой и второй группам предельных состояний;
- подгруппа е2 (только для водосбросных и водопропускных гидротехнических сооружений) — соответствие проекта сооружения действующим нормам и правилам при расчете пропускной способности на пропуск расчетных расходов воды;
- подгруппа е3 — состояние и наличие предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения.

5 Контроль технического состояния и оценка безопасности сооружения

5.1 Контроль технического состояния и оценку безопасности сооружения выполняют в следующей последовательности.

5.1.1 На основе анализа конструктивных особенностей сооружения и условий его эксплуатации разрабатывают сценарии аварий сооружения. Классификация аварий приведена в 5.2.

5.1.2 Для каждого сценария аварии разрабатывают критерии безопасности и выполняют оценку фактических значений критериев безопасности.

5.1.3 Для каждого сценария аварии выполняют расчеты показателя технического состояния сооружения (ТС), показателя условий эксплуатации сооружения, влияющих на его безопасность (УЭ), показателя соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования (НП) и показателя безопасности сооружения (БС).

5.1.4 Значения показателя технического состояния (ТС) и показателя безопасности сооружения (БС) принимают равным максимальным значениям показателей, полученным при расчете всех сценариев. По этим показателям определяют вид технического состояния и уровень безопасности сооружения.

5.1.5 В качестве результата контроля технического состояния и оценки безопасности комплексного объекта, включающего несколько сооружений, принимается наихудший результат контроля технического состояния и оценки безопасности по всем входящим в его состав сооружениям.

5.1.6 На основе полученных результатов контроля технического состояния и оценки безопасности формулируют рекомендации по обеспечению безопасности сооружения.

5.2 Аварии сооружений относят к одной из двух групп, которые могут содержать подгруппы:

Группа 1 — аварии, связанные с потерей несущей способности сооружения, то есть когда сооружение находится за пределами расчетных требований любого предельного состояния первой группы (разрушение, потеря устойчивости и т.д.);

Группа 2 — аварии, не связанные с потерей несущей способности, но затрудняющие нормальную эксплуатацию сооружения, то есть когда сооружение находится за пределами расчетных требований любого предельного состояния второй группы (чрезмерные деформации, местные повреждения, вибрации и т.д.).

Для гидротехнических сооружений аварии группы 1 подразделяются на две подгруппы:

Группа 1а — аварии, связанные с потерей несущей способности сооружения и (или) повреждениями оборудования, приводящие к прорыву напорного фронта и гидродинамической аварии;

Группа 1б — аварии, связанные с потерей несущей способности сооружения и (или) повреждениями оборудования, не приводящими к прорыву напорного фронта и гидродинамической аварии.

Для судоходных гидротехнических сооружений (СГТС) используют следующие определения аварий подгрупп 1а, 1б и группы 2:

Группа 1а − аварии, связанные с потерей несущей способности сооружения и (или) повреждениями оборудования, приводящие к прорыву напорного фронта и гидродинамической аварии;

Группа 1б − аварии, связанные с потерей несущей способности сооружения и (или) повреждениями оборудования, в результате которого могут быть человеческие жертвы и (или) к прекращению судоходства на срок более 72 часов, но без гидродинамической аварии;

Группа 2 — аварии, связанные с повреждениями строительных конструкций, не приводящими к потере несущей способности сооружения, и (или) повреждениями оборудования, затрудняющими нормальную эксплуатацию сооружения, приводящими к прекращению судоходства на срок более 72 ч, но без человеческих жертв и без гидродинамической аварии.

5.3 Разработку критериев безопасности сооружений осуществляют в следующей последовательности.

5.3.1 Для каждого возможного сценария аварии составляют перечень качественных признаков и количественных параметров, характеризующих наиболее значимые свойства сооружения, условия эксплуатации сооружения, влияющие на его безопасность, а также соответствие проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования.

5.3.2 Для каждого качественного признака и количественного параметра устанавливают правила их оценки, то есть определяются их предельно допустимые значения *К*1, *К*2, *К*3.

5.4 Для оценки различных по своей природе критериев безопасности, определения показателей технического состояния сооружения (ТС), условий эксплуатации сооружения, влияющих на его безопасность (УЭ), соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования (НП), определения показателя безопасности сооружения (БС), а также контроля его технического состояния и оценки безопасности рекомендуется использование числовой безразмерной критериальной шкалы (далее — критериальная шкала).

Началу отсчета рекомендуемой шкалы соответствует число «2», предельно допустимому значению *К*1 соответствует число «3»; предельно допустимому значению *К*2 — число «4»; предельно допустимому *К*3 — число «5» (см. приложение А).

5.5 Фактическое значение критерия безопасности, определенное по данным текущих наблюдений, оценивают с использованием рекомендованной критериальной шкалы, получая результат его оценки в значениях критериальной шкалы ($\varphi_{\Phi i}$).

5.6 Результат оценки критерия безопасности на рекомендуемой настоящим стандартом критериальной шкале (далее — результат оценки критерия безопасности $\varphi_{\Phi i}$) определяют в следующей последовательности.

5.6.1 Путем сравнения фактического значения критерия безопасности с его предельно допустимыми значениями (*К*1, *К*2 и *К*3) определяют интервал критериальной шкалы, в котором расположен результат оценки критерия безопасности, например, от числа «3» до числа «4» или от числа «4» до числа «5».

5.6.2 Для количественного параметра значение результата оценки критерия безопасности ($\varphi_{\Phi i}$) внутри интервала критериальной шкалы с точностью до одной десятой определяют линейной интерполяцией, например, «3,2» или «4,6».

5.6.3 Для качественного признака значение результата оценки критерия безопасности ($\varphi_{\Phi i}$) внутри интервала критериальной шкалы с точностью до одной десятой определяют экспертно.

5.7 Для количественного параметра, значение которого превышает *К*3, оценку критерия безопасности выполняют, аппроксимируя на интервал критериальной шкалы $\varphi_{\Phi i} > 5$ ту же линейную зависимость, что была принята в интервале $4 < \varphi_{\Phi i} \le 5$, но не более 6.

Для количественного параметра, значение которого менее *К*1, оценку критерия безопасности выполняют с точностью до одной десятой, аппроксимируя на интервал критериальной шкалы $\varphi_{\phi i} < 3$ ту же линейную зависимость, что была принята в интервале $3 < \varphi_{\phi i} \le 4$, но не менее «2».

5.8 Для качественного признака, значение которого превышает *К*3 или менее *К*1, значение результата его оценки ($\varphi_{\phi i}$) с точностью до одной десятой принимают экспертно.

5.9 При отсутствии наблюдений, необходимых для оценки фактических значений критериев безопасности групп А и Б, результаты их оценки ($\varphi_{\phi i}$) точностью до одной десятой принимают экспертно, но не менее «4». Для получения более точных значений оценок необходимо провести дополнительные наблюдения.

5.10 При оценке критериев группы В применяют таблицу 1.

Таблица 1 — Признаки, характеризующие соответствие сооружения требованиям конструкторской (проектной) документации

№	Признак, характеризующий соответствие сооружения требованиям конструкторской (проектной) документации	Диапазон критериальной шкалы для оценки критериев группы В
1	Выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по первой и второй группам предельных состояний для основного и особого сочетания нагрузок	$\varphi_{\phi i} \le 3$
2	Пропускная способность сооружения обеспечивает пропуск расчетного расхода воды для основного и поверочного расчетных случаев	$\varphi_{\phi i} \le 3$
3	Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по второй группе предельных состояний для особого сочетания нагрузок	$\varphi_{\phi i} = 3{,}5$
4	Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по второй группе предельных состояний для основного сочетания нагрузок	$\varphi_{\phi i} = 4$
5	Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по первой группе предельных состояний для особого сочетания нагрузок	$\varphi_{\phi i} = 4{,}5$
6	Не обеспечивает пропуск расчетного расхода воды для поверочного расчетного случая	$\varphi_{\phi i} = 4{,}5$
7	Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по первой группе предельных состояний для основного сочетания нагрузок	$\varphi_{\phi i} > 5$
8	Пропускная способность сооружения не обеспечивает пропуск расчетного расхода воды для основного расчетного случая	$\varphi_{\phi i} > 5$
Примечание — Признаки № 2, 6, 8 относятся к только к водосбросным и водопропускным гидротехническим сооружениям.		

5.11 Значение результата оценки критерия безопасности группы В ($\varphi_{\phi i}$) с точностью до одной десятой принимают экспертно.

5.12 Для расчета показателя технического состояния сооружения (ТС), предварительно определяют значимость критериев по степени их влияния на изменение технического состояния и безопасности сооружения. Для каждого сценария аварии значимость критериев определяется коэффициентами их значимости ($K_{знi}$), которые рассчитывают в соответствии с приложением Б.

5.13 Результаты оценки фактического значения критериев безопасности сооружения групп А, Б и В ($\varphi_{\phi i}$) уточняют с учетом коэффициентов значимости критериев безопасности ($K_{знi}$) по формуле

$$\varphi_i = 2 + (\varphi_{\phi i} - 2)\, K_{знi}\,. \qquad (1)$$

5.14 Расчет показателя технического состояния сооружения (ТС) с точностью до одной десятой выполняют с использованием формулы

$$\text{ТС} = I_{\max} - \prod_{i=1}^{n} (I_{\max} - \varphi_i), \qquad (2)$$

где I_{max} — верхняя граница интервала критериальной шкалы, в которой производятся вычисления;

φ_i — уточненные значения результатов оценки критериев безопасности групп А, Б и В;

n — число критериев безопасности сценария аварии;

П — знак произведения.

Уточненные значения результатов оценок критериев безопасности $\varphi_i \le 3$ существенно не влияют на изменение технического состояния сооружений и по этой причине в расчете ТС по формуле (2) не учитываются.

5.15 Расчет показателя технического состояния сооружения (ТС) по формуле (2) в зависимости от расположения уточненных результатов оценок критериев безопасности (φ_i) на критериальной шкале производят в следующей последовательности:

1) Если уточненные значения результатов оценок критериев безопасности (φ_i) расположены только в интервале $3,0 < \varphi_i \le 4,0$, то их подставляют в формулу (2); $I_{max} = 4$.

2) Если уточненные значения результатов оценок критериев безопасности (φ_i) расположены в интервале $3,0 < \varphi_i \le 5,0$ или только в интервале $4,0 < \varphi_i \le 5,0$, то в формулу (2) подставляют только значения φ_i, расположенные в интервале $4,0 < \varphi_i \le 5,0$; $I_{max} = 5$.

