

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА 6
**ОЦЕНКА
ПОРТФЕЛЬНЫХ
РИСКОВ С ПОМОЩЬЮ
ИНДЕКСА РИСКА**

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПЕРЕДОВОЙ ПРАКТИКИ ПО
БЕЗОПАСНОСТИ ПЛОТИН



THE WORLD BANK
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



GWSP
GLOBAL WATER
SECURITY & SANITATION
PARTNERSHIP

О Глобальной Практике по Водным Ресурсам

Начавшая свою деятельность в 2014 году, Глобальная Практика по Водным Ресурсам группы Всемирного Банка в рамках единой платформы объединяет механизмы финансирования, управление знаниями и механизмы реализации. Объединяя глобальные знания Банка с инвестициями в страны, эта модель создает больше экономического потенциала для преобразовательных решений, с целью оказания помощи странам в устойчивом росте.

Посетите нашу веб-страницу по адресу www.worldbank.org/water или следите за нашими новостями в социальной сети Twitter по адресу [@WorldBankWater](https://twitter.com/WorldBankWater).

О Глобальном Партнерстве в области Водной Безопасности и Санитарии (GWSP)

Данная публикация стала возможной благодаря поддержке Глобального партнерства в области водной безопасности и санитарии (GWSP). GWSP – это многосторонний донорский трастовый фонд, администрируемый Глобальной практикой Всемирного банка по водным ресурсам и финансируемый Министерством иностранных дел и торговли Австралии, Федеральным министерством финансов Австрии, Фондом Билла и Мелинды Гейтс, Министерством иностранных дел Дании, Министерством иностранных дел Нидерландов, Министерством экономических отношений и цифровой трансформации Испании (MINECO), Шведским агентством международного сотрудничества и развития, Государственным секретариатом Правительства Швейцарии по экономическим вопросам, Швейцарским агентством по развитию и сотрудничеству, и Агентством США по Международному Развитию.

Посетите нашу веб-страницу по адресу www.worldbank.org/gwsp или следите за нашими новостями в социальной сети Twitter по адресу [@TheGwsp](https://twitter.com/TheGwsp).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАПИСКА 6
**ОЦЕНКА ПОРТФЕЛЬНЫХ
РИСКОВ С ПОМОЩЬЮ
ИНДЕКСА РИСКА**

© 2023 Международный Банк Реконструкции и Развития / Всемирный Банк

1818 H Street NW, Washington, DC 20433

Телефон: 202-473-1000; веб-сайт: www.worldbank.org

Данный документ был первоначально опубликован Всемирным банком на английском языке в 2021 году. В случае расхождений преимущественную силу должен иметь исходный язык.

Данная публикация является результатом работы сотрудников Всемирного банка при участии сторонних организаций. Содержащиеся в настоящем документе выводы, толкования и заключения принадлежат его авторам и не обязательно отражают мнения Всемирного банка, его Совета Исполнительных Директоров или правительств, которые они представляют.

Всемирный банк не гарантирует точность данных, содержащихся в настоящей публикации. Национальные границы, цвета, обозначения и прочая информация, помещенная на картах в настоящей публикации, не являются выражением мнения Всемирного банка относительно юридического статуса какой-либо территории и не означают подтверждение или признание какой-либо территории таких границ.

Права и Разрешения

Материалы, содержащиеся в данной публикации, охраняются авторским правом. Поскольку Всемирный банк приветствует распространение своих публикаций, данная работа может быть воспроизведена полностью или частично в некоммерческих целях при условии указания полной ссылки на эту работу.

Данная Техническая Записка по Оценке портфельных рисков с помощью индекса риска является дополнительным документом к Рекомендации по применению передовой практики по Безопасности Плотины. Ссылка на данный документ должна оформляться следующим образом: World Bank. 2021. “Good Practice Note on Dam Safety – Technical Note 6: Portfolio Risk Assessment Using Risk Index.” World Bank, Washington, DC.

Любые вопросы относительно прав и лицензий, включая производственные права, следует направлять по адресу: Издательский Отдел Всемирного Банка, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA; факс: 202-522-2625; электронная почта: pubrights@worldbank.org.

Фотография на обложке: Плотина для водоснабжения Метолонг [Metolong] (Лесото) © Маркус Уишарт / Всемирный банк.

Дизайн обложки: Билл Праглуски, Critical Stages, LLC

Техническая записка 6: Оценка портфельных рисков с помощью индекса риска

Содержание

Вступление	1
Три этапа оценки методом индекса риска	3
Первый Этап: Классификация Рисков Плотины	3
Второй Этап: Определение Соответствующих Критериев для Индексации Рисков	3
Третий Этап: Ранжирование Индексов Риска по Весу	9
Оценка Риска для Портфеля Плотины	11
Оценка Риска для Отдельной Плотины	11
Рекомендуемые предостережения при использовании метода индекса риска	11
Приложение А: Система Классификации Плотины с Использованием Индекса Риска в Канадской провинции Квебек	13
Приложение В: Схема Индексов Риска для Проекта, финансируемого Всемирным Банком в Индии	16
Приложение С: Коэффициент смертности при отсутствии и наличии надлежащего оповещения	20
Справочная литература	22

Вступление

До середины 1990-х годов несколько стран участников Международной Комиссии по Большим Плотинам (МКБП) начали практиковать анализ рисков в контексте программ обеспечения безопасности плотин. С тех пор в сферу анализа безопасности и риска плотин было введено несколько методов и концепций.

Система профилирования на основе риска (Бюро мелиорации США, 2000 г.) является одним из качественных подходов, основанных на концепции «индекса разрушения», то есть нагрузка х реакция, связанная с гидрологически-гидравлическими, сейсмическими и статическими (нормальными) условиями. Индекс разрушения, умноженный на фактор человеческих потерь, используется для оценки последствий, связанных с разрушением, и называется Индексом Риска (ИР).

Методы ИР представляют собой полезный способ систематической, качественной и относительно простой характеристики рисков безопасности плотин, помогающий оценить и определить приоритетность проблем безопасности отдельных плотин и портфеля плотин. Данный подход направлен на разъяснение и информирование значимости риска с помощью цифр или категориальных значений с целью выявления и сравнения рисков:

- Матрицы риска с цветовым кодированием
- Методы суммирования баллов для определения вероятности отказа.

ИР позволяет пользователю назначить баллы, отражающие критичность риска, следуя определенному процессу или серии матриц, характеризующих определенные аспекты конструкции плотины, но не связывающих

полученный индекс с фактической вероятностью разрушения. Таким образом, этот процесс, как правило, легко внедряется и может быть реализован лицами с ограниченным пониманием потенциальных режимов разрушения или рисков связанных с конструкцией плотин.

Подход называется индексом риска, поскольку он дает представление о потенциальных уровнях риска, которые могут быть связаны с разрушением плотины. Этот инструмент не является мерой риска, оценивающей вероятность разрушения, и только дает относительное представление о потенциальных уровнях риска. Эти потенциальные риски определяются как недостатки текущего физического состояния плотины и оцениваются с учетом их общей критичности для безопасности плотины, а также уязвимости и потенциала опасности/последствий для низовья плотин.

Несколько стран, включая Австралию, Канаду, Чешскую Республику, Новую Зеландию, Польшу, Корейскую Республику, Южную Африку, Швецию, Великобританию и США разработали подобные инструменты (МКБП 2005 и Уишарт и др. 2020).