5.16 При наличии уточненных значений результатов оценок критериев безопасности $\varphi_i > 5,0$ показатель технического состояния сооружения (ТС) принимается равным наибольшему из них.

5.17 В случае если все уточненные значения результатов оценок критериев безопасности $\varphi_i \le 3$, то показатель технического состояния сооружения (ТС) принимается равным наибольшему из них.

5.18 При определении показателя технического состояния (ТС) с использованием формулы (2) различные по своей природе критерии безопасности групп А, Б и В могут быть обработаны либо совместно, либо отдельно с получением частных показателей технического состояния ($ТС_i$). Частные показатели с использованием формулы (2) могут быть приведены к интегральному показателю технического состояния (ТС). В частности, это относится к критериям, связанным с гидротехнической, механической и электрической частями сооружений.

5.19 При оценке критериев безопасности групп Г и Д применяют таблицу 2.

Таблица 2 — Признаки, характеризующие соответствие условий эксплуатации сооружения и степени готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации аварий проекту и нормативным требованиям

Признак, характеризующий соответствие условий эксплуатации сооружения и степени готовности эксплуатирующей организации к локализации и ликвидации аварий проекту и нормативным требованиям	Диапазон критериальной шкалы для оценки критериев групп Г и Д (условия эксплуатации)
Соответствие	$\varphi_{\Phi i} \le 3$
Частичное несоответствие	$\varphi_{\Phi i} = 4$
Несоответствие	$\varphi_{\Phi i} \ge 5$

5.20 Результат оценки критерия безопасности $\varphi_{\Phi i} \le 3$ группы Г или группы Д принимают при полном соответствии условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения, проектным и нормативным требованиям.

5.21 Результат оценки критерия безопасности $\varphi_{\Phi i} = 4$ группы Г или группы Д принимают в случае частичного несоответствия условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения, проектным и нормативным требованиям.

Частичное несоответствие для условий эксплуатации характеризуется отдельными незначительными отступлениями от требований проекта и нормативных требований, которые могут быть устранены силами эксплуатирующей организации.

5.22 Результат оценки критерия безопасности $\varphi_{\Phi i} \ge 5$ группы Г или группы Д принимают в случае несоответствия условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения, проектным и нормативным требованиям.

Несоответствие для условий эксплуатации характеризуется многочисленными или значительными отступлениями от требований проекта и нормативных требований, которые не могут быть устранены силами эксплуатирующей организации, требуется привлечение специализированных организаций.

5.23 Значения результатов оценок критериев безопасности ($\varphi_{\Phi i}$) групп Г и Д с точностью до одной десятой устанавливают экспертно.

5.24 Оценку условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения, рекомендуется проводить в ходе проведения периодических, специальных или преддекларационных обследований.

5.25 Значение показателя УЭ принимают равным максимальному значению $\varphi_{\Phi i}$, которое было получено при оценке соответствия условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения, проектным и нормативным требованиям.

5.26 При оценке показателя соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования (НП) по критериям подгрупп е1 и е2 группы Е применяют таблицы 3 и 4.

Таблица 3 — Признаки соответствия проекта действующим нормам и правилам проектирования при расчете по первой и второй группам предельных состояний

Признак соответствия проекта действующим нормам и правилам проектирования при расчете по первой и второй группам предельных состояний	Диапазон критериальной шкалы для оценки критериев группы е1
Выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по первой и второй группам предельных состояний для основного и особого сочетания нагрузок	$\varphi_{\Phi i} \le 3$
Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по второй группе предельных состояний для особого сочетания нагрузок	$\varphi_{\Phi i} = 3{,}5$
Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по второй группе предельных состояний для основного сочетания нагрузок	$\varphi_{\Phi i} = 4$
Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по первой группе предельных состояний для особого сочетания нагрузок	$\varphi_{\Phi i} = 4{,}5$
Не выполняются условия недопущения предельного состояния при расчете по первой группе предельных состояний для основного сочетания нагрузок	$\varphi_{\Phi i} > 5$

Таблица 4 — Признаки соответствия проекта действующим нормам и правилам проектирования при расчете пропускной способности сооружения на пропуск расчетных расходов воды (для водосбросных и водопропускных гидротехнических сооружений)

Признак соответствия проекта действующим нормам и правилам проектирования при расчете пропускной способности сооружения на пропуск расчетных расходов воды	Диапазон критериальной шкалы для оценки критериев группы е2
Пропускная способность сооружения обеспечивает пропуск расчетного расхода воды для основного и поверочного расчетных случаев	$\varphi_{\Phi i} \le 3$
Пропускная способность сооружения не обеспечивает пропуск расчетного расхода воды для поверочного расчетного случая	$\varphi_{\Phi i} = 4{,}5$
Пропускная способность сооружения не обеспечивает пропуск расчетного расхода воды для основного расчетного случая	$\varphi_{\Phi i} > 5$

5.27 Значения результатов оценок критериев безопасности ($\varphi_{\Phi i}$) подгрупп е1 и е2 с точностью до одной десятой устанавливают экспертно.

5.28 Критерии подгруппы е3 характеризуют наличие и состояние предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения. Результаты оценки их состояния на критериальной шкале ($\varphi_{\Phi i}$), которые затем умножаются на коэффициент значимости $K_{НП}$, принимаемый по таблице 6, могут быть расположены в диапазоне 2 ÷ 5 критериальной шкалы.

Отсутствие предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения, оцениваются по критериальной шкале значением $\varphi_{\Phi i} = 5$, которое умножается на коэффициент значимости $K_{НП}$, принимаемый в соответствии с таблицей 6.

Примечания

1 На коэффициент значимости $K_{НП}$ умножаются только результаты оценки критериев подгруппы е3. Результаты оценки критериев подгрупп е1 и е2 на коэффициент $K_{НП}$ не умножаются.

2 Для гидротехнических сооружений средствами, обеспечивающими безопасность эксплуатации сооружения, являются системы аварийной сигнализации, оповещения эксплуатационного персонала и населения (е3.1), предохранительные устройства (е3.2), резервные и автономные источники электроснабжения объекта (е3.3), аварийные ворота и затворы е3.4 и др.

3 Для портовых гидротехнических сооружений средствами, обеспечивающими безопасность эксплуатации сооружения, являются системы оповещения, средства пожаротушения, отбойные устройства, колесоотбои, ограждения, стремянки и др.

5.29 Значение показателя соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования НП принимают равным максимальному значению результатов оценок критериев безопасности из подгруппы е3, умноженных на $K_{НП}$, и подгрупп е1, е2 группы Е.

5.30 Для расчета показателя безопасности сооружения (БС) показатель технического состояния сооружения (ТС) уточняют с учетом класса сооружения по формуле (3) с учетом примечания 3 к таблице 5.

$$ТС_л = 2+(ТС - 2)\,K_л, \qquad (3)$$

где $ТС_л$ — показатель технического состояния сооружения, уточненный с учетом класса сооружения;

$K_л$ — коэффициент надежности по ответственности, принимаемый в соответствии с таблицей 5.

Таблица 5 — Коэффициент надежности по ответственности

Класс сооружения	$K_л$
I / КС-3	1,25 (1,10) / 1,1
II / КС-2	1,20 (1,05) / 1,0
III / КС-1	1,15 (1,00) / 0,8
IV	1,1 (0,90)

Примечания

1 В левой колонке над чертой указаны классы сооружений (гидротехнических) в соответствии с [6], [7], под чертой — классы сооружений в соответствии с ГОСТ Р 54257 и ГОСТ 27751.

2 В правой колонке над чертой указаны значения коэффициентов надежности в соответствии [6], под чертой указаны значения коэффициентов надежности в соответствии с ГОСТ Р 54257 и ГОСТ 27751.

3 С учетом того, что уровень ответственности гидротехнических сооружений частично учитывается при оценке критериев безопасности, в формулу (3) подставляются значения $K_л$, полученные в результате нормирования коэффициентов надежности, рекомендуемых [6], относительно коэффициента надежности сооружения III класса (в таблице 5 эти нормированные значения в правой колонке указаны в скобках).

4 При значении ТС ≤ 3 коэффициент $K_л$ принимают равным 1.

5.31 Расчет показателя безопасности сооружения (БС) с точностью до одной десятой выполняют по формуле

$$БС = I_{max} - (I_{max} - ТС_л)\ (I_{max} - K_{УЭ} \cdot УЭ)\ (I_{max} - НП), \qquad (4)$$

где I_{max} — верхняя граница интервала критериальной шкалы, в которой производятся вычисления;

$ТС_л$ — показатель технического состояния сооружения, уточненный с учетом уровня ответственности сооружения;

УЭ — показатель условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения;

НП — показатель соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования;

$K_{УЭ}$ — коэффициент значимости показателя условий эксплуатации, принимаемый в соответствии с таблицей 6.

Таблица 6 — Коэффициенты значимости показателя условий эксплуатации ($K_{УЭ}$) и соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования ($K_{НП}$)

Класс сооружения	$K_{УЭ}$, $K_{НП}$
I (КС-3)	0,82
II (КС-2)	0,80
III (КС-1)	0,75
IV	0,70

Примечание — Значения коэффициентов таблицы 6 могут быть уточнены по согласованию с органами надзора.

5.32 Расчет показателя безопасности сооружения БС по формуле (4) выполняют в следующей последовательности.

5.32.1 Значения $ТС_л$, $К_{УЭ}$ · УЭ, НП ≤ 3 существенно не влияют на безопасность сооружений, и по этой причине в расчете БС по формуле (4) не учитываются.

5.32.2 В случае если все значения $ТС_л$, $К_{УЭ}$ · УЭ, НП ≤ 3, то показатель безопасности сооружения БС принимают равным наибольшему из них.

5.32.3 Если значения $ТС_л$, $К_{УЭ}$ · УЭ, НП расположены только в интервале $3,0 < ТС_л, К_{УЭ} \cdot УЭ, НП \le 4,0$, то их подставляют в формулу (4); $I_{max} = 4$.

5.32.4 Если значения $ТС_л$, $К_{УЭ}$ · УЭ, НП расположены в интервале $3,0 < ТС_л, К_{УЭ}$ УЭ, НП ≤ 5,0 или только в интервале $4,0 < ТС_л, К_{УЭ}$ · УЭ, НП ≤ 5,0, то в формулу (4) подставляют только значения, расположенные в интервале $4,0 < ТС_л, К_{УЭ}$ · УЭ, НП ≤ 5,0; $I_{max} = 5$.

5.33 В случае если $ТС_л$ или НП имеют значение > 5,0, то показатель безопасности сооружения БС принимают равным наибольшему из них.

5.34 Результат оценки показателя безопасности для конкретного сценария аварии в зависимости от того, в какую группу аварий (см. 5.2) попадает рассматриваемый сценарий, уточняют по формуле

$$БС_{сц} = 2 + К_{сц} \cdot (БС - 2), \quad (5)$$

где $К_{сц}$ — коэффициент, учитывающий степень опасности аварий для сооружения и окружающей среды, принимаемый в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7 — Коэффициент $К_{сц}$ для групп аварий в зависимости от степени их опасности для сооружения и окружающей среды

Группа аварий	$К_{сц}$
1 / 1а	1
1б	0,9
2	0,8
Примечание — Обозначение групп аварий приведено в 5.2.	

5.35 Контроль технического состояния (определение вида технического состояния) сооружения проводят в зависимости от значения показателя его технического состояния (ТС), рассчитанного без учета коэффициента надежности по ответственности, в соответствии с таблицей 8.

Таблица 8 — Зависимость вида технического состояния сооружения от значения ТС

Диапазон критериальной шкалы для оценки технического состояния	Вид технического состояния
ТС = 2	Исправное
2 < ТС ≤ 3	Работоспособное
3 < ТС ≤ 4	Ограниченно работоспособное
4 < ТС ≤ 5	Предаварийное
ТС > 5	Аварийное

Примечания

1, 2 — начало критериальной шкалы, соответствующее исправному техническому состоянию;

3 — граница критериальной шкалы, превышение которой соответствует переходу из работоспособного состояния в ограниченно работоспособное;

4 — граница критериальной шкалы, превышение которой соответствует переходу из ограниченно работоспособного состояния в предаварийное;

5 — граница критериальной шкалы, превышение которой соответствует переходу из предаварийного состояния в аварийное.

2 Исправному техническому состоянию в отличие от других видов технического состояния соответствует не интервальная, а точечная оценка, поскольку по определению термина «исправное состояние» (ГОСТ 27.002) при любом отклонении от требований технической документации сооружение сразу же переходит в другое техническое состояние. По этой причине значение ТС для исправного технического состояния не может быть больше 2.

5.36 Оценку безопасности сооружения (определение уровня безопасности) проводят в зависимости от значения показателя его безопасности $БС_{сц}$ в соответствии с таблицей 9.

Таблица 9 — Зависимость уровня безопасности сооружения от значения БСсц

Диапазон критериальной шкалы для оценки безопасности	Уровень безопасности
$2 \le БС_{сц} \le 3$	Нормальный
$3 < БС_{сц} \le 4$	Пониженный
$4 < БС_{сц} \le 5$	Неудовлетворительный
$БС_{сц} > 5$	Опасный

Примечания

1, 2 — начало критериальной шкалы;

3 — граница критериальной шкалы, превышение которой соответствует переходу из нормального уровня безопасности к пониженному;

4 — граница критериальной шкалы, превышение которой соответствует переходу из пониженного уровня безопасности к неудовлетворительному;

5 — граница критериальной шкалы, превышение которой соответствует переходу из неудовлетворительного уровня безопасности к опасному.

2 Расчет показателя безопасности БС с учетом правил 5.28, 5.31, 5.32, таблицы 6 предполагает, что результат оценки критерия подгруппы е3 приведет к тому, что уровень безопасности сооружения может быть неудовлетворительным для сооружений I (КС-3) класса, на границе пониженного и неудовлетворительного для сооружений II (КС-2) класса или пониженным для сооружений III (КС-1) и IV классов вне зависимости от технического состояния сооружения (ТС), условий его эксплуатации (УЭ) и результатов оценки критериев подгрупп е1 и е2 группы Е.

3 В некоторых случаях наличие и состояние предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения, характеризуемых критериями подгруппы е3, может не оказывать существенного влияния на безопасность сооружения. В этом случае по согласованию с органами надзора должен быть принят другой порядок учета критериев подгруппы е3 (см. приложение В). При этом уровень безопасности сооружения будет определяться только техническим состоянием сооружения (ТС), условием его эксплуатации (УЭ) и результатами оценки критериев подгрупп е1 и е2. Критерий подгруппы е3 будет оказывать влияние только на величину показателя БС внутри интервала критериальной шкалы (ранее определенного уровня безопасности).

5.37 Для экспертной оценки верхней границы расчетной вероятности возникновения аварии сооружения как функции показателя безопасности (БС) используют зависимость, приведенную в приложении Г.

5.38 При значении показателя безопасности БС ≤ 3 верхнюю границу расчетной вероятности возникновения аварий сооружения (p) принимают равной величине, указанной в таблице 10.

Таблица 10 — Верхняя граница расчетной вероятности возникновения аварии сооружения [6]

Класс сооружения	p, 1/год
I (КС-3)	$5 \cdot 10^{-5}$
II (КС-2)	$5 \cdot 10^{-4}$
III (КС-1)	$2{,}5 \cdot 10^{-3}$
IV	$5 \cdot 10^{-3}$

5.39 Результаты расчетов показателей технического состояния и безопасности (ТС, БС) для каждого сценария аварии рекомендуется оформлять в табличной форме, позволяющей оперативно оценить влияние различных факторов на техническое состояние и безопасность сооружения (см. приложение Д). Пример расчета показателей технического состояния и безопасности (ТС, БС), определение вида технического состояния и оценки безопасности сооружения приведен в приложении Е.

Приложение А
(справочное)

Критериальная шкала

Рекомендуемая настоящим стандартом (см. 5.4) критериальная шкала, по которой проводят оценку различных по своей природе критериев безопасности, делится натуральными числами 2, 3, 4, 5 на четыре интервала ($2 < \varphi_{\phi i} \le 3$); ($3 < \varphi_{\phi i} \le 4$); ($4 < \varphi_{\phi i} \le 5$); ($\varphi_{\phi i} > 5$) и относится к абсолютному типу числовой шкалы. Каждому интервалу критериальной шкалы соответствует свой вид технического состояния и уровень безопасности (см. 5.35, 5.36, таблицы 8, 9).

Абсолютная величина натуральных чисел критериальной шкалы, обозначающих границы интервалов, не имеет принципиального значения. Важно только, чтобы разница между числом, обозначающим верхнюю границу интервала, и числом, обозначающим его нижнюю границу, равнялась единице (см. ниже).

Вид технического состояния сооружения полностью определяется тем, в каком интервале находится уточненный с учетом коэффициента значимости (см. 5.12, 5.13) результат оценки критерия безопасности (φ_i), имеющий максимальное значение.

Например, если уточненные результаты оценки критериев безопасности находятся в интервалах ($2 < \varphi_{\phi i} \le 3$); ($3 < \varphi_{\phi i} \le 4$); ($4 < \varphi_{\phi i} \le 5$), то вид технического состояния будет определяться только уточненными результатами оценки критериев безопасности, находящимися в интервале ($4 < \varphi_{\phi i} \le 5$).

Если в интервале, где находится уточненный результат оценки критерия безопасности, имеющий максимальное значение, нет других оценок, то этот критерий полностью определяет техническое состояние сооружения (показатель технического состояния ТС при этом равен уточненному результату оценки этого критерия).

Важно положение значения ТС внутри интервала. Так, например, если значение ТС равно 3,1, то можно констатировать, что техническое состояние сооружения «ограниченно работоспособное», но близко к «работоспособному». Если же значение ТС равно 3,9, то можно уточнить, что техническое состояние «ограниченно работоспособное», но близко к «предаварийному». Такая информация необходима для адекватной оценки ситуации при мониторинге технического состояния сооружений и оперативного предупреждения развития возможных техногенных происшествий.

В то же время внутри интервала, где находится уточненный результат оценки критерия безопасности, имеющий максимальное значение, могут находиться результаты оценки и других критериев. В этом случае для определения близости технического состояния к границам соседних интервалов необходимо решить задачу многокритериального оценивания. Иными словами, необходимо произвести свертку векторного критерия в скалярный. В настоящем стандарте (см. 5.14) для решения этой задачи используется формула (2), которая позволяет по частным признакам элементарных состояний, характеризующихся одним критерием безопасности, определить интегральный признак состояния, которое является суммой (объединением) элементарных состояний. Эта формула также совпадает с формулой «основного» (последовательного) соединения теории надежности, которая позволяет по значениям вероятности частных событий определить вероятность суммы (объединения) этих событий. Аналогична эта формула и формуле дополнительной мультипликативной свертки нескольких критериев в один интегральный критерий.

Расчет проводится только с уточненными результатами оценок тех критериев безопасности, которые находятся в одном интервале с результатом оценки, имеющим максимальное значение (см. 5.15), поскольку только их значения определяют техническое состояние сооружения (отбрасывая результаты оценки критериев безопасности, расположенные в других интервалах мы не изменим вид технического состояния сооружения).

В настоящем стандарте для количественного параметра значение результата оценки критерия безопасности ($\varphi_{\phi i}$) внутри интервала критериальной шкалы с точностью до одной десятой определяют линейной интерполяцией (см. 5.6.2).

$$(F_i - F_{min}) / (F_{max} - F_{min}) = \varphi_{\phi i} / (J_{max} - J_{min}),$$

где F_i — фактическое значение критерия безопасности;

F_{max} — значение критерия безопасности, соответствующее верхней границе рассматриваемого интервала критериальной шкалы (J_{max});

F_{min} — значение критерия безопасности, соответствующее нижней границе рассматриваемого интервала критериальной шкалы (J_{min});

$\varphi_{\phi i}$ — значение результата оценки критерия безопасности внутри интервала критериальной шкалы.

Поскольку для рекомендованной критериальной шкалы $J_{max} - J_{min} = 1$, то

$$\varphi_{\phi i} = (F_i - F_{min}) / (F_{max} - F_{min})$$

Настоящий стандарт оперирует относительными (нормированными) значениями количественных параметров (критериев), что является общепринятым и эффективным приемом при работе с различными по своей природе (в том числе по размерности) критериями безопасности.