Всемирный банк также применял данные методы в нескольких национальных или региональных проектах по обеспечению безопасности плотин (например, в Армении, Индонезии, Шри-Ланке и Вьетнаме). В этих проектах ИР послужил полезным инструментом для оценки потенциального риска портфеля плотин, позволив определить приоритетность плотин на основе уровня риска, и планировать работы по восстановлению с помощью как конструкционных, так и неконструкционных мер, а также позволил сравнить состояние риска до и после восстановления на систематичной основе.

Также Всемирный банк оказал помощь Центральной Комиссия по Водным Ресурсам Индии (CWC) в разработке схемы ИР, основываясь на бразильской системе, но адаптировав ее к условиям Индии путем проведения серии экспертных консультаций с представителями CWC и официальными лицами на уровне регионов. В рамках проекта были подготовлен инструмент индексирования в форме Excel таблицы и руководство пользователя. Инструмент был протестирован с использованием серии ситуационных задач и примеров, проведенных несколькими группами (Зелинский и др., 2021).

В настоящей Технической записке представлена подробная информация о бразильской системе классификации рисков с использованием метода ИР и индийской системе ИР для первоначального скрининга рисков большого портфеля существующих плотин. Приложение А содержит базовую информацию о методе ИР, используемом в Квебеке (Канада) для системы классификации плотин.¹ Эти ИР используются для определения приоритетности необходимых восстановительных работ и других требований безопасности.

Однако следует отметить, что ИР является базовым инструментом для предварительного анализа рисков портфелей плотин и первичного скрининга плотин с высоким риском. В зависимости от типа и потенциального риска плотин может потребоваться дополнительные и более комплексные методы. Поскольку ИР в основном опирается на визуальный осмотр состояния плотин, некоторые критические режимы разрушения могут быть упущены, недооценены или переоценены. Анализ Потенциальных Режимов Отказа (АПРО), охватывающий более детальный анализ риска, может заполнить пробелы в случаях повышенного риска.

¹ В Мозамбике также разработана система классификации существующих плотин, аналогичная бразильской (Пиньеиро и др. 2015).

Методы ИР должны разрабатываться с учетом местных условий, включая объем и состав портфеля плотин в стране. Рекомендуемая процедура проведения метода ИР включает следующие этапы:

1. Проведение предварительной классификации риска с использованием доступной информации
2. Присвоение баллов набору индексов для плотины или портфеля плотин
3. Присвоение весовых коэффициентов для каждого индекса

Три этапа оценки методом индекса риска

Первый Этап: Классификация Рисков Плотины

Метод, описанный в МКБП (1989), основан на четырех параметрах простой количественной оценки. Как уже отмечалось в Рекомендации по Применению Передовой Практики (РППП), данный метод рекомендуется использовать в начальном этапе оценки риска безопасности плотины. Метод, описанный в таблице 1, позволяет присвоить плотинам класс риска следующих четырех категорий: низкий, умеренный, значительный и высокий.

Для оценки масштаба эвакуационных мероприятий подверженного риску населения (ПРН), в расчет берутся количества домов или людей в зонах затопления в случае разрушения плотины. Затем количество ПРН может быть преобразована в количество ВСИ с учетом коэффициента смертности. В приложении С приведены диаграммы, используемые Бюро мелиорации США для определения коэффициентов смертности при отсутствии и наличии надлежащего оповещения в соответствии с методологией оценки последствий наводнений – RCEM (Бюро мелиорации США, 2014). Коэффициенты смертности основываются на времени оповещения для каждой группы людей, подверженных риску, и силе волны прорыва, который определяется произведением глубины затопления и скорости потока, и оценивается с помощью моделирования разрушения плотины и наводнения.

Второй Этап: Определение Соответствующих Критериев для Индексации Рисков

С момента первого применения Бюро мелиорации США методы ИР развивались, и различные организации, отвечающие за безопасность плотин, приняли свои собственные версии.

Система Бразилии по оценке рисков с использованием индекса риска

Система, разработанная в Бразилии, является одним из примеров адаптирования РИ отдельными странами (CNRH 2012). Система Бразилии по классификации рисков является хорошо структурированной и доказала свою состоятельность.

В системе Бразилии Риск (Р) определяется путем произведения Категории Риска/Уязвимости (КР) и Потенциальной Опасности (ПО).

$$P = KR * PO.$$

В то же время КР состоит из трех элементов:

- Технические характеристики (ТХ), рассчитываются путем суммирования соответствующих баллов за высоту, длину, материалы конструкции, тип основания, срок эксплуатации, период повторения расчетного паводка и т. д.

ТАБЛИЦА 1. Классификация Категории Риска для Плотины

Потенциальная гидравлическая мощность в случае разрушения плотины	Объем водохранилища (млн м ³)	<0.1	0.1–1	<0.1	0.1–1
	Баллы	0	2	4	6
	Высота плотины (м)	<15	15–30	30–45	>45
	Баллы	0	2	4	6
Последствия для низовья в случае разрушения плотины	Требования по эвакуации (количество людей)	Отсутствует	1 до 100	100 до 1,000	>1,000
	Баллы	0	4	8	12
	Потенциальный ущерб для низовья	Отсутствует	Низкий	Средний	Высокий
	Баллы	0	4	8	12
Общее количество баллов по рискам (суммирование баллов по четырем факторам)		<6	7–18	19–30	31–36
Класс (категория риска)		I	II	III	IV
		(низкий)	(умеренный)	(значительный)	(высокий)

Источник: Адаптировано из МКБП 1989.

- Текущее состояние плотин (ТС), рассчитывается по баллам за надежность водосбросных и водовыпускных сооружений, состояние оседания, фильтрации и деформации, устойчивость откосов, состояние и техническое обслуживание шлюзов/гидромеханических устройств и т. д.
- План обеспечения безопасности плотины (БОП), рассчитывается по баллам за наличие проектной документации, организационную структуру/квалификацию персонала по безопасности плотины, процедуру инспекции/мониторинга безопасности плотины, правила эксплуатации, Декларации безопасности плотин с анализом и обоснованием безопасности и т. д.

КР вычисляется суммированием баллов трех элементов.

$$КР = ТХ + ТС + БОП$$

В таблицах 2, 3 и 4 приведен перечень подпараметров ТХ, ТС и БОП. Индекс КР можно рассматривать как косвенный показатель вероятности разрушения, отражающий три аспекта безопасности плотины.

ПО определяется на основе баллов четырех элементов: (а) объем водохранилища; (b) возможные случаи со смертельным исходом; (с) социально-экономические последствия; и (d) воздействие на окружающую среду в случае разрушения плотины. Баллы ПО рассчитывается суммированием баллов этих четырех элементов согласно Таблице 5.

Как уже отмечалось ранее, Риск (Р) определяется путем произведения КР и ПО. И несмотря на то, что данный индекс риска не является полноценным показателем риска (из-за отсутствия вероятности), его можно использовать в качестве косвенного показателя для сравнения уровня риска отдельных плотин в рамках портфеля, адаптируя метод условиям страны.