Таким образом, значение результата оценки критерия безопасности внутри интервала критериальной шкалы ($\varphi_{\phi i}$) равно относительному (нормированному) значению количественного параметра (критерия), измеряемому в долях от 1 (единицы).

Тот же подход используется и для качественного признака. При этом промежуточное значение результата оценки критерия безопасности ($\varphi_{ф_i}$) внутри интервала критериальной шкалы, соответствующее относительному (нормированному) значению качественного признака (критерия), с точностью до одной десятой определяют экспертно.

Все сказанное выше относится и к уточненным с учетом коэффициентов значимости результатам оценки критериев безопасности (φ_i), с которыми в дальнейшем и производятся вычисления.

Таким образом, вычисления по формуле (2) для определения показателя технического состояния (ТС), являющегося интегральным признаком состояния сооружения, внутри заданного интервала производятся на абсолютной числовой шкале [0 … 1]. Затем, чтобы указать, к какому интервалу относится полученное значение показателя технического состояния (ТС), к полученному результату надо прибавить значение J_{min}.

Для исключения последней операции все вычисления можно проводить (поскольку получится тоже значение ТС) в значениях числовой шкалы [2 … 5], естественно только внутри каждого интервала.

Приложение Б
(обязательное)

Определение значимости критериев безопасности

Определение значимости критериев безопасности выполняют на основе измерения предпочтений критериев.

Под предпочтением понимается отношение превосходства критерия φ_i над критерием φ_j по степени его влияния на изменение технического состояния и безопасности сооружения, что обозначается как $\varphi_i > \varphi_j$. В отсутствии превосходства критерии оказываются равнозначными, то есть, связаны отношением равнозначности (эквивалентности) $\varphi_i = \varphi_j$.

Настоящим стандартом предусмотрено использование двух способов измерения предпочтений.

Первый способ — способ ранжирования критериев, исходит из предположения равномерного убывания предпочтений критериев, которые представляются в порядковой шкале. На первом этапе выполняется прямое определение предпочтений критериев. На основании опыта эксплуатации и рекомендаций экспертов критерии располагаются на порядковой шкале в порядке убывания их предпочтений. На втором этапе выполняется расчет приоритетов критериев, определяющих в количественном виде степень их предпочтения.

Второй способ является разновидностью метода парных сравнений. В этом случае на первом этапе критерии сравниваются между собой попарно с тем, чтобы установить предпочтение в каждой паре критериев. На втором этапе также выполняется расчет приоритетов критериев, определяющих в количественном виде степень их предпочтения.

Во всех способах приоритеты критериев пересчитываются в коэффициенты значимости критериев ($K_{\text{зн}\,i}$), которые затем используются для определения значимости критериев.

При использовании метода парных сравнений возникает необходимость обеспечения согласованности предпочтений. При этом под несогласованностью понимается нетранзитивность предпочтений, определяемая на любой тройке критериев. На тройке критериев она выражается следующими отношениями превосходства: $\varphi_i > \varphi_j$, $\varphi_j > \varphi_k$, $\varphi_k > \varphi_i$, которые образуют цикл предпочтений: $\varphi_i > \varphi_j > \varphi_k > \varphi_i$.

Точность и надежность процедуры измерения предпочтений критериев в значительной мере зависит от их числа. Чем меньше критериев, тем выше их «различимость» с точки зрения эксперта, а, следовательно, тем более надежно можно установить их приоритеты. Кроме того, при использовании метода парных сравнений с уменьшением числа критериев легче получить согласованные предпочтения. В значительной мере это связано с психологической возможностью эксперта проводить одновременное и непротиворечивое сравнение не более (7 ± 2) объектов. По этой причине целесообразно при анализе сценария аварии одновременно рассматривать не более девяти критериев.

Увеличение числа одновременно рассматриваемых критериев чаще всего приводит не к более разностороннему рассмотрению сценария аварии, а к увеличению несогласованности предпочтений, которые трудно исправить.

Уменьшить число одновременно сравниваемых критериев можно несколькими способами.

Во-первых, это более строгий отбор критериев. В сценарии аварии необходимо рассматривать только те критерии, которые действительно характеризуют наиболее значимые свойства сооружения, определяющие техническое состояние сооружения именно для рассматриваемого сценария аварии.

Во-вторых, методика оценки технического состояния и безопасности сооружения предполагает, что используются независимые критерии. Конечно, практика показывает, что подобрать абсолютно независимые критерии очень сложно. Но следует отбрасывать хотя бы те критерии, которые дублируют друг друга. Если в сценарии аварии зависимые критерии все же рассматриваются, то в расчет необходимо включать только тот критерий, который имеет худшую оценку на критериальной шкале.

В-третьих, всю совокупность критериев сценария аварии можно попытаться сгруппировать по некоторым общим признакам, например по тому физическому процессу, который является причиной их проявления или они могут стать причиной неблагоприятного развития этого процесса. В частности если часть критериев является следствием процесса фильтрации или способствует неблагоприятному проявлению этого процесса, то все эти критерии могут быть сгруппированы в один критерий с использованием формул (1), (2), например, так, как это рекомендуется в 5.18.

В-четвертых, необходимо проанализировать рассматриваемый сценарий с точки зрения возможности разбить его на несколько сценариев. Затем результаты расчетов по этим сценариям можно свести в один интегральный сценарий по формуле (2).

Нельзя не отметить, что малое число критериев (меньше пяти) также негативно сказывается на результатах расчета коэффициентов значимости критериев ($K_{\text{зн}\,i}$). В этом случае значения коэффициентов значимости соседних по степени предпочтения критериев будут иметь слишком большую разницу.

Эта проблема может быть решена при использовании еще одной разновидности метода парных сравнений, кратко рассмотренного после описания второго способа измерения предпочтений.

Б.1 Первый способ измерения предпочтений

Ранжирование критериев — один из наиболее простых способов измерения предпочтений критериев — исходит из предположения равномерного убывания предпочтений, которые представляются в порядковой шкале.

Возможно использование шкалы строгого порядка, когда между критериями существует отношение $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3 > \varphi_4$ и т.д. или шкалы нестрогого порядка, когда между критериями возможны отношения $\varphi_1 > \varphi_2 \geq \varphi_3 > \varphi_4$ и т.д.

Для количественного измерения предпочтения между различными сопоставимыми критериями используется величина, характеризующая расстояние между любой парой соседних критериев φ_i, φ_j. С этой целью паре соседних критериев в шкале строгого порядка ставится в соответствие число a_{ij}.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, \varphi_i > \varphi_j \\ 0, \varphi_i < \varphi_j \end{cases}$$

Расстояние $d_{i,k}$ между двумя не соседними сопоставимыми критериями φ_i, φ_k определяется числом предпочтений в соединяющей их цепочке критериев: $d_{i,k} = \Sigma\, a_{ij}$, при j, изменяющемся от i до k.

Если критерию φ_i сопоставить число r_i, то сопоставляемый с ним критерий φ_k, отстоящий на $d_{i,k}$ позиций, будет характеризоваться числом $r_k = r_i + d_{i,k}$.

Числа r_i и r_k называются рангами критериев φ_i и φ_r. Ранги представляют собой натуральные числа.

Для шкалы строгого порядка значение максимального ранга $r_{max} = N$ (число рангов), $N = n$ (число критериев).

При таком сопоставлении критериев порядковые шкалы называются также ранговыми.

На первом этапе на основании опыта эксплуатации и рекомендаций экспертов выполняется прямое определение предпочтений критериев, то есть критерии располагаются на порядковой (ранговой) шкале в порядке убывания их предпочтений (ранг 1 получает наиболее предпочтительный критерий, а максимальный ранг — наименее предпочтительный). Расположение критериев на порядковой (критериальной) шкале позволяет зафиксировать факт предпочтения одного критерия перед другим или равнозначности (эквивалентности) критериев.

На втором этапе выполняется расчет приоритетов критериев, определяющих в количественном виде степень их предпочтения.

Для количественной оценки значимости критериев используются коэффициенты значимости ($K_{зн\,i}$), которые вычисляются по следующей формуле:

$$K_{зн\,i} = w_i / w_{max}, \qquad (Б.1)$$

где w_i — приоритет критерия x_i;

w_{max} — максимальный приоритет сопоставляемых критериев.

Вычисление w_i проводят по формуле

$$w_i = (n - r_i + 1) / \Sigma\, r_i, \qquad (Б.2)$$

где r_i — ранг критерия x_i;

$\Sigma\, r_i$ — сумма рангов критериев.

n — число критериев.

Сумма приоритетов критериев ($\Sigma\, w_i$) должна быть равна 1 (с учетом возможной погрешности при округлении значений w_i).

Пример вычисления $K_{зн\,i}$ для случая строгого ранжирования при $n = 9$ приведен в таблице Б.1 (вычисления выполнены до второго знака после запятой).

Таблица Б.1 – Пример вычисления $K_{зн\,i}$ для случая строгого ранжирования

Критерий	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	$\Sigma\, r_i$
r_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	45
w_i	0,20	0,18	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07	0,04	0,02	–
$K_{зн\,i}$	1,00	0,90	0,80	0,65	0,55	0,45	0,35	0,20	0,10	–

При строгом ранжировании и числе критериев не больше семи для вычисления $K_{зн\,i}$ можно использовать приближенную формулу

$$K_{зн\,i} = (n - r_i + 1) / r_{max}. \qquad (Б.3)$$

При нестрогом ранжировании, когда некоторые критерии оказываются равнозначными, т.е. связаны отношением равнозначности (эквивалентности) $\varphi_i = \varphi_j$, этим критериям присваивают стандартизованный ранг.

Стандартизованный ранг вычисляется делением суммы мест, которые занимают равные по предпочтительности критерии, на число этих критериев.

Пример вычисления $K_{эн\,i}$ для случая нестрогого ранжирования при $n = 9$ приведен в таблице Б.2 (вычисления выполнены до второго знака после запятой).

Таблица Б.2 – Пример вычисления $K_{эн\,i}$ для случая нестрогого ранжирования

Критерий	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	φ_8	φ_9	
r	1	2	3	2	5	4	4	4	6	
Место	1	2	4	3	8	5	6	7	9	Σr_{iy}
Стандартизованный ранг r_{iy}	1	(2+3)/2 = 2,5	4	(2+3)/2 = 2,5	8	(5+6+7)/3 = 6	(5+6+7)/3 = 6	(5+6+7)/3 = 6	9	45
w_i	0,20	0,17	0,13	0,17	0,04	0,09	0,09	0,09	0,02	–
$K_{эн\,i}$	1,00	0,85	0,65	0,85	0,20	0,45	0,45	0,45	0,10	–

Б.2 Второй способ измерения предпочтений

Прямое определение предпочтений критериев, которые представляются в порядковой шкале, в реальности вызывает определенные трудности (особенно при значительном числе критериев). Это естественно сказывается на результате определения приоритетов и коэффициентов значимости критериев ($K_{эн\,i}$), вычисляемых на основе этих предпочтений. В этом случае более точный и надежный линейный (полный) порядок критериев можно получить, попарно сопоставив между собой все критерии.

Для сравнения критериев безопасности строится матрица парных сравнений (МПС) размерности ($n \cdot n$), где n — число сопоставляемых критериев. Слева от крайнего левого столбца и над верхней строкой записываются обозначения сравниваемых критериев (φ_1, ..., φ_n).

Заполнение матриц выполняется по следующему правилу.

Элементами матрицы являются суждения, отражающие предпочтения одних критериев над другими, при этом указывается предпочтительность критерия, указанного в строке, относительно элемента, который приведен в столбце.

Суждения о предпочтительности критериев в матрице обозначаются числами (фактами предпочтений — $a_{ij}^{фп}$).

В данном способе рекомендуется использовать наиболее простой тип обозначения предпочтений — порядковые предпочтения. Элемент $a_{ij}^{фп}$ МПС принимает следующие значения:

$$a_{ij}^{фп} = \begin{cases} 1, \text{ если } \varphi_i > \varphi_j \\ 0, \text{ если } \varphi_i < \varphi_j \\ 0{,}5, \text{ если } \varphi_i = \varphi_j, \end{cases}$$

где φ_i — критерий, расположенный в строке;

φ_j — критерий, расположенный в столбце.

При этом формируется матрица аддитивного типа.

Расчет приоритетов критериев производится по формуле

$$w_i = a_i / \Sigma a_i, \qquad (Б.4)$$

где $a_i = \Sigma a_{ij}^{фп}$ (сумма элементов строки).

Сумма приоритетов критериев Σw_i должна быть равна 1 (с учетом возможной погрешности при округлении значений w_i).

Коэффициент значимости критерия вычисляют по формуле

$$K_{эн\,i} = w_i / w_{max}$$

Пример заполнения матрицы $A_{фп}$ размерности 3×3 и вычисления $K_{эн\,i}$ приведен в таблице Б.3 (вычисления выполнены до второго знака после запятой).

Таблица Б.3 — Пример заполнения матрицы $A_{фп}$

	φ_1	φ_2	φ_3	a_i	w_i	$K_{зн\,i}$
φ_1	0,50	1,00	1,00	2,50	0,56	1,00
φ_2	0	0,50	1,00	1,50	0,33	0,59
φ_3	0	0	0,50	0,50	0,11	0,20
–	–	–	$\sum a_i$	4,50	–	–

При использовании метода парных сравнений возникает необходимость обеспечить согласованность предпочтений. Как было сказано выше, под несогласованностью понимается нетранзитивность предпочтений, определяемая на любой тройке критериев. На тройке критериев она выражена отношениями превосходства: $\varphi_i > \varphi_j$, $\varphi_j > \varphi_k$, $\varphi_k > \varphi_i$, которые образуют цикл предпочтений: $\varphi_i > \varphi_j > \varphi_k > \varphi_i$. Поскольку в цикле невозможно определить места критериев в порядковой шкале, несогласованность этого типа называется порядковой.

Визуально циклы находятся по графу доминирования (орграфу), который строится на основе матрицы фактов предпочтений $A_{фп}$. Вершинами этого орграфа являются сравниваемые критерии, дуги — предпочтениями, направления дуг указывают превосходство одного критерия над другим.

Для рассмотренной выше матрицы $A_{фп}$ (см. таблицу Б.3) орграф будет выглядеть следующим образом (см. рисунок Б.1).

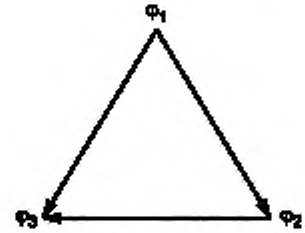

Рисунок Б.1

Отсутствие цикла говорит, что матрица согласована.

Если преобразовать эту матрицу так, как представлено в таблице Б.4, то получим следующий орграф, который уже будет циклом. Следовательно, матрица таблицы Б.4 несогласована (см. рисунок Б.2). При этом в данном случае значения $K_{зн\,i}$ лишены всякого смысла.

Таблица Б.4 — Пример несогласованной матрицы $A_{фп}$

	φ_1	φ_2	φ_3	a_i	w_i	$K_{зн\,i}$
φ_1	0,50	1,00	0	1,50	0,33	1,00
φ_2	0	0,50	1,00	1,50	0,33	1,00
φ_3	1,00	0	0,5	1,50	0,33	1,00
			$\sum a_i$	4,50		

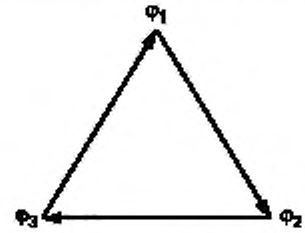

Рисунок Б.2

Мера порядковой согласованности в МПС определяется числом циклов на всех тройках критериев из множества сравниваемых критериев.

Рассмотрим порядок оценки согласованности матрицы для двух случаев:

1) Матрица строгого порядка, в которой отсутствуют отношения равнозначности (эквивалентности) критериев (орграф);

2) Матрица нестрогого порядка, в которой присутствуют отношения равнозначности (эквивалентности) критериев и, когда в графе кроме дуг, имеющих направления, существуют и неориентированные дуги (смешанный граф).

Матрица строгого порядка.

В этом случае число циклов (d) в орграфе анализируемой матрицы строгого порядка $A_{фп}$ можно определить по формуле

$$d = n\,(n-1)\,(2n-1) / 12 - (\sum a_{iнд}{}^2) / 2, \qquad (Б.5)$$

где n — число сопоставляемых критериев;

$a_{iнд}$ — сумма недиагональных элементов i-й строки матрицы.

Коэффициент согласованности $\eta_{сп}$ матрицы строгого порядка $A_{фп}$, определяется как разница единицы и относительной несогласованности предпочтений по формуле

$$\eta_{сп} = 1 - d / d_{max}, \qquad (Б.6)$$

где d — число циклов в орграфе анализируемой матрицы $A_{фп}$;

d_{max} — максимально возможное число циклов в орграфе анализируемой матрицы $A_{фп}$.

Для нечетного числа критериев

$$d_{max,\ нч} = (1/24)\,(n^3 - n) \qquad (Б.7)$$

Для четного числа критериев

$$d_{max,ч} = (1/24)\,(n^3 - 4n). \qquad (Б.8)$$

При коэффициенте согласованности равном 1 матрица согласована, равном 0 — согласованность предпочтений полностью отсутствует.

Для оценки согласованности можно ограничиться вычислением по формуле Б.5 значения d (число циклов в орграфе анализируемой матрицы строгого порядка $A_{фп}$), построить и проанализировать орграф матрицы, определив, какие именно отношения образуют циклы. При отсутствии циклов матрица согласована, при их наличии — не согласована, и требуется изменить отношения предпочтения между критериями в найденных циклах.

Эта процедура довольно легко выполнима, если число критериев не превышает 5 ÷ 7. С увеличением числа критериев трудоемкость анализа орграфа возрастает.

Пример заполнения матрицы $A_{фп}$ размерности 7×7, вычисления $K_{зн\,i}$, а также оценки порядковой согласованности матрицы приведен в таблицах Б.5 — Б.7 (вычисления выполнены до второго знака после запятой).

В таблице Б.5 приведен пример согласованной матрицы строгого порядка.

Таблица Б.5 — Пример согласованной матрицы $A_{фп}$ размерности 7×7

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	a_i	w_i	$K_{зн\,i}$	$a_{iнд}$	$a_{iнд}{}^2$
φ_1	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,50	0,27	1,00	6,00	36,00
φ_2	0	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,50	0,22	0,81	5,00	25,00
φ_3	0	0	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	4,50	0,18	0,67	4,00	16,00
φ_4	0	0	0	0,50	1,00	1,00	1,00	3,50	0,14	0,52	3,00	9,00
φ_5	0	0	0	0	0,50	1,00	1,00	2,50	0,10	0,37	2,00	4,00
φ_6	0	0	0	0	0	0,50	1,00	1,50	0,06	0,22	1,00	1,00
φ_7	0	0	0	0	0	0	0,50	0,50	0,02	0,07	0	0
–	–	–	–	–	–	–	–	$\sum a_i$	24,50	–	–	$\sum a_{iнд}{}^2$	91,00

$d = n\,(n-1)\,(2n-1) / 12 - (\sum a_{iнд}{}^2) / 2 = 7(7-1)\,(2 \cdot 7 - 1) / 12 - 91 / 2 = 45{,}5 - 45{,}5 = 0$;

$d_{max,\ нч} = (1/24)\,(n^3 - n) = (1/24)\,(7^3 - 7) = 336 / 24 = 14$;

$\eta_{сп.\ нч} = 1 - d / d_{max} = 1 - 0 / 14 = 1$.

Как видим, при возможности образования в орграфе 14 циклов, циклы в орграфе отсутствуют. То есть матрица согласована, что и подтверждает коэффициент согласованности, равный 1.

Необходимо отметить, что матрица, приведенная в таблице Б.5, не характерна для практики оценки приоритетов критериев методом парного сравнения.

В реальности такая матрица может появиться, только если критерии будут заранее проранжированы. Однако предварительное ранжирование критериев, а затем определение их приоритетов методом парного сравнения лишено всякого смысла.

По этой причине в качестве примера в таблице Б.6 приведен более реалистичный пример матрицы размерности 7×7, а ниже ее орграф $A_{фп}$ (см. рисунок Б.3).