ТАБЛИЦА 2. Баллы за технические характеристики

Критерии технических характеристик (ТХ)					
Высота (Н), м (а)	Длина (L), м и L/H (b)	Тип (с)	Основание (d)	Кол. Лет эксплуатации (е)	Расчетный паводок (f)
≤ 15 (1)	Тело плотины: L ≤ 200 и L/H > 3 из бетона/каменной кладки/циклопического бетона/бетонная гравитационная: L ≤ 200 (1)	Бетонная арочная (1)	Очень хорошее ² (0)	30 до 50 (1)	МВН (1)
15 < Н < 30 (2)	Тело плотины: 200 <L <500 и L/H > 3 из бетона/каменной кладки/циклопического бетон/бетонная гравитационная: 200 <L <500 (2)	Бетонная гравитационная (2)	Хорошее ³ (2)	10 до 30 (2)	5000 лет (2)
30 ≤ Н ≤ 60 (3)	Тело плотины: 200 <L <500 и L/H ≤ 3 или 500 ≤ 2.000 и L/H > 3 из бетона/каменной кладки/циклопического бетон/бетонная гравитационная: 500 ≤ L ≤ 2.000 (3)	Каменная кладка/циклопический бетон/бетонная гравитационная (3)	Приемлемое ⁴ (3)	5 до 10 (3)	1000 лет (5)
60 < Н ≤ 100 (4)	Насыпь: 500 ≤ L ≤ 2 000 и L/H ≤ 3; или L > 2000 из бетона/каменной кладки/циклопического бетона/бетонная гравитационная: L > 2000 (4)	Неоднородная грунтовая и каменно-земляная (4)	Низкое ⁵ (8)	<5 или > 50 Или нет сведений (4)	500 лет (8)
> 100 (5)		Однородное ¹ (5)	Неудовлетворительное ⁶ (10)		< 500 лет или неизвестно (10)
$TX = \sum (a - f)$					

Источник: Адаптировано из резолюции № 143 Conselho Nacional De Recursos Hídricos (CNRH) / Национального Совета по Водным ресурсам, 10 июля 2012 года, Министерство окружающей среды, Бразилия.

Примечание: ТХ = технические характеристики; м = метры; ВМП = вероятный максимальный паводок

¹ Если какой-либо водовод соприкасается или проходит через тело плотины, добавьте (1) балл к указанным баллам

² Очень хорошее: Механические и гидравлические характеристики основания приемлемые и соответствуют с типу плотины (подготовка не требуется).

³ Хорошее: Механические характеристики основания приемлемые. Гидравлические характеристики улучшены за счет подготовки основания в соответствии с типом плотины.

⁴ Приемлемое: Гидравлические и механические характеристики улучшены за счет подготовки основания в соответствии с типом плотины

⁵ Низкое: Гидравлические и механические характеристики неудовлетворительные. Подготовка основания в соответствии с типом плотины не проводилось

⁶ Очень плохо: Проблемное грунтовое или скальное основание

ТАБЛИЦА 3. Оценка текущего состояния

Критерии текущего состояния (ТС)					
Надежность водосброса (g)	Надежность водозабора водовыпускных сооружений (h)	Фильтрация (i)	Деформации и оседания (j)	Ухудшение состояния склонов (k)	Шлюзы (l)
Конструкции и гидроэлектромеханические сооружения в полном рабочем состоянии/ подводящие каналы или неконтролируемый водосброс (шахтный водосброс) не заблокированы (0)	Конструкции и гидро-электромеханические сооружения обслуживаются и функционируют в надлежащем состоянии (0)	Полностью контролируется дренажной системой (0)	Отсутствует (0)	Отсутствует (0)	Отсутствует (0)
Конструкции и гидроэлектромеханические сооружения в рабочем состоянии, но без аварийного резерва/на подводящем канале или неконтролируемом водосбросе (шахтный водосброс) существует эрозия или водосброс частично заблокирован, но без риска для конструкции водосброса (4)	Выявлены проблемы на конструкциях и гидро-электромеханических сооружениях, снижена водопропускная способность и проводятся ремонтные работы (2)	Стабильная и контролируемая фильтрация с влажными зонами на низовом откосе или устоях (3)	Есть незначительные трещины и понижение уровня без негативного воздействия (1)	Защита откосов не обслуживалась и восстанавливалась. На откосах есть растительность, но негативного воздействия пока нет (1)	Конструкции и гидроэлектромеханические сооружения в надлежащем состоянии и обслуживаются вовремя (1)
Выявлены проблемы на конструкциях и гидроэлектромеханических сооружениях, идут ремонтные работы (повлияет на водопропускную способность) / на подводящем канале неконтролируемого водосброса (шахтный водосброс) существует эрозия или водосброс частично заблокирован, есть риск разрушения конструкции водосброса (7)	Выявлены проблемы на конструкциях неконтролируемого водовыпуска и гидро-электромеханических сооружениях, снижена водопропускная способность, но ремонтные работы не проводятся (4)	Фильтрация с влажными зонами на низовом откосе или устоях, без мер по уменьшения фильтрации или фильтрация находится на стадии изучения (5)	Есть значительные трещины и впадины, которые могут привести к образованию карстовых воронок. Есть необходимость в дополнительном обследовании или мониторинге (5)	Поверхностная эрозия, обнажённая арматура, увеличение роста растительности и появление нор животных, требующие. Есть необходимость в обследовании и внедрению мер по устранению недостатков (5)	Выявлены проблемы на конструкциях и гидроэлектромеханических сооружениях. Идут ремонтно-восстановительные работы (2)

(продолжение таблицы на следующей странице)

ТАБЛИЦА 3. Продолжение

Критерии текущего состояния (ТС)					
Надежность водосброса (g)	Надежность водозабора водовыпускных сооружений (h)	Фильтрация (i)	Деформации и оседания (j)	Ухудшение состояния склонов (k)	Шлюзы (l)
Выявлены проблемы на конструкциях и гидроэлектромеханических сооружениях, водопропускная способность снижена, работы по устранению неполадок не ведутся/ подводный канал неконтролируемого водосброса (включая шахтный водосброс) заблокирован или есть разрушение на конструкции водосброса (10)	Выявлены проблемы на конструкциях неконтролируемого водовыпуска или следы фильтрации через водовод видны на нижнем бьефе (8)	Объем фильтрации увеличивается и есть признаки суффозии (8)	Есть значительные трещины, впадины, и оползни. Нарушена структурная безопасностью плотины (8)	Значительная эрозия и глубокие овраги. Нарушена устойчивостью откосов (7)	Выявлены проблемы на конструкциях и гидроэлектромеханических сооружениях. Ремонтно-восстановительные работы не ведутся (4)
$ТС = \sum (g-l)$					

Источник: Адаптировано из резолюции № 143 Conselho Nacional De Recursos Hídricos (CNRH) / Национального Совета по Водным ресурсам

Примечание: ТС =текущее состояние.

ТАБЛИЦА 4. Оценки за Планы Обеспечения Безопасности плотины

Критерии для Планов Обеспечения Безопасности плотины (ПОБ)				
Существующая проектная документация (n)	Организационная структура и техническая квалификация специалистов по безопасности плотин (o)	Процедура инспекции/мониторинга безопасности плотины (p)	Правила эксплуатации водопропускных сооружений (q)	Декларации безопасности плотин с анализом и обоснованием безопасности (r)
Технические требования, исполнительная документация и строительная документация (0)	Организационная структура включает специалиста по безопасности плотин (0)	Располагает и использует процедуры инспекции и мониторинга в соответствии с нормативными документами (0)	Есть или водосброс нерегулируемый (0)	Декларация проводится в соответствии с нормативными правилами (0)
Технические требования, исполнительная документация и строительная документация (2)	Имеется специалиста по безопасности плотин (4)	Инспекции и мониторинг не всегда проводятся в соответствии с установленной процедурой и нормативными документами (3)	Отсутствуют (6)	Декларация проводится, но периодичность не в соответствии с нормативными правилами (3)
Пакет документации базового проекта (4)	Нет четкой организационной структуры и нет штатного специалиста по безопасности плотин (8)	Инспекции и мониторинг не проводятся в соответствии с установленной процедурой и нормативными документами (5)		Декларация не проводится в соответствии с нормативными правилами (5)
Документы технико-экономического обоснования или концептуального дизайна (6)		Установленных процедур инспекции и мониторинга в соответствии с нормативными документами нет (6)		
Отсутствуют (8)				
$ПОБ = \sum (n - r)$				

Источник: Адаптировано из резолюции № 143 Conselho Nacional De Recursos Hídricos (CNRH) / Национального Совета по Водным ресурсам, 10 июля 2012 года, Министерство окружающей среды, Бразилия.

Примечание: ПОБ = Планов Обеспечения Безопасности плотины.

Схема индекса риска Индии

Индийская схема ИР основана на системе Бразилии, но модифицирована с учетом контекста безопасности плотин в Индии. Хотя общая схема ИР как сочетание уязвимости и потенциальной опасности/последствий аналогична бразильской, различные ключевые параметры и показатели были выбраны на основе общей схемы анализа рисков МКБП (МКБП 2017) и анализа дерева отказов. На примере упрощения от комплексного вероятностного подхода к ИР были продемонстрированы обратные связи и логика в построении схемы индексирования. Более подробная информация о методологии представлена в Приложении В.

Третий Этап: Ранжирование Индексов Риска по Весу

Последним этапом методики является объединение результатов анализа безопасности плотины, включая инспекцию на объекте, с результатами определения относительной важности (весовых коэффициентов) для получения набора индексов риска или «взвешенных» баллов риска для текущего состояния существующих плотин.

Несмотря на то, что весовые коэффициенты зависят от специфики конкретного проекта и назначать коэффициенты лучше всего путем привлечения экспертов, важно оптимизировать баланс весовых коэффициентов между различными группами индексов (ТХ, ТС, БОП).

Например, Индийская схема ИР, адаптируя подэлементы ИР под категориями ТХ, ТС, БОП и ПО, отличается от системы Бразилии.

В процессе распределения весовых коэффициентов использовался метод анализа иерархии, который применяет шкалу относительной важности Саати (Саати 1987) путем парного сравнения всех факторов неустойчивости. В процессе изучения информации и выбора критериев участвовала группа международных экспертов, сотрудников и инженеров из CWC, государственных организаций по безопасности плотин и других агентств по управлению плотинами.

Исходя из опыта Всемирного банка в различных проектах по безопасности и реконструкции плотин и обсуждений с международными и национальными экспертами по проекту в Индии, весовой коэффициент (ВК) для Индии может быть использован в качестве начальной рекомендации в случае скрининга существующих плотин.

Иногда может возникнуть необходимость в оценке ИР для строительства новых плотин, в рамках которой необходимо провести отбор и ранжирование вариантов инвестиций. В этом случае ВК должны быть другими, по крайней мере потому, что ожидается, что ТС и ПОБ будут удовлетворительными для новых плотин. В таблице 6 отражены эти соображения и приведено примерное распределение ВК на основе индийской схему ИР, которая в свою очередь опирается на системе классификации рисков Бразилии.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что предложенные ВК является справочной информацией. Фактические ВК должны отражать специфику каждого проекта, адаптируясь к местным условиям, и их лучше всего определять путем экспертной оценки.

Важно протестировать систему ИР на нескольких плотинах и убедиться, что результаты ранжирования по ИР в целом соответствуют общему пониманию собственников плотин и регулирующих органов относительно состояния безопасности портфеля плотин и приоритетности восстановительных работ.

ТАБЛИЦА 5. Баллы за потенциальную опасность

Общий объем водохранилища, км ³	Потенциальная угроза жизни людей	Воздействие на окружающую среду	Социально-экономическое воздействие
(a)	(b)	(c)	(d)
Маленький ≤ 5 (1)	НЕСУЩЕСТВУЕТ (Людей, постоянно или временно проживающих или проезжающих в/через затронутую зону ниже по течению от плотины нет)	ЗНАЧИТЕЛЬНО (затронутый участок плотины не является экологически значимым и охраняемым специальным законодательством)	НЕСУЩЕСТВУЕТ (В затронутых зонах отсутствует инфраструктура и навигационные службы) (0)
Средний 5 до 75 (2)	РЕДКАЯ (Людей, постоянно проживающих в затронутой зоне ниже по течению от плотины нет, но существует дорога, используемая местными жителями)	ОЧЕНЬ ЗНАЧИТЕЛЬНЫЙ (затронутая плотинной территория имеет экологическую значимость и охраняется специальным законодательством)	НИЗКОЕ (Есть небольшое количество жилых, коммерческих, сельскохозяйственных, промышленных зон, инфраструктуры или навигационных служб в затронутых зонах)
Большой 75 до 200 (3)	ЧАСТАЯ (Есть люди, постоянно прибывающие в затронутой зоне ниже по течению от плотины. Также есть в этой зоне находится федеральное шоссе)		ВЫСОКИЙ (Есть большое количество жилых, коммерческих, сельскохозяйственных промышленных зон и инфраструктуры, а также мест отдыха туристов и навигационных служб в затронутых зонах)
Очень большой >200 (5)	ПОСТОЯННАЯ (Есть люди, постоянно проживающие в затронутой зоне ниже по течению от плотины)		

ПО-S (a - d)

Источник: Адаптировано из резолюции № 143 Conselho Nacional De Recursos Hídricos (CNRH) / Национального Совета по Водным ресурсам, 10 июля 2012 года, Министерство окружающей среды, Бразилия.

Примечание: ПО = Потенциальная опасность.

ТАБЛИЦА 6. Примерное распределение Весовых Факторов для существующих и новых Плотины

Весовые коэффициенты (ВК)		
Элемент классификации (Бразилия и Индия)	ВК для существующих плотин	ВК для новых плотин
Техническая характеристика	0.10	0.40
Текущее состояние	0.35	0.00
План обеспечения безопасности плотин	0.05	0.10
Потенциальная опасность	0.50	0.50

Источник: авторская таблица составленная для данной публикации

Оценка Риска для Портфеля Плотины

Оценка Портфельных Рисков (ОПР) и Управление Портфельными Рисками (УПР) являются стандартными применениями метода ИР. Метод полезен для оценки характеристик риска портфеля плотин и определения плотин с повышенным риском для оптимизированного и правильного планирования мер по снижению риска. Результаты метода ИР обычно включают:

- Оценка характеристик риска портфеля плотин и регистрация результатов как исходные условия
- Определение плотин, подверженных наибольшему риску, и необходимых краткосрочных и долгосрочных мер по исправлению ситуации.
- Совершенствование общей программы управления безопасностью плотин наряду с усилением мониторинга и наблюдения за плотинами повышенного риска
- Подтверждение воздействия проекта путем сравнения характеристик риска до и после вмешательства в проект
- Разработка краткосрочного и долгосрочного плана работ и бюджета

Оценка Риска для Отдельной Плотины

Методы ИР не дают количественной оценки риска. Следовательно, невозможно сравнить состояние плотины с каким-либо допустимым уровнем риска. Тем не менее, методы ИР могут принести пользу при применении к отдельным плотинам путем:

- Направления внимания пользователей на ключевые вопросы, связанные с безопасностью.
- Выявления отсутствующих данных (например, эксплуатационных записей, гидрологических данных, достаточности КИП и т. д.) и последующее рассмотрение этих проблем на приоритетной основе.
- Использования исходных данных плотин с определенным уровнем риска в качестве ориентира для проведения эмпирической количественной оценке риска.
- Оценки влияния мер по снижению риска и мер по повышению безопасности плотины на показатель риска.