Т а б л и ц а Б.6 — Пример несогласованной матрицы $A_{фп}$ размерности 7×7

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	a_j	w_j	$K_{зн\,j}$	$a_{iнд}$	$a_{iнд}^2$
φ_1	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,50	0,27	1,00	6,00	36,00
φ_2	0	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	0	4,50	0,18	0,67	4,00	16,00
φ_3	0	0	0,50	0	1,00	0	0	1,50	0,06	0,22	1,00	1,00
φ_4	0	0	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	4,50	0,18	0,67	4,00	16,00
φ_5	0	0	0	0	0,50	1,00	0	1,50	0,06	0,22	1,00	1,00
φ_6	0	0	1,00	0	0	0,50	0	1,50	0,06	0,22	1,00	1,00
φ_7	0	1,00	1,00	0	1,00	1,00	0,50	4,50	0,18	0,67	4,00	16,00
–	–	–	–	–	–	–	–	$\sum a_j$	24,50	–	–	$\sum a_{iнд}^2$	87,00

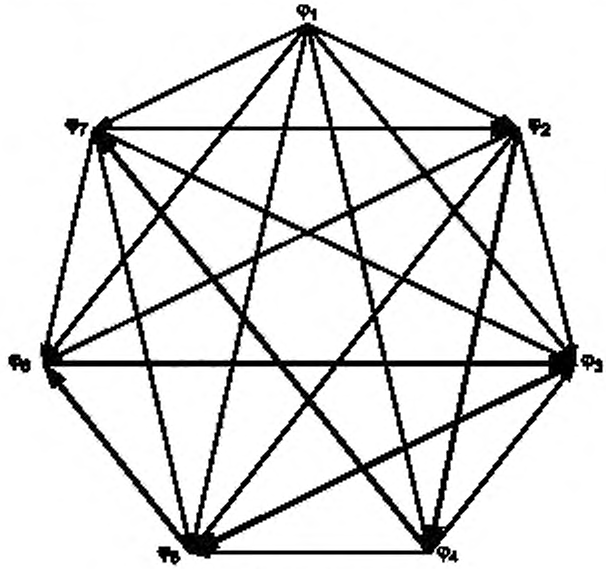

Рисунок Б.3

$d = n\,(n-1)\,(2n-1) / 12 - (\sum a_{iнд}^2) / 2 = 7(7-1)\,(2 \cdot 7 - 1) / 12 - 87 / 2 = 45{,}5 - 43{,}5 = 2$;

$d_{max,\ нч} = (1/24)\,(n^3 - n) = (1/24)\,(7^3 - 7) = 336 / 24 = 14$;

$\eta_{сп,\ нч} = 1 - 2 / d_{max} = 1 - 2 / 14 = 0{,}86$.

Как видим, при возможности образования в орграфе четырнадцати циклов, в нем присутствуют два цикла ($\varphi_2, \varphi_4, \varphi_7$ и $\varphi_3, \varphi_5, \varphi_6$) . То есть матрица не согласована, что и подтверждает коэффициента согласованности, равный 0,86.

При уточнении отношений (направлений) предпочтений между критериями, а именно, $\varphi_2 < \varphi_7$ и $\varphi_3 > \varphi_5$ на $\varphi_2 > \varphi_7$ и $\varphi_3 < \varphi_5$, получим нижеприведенный орграф (см. рисунок Б.4) и матрицу фактов предпочтений $A_{фп}$ (см. таблицу Б.7), которая получается согласованной, что и подтверждают приведенные ниже расчеты.

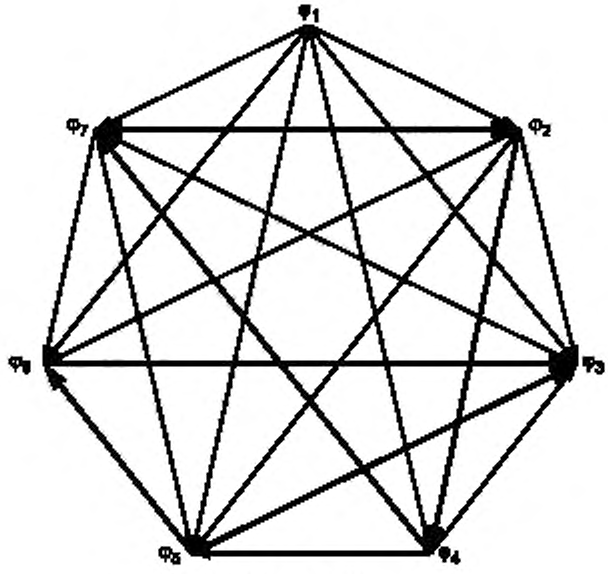

Рисунок Б.4

Таблица Б.7 – Пример уточненной матрицы $A_{фп}$ размерности 7×7

	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	φ_5	φ_6	φ_7	a_i	w_i	$K_{зн\,i}$	$a_{инд}$	$a_{инд}^2$
φ_1	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	6,50	0,27	1,00	6,00	36,00
φ_2	0	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,50	0,22	0,81	5,00	25,00
φ_3	0	0	0,50	0	0	0	0	0,50	0,02	0,07	0	0
φ_4	0	0	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	4,50	0,18	0,67	4,00	16,00
φ_5	0	0	1,00	0	0,50	1,00	0	2,50	0,10	0,37	2,00	4,00
φ_6	0	0	1,00	0	0	0,50	0	1,50	0,06	0,22	1,00	1,00
φ_7	0	0	1,00	0	1,00	1,00	0,50	3,50	0,14	0,52	3,00	9,00
							$\sum a_j$	24,50			$\sum a_{инд}^2$	91,00

$d = n\,(n-1)\,(2n-1) / 12 - (\sum a_{инд}^2) / 2 = 7(7-1)\,(2 \cdot 7 - 1) / 12 - 91 / 2 = 45{,}5 - 45{,}5 = 0$;

$d_{max,\,нч} = (1/24)\,(n^3 - n) = (1/24)\,(7^3 - 7) = 336 / 24 = 14$;

$\eta_{сп,\,нч} = 1 - d / d_{max} = 1 - 0 / 14 = 1$.

Как видно из таблицы Б.7 после уточнения матрицы значения $K_{зн\,i}$ части критериев существенно изменились: для φ_2 с 0,67 до 0,81; для φ_3 с 0,22 до 0,07; для φ_5 с 0,22 до 0,37; для φ_7 с 0,67 до 0,52.

Матрица нестрогого порядка.

Для отношения нестрогого порядка коэффициент согласованности вычисляют по формуле

$$\eta_{нп} = 1 - d / C^3_n, \qquad (Б.9)$$

где d — число циклов в смешанном графе;

C^3_n — число троек вершин, через которые могут пройти циклы.

В этом случае для определения значений d и C^3_n, чтобы определить, какие именно отношения образуют циклы и через какие вершины они могут пройти, приходится визуально анализировать смешанный граф.

При этом за цикл кроме ранее указанной очевидной комбинации трех ориентированных дуг принимается и комбинация из двух ориентированных и одной неориентированной дуги (см. рисунок Б.5).

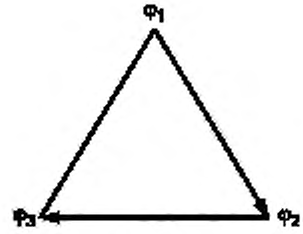

Рисунок Б.5

Изменение направления дуги (дуг) смешанного графа, через которую(ые) прошло наибольшее число циклов, существенно улучшит согласованность предпочтений, что в свою очередь может значительно повлиять на величину коэффициента важности (значимости).

Как и в первом случае, эта процедура довольно легко выполняется, если число критериев не превышает 5 ÷ 7. С увеличением числа критериев трудоемкость анализа смешанного графа возрастает.

Для более точной оценки предпочтений, а соответственно и коэффициентов значимости критериев ($K_{\text{зн}\,j}$), вычисляемых на основе этих предпочтений, можно использовать другой тип матрицы парных сравнений, а именно обратно-симметричную матрицу кратности предпочтений $A_{\text{кп}}$, которая является матрицей мультипликативного типа.

Построение и заполнение матрицы выполняется аналогично второму способу.

Однако здесь суждения о предпочтительности критериев в матрице обозначаются числами, выражающими предпочтение критериев в разах по следующему правилу:

$$a_{ij}^{\text{кп}} = \begin{cases} 2 \div 9, \text{ если } \varphi_i > \varphi_j; \\ 1, \text{ если } \varphi_i = \varphi_j; \\ 1/2 \div 1/9, \text{ если } \varphi_j < \varphi_j, \end{cases}$$

где φ_i — критерий, расположенный в строке;

φ_j — критерий, расположенный в столбце.

Конкретные значения $a_{ij}^{\text{кп}}$ выбираются из фундаментальной шкалы отношений.

Примечания

1 В значительной части случаев все или большая часть критериев могут иметь одинаковую значимость. В случае затруднения при оценке значимости критериев безопасности рекомендуется принимать их равнозначными, хотя это ужесточает результат расчета показателей технического состояния (ТС) и безопасности (БС) сооружений. Для уточнения их значений необходимо выполнить оценку значимости критериев безопасности.

2 Рассмотренные в настоящем приложении способы измерения предпочтений критериев приведены в порядке роста точности полученного результата.

Приложение В
(обязательное)

Порядок учета критериев подгруппы е3, характеризующих наличие и состояние предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения

В.1 (см. 5.28) Критерии подгруппы е3 характеризуют наличие и состояние предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения. Результаты оценки их состояния на критериальной шкале ($\varphi_{фi}$), которые умножаются на коэффициент значимости $K^i_{НП}$, принимаемый по таблице В.1 с учетом положений В.8, могут находиться в диапазоне 2 ÷ 5.

Отсутствие предусмотренных нормами и правилами проектирования средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации сооружения оцениваются на критериальной шкале значением $\varphi_{фi} = 5$, которое умножается на коэффициент значимости $K^i_{НП}$, принимаемый по таблице В.1 с учетом положений В.8.

Примечания

1 На коэффициент значимости $K^i_{НП}$ умножаются только результаты оценки критериев подгруппы е3. Результаты оценки критериев подгрупп е1 и е2 на коэффициент $K^i_{НП}$ не умножаются.

2 Для гидротехнических сооружений средствами, обеспечивающими безопасность эксплуатации сооружения, являются системы аварийной сигнализации, оповещения эксплуатационного персонала и населения (е3.1), предохранительные устройства (е3.2), резервные и автономные источники электроснабжения объекта (е3.3), , аварийные ворота и затворы е3.4 и др.

3 Для портовых гидротехнических сооружений средствами, обеспечивающими безопасность эксплуатации сооружения, являются системы оповещения, средства пожаротушения, отбойные устройства, колесоотбои, ограждения, стремянки и др.