Рекомендуемые предостережения при использовании метода индекса риска

Следует отметить, что метод ИР целесообразен для периодической переоценки аспектов безопасности плотины в ходе реализации проекта по мере поступления дополнительной информации и ресурсов. Когда ожидаются значительные изменения, целесообразно включить в проект такое дополнение и соответствующий бюджет.

Учитывая преимущества применения методов ИР, необходимо также помнить об их ограничениях. Наиболее важными из них являются:

- Некорректная классификация уровней риска с точки зрения оценки вероятности отказа и последствий или неправильный подбор интервалов для каждого уровня класса риска. Это может привести к присвоению одинаковых рейтингов совершенно разным уровням рисков.

- Неправильное присвоение более высоких качественных баллов количественно меньшим рискам. Данный факт может привести к некорректной характеристике риска для рисков с отрицательно скоррелированными показателями надежности или вероятностью отказа и неблагоприятных последствий.
- Неоднозначность и субъективность в оценке параметров индекса риска. Это может привести к различным оценкам одних и тех же количественных рисков разными пользователями. Категоризация параметров, используемых для индекса, требует субъективных суждений и произвольных решений об объединении множества мелких и частых событий в противовес меньшему числу менее частых, но более серьезных событий².
- Необходимость корректировки структуры ИР в зависимости от национальных экономических, социальных и культурных реалий и традиций. Неприятие риска или толерантность к риску различаются в разных странах, и эти различия должны быть отражены в ИР.

Эти ограничения свидетельствуют о том, что ИР всегда следует использовать с осмотрительностью и только с подробным разъяснением суждений, применяемых при разработке ИР/матриц и подсчете результатов

Несмотря на то, что информация, полученная с помощью ИР, может быть чрезвычайно полезной для предварительного скрининга или ранжирования плотин с повышенным риском, особенно для широкого портфеля плотин, выявленные плотины с повышенным риском рекомендуется подвергнуть дальнейшей детальной оценке риска, используя АПРО или другой качественный или количественный анализ риска. Это позволит принять решение о приоритетных ремонтно-восстановительных работах на следующем этапе.

² Неоднозначность может быть уменьшена за счет лучшего описания параметров индекса риска, а субъективность - за счет подробного руководства по интерпретации и выбору. Последовательность в портфеле плотин и согласованность в применении различными аналитиками или командами может быть улучшена путем всестороннего обучения.

Приложение А: Система Классификации Плотины с Использованием Индекса Риска в Канадской провинции Квебек

Классификация плотин в Канадском Квебеке, осуществляется путем ИР, основанного на оценке уязвимости плотины и потенциальных последствий в случае разрушения. Нормативные документы содержат подробные инструкции по применению ИР.

В 2002 году правительство провинции Квебек приняло Закон о безопасности плотин и нормативные акты к нему. Закон определяет два типа плотин: (а) плотины с большим объемом водохранилища и (б) плотины с маленьким объемом водохранилища.

Плотины с большим объемом водохранилища классифицируются следующим образом:

- *I-a.* Плотины высотой один метр и более с объемом водохранилища более 1 миллиона кубических метров
- *I-b.* Плотины высотой 2.5 метра и более с объемом водохранилища более 30000 кубических метров
- *I-c.* Плотины высотой 7,5 метров и более, вне зависимости от объема водохранилища.

Основные положения по безопасности плотин применяются к плотинам с большим объемом водохранилища

Плотины высотой 2 метра и более, не относящиеся к плотинам с большим объемом водохранилища, определяются как плотины с маленьким объемом водохранилища.

Согласно Закону, плотина должна быть классифицирована министром до получения разрешения на строительство плотины. Собственник плотины может подать заявление о пересмотре классификации сооружения, если вместе с заявлением будет представлен подтверждающий отчет или исследование, выполненное под руководством инженера. Закон также устанавливает порядок ведения реестра всех плотин высотой один метр и более. Собственники плотин обязаны представлять информацию, включая документы для регистрации плотины, а нарушение этого положения влечет за собой штраф в размере от 2000 до 200 000 долларов США.

Закон подробно описывает систему классификации плотин по степени риска, которая имеет пять категорий от А до Е, в соответствии с формулой P (степень риска) = V (уязвимость) * C (последствия). V плотины определяется путем умножения среднего арифметического значения «постоянных физических параметров» на среднее арифметическое значение «переменных параметров». К постоянным физическим параметрам относятся: (а) высота плотины, (б) типы плотин, (с) объем водохранилища и (d) виды основания. К переменным параметрам относятся: (а) срок эксплуатации плотины в соответствии с типом, (б) сейсмичность (сейсмическая зона), (с) состояние плотины и (d) надежность водосбросных сооружений. Состояние плотины оценивается с учетом физического и конструктивного состояния плотины, качества и эффективности технического обслуживания, сроков эксплуатации, возможного воздействия внешних факторов, а также любых дефектов проектирования или конструкции плотины.

Категория последствий разрушения плотины (C) подразделяется на шесть категорий от очень низкой до серьезной, с баллами от 1 до 10, основанных на характеристиках территории ниже по течению, которая окажется под воздействием разрушения плотины, выражающихся в плотности населения и масштабах инфраструктуры и служб,

которые будут разрушены или серьезно пострадают в случае разрушения плотины. К каждой категории прилагается подробное описание, включая количество людей, размер предприятий и так далее в зонах затопления ниже по течению. Далее приводится система классификации плотин по этим индексам.

Система классификации плотин с использованием индекса риска в Квебеке

1. Уязвимость плотины

a. Постоянные физические параметры

- i. Высота плотины
- ii. Типы плотин
- iii. Объем водохранилища
- iv. Виды оснований

b. Переменные параметры

11. Срок эксплуатации плотины в соответствии с типом
12. Сейсмичность (сейсмическая зона)
13. Состояние плотины
14. Надежность водосбросных сооружений

2. Последствия

Закон также определяет необходимый уровень оценки последствий в зависимости от категории последствий.

Например,

Определение границ территории, которая может пострадать в результате разрушения плотины, и определение характеристик этой территории основывается на анализе возможного прорыва плотины, включающем карты затопления. Этот анализ с использованием признанных методов состоит в детальной оценке последствий разрушения плотины путем точного очерчивания зоны воздействия и определения характеристик этой зоны. Анализ включает изучение различных сценариев разрушения плотины в нормальных условиях и в условиях наводнения. В анализ входит описание предположений и процедур, которые были использованы для выбора рассмотренных сценариев и определения наводковой волны при разрушении плотины, времени прихода наводковой волны и площади пострадавшей территории. Для сценариев, в которых плотина разрушается во время наводка, пострадавшая территория — это территория, которая будет затоплена полностью в результате разрушения плотины.

Если, по мнению ответственного инженера, категория последствий разрушения плотины является «умеренной», то требуется только составление приблизительных карт затопления с указанием территории, которая может пострадать в результате разрушения плотины. Такое картирование заключается в приблизительной оценке последствий разрушения плотины путем разграничения пострадавшей территории на топографических картах и определения характеристик этой территории. Картирование основывается на основных гидрологических и гидравлических расчетах, таких как

паводковые и прорывные потоки, а также на приблизительном анализе размеров водотока ниже по течению. Для составления карты масштаба затронутой территории определяются путем добавления потока от прорыва к потоку 1000-летнего паводка до точки затухания или ограничения, например слияния с крупным озером или рекой или другой плотиной.

Если, по мнению ответственного инженера, категория последствий разрушения плотины «очень низкая» или «низкая», то требуется только характеристика территории, которая пострадает от разрушения плотины». Такая характеристика представляет собой консервативную оценку последствий разрушения плотины путем приблизительного разграничения зоны воздействия и общего описания характеристик этой зоны. Для целей составления характеристики протяженность пострадавшей территории определяется путем добавления объема водохранилища к уровню 100-летнего паводка до точки затухания или ограничения, например слияния с крупным озером или рекой или другой плотиной.

Каждая плотина, в соответствии с ее классом, должна проходить инспекцию в соответствии с требуемой периодичностью согласно классификации плотины. Кроме того, следует отметить, что расчетный паводок определяется исключительно категорией последствий.

Приложение В: Схема Индексов Риска для Проекта, финансируемого Всемирным Банком в Индии

В таблице В.1 приведена схема ИР Индии для утвержденного недавно проекта, финансируемого Банком. Риск плотины определяется произведением уязвимости плотины и потенциальной опасности, связанной с плотиной. Оценка уязвимости рассчитывается как сумма баллов по следующим трем подкатегориям: (а) ТХ, в значительной степени связанные с проектированием плотины, (b) ТС, связанная с текущим состоянием плотины, и (с) БОП, охватывающее безопасность плотины. Каждая из этих трех категорий подразделяется на более подробные факторы риска.

Потенциальная опасность также подразделяется на три фактора: (а) Потенциальная угроза жизни людей (b) воздействия на окружающую среду и (с) социально-экономические воздействия.

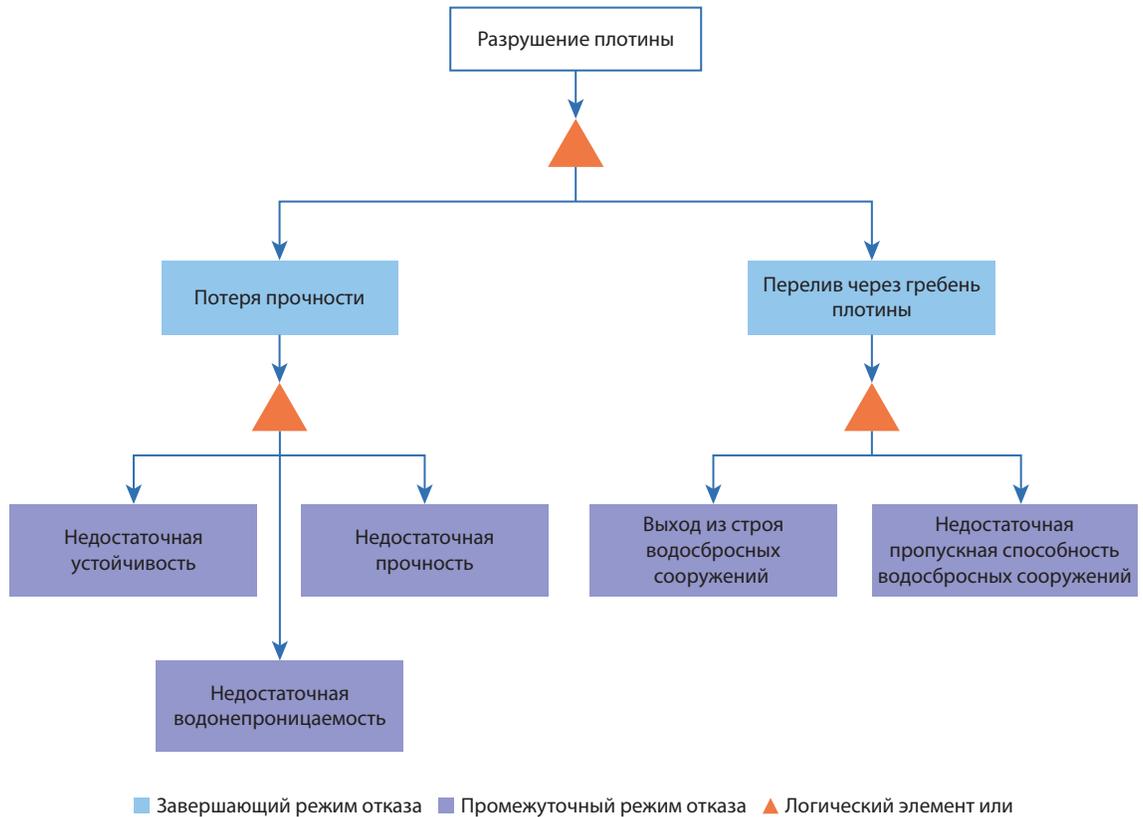
The Indian National Dam Inventory Assessment (INDIA) включает руководство пользователя и инструмент индексирования в форме Excel таблицы (Зелински и др. 2021), в котором содержится подробное руководство по оценке и присвоению баллов по каждому из индикаторов хрупкости и потенциала опасности.

На рис. В.1 представлена модель дерева отказов как основание системы ИР Индии, основанная на общей структуре анализа рисков, рекомендованной МКБП (2017). Модель обеспечивает логическую основу для характеристики возможных сценариев разрушения плотины с точки зрения как последовательности событий, ведущих к разрушению плотины, так и соответствующих вероятностей. Таким образом, модель носит общий характер и

ТАБЛИЦА В.1. Схема индексов риска Индии - Категории и факторы уязвимости

Технические характеристики		Текущие состояния		План обеспечения безопасности	
1	Срок эксплуатации плотины	1	Сейсмическое проектирование	1	Проектная документация
2	Расчетный паводок	2	Оборудование для регулирования уровня	2	Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию
3	Сейсмическая зона	3	Состояние Оборудования для регулирования уровня	3	План аварийной готовности
4	Оползень, Наводнение в результате прорыва ледникового озера или оползневой плотины, селевые потоки	4	Наличие резервного электроснабжения	4	Организационная структура, численность персонала, потенциал, квалификация
5	Длина по гребню	5	Доступ к объекту	5	Инспекция безопасности, мониторинг и отчетность
6	Водовод	6	Функционирование системы	6	Декларации безопасности плотин с анализом и обоснованием безопасности
7	Фильтры	7	Бетонная гравитационная конструкция	7	Последующие действия
8	Основание и опорные элементы	8	Конструкция водосброса		
		9	Каменная кладка		
		10	Тело, основание и опорные элементы плотины		

РИСУНОК В.1. Модель дерева неисправностей для схемы индексации рисков



способна полностью охарактеризовать риск разрушения плотины при наличии численных значений всех соответствующих вероятностей. Для проведения скрининга портфелей плотин, особенно если портфель широкий, полная численная характеристика вероятностей либо не представляется возможной, либо просто неэффективна по стоимости. В таких случаях можно применить упрощенный процесс, при котором числовые значения вероятностей заменяются балльными индексами, которые, таким образом, являются косвенными показателями неизвестных вероятностей

Кроме того, в таблице В.2 показана взаимосвязь между завершающими и промежуточными потенциальными режимами отказов и факторами уязвимости на основе модели дерева отказов, представленной на рисунке В.1. Ячейки с символом х означают, что потенциальные режимы отказа на горизонтальной оси могут быть вызваны факторами уязвимости ТХ, ТС и ПОБ на вертикальной оси. Например, х в ячейках четвертого столбца указывает, какие из факторов уязвимости могут увеличить вероятность возникновения гравитационного перемещения горных пород. Увеличение баллов по факторам служит косвенным показателем для увеличения вероятности возникновения.