В.2 (см. 5.31) Расчет показателя безопасности сооружения (БС) с точностью до одной десятой выполняют по формуле

$$БС = I_{max} - (I_{max} - ТС_л) \cdot (I_{max} - K_{УЭ} \cdot УЭ) \cdot (I_{max} - НП), \quad (В1)$$

где $ТС_л$ — показатель технического состояния сооружения, уточненный с учетом уровня ответственности сооружения;

УЭ — показатель условий эксплуатации, влияющих на безопасность сооружения;

НП — показатель соответствия проекта сооружения действующим нормам и правилам проектирования;

$K_{УЭ}$ — коэффициент значимости показателя условий эксплуатации, принимаемый в соответствии с таблицей В.1.

Таблица В.1 — Коэффициенты значимости $K_{УЭ}$, $K^i_{НП}$

Класс сооружения	$K_{УЭ}$	$K^i_{НП}$		
		$K^1_{НП}$	$K^2_{НП}$	$K^3_{НП}$
I (КС-3)	0,78	0,6	0,78	0,9
II (КС-2)	0,78	0,6	0,78	0,9
III (КС-1)	0,75	0,6	0,75	0,9
IV	0,7	0,6	0,7	0,8
Примечание — Значения коэффициентов таблицы В.1 могут быть уточнены по согласованию с органами надзора.				

В.3 (см. 5.32) На первом этапе расчет БС проводится без учета критериев подгруппы е3 в соответствии с положениями В.4 — В.7 (см. 5.32.1. — 5.32.4). При этом значение показателя НП принимают равным максимальному значению, которое получается при оценке критериев подгрупп е1 и е2.

Расчет показателя безопасности сооружения БС по формуле (В.1) выполняется в следующей последовательности:

В.4 (см. 5.32.1) Значения $ТС_л$, $K_{УЭ} \cdot УЭ$, $НП \le 3$ существенно не влияют на безопасность сооружений и по этой причине в расчете БС по формуле (В.1) не учитываются.

В.5 (см. 5.32.2) В случае, если все значения $ТС_л$, $K_{УЭ} \cdot УЭ$, $НП \le 3$, то показатель безопасности сооружения БС принимают равным наибольшему из них.

В.6 (см. 5.32.3) Если значения $ТС_л$, $K_{УЭ} \cdot УЭ$, НП расположены только в интервале $3,0 < ТС_л, K_{УЭ} \cdot УЭ, НП \le 4,0$, то их подставляют в формулу (В.1): $I_{max} = 4$.

В.7 (см. 5.32.4) Если значения $ТС_л$, $К_{УЭ}$ · УЭ, НП расположены в интервале 3,0 < $ТС_л$, $К_{УЭ}$ · УЭ, НП ≤ 5,0 или только в интервале 4,0 < $ТС_л$, $К_{УЭ}$·УЭ, НП ≤ 5,0, то в формулу (В.1) подставляют только значения, расположенные в интервале 4,0 < $ТС_л$, $К_{УЭ}$·УЭ, НП ≤ 5,0; I_{max} = 5.

В.8 (5.32.5) По результатам расчета первого этапа по таблице В.1 с учетом нижеследующих условий определяют значение коэффициента $К^i_{НП}$:

при БС ≤ 3,0 ..... $К^i_{НП} = К^1_{НП}$;

при 3,0 < БС ≤ 4,0..... $К^i_{НП} = К^2_{НП}$;

при 4,0 < БС ≤ 5,0..... $К^i_{НП} = К^3_{НП}$.

Если максимальное значение результатов оценок критериев безопасности подгруппы е3, умноженных на $К^i_{НП}$, будет больше чем значения $\varphi_{Фi}$ (е1) или $\varphi_{Фi}$ (е2), то проводят второй этап расчета БС, при этом НП принимается равным максимальному значению из $К^i_{НП} \cdot \varphi_{Фi}$ (е3).

Если максимальное значение результатов оценок критериев безопасности подгруппы е3, умноженных на $К^i_{НП}$ будет меньше, чем значения $\varphi_{Фi}$ (е1) или $\varphi_{Фi}$ (е2), то за окончательный принимают результат первого этапа расчета.

Приложение Г
(обязательное)

Зависимость верхней границы расчетной вероятности возникновения аварий сооружения от показателя безопасности

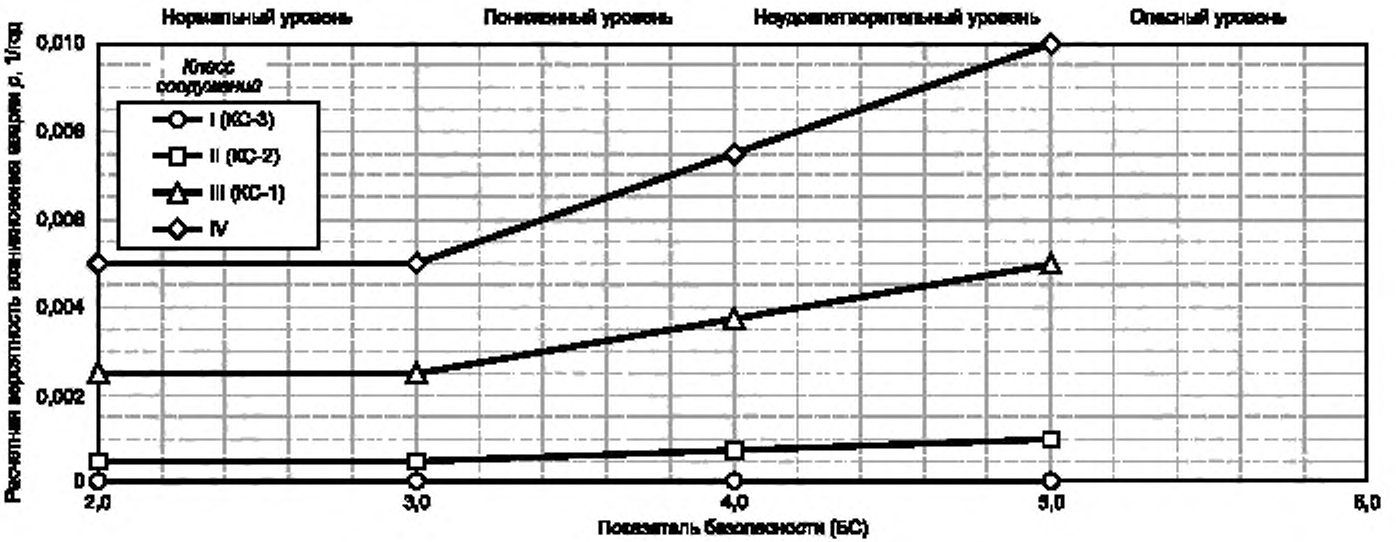

Рисунок Г.1

БС	2,0	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
	p, 1/год											
I (КС-3)	$5,0\cdot10^{-5}$	$5,0\cdot10^{-5}$	$5,5\cdot10^{-5}$	$6,0\cdot10^{-5}$	$6,5\cdot10^{-5}$	$7,0\cdot10^{-5}$	$7,5\cdot10^{-5}$	$8,0\cdot10^{-5}$	$8,5\cdot10^{-5}$	$9,0\cdot10^{-5}$	$9,5\cdot10^{-5}$	$1,0\cdot10^{-4}$
II (КС-2)	$5,0\cdot10^{-4}$	$5,0\cdot10^{-4}$	$5,5\cdot10^{-4}$	$6,0\cdot10^{-4}$	$6,5\cdot10^{-4}$	$7,0\cdot10^{-4}$	$7,5\cdot10^{-4}$	$8,0\cdot10^{-4}$	$8,5\cdot10^{-4}$	$9,0\cdot10^{-4}$	$9,5\cdot10^{-4}$	$1,0\cdot10^{-3}$
III (КС-1)	$2,5\cdot10^{-3}$	$2,5\cdot10^{-3}$	$2,75\cdot10^{-3}$	$3,0\cdot10^{-3}$	$3,25\cdot10^{-3}$	$3,5\cdot10^{-3}$	$3,75\cdot10^{-3}$	$4,0\cdot10^{-3}$	$4,25\cdot10^{-3}$	$4,5\cdot10^{-3}$	$4,75\cdot10^{-3}$	$5,0\cdot10^{-3}$
IV	$5,0\cdot10^{-3}$	$5,0\cdot10^{-3}$	$5,0\cdot10^{-3}$	$6,0\cdot10^{3}$	$6,5\cdot10^{-3}$	$7,0\cdot10^{-3}$	$7,5\cdot10^{-3}$	$8,0\cdot10^{-3}$	$8,5\cdot10^{-3}$	$9,0\cdot10^{-3}$	$9,0\cdot10^{-3}$	$1,0\cdot10^{-2}$

Приложение Д
(рекомендуемое)

Табличная форма результатов расчетов

Д.1 Без учета порядка учета критериев подгруппы е3 в соответствии с приложением В

Сценарий	ТС	$K_п$	$ТС_п$	Вид технического состояния	УЭ	$K_{уэ}$	НП (е1, е2, е3)	БС	Уровень безопасности	p (1/год)
№ Группы аварий № Сценария										

Д.2 С учетом порядка учета критериев подгруппы е3 в соответствии с приложением В

Сценарий	ТС	$K_п$	$ТС_п$	Вид технического состояния	УЭ	$K_{уэ}$	НП (е1, е2)	БС (е1, е2)	НП (е3)	$K^i_{НП}$	БС (е1, е2+е3)	$K_{ац}$	$БС_{сц}$	Уровень безопасности	p (1/год)
№ Группы аварий № Сценария															

Примечания

1 НП (е1, е2) — показатель соответствия проекта действующим нормам и правилам проектирования с учетом критериев подгрупп е1, е2.

2 БС (е1, е2) — показатель безопасности сооружения с учетом критериев подгрупп е1, е2.

3 НП (е1, е2, е3) — показатель соответствия проекта действующим нормам и правилам проектирования с учетом критериев подгрупп е1, е2 и е3.

4 БС (е1, е2, е3) — показатель безопасности сооружения с учетом критериев подгрупп е1, е2, е3.

Приложение Е
(справочное)

Пример расчета показателей технического состояния и безопасности однокамерного судоходного шлюза

Е.1 Рассматриваем однокамерный шлюз II класса и сценарий, относящийся к группе аварий 2. В настоящем примере расчет ведется в соответствии с порядком учета критериев подгруппы е3, изложенном в приложении В.