ТАБЛИЦА В.2. Взаимосвязь между факторами неустойчивости и потенциальными режимами разрушения

		Недостаточная устойчивость		Недостаточная прочность		Недостаточная водонепроницаемость		Перелив через гребень плотины		
		Гравитационное перемещение горных пород	Потеря опоры	Мгновенное изменение состояния	Недостаток прочности конструкции	Фильтрация через плотину	Просачивание воды вокруг плотины	Недостаточная пропускная способность водосбросных сооружений		Пропускная способность водосбросных сооружений
								Проектная	Установленная	
Технические характеристики (ТХ)	ТС-1	Срок эксплуатации плотины	x	x	x	x	x			x
	ТС-2	Расчетный паводок						x		
	ТС-3	Сейсмическая зона	x	x	x	x	x	x		x
	ТС-4	Оползень, НПЛЮ или НПОП, селевые потоки	x	x	x	x		x	x	x
	ТС-5	Длина плотины по гребню					x	x		
	ТС-6	Водоводы				x	x			
	ТС-7	Фильтры	x	x	x	x	x			
	ТС-8	Основание и опорные элементы	x	x	x	x		x		
Текущие состояния (ТС)	ЕС-1	Сейсмическое проектирование	x	x	x	x	x	x		
	ЕС-2	Оборудование для регулирования уровня							x	
	ЕС-3	Состояние Оборудования для регулирования уровня								x
	ЕС-4	Наличие резервного электроснабжения								x
	ЕС-5	Доступ к объекту								x
	ЕС-6	Функционирование системы							x	
	ЕС-7	Бетонная гравитационная конструкция		x		x			x	

(продолжение таблицы на следующей странице)

ТАБЛИЦА В.2. Продолжение

		Недостаточная устойчивость		Недостаточная прочность		Недостаточная водонепроницаемость		Перелив через гребень плотины		
		Гравитационное перемещение горных пород	Потеря опоры	Мгновенное изменение состояния	Недостаток прочности конструкции	Фильтрация через плотину	Просачивание воды вокруг плотины	Недостаточная пропускная способность водосбросных сооружений		Пропускная способность водосбросных сооружений
								Проектная	Установленная	Отсутствует
EC-8	Конструкция водосброса	x	x		x			x	x	x
EC-9	Каменная кладка		x		x	x		x		
EC-10	Тело, основание и опорные элементы плотины	x	x	x	x	x	x			
План обеспечения безопасности (ПОБ)	SP-1	Проектная документация	x	x	x	x	x	x	x	x
	SP-2	Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию	x	x	x	x	x			x
	SP-3	План аварийной готовности								
	SP-4	Организационная структура, численность персонала, потенциал, квалификация	x	x	x	x	x	x	x	x
	SP-5	Инспекция безопасности, мониторинг и отчетность	x	x	x	x	x			x
	SP-6	Декларации безопасности плотин с анализом и обоснованием безопасности	x	x	x	x	x		x	x
	SP-7	Последующие действия	x	x	x	x	x	x	x	x

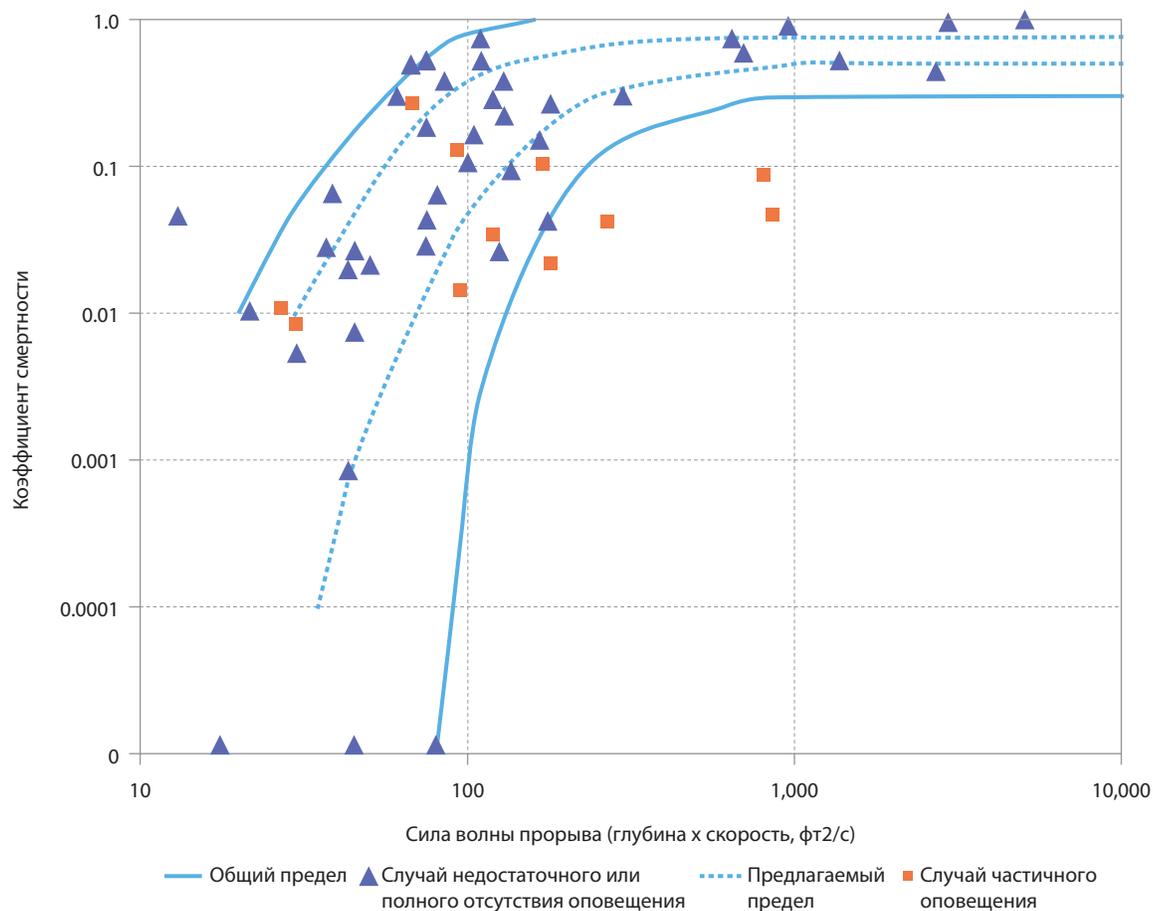
Источник: Зелински и др. (2021)

Примечание: НПЛЛО= Наводнение в результате прорыва ледникового озера; НПОП= Наводнение в результате прорыва оползневой плотины.

Приложение С: Коэффициент смертности при отсутствии и наличии надлежащего оповещения

Рисунки С.1 и С.2 (USBR 2014) дают представление о связи между коэффициентом смертности (ось y) и соответствующей силе волны прорыва (ось x), которая является произведением глубины затопления и скорости потока. Глубина затопления и скорость потока должны быть оценены с помощью моделирования прорыва плотины и наводнения. Точки на этих двух рисунках в целом показывают ожидаемый уровень смертности в случае недостаточного или полного отсутствия оповещения по сравнению с надлежащим предупреждением. Эти цифры полезны для оценки количества потенциальных человеческих жертв в зависимости от наличия плана аварийной готовности и развертывания системы аварийного оповещения/предупреждения. Однако на эти коэффициенты смертности следует ссылаться только для общего ознакомления, но при этом необходимо адаптировать их к условиям различных стран с учетом их социальных, культурных и экономических условий.

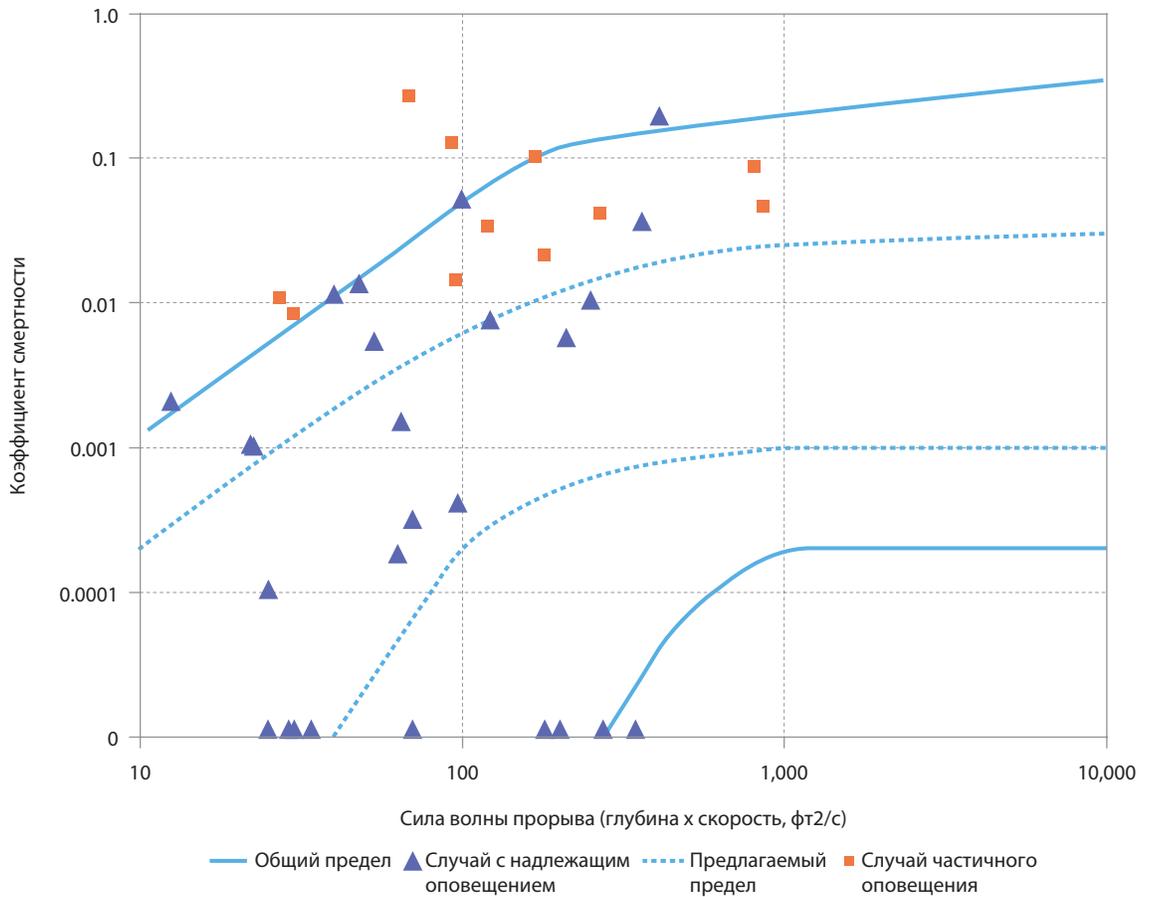
РИСУНОК С.1. Коэффициент смертности при недостаточном или полном отсутствии оповещения в соответствии с силой волны прорыва



Источник: Бюро Мелиорации США 2015.

Примечание: Данная диаграмма является частью методики оценки последствий, разработанной USBR (Бюро мелиорации США, 2014). Диаграмма предназначена исключительно для использования в связке со всей методологией (пересмотрена в июне 2015 года). фт²/с = квадратный фут в секунду.

РИСУНОК С.2. Коэффициент смертности при надлежащем оповещении в соответствии с силой волны прорыва.



Источник: Бюро Мелиорации США 2015.

Примечание: Данная диаграмма является частью методики оценки последствий, разработанной USBR (Бюро мелиорации США, 2014). Диаграмма предназначена исключительно для использования в связке со всей методологией (пересмотрена в июне 2015 года). фт²/с = квадратный фут в секунду

Справочная литература

Brazil. Conselho Nacional De Recursos Hídricos (CNRH) or National Water Resources Council, Ministry of Environment. Resolution No. 143. 2012. "It lays down general classification criteria for dams by risk category, potential damage associated with the volume of the reservoir in attention to article 7 of Law 12344 of September 2010."

ICOLD. 1989. Bulletin 72: Selecting Seismic Parameters for Large Dams. Paris: ICOLD.

———. 2017. Bulletin 154: Dam Safety Management: Operational Phase of the Dam Life Cycle. Paris: ICOLD.

———. 2005. Bulletin 130: Risk Assessment in Dam Safety Management: A Reconnaissance of Benefits. Paris: ICOLD.

Pinheiro, A., J. Mora Ramos, L. Caldeira, E. Josefa, and A. Boavida. 2015. Proposal for the Dam Safety Regulation of Mozambique. Paper presented at the Dam World Conference, Lisbon, Portugal.

Saaty, R. W. 1987. "The Analytic Hierarchy Process: What It Is and How It Is Used," *Mathematical Modelling* 9(3–5), 161–176.

USBR (U.S. Bureau of Reclamation). 2000. "Risk Based Profiling System." Denver, Colorado.

USBR (US Bureau of Reclamation). 2015. "Reclamation Consequence Estimating Methodology (RECM): Interim Guidelines for Estimating Life Loss for Dam Safety Risk Analysis." Denver, Colorado.

Wishart, Marcus J., Satoru Ueda, John D. Pisaniello, Joanne L. Tingey-Holyoak, Kimberly N. Lyon, and Esteban Boj Garcia. 2020. "Laying the Foundations: A Global Analysis of Regulatory Frameworks for the Safety of Dams and Downstream Communities." Sustainable Infrastructure Series, Washington, D.C.: World Bank.

Zielinski, A. Przemyslaw, Pramod Narayan, C. Richard Donnelly, Eric Halpin, Jonathan Quebbeman, Halla Maher Qaddumi, Chabungbam Rajagopal Singh, Satoru Ueda, and Marcus Wishart. 2021. "Risk screening tool in dam safety assessment." manuscript for *Hydropower & Dams*: Aqua-Media International Ltd. Surrey, UK.