Е.2 По выбранному сценарию возможной аварии определяем состав критериев безопасности групп А, Б и В и проводим их оценку по рекомендуемой критериальной шкале.

Развитие рассматриваемого сценария позволяют оценить девять критериев безопасности (φ_i), выбранных из указанных групп.

Таблица Е.1

Шифр критерия безопасности групп А, Б и В	Оценка критерия ($\varphi_{Фi}$)
а 1	3,3
а 2	5,0
а 4	2,0
а 8	2,0
а 9	2,0
б 1	5,0
б 5	2,0
б 7	3,3
в 1	3,9

Е.3 Определяем коэффициент значимости каждого из выбранных критериев безопасности (одним из способов, указанных в приложении Б). В данном примере расчет проводим по первому способу — для случая нестрогого ранжирования.

На основании опыта эксплуатации и рекомендаций экспертов выполняем прямое определение предпочтений критериев, то есть критерии располагаем на порядковой (ранговой) шкале в порядке убывания их предпочтений. Расположение критериев на порядковой (ранговой) шкале позволяет зафиксировать факт предпочтения одного критерия над другим или равнозначность (эквивалентности) критериев.

Таблица Е.2

Шифр критериев безопасности групп А, Б и В	б 7	а 2	б 1	в 1	б 5	а 9	а 4	а 8	а 1	Σ
Ранг r_i	1	2	2	2	2	3	4	4	5	
Порядковое место	1	2–5	2–5	2–5	2–5	6	7–8	7–8	9	
Стандартизованный ранг r_{iy}	1	3,5	3,5	3,5	3,5	6	7,5	7,5	9	45
Приоритет критерия w_i	0,200	0,144	0,144	0,144	0,144	0,089	0,055	0,055	0,022	≈ 1
Коэффициент важности $K_{зн\,i}$	1,00	0,72	0,72	0,72	0,72	0,45	0,28	0,28	0,11	

Стандартизованный ранг вычисляем делением суммы порядковых мест, которые занимают равные по предпочтительности критерии, на число этих критериев.

Вычисление приоритетов критериев w_i проводим по формуле

$$w_i = (n - r_{iy} + 1) / \Sigma r_i ,$$

где r_{iy} — стандартизированный ранг критерия x_i;

$\Sigma r_{iy} = 45$ — сумма стандартизированных рангов критериев.

$n = 9$ — число критериев.

Коэффициент важности (значимости) критериев ($K_{зн\,i}$) вычисляем по формуле

$$K_{зн\,i} = w_i / w_{max},$$

где w_i — приоритет критерия x_i;

w_{max} = 0,200 — максимальный приоритет сопоставляемых критериев (в данном примере).

Е.4 Уточняем фактическую оценку критериев с учетом их коэффициентов значимости (см. таблицы Е.1, Е.2) по формуле (1)

$$\varphi_i = 2 + (\varphi_{фi} - 2) \cdot K_{зн\,i},$$

Таблица Е.3

Шифр критерия	Оценка критерия ($\varphi_{фi}$)	Коэффициент важности $K_{зн\,i}$	Уточненная оценка критерия (φ_i)
а 1	3,3	0,11	2,1
а 2	5,0	0,72	**4,2**
а 4	2,0	0,28	2,0
а 8	2,0	0,28	2,0
а 9	2,0	0,45	2,0
б 1	5,0	0,72	**4,2**
б 5	2,0	0,72	2,0
б 7	3,3	1,00	3,3
в 1	3,9	0,72	3,4

Е.5 Вычисляем оценку показателя технического состояния сооружения (ТС) по формуле (2)

$$ТС = I_{max} - \prod_{i=1}^{n} (I_{max} - \varphi_i),$$

где φ_i — уточненные значения критериев безопасности групп А, Б и В.

Значения критериев безопасности $\varphi_i \le 3$ существенно не влияют на изменение технического состояния сооружений и согласно 5.14 в расчете ТС не учитываются.

Поскольку уточненные значения критериев безопасности расположены в интервалах ($3,0 < \varphi_i \le 4,0$) и ($4,0 < \varphi_i \le 5,0$), то в соответствии с 5.15, в формулу (2) подставляем только значения φ_i, расположенные в интервале ($4,0 < \varphi_i \le 5,0$). При этом I_{max} = 5,0.

Таким образом, оценка показателя технического состояния сооружения составляет:

$$ТС = 5,0 - (5,0 - 4,2) \cdot (5,0 - 4,2) = 5,0 - (0,8 \cdot 0,8) = 4,4.$$

Е.6 Вычисляем оценку показателя технического состояния сооружения, уточненную с учетом уровня ответственности сооружения, по формуле (3)

$$ТС_п = 2 + (ТС - 2) \cdot K_п,$$

где $K_п$ = 1,05 — корректирующий коэффициент, учитывающий уровень ответственности сооружения II класса (см. таблицу 5).

$$ТС_п = 2,0 + (4,4 - 2,0) \cdot 1,05 = 4,5.$$

Е.7 Для рассматриваемого сооружения условия эксплуатации, влияющие на безопасность сооружения, не соответствуют проектным и нормативным требованиям. Поэтому значение показателя УЭ (условия эксплуатации), обобщающего критерии безопасности групп Г и Д, принимается равным 5,0:

$$УЭ = 5,0.$$

Коэффициент условия эксплуатации $K_{УЭ}$ = 0,78 (для сооружения II класса в соответствии с таблицей В.1).

$$K_{УЭ} \cdot УЭ = 0,78 \cdot 5,0 = 3,9$$

Е.8 Максимальное значение результатов оценок критериев безопасности подгрупп е1 и е2 для рассматриваемого сооружения оценивается баллом $\varphi_Ф$ = 4,0.

На сооружении отсутствуют аварийные ворота, поэтому результат оценки критерия безопасности группы е3 равен $\varphi_Ф$ (е3) = 5,0.

В соответствии с приложением В расчет выполняется в два этапа.

На первом этапе принимаем НП = 4,0.

Е.9 Определение показателя безопасности сооружения (БС) выполняем по формуле (В.1)

$$БС = I_{max} - (I_{max} - ТС_n) \cdot (I_{max} - К_{УЭ} \cdot УЭ) \cdot (I_{max} - НП)$$

Поскольку уточненные значения $ТС_n$; $К_{УЭ} \cdot УЭ$; НП расположены в интервалах $3,0 < К_{УЭ} \cdot УЭ \le 4$ и $4,0 < ТС_n$, $НП_i \le 5$, то в соответствии с В.7 , в формулу (В.1) подставляем только значения $ТС_n$, расположенное в интервале $4,0 < ТС_n$, $НП \le 5$. При этом $I_{max} = 5,0$.

Таким образом, оценка показателя безопасности сооружения составляет:

$$БС = 5,0 - (5,0 - 4,5) = 4,5.$$

Е.10 В соответствии с В.8 при $4,0 < БС \le 5,0$ согласно таблице В.1 для сооружения II $K^1_{НП} = K^3_{НП} = 0,9$.

Е.11 Выполняем уточнение величины БС с учетом значения $K^3_{НП} \cdot \varphi_ф$ (е3) = 0,9 · 5,0 = 4,5. С учетом результата оценки критерия подгруппы е3 значение НП= 4,5.

$$БС = 5,0 - (5,0 - 4,5) \cdot (5,0 - 4,5) = 4,7.$$

Е.12 Показатель безопасности для рассматриваемого сценария аварии, который относится ко второй группе аварий, уточняется по формуле (5).

$$БС_{сц} = 2 + К_{сц} \cdot (БС - 2),$$

где $К_{сц} = 0,8$ — коэффициент, учитывающий степень опасности аварий для сооружения и окружающей среды (см. таблицу 7)

$$БС_{сц} = 2 + 0,8 \cdot (4,7 - 2) = 4,2.$$

Е.13 Выполненные расчеты показывают, что по сценарию, относящемуся ко 2 группе аварий, техническое состояние однокамерного шлюза II класса оценивается (см. таблицу 8) как предаварийное (ТС = 4,4), а уровень безопасности (см. таблицу 9) — неудовлетворительный ($БС_{сц} = 4,2$).

Верхняя граница расчетной вероятности возникновения аварии 2 группы на СГТС II класса при БС = 4,7, составит = $9,25 \times 10^{-4}$ 1/год.

Результаты расчетов (в соответствии с приложением Д)

Сценарий	ТС	$К_п$	$ТС_п$	Вид технического состояния	УЭ	$К_{уэ}$	НП (е1, е2)	БС (е1, е2)	НП (е3)	$K^1_{НП}$	БС (е1, е2+е3)	$К_{сц}$	$БС_{сц}$	Уровень безопасности	p (1/год)
Гр. 2 № 1	4,4	1,05	4,5	П	5	0,78	4,0	4,5	4,5	0,9	4,7	0,8	4,2	Ну	$9,25 \times 10^{-4}$

Условные обозначения:

Виды технического состояния: И — исправное; Р — работоспособное; О — ограничено работоспособное; П — предаварийное;. А — аварийное.	Уровни безопасности: Нр — нормальный; Пн — пониженный; Ну — неудовлетворительный; Оп — опасный

Библиография

[1] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ технический регламент «О безопасности зданий и сооружений»
[2] Постановление Правительства РФ от 12 августа 2010 г. № 620 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта.
[3] Приказ Минприроды РФ от 27 апреля 2009 г. № 117, Минтранса РФ и № 66 «Об утверждении Административного регламента исполнения Федеральным агентством водных ресурсов, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и Федеральной службой по надзору в сфере транспорта государственной функции по государственной регистрации гидротехнических сооружений и ведению Российского регистра гидротехнических сооружений»
[4] Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»
[5] Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 28.11.2015) «О техническом регулировании»
[6] СП 58.13330.2012 Свод правил. Гидротехнические сооружения. Основные положения
[7] Постановление Правительства РФ № 986 от 02.11.2013 г. «О классификации гидротехнических сооружений»

УДК 627.09:627.3:656.62:006.354 ОКС 47 060 Т032

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, внутренне водные пути, контроль технического состояния, оценка безопасности, сценарии аварий, критерии безопасности

Редактор *М.Н. Штык*
Технический редактор *В.Ю. Фотиева*
Корректор *М.С. Кабашова*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 05.10.2016. Подписано в печать 17.10.2016. Формат 60×84 $^{1}/_{8}$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 30 экз. Зак. 2535.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» 123995 Москва, Гранатный пер., 4
www.gostinfo.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru