

Гидроэнергетика

Руководство по климатической устойчивости

Для существующих и будущих
гидроэнергетических проектов

Центральный офис IHA

Чансери Хаус
Сейнт-Николас-уэй
Саттон
Лондон SM1 1JB
Великобритания
Тел.: +44 20 8652 5290
Факс: +44 20 8643 5600
Эл. почта: iha@hydropower.org

Региональные представительства IHA

Офис IHA в Китае
адрес: Китайский институт
исследования водных ресурсов и
гидроэнергетики
A1 Факсинг Роуд
Пекин, 100038
Китай
Эл. почта: china@hydropower.org

Офис IHA в Южной Америке
адрес: Итаипу Бинасионал,
Пр. Танкредо Невес, 6.731
СЕР 85856-970 Фоз до Игуасу,
Парана, Бразилия
Эл. почта: southamerica@hydropower.org

Отказ от ответственности

В этой публикации содержатся только общие руководящие принципы. Она не должна служить заменой соответствующих технических знаний. Данная публикация распространяется без каких-либо явных или подразумеваемых гарантий, хотя на дату публикации были приняты разумные меры предосторожности для проверки содержащейся в ней информации.

В отношении любой информации, содержащейся в этой публикации, ни компания IHA, ни ее сотрудники или члены не дают никаких гарантий, явных или подразумеваемых, включая гарантии товарной пригодности и пригодности для определенной цели. Кроме того, компания IHA не принимает на себя никаких юридических обязательств или ответственности за точность, полноту или полезность раскрываемой информации, продуктов или процессов, а также не заявляет, что использование этой информации не является нарушением прав частной собственности.

Данные о публикации

Опубликовано организацией International Hydropower Association Limited, Лондон, Великобритания.

© International Hydropower Association Limited, 2019 г.

Воспроизведение данной публикации в образовательных или других некоммерческих целях разрешается без предварительного письменного разрешения правообладателей при условии цитирования с полным указанием источника. Воспроизведение данной публикации для перепродажи или других коммерческих целей без предварительного письменного разрешения правообладателей запрещено.

Цитирование следует оформлять следующим образом:

Международная ассоциация гидроэнергетики (IHA), 2019 г.
Руководство по климатической устойчивости в гидроэнергетике
Лондон, Великобритания.

Публикация доступна на веб-сайте: www.hydropower.org

Благодарности

Разработка Руководства по климатической устойчивости в гидроэнергетике выполнялась при финансовой и технической поддержке Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР), Группы Всемирного банка (WBG) и Корейского целевого фонда зеленого роста (KGGTF). В частности, мы выражаем искреннюю благодарность руководителю Группы Всемирного банка по гидроэнергетике и плотинам Правину Карки, главе департамента ЕБРР по инвестициям в обеспечение климатической устойчивости Крейгу Дэвису и руководителю департамента ЕБРР по энергоэффективности и изменению климата Джеймсу Фалзону.

Работу координировала Мария Убьерна (ИНА) при поддержке консультативной группы экспертов. Цель этой группы — общее руководство и обратная связь на протяжении всего процесса, а также участие в разработке данной версии руководства. Состав консультативной группы экспертов:

Денис Эльбрехт
Пьер Бидерманн
Мартин Фукс
Роберт Лемперт
Кит Макферсон
Патрик Рэй

Важнейшим участником при разработке руководства по климатической устойчивости было гидроэнергетическое сообщество. Ценный опыт и знания были получены в результате экспериментального применения более ранней версии руководства к следующим ГЭС: Гидроэлектростанция на реке Дрин (Албания), ГЭС Жирау (Бразилия), проект ГЭС Кабели А (Непал), гидроэнергетический проект Мпатаманга (Малави), гидроэнергетический проект Ненскра (Грузия), Кайраккумская ГЭС (Таджикистан) и гидроэнергетический комплекс Ромен (Канада).

Это руководство было бы невозможно подготовить без помощи и участия многих организаций и экспертов. ИНА пользуется возможностью поблагодарить следующих

людей, которые внесли свой вклад в этот процесс — проверку более ранней редакции руководства, анализ отзывов, консультации и обзор — за помощь в разработке руководства для практических специалистов по гидроэнергетике во всем мире. Всех, кого мы случайно забыли, просим принять наши искренние извинения и нашу благодарность.

Эридета Баши
Кейси Браун
Риченда Коннелл
Жоао Коста
Кристина Диес Сантос
Билл Герлинг
Агрон Хетоя
Эльфар Линнет
Гийом Прудент-Ричард
Марин Риффард-Шене
Матис Рогнер
Таис Соареш
Оли Свейнссон
Натали Тьмонж
Роберт Уилби

Сокращения и аббревиатуры

CMIP	Проект взаимного сравнения парных моделей
COP21	Конференция сторон (COP21) Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН) в Париже в декабре 2015 года
CRMP	План управления климатическими рисками
DMU	Принятие решений в условиях неопределенности
DMDU	Принятие решений в условиях глубокой неопределенности
EAP	План действий в чрезвычайных ситуациях
ЕБРР	Европейский банк реконструкции и развития
EIRR	Внутренняя экономическая окупаемость
ESIA	Оценка природоохранных и социальных воздействий
ESG	Природоохранные, социальные и управленческие требования
EUFIWACC	Рабочая группа европейских финансовых институтов по адаптации к изменению климата
GCM	Модель общей циркуляции
GLOF	Затопление в результате выбросов ледниковых озер
HESG	Анализ проблем устойчивости гидроэнергетики с точки зрения природоохранных, социальных и управленческих требований
HGIIP	Надлежащая международная практика в гидроэнергетике
HSAP	Протокол оценки устойчивости гидроэнергетики
ICOLD	Международная комиссия по большим плотинам
IHA	Международная ассоциация гидроэнергетики
IPCC	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
KGTF	Корейский целевой фонд зеленого роста
МАКС.	Максимум
MER	Мониторинг, оценка и отчетность
МИН.	Минимум
ML	Наиболее вероятно
НПО	Неправительственные организации
NPV	Чистая текущая стоимость
O&M	Эксплуатация и техобслуживание
PMF	Вероятный максимум паводка
PMP	Вероятный максимум осадков
PPA	Соглашение о поставках электроэнергии
RCM	Региональная климатическая модель
RCP	Репрезентативная траектория концентраций
РКИК ООН	Рамочная Конвенция ООН об изменении климата
USD	Доллар США
WBG	Группа Всемирного банка
ВМО	Всемирная метеорологическая организация

Глоссарий

По всему документу встречаются понятия, связанные с климатической устойчивостью и климатическими рисками. В глоссарии собраны определения этих понятий в контексте изменения климата и гидроэнергетики.

Адаптация (структурная)	Внесение физических изменений в существующие объекты или строительство новой инфраструктуры для смягчения последствий изменения климата. В некоторых случаях эти меры принимаются для того, чтобы обеспечить функциональность, безопасность и эффективность работ, а также соблюсти первоначальные критерии проектирования в свете прогнозируемых воздействий в результате изменения климата. Однако в других случаях структурные изменения могут не только смягчить негативные последствия изменения климата, но и привести к улучшению показателей, как определено в Бюллетене 169 ICOLD.
Адаптация (функциональная)	Функциональные или неструктурные инструменты представляют собой изменения, внесенные в принципы эксплуатации. Их несомненно можно применять отдельно, не внося каких-либо изменений в структурную конфигурацию и размеры объекта, хотя в других случаях наиболее подходящим методом реагирования на изменение климата может быть поиск оптимального баланса между структурными и неструктурными адаптациями, как определено в Бюллетене 169 международной комиссии по большим плотинам (ICOLD).
Анализ чувствительности	Анализ чувствительности — это оценка изменений результатов на выходе при небольших изменениях входных параметров модели. Тест позволяет оценить пропорциональный вклад неопределенности входных данных в общую неопределенность модели.
Генератор погоды	Генераторы погоды — это компьютерные алгоритмы, которые вырабатывают длинные серии модельных ежедневных данных о погоде. Параметры модели определяются существующими метеорологическими данными, чтобы в ежедневном случайном процессе вписывались характерные особенности погоды за прошлые годы. Генераторы погоды являются стандартным инструментом, который позволяет расширять метеорологические данные, дополнять данные о погоде в областях с недостаточным количеством данных, детализировать сезонные гидроклиматические прогнозы и уменьшать масштаб грубых долгосрочных климатических прогнозов для получения точного суточного прогноза погоды, необходимого для изучения воздействий.
Затопление в результате выбросов ледниковых озер (GLOF)	Таяние и отступление ледников привело к образованию новых и расширению существующих ледниковых озер в результате накопления талых вод за слабо уплотненными дамбами образованными моренами, т.е. ледниковыми отложениями. Внезапный сток воды и селевых отложений из озера называется GLOF.
Изменение климата	Изменением климата называется такое изменение состояния климата, которое может быть идентифицировано (например, с помощью статистических тестов) по изменениям средних значений и/или по изменениям характеристик, и которое продолжается в течение длительного периода, обычно десятилетий или дольше. Изменение климата может быть результатом естественных внутренних процессов или внешних воздействий, таких как вариация солнечных циклов, извержения вулканов и постоянные антропогенные изменения в составе атмосферы или в методах землепользования, как определено межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC).
Климатическая устойчивость гидроэнергетического проекта	Способность гидроэнергетического объекта или системы поглощать нагрузки, возникающие в результате изменения климата, и при этом повышать свою устойчивость. Проекты, нацеленные на обеспечение устойчивости, разрабатываются, строятся и эксплуатируются так, что они лучше справляются не только с разнообразными потенциальными климатическими изменениями и вызванными этими изменениями стихийными бедствиями, но и с непредвиденными обстоятельствами. В результате снижается вероятность разрушений после отказа, повышается эффективность и скорость адаптации для достижения менее уязвимого будущего состояния.

Климатические проекции	Климатические проекции — это смоделированные реакции климатической системы на будущие сценарии выбросов или концентраций парниковых газов и аэрозолей, обычно получаемые с помощью климатических моделей. В отличие от климатических прогнозов, климатические проекции зависят от используемого сценария выбросов/концентраций/радиационных воздействий. Сценарий, в свою очередь, основан на предположениях, касающихся, например, будущих социально-экономических и технологических изменений, которые могут произойти или не произойти, как определено IPCC.
Климатический сценарий	Правдоподобное и часто упрощенное представление будущего климата, основанное на внутренне непротиворечивом наборе климатологических взаимосвязей. Эти взаимосвязи часто служат входными данными для моделей воздействия, которые явно используются при исследовании потенциальных последствий антропогенного изменения климата. Хотя в качестве исходных данных часто используются климатические проекции, для построения климатических сценариев обычно требуется дополнительная информация, такая как текущий климат, наблюдаемый в настоящее время. Сценарий изменения климата — это разница между климатическим сценарием и текущим климатом.
Масштабирование на меньший размер	Масштабирование на меньший размер — это метод, который позволяет получить информацию для местного или регионального масштаба (от 10 до 100 км) из более масштабных моделей и результатов их анализа.
Надежность	Достаточно хорошая работа по сравнению с альтернативами в широком диапазоне правдоподобных вариантов будущего.
Опасность	Процесс, явление или вид деятельности человека, которые могут привести к гибели людей, травмам или другим последствиям для здоровья, повреждению имущества, социальным и экономическим потрясениям или ухудшению состояния окружающей среды. Опасность характеризуется физическими параметрами и вероятностью наступления события.
Паводок — паводковый водосброс	Приток, который должен быть безопасно сброшен по обводному каналу, не вызывая разрушения плотины. Некоторое повреждение плотины может быть допустимым.
Паводок — расчетный паводок	Приток за данный интервал времени, который должен быть сброшен при нормальных условиях с запасом прочности надводного борта плотины.
Риск	Риск (или возможность) определяется для системы или функции как сочетание возможных потерь (выгод) и вероятности климатического события. $\text{Риск (возможность)} = \text{Возможные потери (выгоды)} \times \text{Вероятность}$
Степень риска	Положение людей, инфраструктуры, жилья, производственных мощностей и других материальных активов, находящихся в опасных зонах.
Стресс-тест	Стресс-тест — это систематическая оценка реакции системы на превышение нормальных нагрузок или давлений. Испытание позволяет определить условия (значения неопределенных входных переменных), при которых модель демонстрирует неприемлемые характеристики (или разрушается) относительно заранее определенного порога эффективности для исходных условий. При этом можно определить вероятность того, что в течение срока службы система будет испытывать нагрузки, выходящие за пределы ее прочности.
Угроза	Обстоятельство, действие или событие, которое может использовать уязвимость для неблагоприятного воздействия на объект или систему.
Уязвимость	Степень, в которой система восприимчива или неспособна справиться с неблагоприятными последствиями изменения климата, включая изменчивость климата и экстремальные климатические явления. Уязвимость зависит от характера, величины и скорости изменения климата, которому подвергается система, ее чувствительности и возможностей адаптации.
Эффективность	Эффективность определяет возможности проекта по предоставлению стратегических услуг или выполнению функций, для которых он разработан и предназначен. Сюда относятся все функции гидротехнического объекта: производство энергии и экономика, безопасность, окружающая среда, многоцелевые аспекты (в некоторых случаях) и т. д.

Содержание

Благодарности	i
Сокращения и аббревиатуры	iii
Глоссарий	v
Предисловие	1
Введение	3
Исходные данные	3
Цель	3
Целевая аудитория	4
Основные принципы	4
Применимость к любому типу и масштабу гидроэнергетического объекта	4
Пригодность для существующих и будущих гидроэнергетических проектов	4
Адаптируемость к одиночным и каскадным проектам	4
Применимость в любой точке мира	4
Соответствие функциям гидроэнергетического проекта	4
Независимость от доступности и качества данных	4
Дополнение к разделу "Средства оценки устойчивости гидроэнергетики"	5
Обзор методологии	7
Предварительные требования	9
Требование 1. Понимание того, что означает климатическая устойчивость гидроэнергетического сектора	9
Требование 2. Поддержка со стороны руководства	9
Требование 3. Взаимодействие с заинтересованными сторонами	9
Этап 1 Обзор климатических рисков проекта	11
Шаг 1.1. Условия и характеристики гидроэнергетического проекта	11
Шаг 1.2. Сбор гидрометеорологических данных	12
Шаг 1.3. Выявление неопределенностей	13
Шаг 1.4. Варианты адаптации проекта	13
Шаг 1.5. Создание реестра рисков и возможностей их появления	13
Шаг 1.6. Критерии и показатели эффективности	14
Шаг 1.7. Взаимодействие с заинтересованными сторонами	15
Шаг 1.8. Требуется ли оценка климатических рисков?	15
Этап 2 Предварительный анализ	17
Шаг 2.1. Сбор и анализ данных	17
Шаг 2.2. Определение исходных условий	18
Шаг 2.3. Определение подхода для этапа 3	19
Шаг 2.4. Взаимодействие с заинтересованными сторонами	20
Шаг 2.5. Обновление реестра рисков и возможностей	21

Этап 3 Климатический стресс-тест	23
Шаг 3.1. Комплексный подход	24
Шаг 3.2. Частично комплексный подход	26
Шаг 3.3. Ограниченный подход	27
Шаг 3.4. Взаимодействие с заинтересованными сторонами	28
Шаг 3.5. Обновление реестра рисков и возможностей	29
Этап 4 Управление климатическими рисками	31
Шаг 4.1. Выявление мер по обеспечению устойчивости	31
Шаг 4.2. Варианты модифицированного проекта	32
Шаг 4.3. Анализ устойчивости	32
Шаг 4.4. Обновление реестра рисков и возможностей	33
Шаг 4.5. Взаимодействие с заинтересованными сторонами	33
Шаг 4.6. План управления климатическими рисками	33
Этап 5 Мониторинг, оценка и отчетность	35
Шаг 5.1. План мониторинга климатической устойчивости	35
Шаг 5.2. Оценка и переоценка климатических рисков	36
Шаг 5.3. Взаимодействие с заинтересованными сторонами	36
Примечания	37
Список литературы	39
Приложение А Факторы климатического стресса	41
Приложение В Реестр рисков и возможностей	47
Приложение С Примеры структурных и функциональных мер адаптации	49
Приложение D Принятие решений в условиях неопределенности (DMU)	59
Приложение Е Пример	61

Предисловие

Гидроэнергетика, являясь технологией с низким уровнем выбросов углерода, обеспечивает почти две трети мирового производства электроэнергии из возобновляемых источников и внесет значительный вклад в достижение целей Парижского соглашения по климату и Целей в области устойчивого развития.

Предоставляя важнейшие услуги по адаптации, направленные на уменьшение таких последствий изменения климата, как наводнения и засухи, гидроэнергетические объекты также подвержены климатическим рискам, так как они зависят от осадков и уязвимы к стихийным бедствиям.

Неспособность организаций, эксплуатирующих гидроэнергетические объекты, в должной мере учитывать климатические риски, может привести к снижению технических и финансовых показателей, ухудшению безопасности и природоохранных функций. Если гидроэнергетические объекты разрабатываются и управляются не надлежащим образом, они могут усилить негативное воздействие климатических изменений на местные население и окружающую среду. Более того, если перспективы, связанные с изменением климата, не оцениваются, возможно принятие инвестиционных решений, которые не в полной мере учитывают роль гидроэнергетической инфраструктуры в предоставлении услуг, связанных с климатом. Например, влияние гидроэнергетики на более широкое использование менее гибких форм производства электроэнергии с низким уровнем выбросов углерода.

Разработка Руководства по климатической устойчивости в гидроэнергетике координируется ИНА при финансовой и технической поддержке Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР), Группы Всемирного банка (WBG) и Корейского целевого фонда зеленого роста (KGGTF). Перевод этого документа на русский язык стал возможен благодаря финансовой и технической поддержке со стороны ЕБРР и проекта, поддерживаемого Зеленым климатическим фондом (FP040). Руководство должно помочь специалистам по гидроэнергетике управлять рисками климатических изменений. Заказчикам проектов, финансовым учреждениям, правительствам и частным застройщикам нужна ясность в отношении наилучшей международной отраслевой практики, в которой при разработке и эксплуатации гидроэнергетических объектов учитываются климатические риски. Руководство удовлетворяет эту потребность.

Предварительная редакция была разработана Mott MacDonald, по договору с WBG и выпущена в сентябре 2017 года после консультации с основными

заинтересованными сторонами. Она была адаптирована и разработана на основе Схемы дерева принятия решений, которая включает в себя методы принятия решений для сектора водоснабжения в условиях неопределенности климатических изменений, разработанные для Всемирного банка доктором Кейси Брауном и доктором Патриком Реем. В течение 2018 года и в начале 2019 года организации, участвующие в новых и существующих гидроэнергетических проектах по всему миру, протестировали это руководство, чтобы оценить его применимость и практическую полезность.

В январе 2019 года представители процесса тестирования, а также организации, эксплуатирующие гидроэнергетические объекты, кредитные учреждения и консультативная группа экспертов обменялись своим опытом и поделились отзывами на техническом семинаре. Эти важные данные помогли подготовить настоящее Руководство по климатической устойчивости в гидроэнергетике.

Климатическая устойчивость гидроэнергетики чрезвычайно важна при разработке новых проектов и оценки существующих объектов. Достижение консенсуса по этому руководству чрезвычайно ценно не только для гидроэнергетики, но и для других технологий и инфраструктурных проектов, в которых необходимо учитывать последствия изменения климата.

Мы хотели бы поблагодарить ЕБРР и WBG, которые оказали неоценимую поддержку ИНА в роли координатора по разработке Руководства по климатической устойчивости в гидроэнергетике. Мы также должны выразить благодарность консультативной группе экспертов за ее усердную работу по доработке руководства и всем организациям, которые приняли участие в этой инициативе.

Работая вместе, мы помогаем обеспечить долгосрочную устойчивость гидроэнергетического сектора и упрочить его роль в системах чистой энергии и рациональном использовании пресных вод при одновременном снижении рисков, связанных с изменением климата.



Ричард Тейлор
Генеральный директор
Международная ассоциация гидроэнергетики (ИНА)

Введение

В результате климатических изменений по всему миру происходят экстремальные погодные явления и меняются гидрологические системы. Это влияет на гидроэнергетические проекты по всему миру. Проектирование гидроэнергетических систем с учетом долгосрочной устойчивости к изменению климата помогает местным сообществам и окружающей среде адаптироваться к климатическим изменениям. Такой подход к проектированию гарантирует, что будущим поколениям достанется инфраструктура, не подверженная риску изменения климата.

В целях содействия развитию гидроэнергетической инфраструктуры, способной противостоять рискам изменяющихся климатических условий, ИНА совместно с целым рядом партнеров, подготовили это руководство с целью предоставить практические и систематические рекомендации по разработке проектов, устойчивых к изменению климата, инженерам-гидроэнергетикам, организациям, эксплуатирующим гидроэнергетические объекты, и заказчикам проектов.

Исходные данные

Изменение климата определяется Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC) как такое изменение состояния климата, которое может быть выявлено по изменению средних показателей и/или по изменчивости его свойств, которые долго не прекращаются, как правило, десятки лет или больше. Изменение климата является основной угрозой стабильному экономическому развитию и борьбе с бедностью.

На COP21 в Париже в 2015 году стороны Рамочной конвенции ООН об изменении климата достигли исторического соглашения о борьбе с изменением климата и мобилизации значительных финансовых ресурсов для экологически устойчивого будущего. Парижское соглашение определило беспрецедентную цель: остановить повышение глобальной температуры на уровне 1,5–2 °C. Оценка последствий изменения климата для основных инфраструктурных объектов и систем является фундаментальной частью этих обсуждений.

Когда парижские цели будут достигнуты, последствия изменения климата будут ограничены, но не устранены. Если парижские цели не будут достигнуты, эти последствия будут гораздо более серьезными. Как бы то ни было, необходимость трансформировать энергетику, сельское хозяйство и другие отрасли экономики может оказывать значительное воздействие и на гидроэнергетические объекты.

Гидроэнергетические проекты подвержены непосредственному воздействию метеорологических, гидрологических, геотехнических, ледниковых и геологических процессов, которые, в свою очередь, зависят от изменения климата. Учитывая долгий срок службы гидросооружений и их подверженность климатическим изменениям, необходимо разрабатывать, эксплуатировать и обслуживать гидрологические объекты так, чтобы они были устойчивы в широком диапазоне сценариев изменения климата.

Финансовые учреждения и международные организации, такие как ICOLD, разработали руководство для широкой аудитории специалистов по водным ресурсам, включив в него современные знания в области климатологии и климатических воздействий. Однако до сих пор не было общепринятого руководства о том, как предупреждать риски изменения климата, особенно в гидроэнергетическом секторе.

Международная ассоциация гидроэнергетики подготовила Руководство по климатической устойчивости в гидроэнергетике, которое в течение 2018 года было протестировано широким кругом специалистов по гидроэнергетике в рамках всемирного пилотного проекта при поддержке консультативной группы экспертов.

Цель

Целью Руководства по климатической устойчивости в гидроэнергетике является разработка полезного и удобного подхода к выявлению, оценке и предупреждению климатических рисков для повышения устойчивости новых и существующих гидроэнергетических объектов к изменению климата.

Руководство удовлетворяет потребность в предоставлении наилучшей международной отраслевой практики, которая учитывает климатическую устойчивость при планировании, проектировании и эксплуатации гидроэнергетических объектов. Руководство также направлено на то, чтобы отойти от использования исторических данных по умолчанию, предположений о том, что гидрологическая изменчивость будет сохраняться в течение всего жизненного цикла проекта, и ограниченных знаний о том, как наилучшим образом получать, использовать и интерпретировать данные моделирования климатических изменений и наблюдаемые климатические данные. Традиционный подход не учитывает краткосрочного и долгосрочного воздействия климатических изменений на инвестиции из-за высокой неопределенности, присущей фактическим прогнозам изменения климата.

Целевая аудитория

Руководство предназначено для специалистов в области гидроэнергетики, которые будут использовать этот подход при оценке рисков изменения климата и выявлять меры по обеспечению устойчивости проекта, прежде чем сообщать о результатах лицам, принимающим решения.

Это Руководство предназначено для заказчиков проектов, финансовых учреждений, правительств и частных строительных компаний, которые будут использовать его для принятия взвешенных решений при разработке, реконструкции и эксплуатации гидроэнергетических объектов.

- Заказчики, застройщики и операторы — руководители, ответственные за планирование, разработку, проектирование, строительство и эксплуатацию гидроэнергетических объектов. Они будут учитывать климатические риски в новых и существующих гидроэнергетических объектах.
- Законодатели — официальные лица из государственных органов и агентств, занимающиеся вопросами водного и энергетического планирования и регулирования. Они могут использовать это руководство для оценки системных рисков.
- Финансовые учреждения — руководители проектов, участвующие в финансировании новых проектов или серьезной реконструкции и модернизации существующих гидроэнергетических объектов. Оценка климатических рисков является обязательным требованием для предоставления финансирования.

Основные принципы

Руководство проводит пользователей через шесть этапов, направленных на обеспечение устойчивости проекта. Это позволяет учесть климатическую устойчивость на этапах оценки, проектирования, строительства и эксплуатации гидроэнергетических объектов.

Применимость руководства основывается на следующих шести основных принципах:

Применимость к любому типу и масштабу гидроэнергетического объекта

Гидроэнергетические проекты характеризуются долговечностью инфраструктуры и традиционно разрабатываются на основе накопленных данных. Все гидроэнергетические объекты, включая плотинные, гидроаккумулирующие и русловые ГЭС, должны справляться с переменными климатическими условиями, надежно и безопасно работать в ожидаемых пределах будущих климатических условий и использовать

возникающие возможности.

Малые и крупные гидроэнергетические проекты подвержены воздействию изменения климата и одновременно предлагают решения проблем изменения климата, как для энергетики, так и для водных систем.

Пригодность для существующих и будущих гидроэнергетических проектов

Руководство можно применять как для новых, так и для существующих объектов. Адаптируемость гидроэнергетики и ее климатическая устойчивость будут иметь ключевое значение для разработки новых проектов и для оценки или реконструкции существующих гидроэнергетических объектов.

Адаптируемость к одиночным и каскадным проектам

Руководство содержит подход к оценке рисков изменения климата, и оценке мер по обеспечению устойчивости одиночного гидроэнергетического проекта. Руководство можно также использовать для каскадных ГЭС, рассматриваемых как единый проект. Каскадные схемы ГЭС обычно разрабатываются и эксплуатируются последовательно для уменьшения уязвимости и увеличения преимуществ.

Применимость в любой точке мира

В руководстве отражены уникальные географические и гидрологические особенности в регионах, где в настоящее время строится большинство гидроэнергетических объектов (Южная Азия, Латинская Америка и страны Африки к югу от Сахары).

Воздействия изменения климата значительно различаются с географической точки зрения. Руководство предназначено для учета всех географических особенностей и решения региональных проблем.

Соответствие функциям гидроэнергетического проекта

В руководстве отражены основные функции ГЭС: надежное производство энергии, безопасность и природоохранная эффективность. Тем не менее, анализ климатических рисков и устойчивости может охватывать другие услуги гидроэнергетических объектов, такие как распределение нагрузки, вспомогательные услуги, хранение воды в водохранилище и социально-экономические функции, основанные на интересах и задачах заинтересованных сторон.

Независимость от доступности и качества данных

В руководстве учитывается, что имеющиеся гидрологические и климатические данные могут различаться по качеству и количеству, поэтому

его можно применять при любых обстоятельствах. Отсутствие высококачественных данных не должно мешать пользователям применять руководство.

В руководстве подчеркивается, что необходимо выполнять последующую обработку и уточнение натурных данных, отбрасывать экстремальные значения и обеспечивать качество данных. Руководство также содержит рекомендации в отношении глобальных и общедоступных данных.

Дополнение к разделу "Средства оценки устойчивости гидроэнергетики"

Данное руководство призвано дополнить тему "Смягчение последствий изменения климата и устойчивость" в разделе "Средства оценки устойчивости гидроэнергетики", которые состоят из следующих справочников и руководств:

- Руководство "Надлежащая международная практика в гидроэнергетике" (HGILP), — это нормативный документ, определяющий ожидаемые показатели устойчивости и фактические данные, необходимые для демонстрации надлежащей практики в этом секторе.
- "Протокол оценки устойчивости гидроэнергетики"

(HSAP) и руководство "Анализ проблем устойчивости гидроэнергетики с точки зрения природоохранных, социальных и управленческих требований" (HESG), — это средства измерения эффективности, которые содержат встроенные функции для оценки соответствия проектов определенным критериям климатической устойчивости.

Используемые по отдельности или совместно, эти справочники и руководства способствуют распространению передового международного опыта и продвигают устойчивую гидроэнергетику, поднимая методы планирования, строительства и эксплуатации проектов на новый уровень. Руководство HGILP помогает оценивать эффективность проекта с использованием международно-признанных инструментов HSAP и HESG.

Руководство по климатической устойчивости в гидроэнергетике полезно использовать для того, чтобы проверить оценки устойчивости проекта, полученные с помощью инструмента HSAP или HESG. Кроме того, руководство поможет выполнить надежную оценку устойчивости проекта, которую требуют системы оценки для стимулирования и улучшения отслеживания успехов в области адаптации и устойчивости.

Обзор методологии

В руководстве принят подход к климатической устойчивости гидроэнергетического сектора, нацеленный на устранение неопределенностей, присущих процессам изменения климата. Существует множество причин неопределенности, от сложности уверенного прогнозирования нескольких сценариев будущих изменений до отсутствия необходимых данных. Такой метод, часто называемый подходом "снизу вверх", представляет собой хорошую альтернативу подходам "сверху вниз", используемым в оценках климатических рисков. Практическая польза таких оценок нивелируется недостаточной достоверностью климатических проекций будущего, полученных из моделей общей циркуляции.

Руководство состоит из шести этапов, как показано на рисунке 1 и в таблице 1: предварительные требования, качественная оценка климатических рисков проекта (этап 1), первоначальный анализ (этап 2), стресс-тестирование климата (этап 3), план управления рисками (этап 4) и, наконец, мониторинг, оценка и отчет о результатах (этап 5). Если по результатам качественной оценки, выполненной на этапе 1, климатические риски проекта не выявлены, можно сразу перейти к этапу 5.

Для определения системных рисков используются стресс-тесты (этап 3). За ними следуют простые прямые методы постепенного снижения этих рисков целенаправленными действиями, которые хорошо работают в широком диапазоне будущих изменений (этап 4). По окончании этапа 4, если проекты не признаны устойчивыми для какого-либо из выявленных вариантов, необходимо рассмотреть новый проект, вернувшись к этапу 1, или отказаться от проектирования.

Наконец, в Приложении А представлен длинный список индикаторов, потенциальных крупных климатических воздействий и факторов климатического стресса, влияющих на гидроэнергетику. В списке также рассматриваются различные варианты воздействия климатических изменений на гидроэнергетические проекты. Пример реестра рисков, возможностей и методов оценки приведен в Приложении В. Примеры мер по повышению устойчивости гидроэнергетических проектов, представленные в Приложении С. Более подробное объяснение принятого подхода "Принятие решений в условиях неопределенности" (DMU) см. в Приложении D. В Приложении Е приведен пример климатического стресс-теста и анализа устойчивости.

Рисунок 1. Схема действий в рамках Руководства по климатической устойчивости в гидроэнергетике.

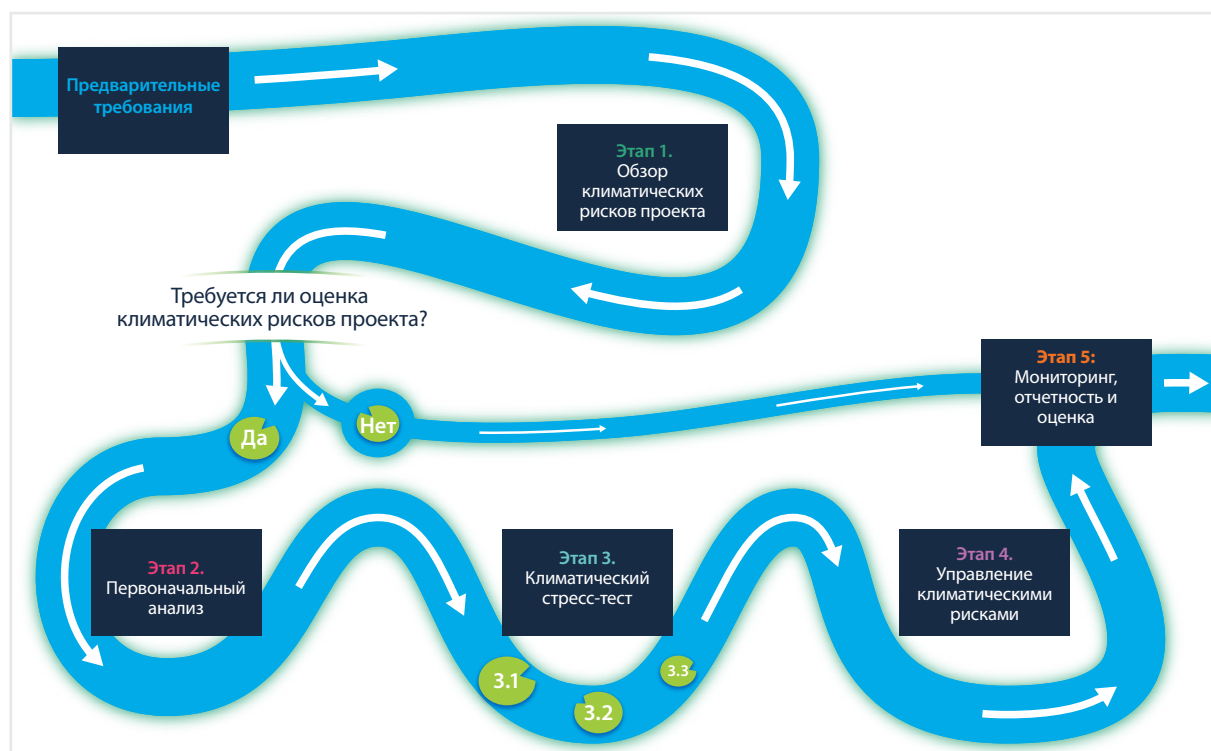


Таблица 1. Обзор этапов в рамках Руководства по климатической устойчивости в гидроэнергетике.

Предварительные требования	Этап 1. Обзор климатических рисков проекта	Этап 2. Первоначальный анализ	Этап 3. Климатический стресс-тест	Этап 4. Управление климатическими рисками	Этап 5. Мониторинг, оценка и отчетность
Цель: Соблюдение условий, необходимых для эффективного использования и применения руководства.	Цель: Выявить уязвимости гидроэнергетического проекта к изменению климата, учесть его географические, нормативные, технические и социально-экологические особенности.	Цель: На основе анализа климатических данных и определения исходных условий, определить правильный подход для этапа 3 (климатический стресс-тест).	Цель: Оценить эффективность проекта при различных возможных климатических сценариях в будущем, помочь при принятии решений по проектированию и эксплуатации климатически устойчивого объекта, количественно оценить климатические риски.	Цель: Адаптировать проект (или сделать его более адаптивным), чтобы обеспечить его устойчивость к изменению климата с сохранением его экономической эффективности, целесообразности и обоснованности.	Цель: Отслеживать устойчивость проекта в эксплуатации, и обеспечивать мониторинг, отчетность, оценку и обновление Плана управления климатическими рисками.
	Результат: Разработка реестра рисков и возможностей, а также критериев и показателей эффективности, которые станут основой для оценки рисков изменения климата.	Результат: Исходные гидроклиматические условия и уточненный реестр рисков и возможностей.	Результат: Обновленный реестр рисков и возможностей.	Результат: Разработка климатически устойчивого проекта. План управления климатическими рисками (CRMP).	Результат: План мониторинга, оценки и отчетности (MER).
Требования: 1. Понимание того, что означает климатическая устойчивость гидроэнергетического сектора 2. Поддержка со стороны руководства 3. Взаимодействие с заинтересованными сторонами	Шаг: 1.1. Условия и характеристики гидроэнергетического проекта 1.2. Сбор гидрометеорологических данных 1.3. Выявление неопределенностей 1.4. Варианты адаптации проекта 1.5. Создание реестра рисков и возможностей 1.6. Критерии и показатели эффективности 1.7. Взаимодействие с заинтересованными сторонами 1.8. Требуется ли оценка климатических рисков?	Шаг: 2.1. Сбор и анализ данных 2.2. Определение исходных условий 2.3. Определение подхода для этапа 3 2.4. Взаимодействие с заинтересованными сторонами 2.5. Обновление реестра рисков и возможностей	Шаг: 3.1. Комплексный подход 3.2. Частично комплексный подход 3.3. Ограниченный подход 3.4. Взаимодействие с заинтересованными сторонами 3.5. Обновление реестра рисков и возможностей	Шаг: 4.1. Выявление мер по обеспечению устойчивости 4.2. Варианты проекта 4.3. Анализ устойчивости 4.4. Обновление реестра рисков и возможностей 4.5. Взаимодействие с заинтересованными сторонами 4.6. План управления климатическими рисками	Шаг: 5.1. План мониторинга климатической устойчивости 5.2. Оценка и переоценка климатических рисков 5.3. Взаимодействие с заинтересованными сторонами

Предварительные требования

Цель. Соблюдение условий, необходимых для эффективного использования и применения Руководства.

Для эффективного применения Руководства необходимо выполнить ряд простых требований. Если эти требования выполнены, пользователи смогут эффективно применять Руководство для планирования, эксплуатации или реконструкции гидроэнергетического объекта.

Требование 1. Понимание того, что означает климатическая устойчивость гидроэнергетического сектора

Сначала нужно понять важность изменения климата и принцип климатической устойчивости в контексте гидроэнергетики:

- Что такое изменение климата?
- Как изменение климата влияет на частоту стихийных бедствий и доступность водных ресурсов?
- Какие угрозы для гидроэнергетических проектов возникают в результате изменения климата?
- Что такое климатическая устойчивость (в целом и в гидроэнергетике в частности)?
- Почему климатическая устойчивость особенно важна для основных функций гидроэнергетических проектов (а именно, выработка энергии, безопасность, природоохранная эффективность)?
- Что такое моделирование климата и как можно использовать сценарии глобального изменения климата при оценке климатической устойчивости в гидроэнергетике?
- Какие подходы можно использовать для повышения устойчивости?

Читатели, которые не в полной мере знакомы с этими вопросами, могут обратиться к Руководству по надлежащей международной практике для устойчивой гидроэнергетики (2018 г.), в котором есть глава "Смягчение последствий изменения климата и устойчивость"¹.

Бюллетень ICOLD 2016 года "Глобальное изменение климата, плотины, водохранилища и связанные с ними водные ресурсы"² также содержит современные сведения в области климатологии и воздействия климата на гидроэнергетику, полезные для специалистов по крупным плотинам/водохранилищам.

Требование 2. Поддержка со стороны менеджмента

Для подготовки и реализации стратегии климатической устойчивости для гидроэнергетического проекта требуются ресурсы и действия. Поэтому руководители в области гидроэнергетики должны быть уверены в том, что климатическая устойчивость должным образом оценена и рассмотрена. Они также должны предоставить необходимые ресурсы для подготовки и реализации стратегии климатической устойчивости.

Руководители должны организовать обеспечение климатической устойчивости, в частности, распределяя обязанности между опытными или обученными специалистами. Для проектов реконструкции, модернизации или строительства новых гидроэлектростанций руководство должно обеспечить полную координацию между группами/экспертами по климатической устойчивости и группой инженеров и специалистов по оценке воздействия на окружающую среду и общество. Оценка климатической устойчивости может считаться неотъемлемой частью общей оценки проекта.

Гидроэнергетики и специалисты по изменению климата должны получать поддержку своей деятельности со стороны руководства. Для получения поддержки в виде ресурсов и бюджетов они могут делиться предварительными результатами оценки климатических рисков или заручаться поддержкой высших руководителей, информируя их о ключевых рисках для бизнеса.

Требование 3. Взаимодействие с заинтересованными сторонами

Взаимодействие с заинтересованными сторонами, от государственных учреждений до местных общин, имеет важное значение для успешного использования данного Руководства и внедрения результатов.

Стратегии и действия, направленные на климатическую устойчивость, должны быть эффективными и согласованными в различных социально-экономических сегментах и регионах. И ключевую роль в этом согласовании играют государственные органы и официальные организации (в пределах своей юрисдикции). Налаживание связей и взаимодействие с государственными органами и официальными организациями может упростить сбор данных и выполнение исследований, необходимых для выявления потенциальных климатических рисков проекта на этапе 1.

В частности, политики, агентства и регулирующие органы, которые несут установленную законом ответственность в области энергетики или водных ресурсов, должны давать советы и устанавливать правовые рамки, в которых учтены риски, связанные с изменением климата.

Межгосударственные учреждения в области энергетики или водных ресурсов, организации по управлению трансграничными речными бассейнами, национальные и местные органы власти, инвесторы, неправительственные организации (НПО), местные или региональные агентства по водным ресурсам, метеорологические и гидрологические службы и научные институты также могут вносить свой вклад в устойчивость гидроэнергетического проекта: устанавливать правила, наращивать институциональный потенциал и проводить обучение, создавать платформы для диалога, приобретать и делиться знаниями и опытом в области климатической устойчивости гидроэнергетики.

Этап 1

Обзор климатических рисков проекта

Цель: выявить уязвимости гидроэнергетического проекта к изменению климата, учесть его географические, нормативные, технические и социально-экологические особенности.

Результат: разработка реестра рисков и возможностей, а также критериев и показателей эффективности, которые станут основой для оценки рисков изменения климата.

Этот этап представляет собой качественную оценку рисков изменения климата на уровне гидроэнергетического проекта. Цель состоит в том, чтобы выявить уязвимости гидроэнергетического проекта к изменению климата, учесть его географические, нормативные, технические и социально-экологические особенности на основе обзора характеристик, условий и исходных данных проекта.

Если гидроэнергетический проект показывает уязвимость к изменению климата, необходимо перейти к оценке климатического риска (этапы 2–4). Если уязвимости проекта к изменению климата отсутствуют, необходимо перейти сразу к этапу 5.

Шаг 1.1. Условия и характеристики гидроэнергетического проекта

Сначала опишите условия реализации проекта, его ожидаемую текущую и будущую роль и функцию, зафиксируйте соответствующие подробности об условиях реализации и бассейне, которые могут быть важны для понимания уязвимости проекта к изменению климата:

- Страна, регион, водосборный бассейн, местоположение и границы проекта.
- Стадия проекта (планирование, строительство, эксплуатация, реконструкция).
- Опишите проект (например, тип, масштаб, основное назначение, рабочие характеристики и режимы (базовая или пиковая нагрузка), вспомогательные службы, интеграция в каскадную систему и планируемые модификации, если они есть).
- Укажите, предназначен ли проект для удовлетворения других целей (например, борьба с паводком, ирригация, коммунальное водоснабжение) в течение всего срока службы проектируемого объекта.
- Владельцы, финансирующие и эксплуатирующие организации, контролирующие органы и основные заинтересованные стороны.
- Опишите более широкие характеристики бассейна и определите географические границы бассейна проекта. Определите основные существующие или будущие проблемы с водными ресурсами и ограничения в пределах бассейна.
- География, геология, гидрология, землепользование и почвенный покров, а также использование воды/реки выше и ниже по течению.
- Вопросы здоровья, безопасности, окружающей среды и общества.
- Уникальные региональные аспекты (например, проекты с ледниковым питанием, экстремально влажные и засушливые сезоны, известные эффекты макроклиматических явлений, таких как Эль-Ниньо или Ла-Нинья).
- Присутствие в зоне влияния проекта водных или земных видов животных и растений или областей, представляющих природоохранный интерес (охраняемых законом или признанных в международном масштабе).

- Ключевые существующие или планируемые нормативные акты и правила в секторах энергетики (например, цены, рынок), водных ресурсов и окружающей среды (например, лицензирование, минимальный сток, правила управления бассейном), которые должны быть учтены в контексте изменения климата.
- Запланированный режим эксплуатации и возможные альтернативные методы эксплуатации в будущем.
- Выявите все другие возможные (существующие, планируемые или ситуативные) проблемы с водой выше и ниже по течению, которые могут повлиять на объект на протяжении всего его срока службы, включая возможные среднесрочные и долгосрочные изменения (борьба с паводком, ирригация, коммунальное водоснабжение, туризм, экосистемы).
- Опишите систему электроснабжения, которую обслуживает проект, в том числе, укажите изолирована ли система или связана с другими системами, опишите относительную значимость проекта для непрерывного электроснабжения в системе.

Шаг 1.2. Сбор гидрометеорологических данных

Чтобы помочь в принятии обоснованного решения по окончании этапа 1, необходимо установить временные рамки, собрать и проанализировать имеющиеся гидрометеорологические данные или исследования. Если оценка будет продолжаться на этапе 2, эти данные станут основой для анализа данных на шаге 2.1.

- Установите временные рамки для оценки климатических рисков, согласованные с соответствующими заинтересованными сторонами. Эти временные рамки будут зависеть от конкретного проекта, однако Всемирная метеорологическая организация³ рекомендует минимальный интервал в 30 лет, который подходит для всех новых проектов и для крупных проектов реконструкции.
- Соберите и проанализируйте общедоступные исторические метеорологические, гидрологические и климатические данные и определите границы оценки, выявив ключевые источники данных на уровне региона, страны и площадки. Например:
 - Изменение климата в регионе по последним отчетам, опубликованным IPCC.
 - Соответствующие климатические исследования и документация недавнего прошлого для региона, страны, речного бассейна или площадки.
 - Национальные и/или региональные оценки уязвимости к изменениям климата, относящиеся к региональным энергетическим планам и правилам.

- Подробные данные полевых наблюдений (на уровне страны, региона, речного бассейна и площадки) по следующим направлениям:
 - Климатология: какие метеорологические станции имеются в водосборном бассейне и прилегающих водосборных бассейнах (и получают данные об осадках и температуре)? Какова продолжительность наблюдений?
 - Гидрология: какие гидрометрические посты имеются в водосборном бассейне и прилегающих водосборных бассейнах? Какова продолжительность наблюдений?
 - Отложение наносов: проводился ли ранее какой-либо мониторинг наносов?
 - Почвенный покров и землепользование: имеются ли спутниковые снимки для оценки тенденций землепользования/почвенного покрова?
 - Гляциология/вечная мерзлота (если применимо): записи, тенденции и исторические события, связанные с ледниками и ледниковыми опасностями или вечной мерзлотой в водосборном бассейне и прилегающих водосборных бассейнах.
 - Стихийные бедствия: подвержен ли участок ниже по течению, стихийным бедствиям или близок к местам таких бедствий (геологические опасности, землетрясения, лавины, селовые потоки и т. д.)? Есть ли история стихийных бедствий в регионе?

- Соберите данные о наблюдаемых экстремальных явлениях и стихийных бедствиях, которые произошли на территории речного или водосборного бассейна. Выявите все косвенные реакции бассейна, такие как изменения или тенденции в землепользовании. Используйте данные метеослужб, близлежащих метеостанций, планов управления водными ресурсами или других опубликованных отчетов, знания местных заинтересованных сторон, сообщения в газетах и на веб-сайтах о достижении или превышении пороговых значений по сравнению с предыдущими явлениями⁴.
- Составьте список всех недостающих данных и организуйте сбор или настройте систему сбора новых данных. Представьте и обсудите полученные результаты с соответствующими заинтересованными сторонами, выявленными при выполнении требования 3.

Если данные ограничены, можно использовать общедоступные данные из надежных источников, таких как портал знаний Всемирного банка по изменению климата⁵, данные со спутников или провести повторный анализ метеорологических данных. Дополнительная

информация об анализе данных приведена в описании шага 2.1.

Шаг 1.3. Выявление неопределенностей

Изменение климата может стать мультипликатором угрозы и усилить некоторые риски, влияющие на показатели работы объекта (например, селевые потоки или геологические опасности, выявленные на шаге 1.2). Точно так же изменение климата может расширять благоприятные возможности (например, повышение спроса на электроэнергию).

В дополнение к данным, собранным на предыдущем этапе, следует учитывать и другие параметры, которые считаются не связанными с изменением климата непосредственно, но полное игнорирование которых может повлиять на анализ собранных данных. Любые тенденции или исторические изменения этих параметров, а также ожидаемые/потенциальные будущие изменения могут быть важны для определения рисков и возможностей проекта. Примеры этих параметров приведены в таблице 2.

Шаг 1.4. Варианты адаптации проекта

Чтобы использовать анализ собранных данных проекта, необходимо осмыслить различные потенциальные риски и возможности (с помощью Приложения А) и подумать о различных вариантах повышения устойчивости и гибкости проекта за счет структурных и функциональных

мер адаптации (с помощью Приложения С). Ниже приведен неполный список возможных примеров:

- Эксплуатационная гибкость.
- Варианты изменения проекта электростанции (например, переменная мощность/выработка энергии, что может означать выбор другой установленной мощности).
- Варианты изменения параметров безопасности при проектировании (например, увеличение пропускной способности водослива).
- Гибкость управления водохранилищем (например, путем адаптации режима работы объекта).
- Варианты смягчения последствий стихийных бедствий (например, усиление защиты от оползней).
- Возможность изменения сброса воды ниже по течению.

Шаг 1.5. Создание реестра рисков и возможностей

На основании шагов 1.1–1.4 подготовьте реестр потенциальных рисков и возможностей, связанных с изменением климата. Реестр рисков и возможностей должен охватывать все потенциальные климатические факторы стресса, связанные с проектом. В Приложении А приведен список потенциальных климатических

Таблица 2. Примеры параметров, для которых изменение климата может быть мультипликатором угрозы.

Экономические	Природоохранные и социальные	Нормативные	Технические
<ul style="list-style-type: none"> • Стоимость заемного капитала • Стоимость акционерного капитала • Цены на электроэнергию • Цены на сырье (например, цены на сталь) • Прогноз спроса на энергию и мощность • Процентная ставка • Ставка дисконтирования • Наличие инвесторов и их готовность работать в регионе 	<ul style="list-style-type: none"> • Требования к экологическому стоку • Ограничения развития, выявленные в ESIA • Изменения в нормативной базе • Перемещенные и переселенные сообщества • Государственная политика — политическая поддержка проекта • Проблемы справедливого распределения ресурсов между поколениями 	<ul style="list-style-type: none"> • Страновые и региональные ограничения на работу проекта • Детали Соглашения о поставках электроэнергии (PPA), согласованного между застройщиком и покупателем электроэнергии • Нормативные ограничения на продажу электроэнергии, налагаемые объединенными энергосистемами 	<ul style="list-style-type: none"> • Скорость ветра для обслуживания ЛЭП • Обслуживание распределительного оборудования

факторов стресса, которые могут иметь значение.

Реестр должен быть максимально исчерпывающим и включать угрозы/возможности, связанные с каждым климатическим фактором стресса, и оценку вероятности и потенциальных потерь/выгод от каждой угрозы/возможности. Оценка вероятности и потенциальных потерь/выгод позволяет определить уровень риска. Пример реестра рисков и возможностей представлен в Приложении В.

Дополнительная информация, полученная на последующих этапах, позволит уточнить реестр рисков и возможностей и количественно определить риски.

Шаг 1.6. Критерии и показатели эффективности

Определите характеристики эффективности проекта, на которые может потенциально повлиять изменение климата, и критерии, связанные с изменением климата. Критерии эффективности, вероятно, будут связаны с основными функциями, такими как выработка электроэнергии, безопасность и окружающая среда.

- Примеры влияния на выработку электроэнергии:
 - Пригодность конструкции силового оборудования с учетом стока и рыночных колебаний (количество турбин и установленная мощность, рабочий диапазон переменной скорости и т. д.).
 - Подверженность конструкции водозабора изменениям в режиме притока воды (уровень воды, поля скоростей и т. д.).
 - Производительность и долговечность водопроводящей инфраструктуры и напорных трубопроводов.
 - Влияние изменения климата на инфраструктуру станции (служебные линии и ЛЭП, распределительное оборудование и т. д.).
 - Борьба с наносами.
- Примеры влияния на безопасность эксплуатации.
 - Способность водослива выдерживать экстремальные паводки на основе последних оценок паводков.
 - Гребень/надводный борт плотины и работа водохранилища.
 - Надежность подъездных путей.
 - Стихийные бедствия (геологические процессы, лавины, селевые потоки и т. д.).
 - Влияние наносов на закупорку донного

водосброса, риск затопления выше по течению и т. д.

- Примеры для природоохранных и многоцелевых функций (могут относиться к функциям выработки электроэнергии или функциям безопасности):
 - Потенциальное увеличение минимальных требований к стоку для видов животных и растений или экосистем, представляющих природоохранный интерес.
 - Управление сбросом наносов.
 - Миграция рыбы выше и ниже по течению.
 - Управление водохранилищем: уровень воды, качество воды.
 - Потребность в воде ниже по течению для социально-экономической деятельности (предотвращение конфликтов, ожидаемое увеличение спроса и т. д.).
 - Вопросы безопасности, связанные с быстрыми колебаниями стока.

Определите соответствующие показатели для измерения эффективности этих критериев. Эти показатели эффективности должны охватывать все потенциальные риски и возможности, внесенные в реестр, и должны опираться на следующие пункты:

- Перечень стратегических целей (функций, услуг и т. д.), которые являются ключевыми для эффективности и безопасности гидроэнергетического объекта с точки зрения максимальной выработки энергии и поддержания общей безопасности и природоохранной эффективности.
- Они должны охватывать все стратегические цели, даже и не связанные с климатом, и должны отражать влияние факторов климатического стресса на стратегические показатели.
- Они должны быть непротиворечивыми и устойчивыми в течение долгого времени, пока сохраняются стратегические цели.
- Они должны быть переведены в определенные показатели (качественно устойчивые в течение долгого времени, в том смысле, что числовые значения могут меняться со временем или при изменении ситуации).

Показатели эффективности будут использоваться на этапах 2–5.

Шаг 1.7. Взаимодействие с заинтересованными сторонами

Необходимо изложить результаты шагов 1.1–1.6 и обсудить их с соответствующими заинтересованными сторонами. На этапе 1 к соответствующим заинтересованным сторонам, в основном, относятся группы, которые отвечают за разработку (будущие проекты) или эксплуатацию (существующие объекты), а также все третьи стороны, которые прямо или косвенно заинтересованы в показателях эффективности. В частности, к таким третьим сторонам относятся стороны, которых затрагивают низкие показатели эффективности природоохранных или многоцелевых функций. Процесс взаимодействия должен предоставить заинтересованным сторонам возможность прокомментировать критерии эффективности, чтобы их цели были представлены в показателях. Для обеспечения открытости и прозрачности процесса необходимо предоставить соответствующую документацию.

Шаг 1.8. Требуется ли оценка климатических рисков?

Качественно оцените, может ли изменение климата оказать существенное влияние на проект. Сосредоточьте внимание на показателях эффективности проекта, которые могут быть так и не достигнуты, и на пороговых значениях рисков, которые потенциально могут быть превышены. В таблице 3 приведены вопросы, на которые необходимо ответить, чтобы выявить необходимость оценки климатического риска.

Если хотя бы на один вопрос получен положительный ответ, необходимо провести оценку климатических рисков: переходите к этапу 2. Если на все вопросы получен отрицательный ответ, перейдите непосредственно к этапу 5.

Таблица 3. Вопросы для выявления необходимости оценивать климатические риски.

Может ли изменение гидрологического режима существенно повлиять на экономическую эффективность гидроэнергетического проекта?	Да/Нет
Может ли изменение гидрологического режима повлиять на бесперебойность энергоснабжения/доступ к электричеству в обслуживаемом регионе?	Да/Нет
Может ли какой-либо из показателей эффективности, определенных на шаге 1.6, оказаться недостижимым из-за потенциальных последствий изменения климата?	Да/Нет
Вызовет ли прорыв основной плотины проекта или другой связанной инфраструктуры серьезные неблагоприятные последствия для населения, расположенного ниже по течению, стратегической инфраструктуры или охраняемых экосистем?	Да/Нет

Этап 2

Предварительный анализ

Цель: определить правильный подход для этапа 3 "Климатический стресс-тест" на базе анализа климатических данных и определения исходных условий.

Результат: исходные гидроклиматические условия и уточненный реестр рисков и возможностей.

На этом этапе оценка климатологических граничных условий и соответствующих характеристик проекта позволит определить, будет ли климат в течение жизненного цикла объекта (или оставшегося срока службы) существенно отличаться от климата, для которого разрабатывался (или разрабатывается) проект.

Анализ данных поможет определить исходные гидроклиматические условия (шаг 2.2) в качестве опорной точки для применения стресс-теста. На шаге 2.3 используйте результаты анализа данных, полученных на шаге 2.1, и рисков проекта, выявленных на шаге 1.5, и определите правильный подход для выполнения климатического стресс-теста на этапе 3.

С учетом результатов оценки, полученных на этом этапе, необходимо дополнительно уточнить предварительный реестр рисков и возможностей, разработанный на этапе 1.

Шаг 2.1. Сбор и анализ данных

Оцените качество и количество данных, собранных на шаге 1.2, и при необходимости соберите дополнительные данные. На этапе 2 для проведения статистического анализа, выявления тенденций и определения предварительных пределов доверительного интервала для возможных диапазонов изменения климата в будущем, необходимы данные.

Сбор данных

Если данных, полученных на шаге 1.2, недостаточно для выполнения предварительного анализа, необходимо собрать дополнительные данные. К ним относятся данные о любых доступных климатических переменных, которые относятся к делу (например, дневная температура и осадки, солнечная радиация, влажность, ветер).

С помощью электронных таблиц или статистического программного пакета соберите все исторические

гидроклиматологические данные, включая результаты измерений местных метеорологических станций в пределах (или вблизи) речного бассейна, и все доступные глобальные климатические данные с географической привязкой с временным охватом в требуемом диапазоне.

Как правило, самые надежные данные — это результаты местных наблюдений. Тем не менее, важно оценить качество данных. Необходимо сравнить местные данные с глобальными данными (например, с климатическими данными Национального центра атмосферных исследований США⁶), чтобы установить единые согласованные исходные условия. Глобальные наборы данных с геопривязкой полезны для заполнения пробелов в местных наблюдениях, сглаживания результатов местных наблюдений на больших территориях и дополнения данных недостаточно продолжительных наблюдений, особенно когда в оцениваемом бассейне имеются высокие или крутые склоны.

Анализ данных

Чтобы принять информированное решение при выборе исходных условий, проанализируйте качество данных и используйте проверенные методы заполнения пробелов в исторических записях, оцените статистику (например, среднее, стандартное отклонение, коэффициент вариации), постоянство (например, автокорреляцию и сезонность) и тенденции (например, используя тест Манна-Кендалла) для всех источников данных за все время регистрации метеорологических записей.

Если статистика различных метеорологических данных согласуется плохо, то для корректировки смещения глобальных наборов данных с геопривязкой и создания непрерывных (в пространстве и времени) записей исторического климата, можно использовать данные местных наблюдений.

Оценка долгосрочных средних значений осадков и притока воды может демонстрировать значительную неопределенность, особенно в районах с высокой междугодовой вариативностью, сильными трендами тенденциями или низкочастотными колебаниями климата. Если возможно, эту неопределенность долгосрочных средних значений следует выразить количественно. Это можно сделать с использованием анализа временных рядов и статистических методов или других подходов (таких как вейвлет-преобразование).

Для гидрологического, гидравлического и большинства других вариантов моделирования необходимо перекрытие всех имеющихся наборов данных по времени. Сначала определите период времени, доступный для калибровки модели. Это будет период, в течение которого доступны и непрерывны все данные (осадки, температура, сток, использование земли и т. д.). Как правило, ограничением для моделирования будет небольшая продолжительность регистрации притока воды.

В пределах временных рамок исторической записи о стоке подготовьте непрерывную запись климата, используя либо данные местных наблюдений непосредственно (если их достаточно), либо для корректировки смещения глобальных наборов климатических данных с геопривязкой.

Исторические данные, будь то местные наземные наблюдения или глобальные наборы данных с геопривязкой, описывают местное историческое поведение осадков, температуры и других соответствующих гидроклиматических переменных, а также показывают их траектории, формируя у нас ожидания на будущее. С другой стороны, климатические проекции (из экспериментов, выполненных с использованием модели общей циркуляции (GCM) и региональных климатических моделей (RCM)) дают представление об изменениях поведения, которые климат может претерпеть в будущем в из-за изменения процессов океан-атмосфера в результате повышения температуры окружающей среды. Климатические проекции наиболее целесообразно принимать во внимание по вопросам исторических изменений (например, больший или меньший суммарный годовой объем осадков, чуть более теплые или значительно более теплые зимы, более высокий или низкий радиационный баланс) в отличие от вопросов, требующих базовой статистики местного климата в будущем (например, будущее местное среднее значение/дисперсия осадков, будущая местная максимальная суточная температура). Модели GCM, как правило, сильно смещены по сравнению с местной климатической статистикой, но могут дать достоверную и полезную информацию о направлении изменений.

Обзор климатических проекций

Определите худшие случаи для рассмотрения на шаге 2.2 на основе наблюдаемых климатических тенденций, правдоподобных сценариев изменения климата и исследований, полученных путем анализа

последнего ансамбля проекций IPCC из Проекта взаимного сравнения парных моделей (например, CMIP5). Например, сценарии могут быть сгруппированы вместе (теплые и влажные) для упрощения сравнения, обмена информацией и разработки внутренне непротиворечивого будущего, которое будет применяться в ходе оценки.

Просмотрите климатические проекции для соответствующих переменных, таких как среднегодовые значения, сезонные колебания или изменения месячных максимальных и минимальных значений осадков и температуры. Проверьте не менее двух разных репрезентативных траекторий концентраций (RCP) (например, 4.5 и 8.5) и не менее двух будущих 30-летних периодов времени (наиболее актуальных для проекта и срока службы объекта).

Важно рассмотреть весь диапазон текущего ансамбля климатических проекций, но необходимо соблюдать осторожность, чтобы не сформировать неоправданную уверенность в отношении полных границ пространства неопределенности. Ансамбль GCM (независимо от поколения) не определяет границы всей совокупности возможных изменений климата в будущем. Например, рассмотрите возможность использования значений изменения 10-го, 50-го и 90-го процентиля (например, снижение объема осадков) из всего диапазона последних моделей (т. е. всех моделей CMIP5, использованных в документе "Пятый отчет об оценке" IPCC), чтобы получить обоснованный диапазон вероятных будущих изменений.

Для региональных климатических проекций доступен ряд источников, в том числе портал знаний по изменению климата Группы Всемирного банка⁷.

Возможно, полезными окажутся графики рассеяния ClimGen Country⁸, подготовленные Университетом Восточной Англии⁹ по самым последним данным IPCC (из центра распределения данных¹⁰).

Шаг 2.2. Определение исходных условий

Определение исходных условий является важнейшей частью оценки климатических рисков и опорной точкой для климатического стресс-теста, который выполняется на этапе 3. При оценке существующих гидроэнергетических объектов за исходные условия обычно принимаются климатические условия, по которым строился проект, или преобладающие условия в течение последнего периода эксплуатации. При оценке проектов строительства новых гидроэлектростанций исходные условия представляют собой климатические условия, для которых создан первоначальный проект.

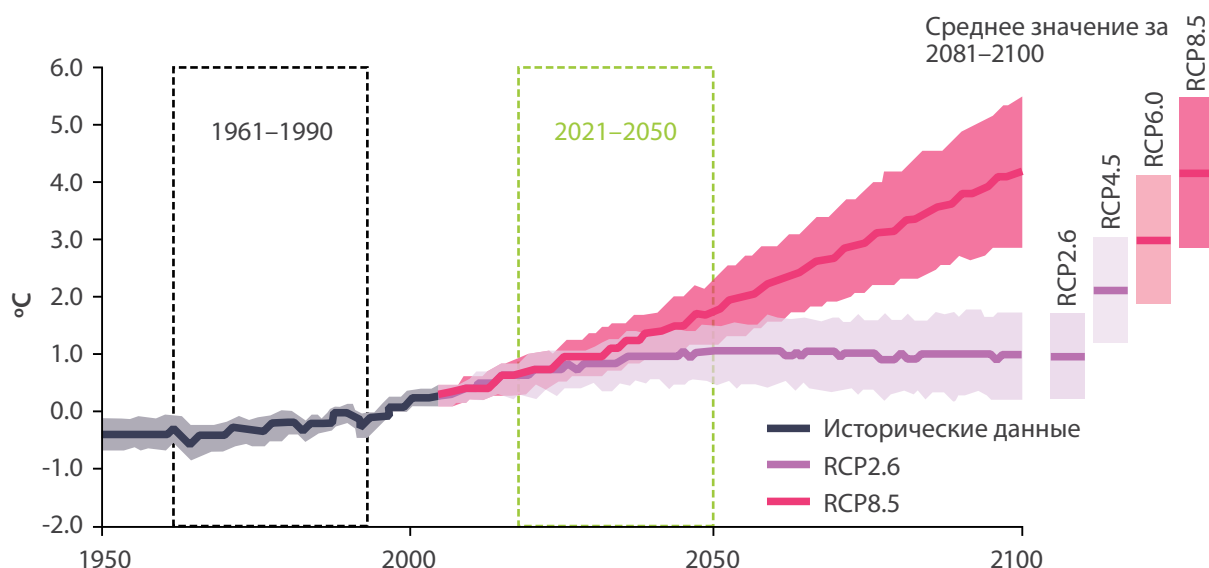
Определение исходных условий, особенно для новых проектов, основывается на результатах анализа тенденций, описанного на шаге 2.1, потому что исторический период больше не может представлять текущее состояние климата.

Анализ тенденций, выполненный на шаге 2.1, представляет собой обоснованное сравнение тенденций, наблюдаемых в исторических записях, с климатической проекцией, полученной из моделей GCM. Если тенденции и проекции согласуются с приблизительной величиной ожидаемых изменений, это позволяет определить исходные условия, а также доверительный интервал и тип функции правдоподобия, которые будут использоваться на этапе 3.

Глубоко изучив исторические наблюдения и климатические проекции, установите согласованные исходные условия, относительно которых можно измерять возможные изменения к эффективности системы в будущем.

- Во многих случаях исходные условия представляют собой гидрометеорологические условия за последние 30 лет.
- Данные за последние 30 лет не всегда доступны, и это относится ко многим регионам, где сети гидрометеорологических наблюдений пришли в негодность в конце XX века. При этом, однако, имеются данные более чем 50-летней давности. Поэтому разработка гидроэнергетических проектов в этих регионах по данным за период 1961–1990 гг. — обычная практика, поскольку за этот период обычно имеются данные приемлемого качества. Как показано на рисунке 2, это приводит к значительному риску того, что проект не подходит для климатических условий и условий стока, ожидаемых в течение первых 20–30 лет эксплуатации, которые обычно учитываются при оценке экономической эффективности проекта (например, 2021–2050 гг.). Этот риск еще выше, если учитывать среднесрочное и долгосрочное будущее, в которое может попадать физический срок службы объекта.

Рисунок 2. Прогнозируемые изменения глобальной среднегодовой температуры поверхности относительно 1986–2005 гг. (IPCC).



Поэтому в обоих случаях, если существует высокая достоверность тенденции в прошлом, для лучшего представления текущих или ближайших будущих условий разумно установить в качестве исходных условий 30-летнюю траекторию климата, которая идентична историческим данным, но с корректировкой на тенденции изменения климатической переменной. Например, 30-летняя климатическая траектория с повышением среднесуточной температуры в пределах диапазона, которое можно экстраполировать на весь ожидаемый срок службы объекта с использованием текущего или прогнозируемого тренда температуры.

Шаг 2.3. Определение подхода для этапа 3

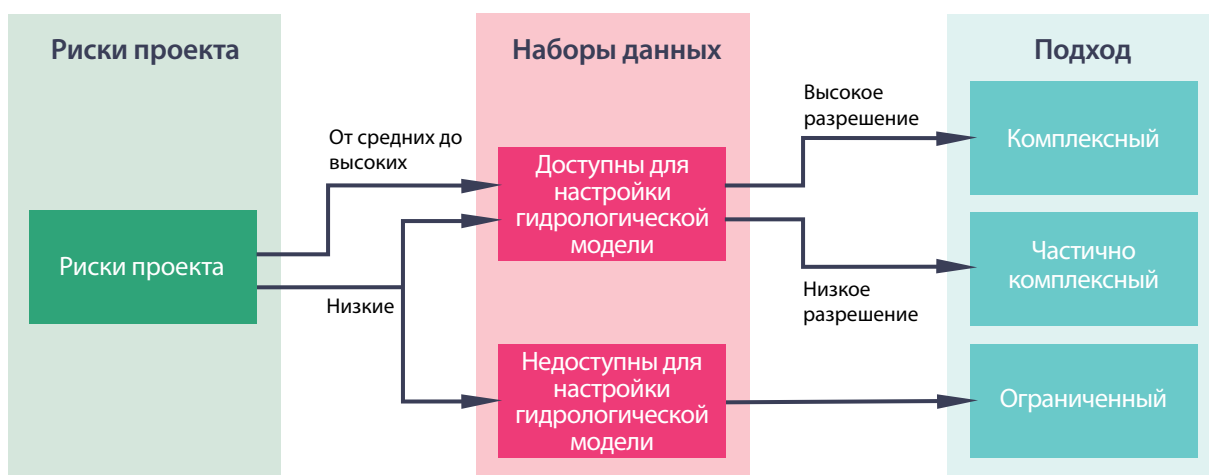
Подход, необходимый для климатического стресс-теста на этапе 3, определяется с использованием критериев, представленных на рисунке 3. Критерии основаны на уровне рисков проекта, которые записаны в реестре рисков и возможностей, созданном на шаге 1.5, и набора данных, ограниченного по количеству и качеству по результатам анализа на шаге 2.1.

Тем не менее, существенные риски изменения климата, влияющие на эффективность проекта, как указано на шаге 1.8, требуют аккуратного, тщательного подхода к оценке изменения климата. Также рекомендуется, чтобы все проекты оценивались с использованием полностью комплексного подхода.

Альтернативные подходы к этой оценке могут быть описаны следующим образом (также показаны на рисунке 3):

- Для проектов со средними и высокими потенциальными рисками, которые внесены в реестр рисков и возможностей:
 - Если низкое разрешение гидрометеорологических данных не позволяет построить непрерывную гидрологическую модель с суточным шагом по времени, и/или недоступны более крупные ансамбли проекций RCM, следует использовать частично комплексный подход, гидрологическую модель с месячным шагом и/или ограниченным количеством сценариев.
- Для проектов со низкими потенциальными рисками, внесенными в реестр рисков и возможностей:
 - Если доступны наборы данных хорошего качества, рекомендуется выполнить хотя бы частично комплексный климатический стресс-тест.
 - Если наборов данных недостаточно, и никакие другие средства для пополнения данных не доступны или экономически не эффективны, то можно использовать ограниченный подход.

Рисунок 3. Альтернативные подходы к выполнению климатического стресс-теста на этапе 3 с учетом уровня проектных рисков, доступности и качества наборов данных.



Для проектов с высокими рисками, но ограниченными по качеству и доступности данными необходимо организовать сбор данных, чтобы обеспечить возможность выполнения хотя бы частично комплексного климатического стресс-теста.

Шаг 2.4. Взаимодействие с заинтересованными сторонами

Необходимо изложить результаты этапа 2 и обсудить их с соответствующими заинтересованными сторонами. На этапе 2 соответствующие заинтересованные стороны, — это организации, занимающиеся прогнозированием, планированием и управлением изменением климата, такие как государственные органы, финансирующие учреждения, технические службы или учреждения. С соответствующими заинтересованными сторонами,

деятельность которых включает использование реки или воды ниже по течению, также следует консультироваться, если они не были вовлечены в консультации на этапе 1 или если возникли новые вопросы, которые необходимо обсудить с ними.

Решение об исходных условиях и необходимом подходе к стресс-тесту необходимо обсуждать с этими заинтересованными сторонами, поскольку оно будет существенно влиять на результаты оценки климатического риска.

Кроме того, следует обсудить с заинтересованными сторонами первоначальный реестр рисков и возможностей, разработанный на этапе 1, и дополнительные риски и возможности, которые могут возникнуть из результатов шагов 2.2 и 2.3, и которые,

Этап 3

Климатический стресс-тест

Цель: оценить эффективность проекта при различных возможных климатических сценариях в будущем, чтобы помочь при принятии решений по проектированию и эксплуатации климатически устойчивого объекта, количественно оценить климатические риски.

Результат: обновленный реестр рисков и возможностей.

На этапе 3 эффективность проекта оценивается с учетом дополнительных факторов стресса, которые могут быть вызваны изменением климата, посредством климатического стресс-теста в соответствии с подходом, определенным на шаге 2.3.

В таблице 4 показаны методы моделирования и выбор возможных будущих климатических сценариев, предлагаемых для выполнения соответствующего климатического стресс-теста для каждого из этих подходов.

Эффективность существующего или планируемого проекта по основным функциям, определенным на шаге 1.6, оценивается с учетом уже выявленных рисков, дополнительно внесенных в реестр рисков и возможностей на шаге 2.5. Исходные условия принимаются в качестве опорной точки, как определено на шаге 2.2.

В таблице 4 также приведены некоторые относящиеся к гидроэнергетическим проектам рекомендации по

моделированию экстремальных паводков; однако для них характерна существенная неопределенность. Оценка величины экстремальных явлений в условиях изменения климата связана с еще большей неопределенностью. Поэтому во многих случаях без достаточных данных будет невозможно количественно оценить воздействие изменения климата, и придется выполнять качественную оценку рисков, связанных с экстремальными паводками.

Результатом этого этапа является описание работы объекта в различных климатических условиях и выявление условий, при которых проект неэффективен. Этап 3 позволяет понять, являются ли условия, к которым уязвим проект, достаточно серьезными (с точки зрения вероятности и воздействия), чтобы обеспечивать защитные меры адаптации. Этап 4 служит для определения этих мер адаптации. Если при выполнении климатического стресс-теста никаких рисков не выявлено, проект признается устойчивым к изменению климата, и, следовательно, оценка переходит к этапу 5.

Таблица 4. Подходы к климатическим стресс-тестам

Подход	Метод: гидрологическая модель	Метод: моделирование экстремальных паводков	Выбор сценариев будущего климата	Стресс-тест
Комплексный	Гидрологическая модель с суточным шагом по времени; прямой подход	<ul style="list-style-type: none"> Анализ частоты паводков с численным моделированием Моделирование PMF на основе статистического или метеорологического подхода к RMP 	Совокупность климатических проекций на основе GCM или RCM	Многофакторный анализ чувствительности (как минимум) осадков и температуры в средних и экстремальных значениях
Частично комплексный	Гидрологическая модель, по меньшей мере, с месячным шагом по времени; подход изменения приращений или прямой подход	<ul style="list-style-type: none"> Анализ частоты паводков Моделирование PMF, как в комплексном подходе, или аппроксимация с помощью уравнения Клаузиуса-Клапейрона 	Наблюдаемые тенденции и как минимум три достоверных на местном уровне климатических проекции на основе моделей GCM или RCM (оптимистическая, средняя, пессимистическая); как обсуждается на шаге 2.2, рекомендуется использовать значения изменения 10-го, 50-го и 90-го процентиля	Одномерный или двумерный анализ чувствительности проекта к осадкам и температуре; для PMF с изменениями RMP
Ограниченный	<ul style="list-style-type: none"> Регрессионные модели Модели Будыко Модель исторических климатических аналогий 	<ul style="list-style-type: none"> Эмпирические методы Анализ частоты паводков 	Наблюдаемые тенденции и центр тяжести для текущей совокупности GCM	Одномерный или двумерный анализ чувствительности проекта к осадкам и температуре

Шаг 3.1. Комплексный подход

Этот подход представляет собой многомерный анализ чувствительности и позволяет оценить влияние изменений климатических переменных (таких, как осадки и температура) на изменчивость климата (межгодовая, сезонная, кратковременная) и экстремальные явления. Пример этого подхода приведен в Приложении Е.

Гидрологическое моделирование

В этом подходе гидрологическая модель должна представлять собой непрерывную модель с суточным или более высоким разрешением. Климатологические данные для модели также можно создать с помощью генератора погоды¹¹.

Можно применять как концептуальные, так и физические модели. Физические модели требуют правильной параметризации для представления процесса формирования стока. Эти модели актуальны для водосборов, где метеорологические переменные, отличные от осадков и температуры (например, радиация и скорость ветра могут оказывать сильное влияние на таяние снега и суммарное испарение), играют важную роль в процессе формирования стока, или если необходимо учитывать изменения в землепользовании.

Модели должны быть тщательно откалиброваны (параметризованы) и должны быть проверены с использованием отдельных исторических периодов (тест с использованием расщепленной выборки). Эффективность модели для периодов калибровки и

проверки должна оцениваться как качественно (на основе сравнения наблюдаемых и смоделированных диаграмм стока), так и с использованием количественных показателей (таких как эффективность Клинга-Гупты, эффективность Нэша-Сатклиффа, смещение, сумма квадратов отклонений и/или другие статистические показатели). Значительные смещения модели не могут быть приняты. Важно обеспечить хорошее соответствие гидрологической модели как для периодов калибровки, так и для периодов проверки.

По завершении процессов калибровки и проверки гидрологическая модель (в сочетании с гидроэнергетическими и экономическими моделями) используется для стресс-тестирования. Гидрологическая модель также может быть дополнена моделью управления стоками, которая позволяет учитывать различные сценарии развития в бассейне реки выше по течению. Это может быть важно для бассейнов, которые испытывают нехватку воды и где изменение климата действует в качестве мультипликатора потенциальной угрозы (как определено на шаге 1.3).

Экстремальные паводки

Для расчета проектных паводков для гидроэнергетического проекта важно глубоко понимать, как влияет изменение климата на экстремальные явления. Проектные паводки и предельные безопасные паводки обычно определяются из анализа частоты паводков и/или оценок вероятного максимального паводка (PMF).

- Анализ частоты паводков

Анализ частоты паводков — это набор статистических методов, которые позволяют оценить величину паводка с заданным интервалом повторения на основе анализа наблюдаемых (или смоделированных) паводков. Чтобы оценить влияние изменения климата на частоту паводков, необходимо смоделировать ряд паводков по меньшей мере за 30 лет с помощью непрерывной гидрологической модели.

Гидрологические модели позволяют понять процессы, лежащие в основе возникновения экстремальных паводков в водосборном бассейне проекта. В простейшем случае модель работает с историческими метеорологическими входными данными, которые затем изменяются, чтобы оценить влияние возможных изменений климата на гидрологию паводков.

Стохастические генераторы погоды (откалиброванные по историческим данным) могут значительно улучшить процесс, так как они позволяют моделировать очень длинные временные ряды, тем самым уменьшая неопределенность анализа частоты паводков, возникающую вследствие ограниченного размера выборки исторических записей.

Моделирование позволит определить приращения масштабов паводков (для заданного интервала повторения), моделируемых для исторических и будущих условий. Это дает представление о том, могут ли условия в будущем привести к увеличению или уменьшению паводка по сравнению с исходными условиями.

В случае увеличения масштаба паводка приращение, найденное для заданных интервалов повторения, должно быть наложено на масштабы паводка, полученные из исторических записей, чтобы скорректировать расчетный паводок в будущих условиях.

В случае уменьшения не рекомендуется корректировать или уменьшать расчетные паводки, полученные из анализа частоты паводков.

- Вероятный максимум паводка (PMF)

Оценки PMF основаны на детерминистической концепции, в соответствии с которой определяется вероятный максимум осадков (RMP) и затем преобразуется в PMF с использованием модели осадки-стоки.

Чтобы учесть будущие климатические условия в рамках комплексного подхода, при расчете RMP требуется использовать метеорологический подход (например, как описано ВМО, 2009 г.), который учитывает различные метеорологические параметры, подверженные влиянию климатических изменений.

Наиболее чувствительным параметром в оценках RMP при изменении климата, вероятно, является максимальная температура точки росы, поскольку она определяет наличие влаги (влажность). Если в будущем предполагаются более высокие температуры воздуха по сравнению с исходными условиями, это также должно отразиться на температуре точки росы, учитываемой при оценке RMP. К другим параметрам, подверженным влиянию климатических изменений, относятся кривые зависимости слоя осадков от площади их распространения, типы и эффективность штормов. Для каждого сценария RMP можно смоделировать диаграмму стока PMF с использованием правильно откалиброванной гидрологической модели (непрерывного или событийного типа).

Эту процедуру следует повторить для ряда возможных климатических вариантов будущего. Поскольку метеорологическая оценка RMP является трудоемкой задачей, число сценариев, оцениваемых в ходе климатического стресс-теста, обычно довольно невелико. Поэтому следует уделить внимание нескольким ожидаемым сценариям (например, рассмотреть наиболее вероятный сценарий, а также наихудший сценарий), учитывающим максимальное повышение температуры, которое ожидается в будущем в результате потепления климата.

Изменение климата может повысить гидрологические и геологические риски, включая GLOF, оползни и ледопавы, которые могут повлиять на гидроэнергетический проект. Для выявленных серьезных опасностей целесообразно разработать гидродинамические или геологические числовые модели и провести геологические и гляциологические исследования на местах, которые позволят оценить опасность экстремальных явлений.

Рисунок 4. Представление моделей, которые можно использовать в стресс-тесте.



Сценарии будущего и климатический стресс-тест

Для оценки выработки энергии и экономической эффективности гидроэнергетического проекта в условиях изменения климата гидрологическая модель должна сочетаться с гидроэнергетической и экономической моделями. На рисунке 4 представлена последовательность использования моделей для моделирования данных о стоке, выработке энергии и экономической эффективности.

Данные о притоке воды, полученные в гидрологической модели, служат входными данными для гидроэнергетической модели. Гидроэнергетическая модель, которая обычно включает в себя модели работы водохранилища и гидроэлектростанции, преобразует данные о притоке воды в данные о выработке энергии. Наконец, экономическая модель преобразует данные о выработке энергии в экономические показатели. Этими экономическими моделями могут быть методы дисконтирования денежных потоков на основе конкретной тарифной схемы или прогноза цен на электроэнергию.

Первоначально стресс-тест должен моделировать выработку электроэнергии (с использованием гидроэнергетической модели) и показатели экономической эффективности (с использованием экономической модели) для исходного состояния.

Затем с помощью стресс-теста оценивается диапазон возможных климатических сценариев, определенных на шаге 2.2, а также возмущенные стохастические климатические траектории, которые фиксируют диапазон возможных вариантов будущего климата, представленных полным текущим ансамблем климатических проекций на основе GCM или RCM, а также более широкий диапазон возможных вариантов будущего климата для изучения границ, за которыми система работать не может.

Шаг 3.2. Частично комплексный подход

В этом подходе используется одномерный или двумерный анализ чувствительности проекта к осадкам и температуре.

Гидрологическое моделирование

В этом подходе гидрологическая модель должна представлять собой модель непрерывного водного баланса, желательно с суточным разрешением или, по крайней мере, с месячным разрешением. Как и на шаге 3.1, можно применять как концептуальные, так и физические модели.

В отличие от комплексного подхода (шаг 3.1), в гидрологической модели допустимо некоторое смещение. Это смещение, однако, необходимо исправить перед выполнением стресс-теста. В зависимости от смещения модели можно рассмотреть два различных подхода к моделированию:

- Прямой подход (как описано на шаге 3.1): если гидрологическая модель является несмещенной, ее можно напрямую связать с моделью гидроэнергетики, которая будет использоваться для стресс-тестирования.
- Подход с приращениями: гидрологическая модель используется только для моделирования

разности (приращения) в рядах притока воды между историческими исходными условиями и определенными условиями измененного климата. (приращения) в рядах стока между историческими исходными условиями и определенными условиями измененного климата. Затем это приращение добавляется к наблюдаемым рядам притока воды за исторический исходный период. Затем модифицированные наблюдаемые ряды притока воды, представляющие определенные климатические условия, вводятся в модель гидроэнергетики.

Экстремальные паводки

- Анализ частоты паводков

Если имеется гидрологическая модель с суточным разрешением, для оценки возможного изменения частоты паводков следует применять анализ, который описан для комплексного подхода на шаге 3.1. Если доступна гидрологическая модель только с месячным разрешением, анализ возможного изменения экстремальных паводков должен опираться на более качественную оценку. Для этого требуется базовое понимание факторов, влияющих на экстремальные паводки в регионе (например, влияние осадков или таяния снега), и того, как эти факторы могут измениться в будущих климатических условиях. Даже гидрологическая модель с месячным разрешением может дать некоторую полезную информацию для такого понимания. Если есть признаки того, что паводки могут стать более частыми и экстремальными, при оценке расчетного паводка рекомендуется проявить некоторый консерватизм.

- Вероятный максимум паводка (PMF)

Для оценки PMF (если применимо) можно применять тот же подход, что и для полностью комплексного подхода на шаге 3.1. Если из-за ограниченности данных и ресурсов невозможно выполнить метеорологическую оценку PMF, полезно использовать некоторую аппроксимацию. Например, уравнение Клаузиуса-Клапейрона описывает влагоемкость атмосферы как функцию температуры. При изменении средней температуры атмосферы на 1 °C целесообразно увеличить влагоемкость атмосферы примерно на 7 % и пропорционально увеличить PMF. В любом случае, в сценариях будущего глобального потепления не рекомендуется изучать снижение PMF.

Сценарии будущего и климатический стресс-тест

Первоначально следует выполнить тест, основанный на прямом подходе или на анализе приращений, в котором моделируется эффективность для исходных условий, а также хотя бы для трех достоверных на местном уровне климатических проекций на основе моделей GCM или RCM (оптимистическая, средняя

и пессимистическая проекция). Рекомендуется, чтобы эти сценарии отражали диапазон сценариев выбросов IPCC (например, RCP 4,5 (т. е. оптимистический сценарий), RCP 4,5+8,5 (т. е. средний сценарий), RCP 8,5 (т. е. пессимистический сценарий)). Можно использовать 50-й процентиль изменений из ансамбля CMIP5. Кроме того, следует провести одномерный или двумерный анализ чувствительности для расширенного диапазона возможных изменений среднего количества осадков и температуры. Рекомендуется, чтобы этот диапазон покрывал 10-й и 90-й процентиля изменений упомянутых выше сценариев.

Шаг 3.3. Ограниченный подход

В этом сильно упрощенном подходе используется одномерный или двумерный анализ чувствительности проекта к осадкам и температуре. Однако в этом случае методы определяются ограничениями в наборах данных, что делает их недостаточными для настройки и калибровки гидрологической модели.

Гидрологическое моделирование

Для оценки эффективности проекта в условиях будущего климата можно использовать упрощенные методы, такие как регрессионные модели, модели водного баланса Будыко и исторические климатические аналогии.

- Регрессионная модель

В большинстве регионов, для которых имеются записи за достаточно продолжительный период времени, можно выявить (линейную или нелинейную) корреляцию между годовым количеством осадков в водосборном бассейне и годовым стоком. Таким образом, на основе исторических данных об осадках и стоках можно определить функцию регрессии между этими двумя параметрами. Затем эту функцию можно использовать для получения годовых рядов стока для моделей климата, в которых осадки отличаются от исторических данных.

Хотя этот метод нельзя использовать для анализа воздействия температурных изменений, он позволяет проводить простой анализ чувствительности к изменению количества осадков.

- Модели водного баланса Будыко

Система Будыко представляет собой широко используемое представление водного баланса земной поверхности, в котором описано распределение среднегодовых осадков между стоком и суммарным испарением в виде функции отношения осадков к потенциальному суммарному испарению. Если известны компоненты среднегодового водного баланса водосборного бассейна (среднегодовое количество осадков, суммарное испарение и сток), можно определить функцию Будыко. Затем эту функцию можно использовать для того, чтобы оценить влияние

изменений среднегодовых значений потенциального суммарного испарения (обусловленного температурой воздуха) или количества осадков на среднегодовой сток.

Применимость модели Будыко ограничена (например, она не позволяет оценивать сезонные изменения условий стока и не точна для регионов, в которых важно учитывать накопление и таяние снега). Тем не менее, ее можно использовать в качестве ориентировочного метода почти для любого типа водосборного бассейна.

- Исторические климатические аналогии

Если наблюдаются сильные сезонные колебания стока и значительное влияние таяния снега, исторические климатические аналогии могут давать более качественную картину гидрологических режимов, чем модель Будыко.

Этот метод можно применять, если есть записи о стоках и ориентировочные данные об осадках и температуре по меньшей мере за 30 лет. Используя эти ряды данных по температуре и осадкам, из записей о стоках можно извлечь 10 самых жарких (или 10 самых влажных, самых сухих и т. д.) лет. Для этих меньших выборок можно рассчитать диаграмму среднего стока или кривую обеспеченности стока. Обычно эти результаты дают некоторое представление об изменениях режима стока, которые можно ожидать в будущем, когда климат станет теплее (или влажнее, суше и т. д.) по сравнению с исходными условиями.

Климатические аналогии позволяют оценить сезонные изменения режима стока. Однако этот метод не очень хорошо работает в случаях, когда изменения выходят за пределы диапазона исторических наблюдений.

Более качественную информацию об ожидаемых изменениях можно получить, объединяя несколько методов. Например, изменение среднегодового притока воды можно получить из модели Будыко, а ориентировочные данные ожидаемых сезонных изменений — из исторических климатических аналогий. Тогда в качестве окончательного результата можно будет использовать измененные ряды притока воды или измененные кривые обеспеченности притока воды. Затем эти данные о притоке воды можно объединить с гидроэнергетическими и экономическими моделями, которые будут использоваться для оценки объема вырабатываемой электроэнергии и определения экономической эффективности.

Экстремальные паводки

В водосборных бассейнах, для которых имеется мало данных о стоках, расчетные паводки для исторических условий обычно получают на основе эмпирических методов или анализа частоты паводков в регионе. Для таких результатов характерна значительная неопределенность, так как остается открытым вопрос о применимости таких функций в будущем, и практическая невозможность получить количественную оценку воздействия климатических изменений.

Поэтому рекомендуется оценивать возможные изменения экстремальных паводков и их частоты более качественно. Для этого требуется базовое понимание факторов, влияющих на экстремальные паводки в регионе (например, влияние осадков или таяния снега), и того, как эти факторы могут измениться в будущих климатических условиях. Если есть признаки того, что паводки могут стать более частыми и экстремальными, при оценке расчетного паводка рекомендуется проявить некоторый консерватизм.

Климатический стресс-тест (упрощенный для анализа чувствительности)

На первом шаге необходимо сделать оценку исходных условий и по крайней мере одного сценария, который считается репрезентативным примером для будущих климатических условий, например, центр тяжести водосбора для текущего ансамбля моделей общей циркуляции (GCM), такой как CMIP5.

На втором шаге следует провести анализ чувствительности, охватывающий диапазон возможных изменений среднегодовых осадков и температуры, полученных из ансамбля GCM. Кроме того, этот диапазон можно расширить, чтобы определить условия отказа от проекта с учетом выработки энергии и экономической эффективности. Анализ чувствительности можно проводить отдельно для температуры и осадков (одномерный анализ) или для сочетания двух переменных (двумерный анализ).

Шаг 3.4. Взаимодействие с заинтересованными сторонами

Необходимо изложить результаты стресс-теста, выполненного на шаге 3.1, 3.2 или 3.3, в которых представлены риски проекта, и обсудить их с соответствующими заинтересованными сторонами. На этапе 3 к соответствующим заинтересованным сторонам, в основном, относятся специалисты по гидроэнергетике и изменению климата, а также технические службы/учреждения, занимающиеся вопросами выработки энергии и безопасности

гидроэнергетики. Процесс взаимодействия должен предоставить заинтересованным сторонам возможность внести комментарии в результаты этапа 3.1, 3.2 или 3.3. Для обеспечения открытости и прозрачности процесса необходимо предоставить соответствующую документацию.

Шаг 3.5. Обновление реестра рисков и возможностей

Результатом климатического стресс-теста на этапе 3 является рекомендация о том, считать ли планируемый или существующий проект уязвимым к изменению климата по показателям эффективности, согласованным на шаге 1.6, и предложения относительно масштабов и вероятности использования мер адаптации.

По результатам стресс-теста на шаге 3.1 (или 3.2 или 3.3) проверьте и обновите реестр рисков и возможностей. Реестр рисков и возможностей должен отражать вероятность рисков и возможностей проекта, рассчитанных на этапе 3, в частности на шагах 3.1 и 3.2, при изменении климата.

Этап 4

Управление климатическими рисками

Цель: адаптировать проект (или сделать его более адаптивным), чтобы обеспечить его устойчивость к изменению климата с сохранением его экономической эффективности, целесообразности и обоснованности.

Результат: разработка климатически устойчивого проекта. Разработка плана управления климатическими рисками (CRMP).

Этот этап нацелен на адаптацию проекта, который должен справиться с климатическими рисками в условиях уязвимости, выявленных на этапе 3. Шаг 4.1 поможет выявить и выбрать меры по обеспечению устойчивости проекта (шаг 4.2), необходимые для управления климатическими рисками, выявленными на этапе 3. Этот этап включает в себя несколько итераций между шагами и использование результатов этапа 3.

В случае новых проектов или проектов реконструкции этот этап будет выполняться на заключительной стадии технико-экономического обоснования после определения всех компонентов проекта.

Результаты анализа устойчивости, полученные на шаге 4.3, покажут, является ли проект устойчивым. Если меры по обеспечению устойчивости не позволяют гарантировать устойчивость проекта, и в проект требуется внести серьезные изменения, необходимо повторно выполнить этап 1 для измененного проекта.

Если проект признан устойчивым к изменению климата, разработайте план CRMP, который содержит уточненный реестр рисков и возможностей и учитывает меры по обеспечению устойчивости, согласованные на шаге 4.5. Наконец, перейдите к этапу 5 для продолжения оценки.

Шаг 4.1. Выявление мер по обеспечению устойчивости

По результатам этапа 3 определите набор мер адаптации по обеспечению устойчивости, которые (по отдельности или в сочетании) повысят эффективность проекта с учетом изменения климата. См. список примеров в Приложении С.

При определении мер адаптации по обеспечению устойчивости следует учитывать следующие соображения:

- Успешная адаптация должна представлять собой сочетание структурных и функциональных изменений в сочетании с высокой степенью сотрудничества между специалистами в различных дисциплинах (например, между инженерными, природоохранными и социальными службами), как отмечается в бюллетене ICOLD 2016 года "Глобальное изменение климата, плотины, водохранилища и связанные с ними водные ресурсы". Примеры структурных и функциональных мер адаптации приведены в Приложении С.
- На этапе 4.3 инвестиции, необходимые для снижения потенциальных угроз для безопасности инфраструктуры, должны иметь более высокий приоритет, чем инвестиции, необходимые для снижения потенциальных угроз для других стратегических целей и функций проекта (таких как выработка энергии, окружающая среда и другие преимущества проекта, например водоснабжение для орошения).

- Меры по снижению потенциальных угроз для безопасности следует выявлять в первую очередь для правдоподобных пессимистических сценариев. Выбор мер по снижению рисков, связанных с выработкой энергии и другими стратегическими функциями проекта, может быть основан на результатах экономического моделирования для различных сценариев (в дополнение к сценарию, который предпочитают заинтересованные стороны). Можно также использовать дополнительные сценарии с почти нулевой ставкой дисконтирования. Это поможет определить долгосрочные социальные последствия, выходящие за пределы временного горизонта, который непосредственно интересует застройщиков.
- Главной целью всех мер по обеспечению устойчивости должна быть адаптивность. Из-за неопределенности, присущей текущему и будущему изменению климата, важно, чтобы выбранные меры по обеспечению устойчивости допускали адаптацию в будущем. Эти меры не должны ограничивать проект структурными или эксплуатационными конфигурациями, которые нельзя будет изменить или адаптировать, если реализуются непредвиденные климатические сценарии (например, они должны допускать возможность увеличения пропускной способности водосливов и/или трансформации паводка в будущем, установку дополнительных турбин в электростанции, реагирование на будущие потребности в водных ресурсах).
- Эти меры должны повысить устойчивость проекта, оставаясь при этом экономически приемлемыми и эффективными.

Шаг 4.2. Варианты модифицированного проекта

Основываясь на структурных и функциональных мерах, выбранных на шаге 4.1, определите варианты модификации проекта, позволяющие повысить устойчивость проекта и снизить климатические риски.

Каждый модифицированный вариант проекта будет содержать одну или несколько мер по обеспечению устойчивости (функциональных и/или структурных), определенных на шаге 4.1. Эти проекты будут протестированы на устойчивость на шаге 4.3. Набор модифицированных проектов может варьироваться от проектов с минимальными изменениями до проектов с более значительными изменениями.

В некоторых случаях эти варианты модифицированных проектов можно выявлять с помощью экспертных заключений специалистов. В других случаях для выбора перспективных комбинаций вариантов можно использовать надежные методы оптимизации (обсуждаемые в Приложении D). В целом, диапазон практически доступных модификаций будет шире для новых проектов или проектов крупной реконструкции, чем для действующих проектов. При выборе

нескольких модифицированных проектов ключевые заинтересованные стороны (то есть заказчики/застройщики) могут учитывать следующие факторы:

- Существующие проекты: оцените, можно ли внедрить простые структурные и функциональные меры в существующие компоненты и операции.
- Планируемые проекты: определите наилучший осуществимый вариант проекта (с учетом информации на данный момент), в котором показатели эффективности сбалансированы с возможностями будущих изменений. Выполните разностный анализ затрат и выгод по ключевым компонентам проекта, которые подлежат оптимизации.
- Будущие проекты: оцените варианты проектов, которые могут быть экономически эффективными и гибкими, а также могут быть модифицированы для различных климатических сценариев в соответствии с адаптивным подходом (например, увеличение водохранилища, различные площадки для новых проектов).

Шаг 4.3. Анализ устойчивости

После выявления мер по обеспечению устойчивости на шаге 4.1 и выбора вариантов модифицированного проекта на шаге 4.2 необходимо оценить способность каждого варианта снизить потенциальные риски, одновременно удовлетворяя указанным показателям эффективности для будущих климатических сценариев.

Эти варианты необходимо будет повторно проверить с помощью моделей, созданных на этапе 3, путем проведения климатического стресс-теста. В некоторых случаях будет достаточно использовать меньшее количество климатических сценариев (например, только более оптимистические и пессимистические сценарии). В других случаях потребуются полный набор альтернативных климатических проекций. Нельзя проводить анализ на основе только одного сценария.

Чтобы определить наиболее устойчивый вариант проекта с использованием результатов оценки вариантов:

- Рассчитайте возможные потери для каждого измененного варианта проекта в каждом сценарии. Возможные потери проекта в любом сценарии — это разница между эффективностью этого проекта в этом сценарии и эффективностью наилучшего проекта в этом сценарии. Обратите внимание, что каждый проект будет иметь отдельное значение потерь для каждого показателя эффективности, представляющего интерес. Дополнительная информация о расчете потерь приведена в Приложении E.

- Примените два критерия для принятия решения:
 - Наименьшие максимальные потери: после определения максимальных потерь для каждого варианта проекта можно считать, что проект с наименьшими максимальными потерями является наиболее устойчивым вариантом.
 - Допустимые потери: каждый показатель эффективности может иметь приемлемый уровень потерь, определенный и согласованный с ключевыми заинтересованными сторонами (например, если при любом сценарии фактическая выработка электроэнергии отличается от максимально возможной выработки не более чем на 10 %, это может считаться достаточным). Этот критерий говорит о том, что проект, для которого потери находятся в пределах допустимых потерь для наибольшего числа сценариев, является наиболее надежным. Он также позволяет выбрать проект, который в самом широком диапазоне сценариев работает хорошо по сравнению с альтернативными проектами. При этом будет выбран проект, аналогичный тому, который был бы выбран, если бы все сценарии считались одинаково вероятными.
- Решите, какой проект является наиболее климатически устойчивым:
 - Если два приведенных выше критерия приводят к одному и тому же варианту проекта, вариант, выявленный на шаге 4.2, демонстрирует устойчивость к широкому кругу непредсказуемых изменений климата при реализации мер, выбранных на шаге 4.1 для этого варианта.
 - В противном случае вернитесь к шагу 4.1, чтобы выявить дополнительные варианты для рассмотрения, или более широкий анализ, как указано в Приложении D "Принятие решений в условиях неопределенности" (DMU).
 - Если во оценки на шаге 4.2 не удастся выявить устойчивый проект, можно выполнить следующие действия:
 - Дополнительно скорректировать проект, если есть отдельная характеристика, которая, как было показано, не соответствует требованиям устойчивости (например, можно увеличить объем водохранилища, чтобы учесть более высокие пиковые паводки, или изменить проект плотины, чтобы переполнение при экстремальных паводках не приводило к нарушению работы). В этом случае проектирование возвращается к этапу 3.

- Изменить проект, если проект в целом или его компоненты не отвечают требованиям устойчивости (например, риск крупного оползня в водохранилище может привести к переполнению плотины). В этом случае проектирование возвращается к этапу 1.
- Проект можно признать слишком рискованным и отказаться от него в пользу альтернативного варианта (на данном этапе альтернатива "ничего не делать" является приемлемым вариантом).

Шаг 4.4. Обновление реестра рисков и возможностей

Необходимо доработать и обновить реестр рисков и возможностей с учетом результатов шага 4.3 и включить в него выбранные на шаге 4.1 меры устойчивости, связанные с выбранным устойчивым проектом.

Шаг 4.5. Взаимодействие с заинтересованными сторонами

Необходимо изложить результаты шагов 4.1, 4.2 и 4.3 и обсудить их с соответствующими заинтересованными сторонами. К этим соответствующим заинтересованным сторонам относится любая третья сторона, которая прямо или косвенно заинтересована в достижениях показателей эффективности или в реализации Плана управления климатической устойчивостью. Процесс взаимодействия должен предоставить заинтересованным сторонам возможность внести комментарии в CRMP. Для обеспечения открытости и прозрачности процесса необходимо предоставить соответствующую документацию.

Если в процессе взаимодействия с заинтересованными сторонами выявляются фактические проблемы, которые не были предусмотрены в CRMP, разработчик должен рассмотреть возможность изменения плана.

Шаг 4.6. План управления климатическими рисками

План CRMP должен включать в себя реестр рисков и возможностей, показатели эффективности и меры по обеспечению устойчивости. По каждой из мер по обеспечению устойчивости должны быть приведены подробные описания, в том числе подробное техническое описание, описание подготовительных этапов, таких как дополнительные исследования, механизмы реализации, прямые затраты и внешние факторы, сроки реализации и список вовлеченных третьих сторон. Необходимо четко определить ответственность за каждую из этих мер по обеспечению устойчивости и разработать график предлагаемых действий.

Получите соответствующее одобрение на высшем уровне и подписи на бюджете, выделенном для реализации CRMP. После согласования бюджета/финансирования, внедрите план в процесс проектирования.

План CRMP должен включать в себя процессы O&M или ссылки на эти процессы, необходимые для реализации мер по обеспечению устойчивости, а также План действий в чрезвычайных ситуациях (ЕАР), если он уже существует.

План мониторинга, оценки и отчетности (MER) будет контролировать успешное и своевременное внедрение CRMP.

Этап 5

Мониторинг, оценка и отчетность

Цель: отслеживать устойчивость проекта в эксплуатации, и обеспечивать мониторинг, отчетность, оценку и обновление Плана управления климатической устойчивостью.

Результат: план мониторинга, оценки и отчетности (MER).

Весь процесс представляет собой цикл обратной связи адаптивного управления. Поэтому предусмотрен этот последний этап, позволяющий отслеживать устойчивость проекта в эксплуатации, и обеспечивать мониторинг, отчетность, оценку и обновление Плана управления климатическими рисками.

Ключевым элементом этого этапа является согласование набора "триггеров" для пересмотра и обновления плана управления климатической устойчивостью. При этом следует помнить, что климатическая устойчивость по своей природе должна оцениваться за относительно длительные промежутки времени с учетом характера изменчивости климата: один или два относительно "плохих" года подряд (например, с низким притоком воды для выработки гидроэлектроэнергии с или высокими паводками, влияющими на безопасность плотины) еще не означают, что требуется глубокий пересмотр вариантов проекта или мер обеспечения устойчивости.

План MER должен быть объединен с планом управления климатическими рисками и связан с планом эксплуатации и техобслуживания. Если проектирование перешло к этапу 5 непосредственно из этапа 1, план MER должен быть объединен с планом эксплуатации и техобслуживания, связан с регулярными интервалами отчетности и основан на упорядоченных по приоритету мерах, включая распределение обязанностей и ответственности за действия.

Шаг 5.1. План мониторинга климатической устойчивости

План мониторинга климатической устойчивости должен быть связан с планом эксплуатации и техобслуживания объекта. Он может быть воспроизведен в Плане управления климатическими рисками, либо упомянут в соответствующем разделе плана эксплуатации и техобслуживания.

Для каждого климатического риска в реестре рисков укажите:

- Как будет выполняться мониторинг и создаваться отчетность в отношении мер обеспечения устойчивости, которые помогают удерживать риск на приемлемом уровне, необходимо ли будет реализовать какой-либо процесс или провести дополнительный или новый сбор данных.
- Как будут извлекаться уроки из произошедших событий.
- Когда будет выполняться мониторинг и создаваться отчетность, вносящие вклад в процесс оценки.
- Кто отвечает за мониторинг, отчетность и оценку каждого действия.
- Набор данных (тип и частота сбора данных), которые необходимо регулярно собирать для будущих оценок климатического риска, распределение обязанностей и наличие бюджетов для их сбора: данные охватывают гидрометеорологические параметры в водосборном бассейне, а также параметры стихийных бедствий (например, в горных районах, покрытых льдом). Сюда могут относиться внутренние данные или данные полученные из внешних источников. Набор данных должен быть согласован с данными, использованными в ходе предыдущей оценки климатического риска.
- Должны быть определены внутренние или внешние ресурсы, оборудование и средства, необходимые для получения этих данных. Участие и поддержка местных и региональных властей, выявленных при выполнении требования 3, могут иметь фундаментальное значение для мониторинга.

- Должны быть согласованы ресурсы и усилия, предпринимаемые на этапе 5.

Шаг 5.2. Оценка и переоценка климатических рисков

Согласованный набор требований приведет к повторному анализу и обновлению плана управления климатическими рисками. В любом случае, как и при выполнении других оценок, таких как проверка соблюдения требований безопасности, предельным сроком для полной переоценки (т. е. для возврата к этапу 1) должен быть промежуток в 10 лет.

В качестве оснований для выполнения более глубокой переоценки можно рассматривать следующие причины:

- Значительные долгосрочные изменения перспектив или тенденций изменения климата, например новые научные данные (например, новые проекции в модели общей циркуляции).
- Новые конкурирующие водопользователи, нормативные изменения, влияющие на использование или доступность воды и т. д., которые могут быть связаны или не связаны с изменением климата.
- Новое и неожиданное событие или последовательность событий, которые связаны с климатом или стихийными бедствиями (например, крупное климатическое явление, которое может повлиять на первоначальные предположения). Однако не следует реагировать чрезмерно и оценивать каждое нетипичное событие. Значительное событие может оставаться в ожидаемых пределах допустимой изменчивости.

На основе анализа ключевых факторов и согласованных выше причин повторно выполните климатический стресс-тест с использованием обновленной информации, полученной на шаге 5.1. Если необходимо рассмотреть новые меры, направленные на обеспечение устойчивости, выполните этап 4.

Шаг 5.3. Взаимодействие с заинтересованными сторонами

Выполните формальный анализ и оценку успехов. Проанализируйте результаты мониторинга и отчетности, извлеченные уроки и результаты оценки. Сообщите самые важные результаты извлеченных уроков соответствующим заинтересованным сторонам.

Пересмотрите, дополните или определите новые меры, направленные на обеспечение устойчивости (и механизмы поддержки) и новые процедуры мониторинга, если они необходимы. Все изменения, внесенные в план MER в рамках CRMP, должны быть доведены до сведения всех соответствующих заинтересованных сторон.

Примечания

1. Международная ассоциация гидроэнергетики (ИГА), 2018 г. Руководство по надлежащей международной практике для устойчивой гидроэнергетики. Лондон.
2. Технический комитет ICOLD по изменению климата, 2016 г. Бюллетень 169. Глобальное изменение климата, плотины, водохранилища и связанные с ними водные ресурсы. ICOLD.
3. Всемирная метеорологическая организация, 2019 г. <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>
4. Для этой оценки см. средство для анализа климатических рисков и катастроф Всемирного банка. Этот инструмент позволяет систематически проводить комплексные проверки и выявлять потенциальные риски для проектов в секторе энергетики. Откройте веб-сайт <http://climatescreeningtools.worldbank.org/energy/energy-welcome>
5. Группа Всемирного банка, 2019 г. Портал базы знаний об изменении климата. <http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/>
6. Национальный центр атмосферных исследований США, 2019 г. Руководство по климатическим данным. <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data>
7. То же, что 5.
8. Osborn T.J., C.J. Wallace, I.C. Harris и T.M. Melvin. 2016. Pattern scaling using ClimGen: monthly-resolution future climate scenarios including changes in the variability of precipitation. *Climatic Change*, 134, 353-369. <https://dx.doi.org/10.1007/s10584-015-1509-9>
9. Университет Восточной Англии. 2018 г. Климатические проекции и наблюдения. <https://crudata.uea.ac.uk/~timo/climgen/national/web/about.htm>
10. Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2019 г. <http://www.ipcc-data.org/>
11. Когда для систематического тестирования чувствительности моделей климата к воздействиям используются генераторы погоды, для создания новых последовательностей переменных погоды (например, осадков) применяются систематические сдвиги, которые демонстрируют широкий диапазон изменений их характеристик (например среднее количество, частота, интенсивность и продолжительность осадков). В контексте климатического стресс-теста можно разработать случайный генератор погоды для интересующего региона и использовать его для создания нескольких сценариев ежедневной погоды, в рамках которых можно протестировать систему водных ресурсов. Гибкость случайных генераторов погоды позволяет генерировать множество сочетаний климатических показателей, каждое из которых может демонстрировать различные типы климатических изменений, интересных для анализа. Обратите внимание, что сочетания, созданные генератором погоды на данном этапе анализа, не зависят от каких-либо климатических проекций. Это позволяет генерировать широкий диапазон возможных будущих климатических условий, избегая при этом смещений, вытекающих из самих проекций. Тем не менее, конкретные сгенерированные сочетания могут использовать доступные проекции, чтобы обеспечить полный охват всего диапазона проекций в модели общей циркуляции.
12. В этих подходах также используется термин "Принятие решений в условиях глубокой неопределенности" (DMDU), в котором "глубокая неопределенность" означает вероятности, которые известны неточно или вообще известны, например повторяемость экстремальных паводков. Это отличается от ситуаций, в которых неопределенности хорошо изучены и их вероятности известны с высокой достоверностью.
13. См., например, недавно опубликованное в Новой Зеландии руководство по повышению уровня моря и Калифорнийское руководство по климатической безопасности. <http://www.mfe.govt.nz/publications/climate-change/coastal-hazards-and-climate-change-guidance-local-government>
14. См., например, семинар 2018 года Общества принятия решений в условиях глубокой неопределенности. www.deepuncertainty.org

Список литературы

Brown, C. and R.L. Wilby, 2012. An alternate approach to assessing climate risks. *Eos Trans. AGU*, 93(41), 401, doi:10.1029/2012EO410001

EUFIWACC, 2016. Integrating Climate Change Information and Adaptation in Project Development – Emerging Experience from Practitioners. Version 1.0, May 2016. <http://www.ebrd.com/news/2016/integrating-climate-change-adaptation-into-project-development-emerging-experience.html>

Hallegatte, S., A. Shah, C. Lempert, C. Brown, and S. Gill, 2012. Investment Decision Making under Deep Uncertainty: Application to Climate Change. Policy Research Working Paper 6193, World Bank, Washington, DC.

Hershfield, D.M., 1961. Estimating the probable maximum precipitation. *Journal of the Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers*, 87: September, 99-116.

Технический комитет ICOLD по изменению климата, 2016 г. Бюллетень 169. Глобальное изменение климата, плотины, водохранилища и связанные с ними водные ресурсы. ICOLD.

Международная ассоциация гидроэнергетики (IHA), 2010 г. Протокол оценки устойчивости гидроэнергетики. Лондон.

Международная ассоциация гидроэнергетики (IHA), 2018 г. Руководство по надлежащей международной практике для устойчивой гидроэнергетики. Лондон.

Международная ассоциация гидроэнергетики (IHA), 2018 г. Средство анализа проблем устойчивости гидроэнергетики с точки зрения природоохранных, социальных и управленческих требований. Лондон.

IPCC, 2013a: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_AnnexIII_FINAL.pdf

IPCC, 2013b: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf

IPCC, 2007: Summary for Policy-makers. IN: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson(eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 7-22.

Kalra, N., S. Hallegatte, R. Lempert, C. Brown, A. Fozzard, S. Gill and A. Shah, 2014. Agreeing on Robust Decisions: A New Process of Decision Making Under Deep Uncertainty. Policy Research Working Paper. World Bank.

Lempert, R.J., D.G. Groves, S.W. Popper and S.C. Bankes, 2006. A general, analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios. *Management Science*, 52(4), 514-528.

Marchau, V., W.E. Walker, P.J.M. Bloemen and S. Popper (eds.), 2019. *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. Springer International Publishing. Doi 10.1007/978-3-030-05252-2

McKay, M., R. Beckman and W. Conover, 1979. A comparison of three methods for selecting values of input variables in the analysis of output from a computer code. *Technometrics*, 21, 239-245.

Milly, P.C.D., J. Betancourt, M. Falkenmark, R.M. Hirsch, Z. W., Kundzewicz, D.P. Lettenmaier and R.J. Stouffer, 2008. Stationarity is dead: Whither water management? *Science*, 319, 573-574.

Ray, P.A. and C.M. Brown, 2015. *Confronting Climate Uncertainty in Water Resources Planning and Project Design: The Decision Tree Framework*. Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22544> License: CC BY 3.0 IGO

UN General Assembly, 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1. United Nations. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

United Nations. 2017. Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. A/71/644. United Nations.

Приложение А

Факторы климатического стресса

Последствия изменения климата и вызванных этими изменениями стихийных бедствий следует рассматривать с учетом прямых факторов климатического стресса, которые влияют на конкретную гидроэнергетическую систему, чаще всего во время чрезвычайных событий, и косвенных факторов климатического стресса, которые влияют на гидроэнергетическую систему, постепенно меняя повседневные процессы в более широкой окружающей среде и водосборном бассейне. Климатические переменные — это температура, осадки и ветер (включая циклоны, ураганы и штормы). Примеры значительного воздействия различных климатических факторов на гидроэнергетические проекты сведены в таблицу 5.

Таблица 5. Примеры воздействия климатических факторов на гидроэнергетические проекты.

Климатические переменные	Воздействие факторов на компонент проекта	Индикаторы	Временные рамки
Выработка энергии			
Осадки и речные стоки	<ul style="list-style-type: none"> Почасовые уровни выработки энергии (переход от вечернего к полуденному пику) и сезонные уровни (переход от зимнего к летнему пику) 	<ul style="list-style-type: none"> Изменение требований к сети, приводящее к изменениям в соглашениях о поставках электроэнергии (PPA) или в работе электростанции 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Изменение коэффициента загрузки системы (отношение пиковой мощности к средней) 	<ul style="list-style-type: none"> Выработанная энергия 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Воздействие на другие технологии (снижение тепловой энергии из-за температуры/доступности охлаждающей воды, выработка энергии из возобновляемых источников) 		
	<ul style="list-style-type: none"> Изменения в сбросе воды вниз по течению и снижение минимальных экологических стоков 	<ul style="list-style-type: none"> Ущерб, нанесенный среде обитания рыб Ежедневное затопление 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Подъездные пути и рабочие поселки			
Осадки и речные стоки	<ul style="list-style-type: none"> Сильные ливни, повреждающие грунтовые дороги 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение дорог Увеличение количества поверхностных вод на дорогах 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение стока в водопропускных трубах и дренажных сооружениях для дорог и рабочих поселков 	<ul style="list-style-type: none"> Затопление вокруг водопропускных труб, речных переправ и рабочих поселков 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение

Климатические переменные	Воздействие факторов на компонент проекта	Индикаторы	Временные рамки
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличенное количество наносных пород после более высокого или бурного стока поверхностных вод 	<ul style="list-style-type: none"> Блокирование водопропускных труб, водозаборов и водных путей 	
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенный риск нестабильности склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами) 	<ul style="list-style-type: none"> Движение склона по данным мониторинга Поверхностные разрушения, приводящие к повреждению дороги (камнепады, оползни) 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение/уменьшение стока, приводящее к увеличению/уменьшению числа речных переправ 	<ul style="list-style-type: none"> Сток поверхностных вод, повреждающий дороги в местах, где нельзя было использовать водопропускные трубы или речные переправы 	
Температура	<ul style="list-style-type: none"> Более тонкий ледяной покров и таяние вечной мерзлоты 	<ul style="list-style-type: none"> Деградация дорог из-за оттаивания фундаментов Недостаточная толщина ледяного покрова для прогулок/поездки по озерам и доступа к конкретным местам 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Плотины и водопроводящие приплотинные сооружения (включая водослив, водозабор и сооружения для удаления наносов)			
Осадки и речные стоки	<ul style="list-style-type: none"> Увеличенный объем наносов, приводящий к уменьшению объема водохранилища или увеличению частоты промывки (если предусмотрена возможность промывки) 	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение/уменьшение объема наносов, блокирующих гидротехнические затворы Коррозия гидротехнических затворов 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Недостаточная пропускная способность водослива для прохождения паводков, что приводит к проблемам безопасности плотин 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение водослива Перепополнение плотины при высоком паводковом стоке (более высокая вероятность более частых аварийных сбросов) Требование спустить воду из водохранилища перед наступлением событий с высоким паводковым стоком 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенный риск нестабильности склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами) 	<ul style="list-style-type: none"> Движение склона по данным мониторинга Поверхностные разрушения, приводящие к повреждению (камнепады, оползни) 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Изменение экологических стоков (для рыбы, качества воды, навигации) 	<ul style="list-style-type: none"> Экологические изменения ниже по течению 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение

Климатические переменные	Воздействие факторов на компонент проекта	Индикаторы	Временные рамки
	• Изменение стоков в проходах для рыбы	• Экологические изменения выше по течению	• Постепенное, долгосрочное изменение
	• Эрозия пяты плотины из-за увеличения объема водослива	• Эрозия глубоководного бассейна у пяты плотины	• Постепенное, долгосрочное изменение
Водохранилище			
Осадки и речные стоки	• Нестабильность склона водохранилища, вызывающая оползни в водохранилище	• Движение склона по данным мониторинга • Поверхностные разрушения, приводящие к повреждению (камнепады, оползни) • Разрушения в водохранилище, вызывающие волны смещения	• Экстремальное, внезапное изменение
	• Ледниковые опасности (например, затопления в результате выбросов ледниковых озер), приводящие к проблемам безопасности плотины	• Крупные паводковые стоки	• Экстремальное, внезапное изменение
	• Увеличенный паводок, приводящий к переменному притоку в водохранилище	• Незапланированный режим работы ГЭС • Более высокие или низкие уровни воды в водохранилище	
	• Повышенное количество мусора и растительности в водохранилище из-за увеличения стока	• Увеличение объема мусора в водохранилище	• Постепенное, долгосрочное изменение
	• Повышенная температура воды (загрязнение, содержание кислорода, застой)	• Непредвиденные колебания температуры в водохранилище • Снижение уровня содержания кислорода • Застой и гибель рыбы	• Постепенное, долгосрочное изменение
	• Увеличение/уменьшение объема наносов, влияющих на режим работы водохранилища	• Коррозия гидротехнических затворов, систем слива и водозаборов	• Постепенное, долгосрочное изменение
	• Дополнительная плавающая растительность/водоросли, которые могут заблокировать водозаборы	• Увеличение объема поверхностной растительности и водорослей	• Постепенное, долгосрочное изменение
Температура	• Увеличение потерь на испарение (отсутствие ледяного покрова, осушение воздуха), что приводит к уменьшению количества воды для выработки энергии	• Увеличение потерь в водохранилище • Снижение выработки энергии	• Постепенное, долгосрочное изменение

Климатические переменные	Воздействие факторов на компонент проекта	Индикаторы	Временные рамки
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная температура воды (загрязнение, содержание кислорода, застой и гибель рыбы) 	<ul style="list-style-type: none"> Более высокие или низкие температуры воды, чем ожидалось 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Электростанция, отводящий водовод и распределительное оборудование			
Осадки и речные стоки	<ul style="list-style-type: none"> Затопление электростанции из-за увеличения речного стока 	<ul style="list-style-type: none"> Затопление электростанции или превышение проектного уровня паводка 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Затопление электростанции непосредственно осадками 	<ul style="list-style-type: none"> Затопление электростанции или превышение проектного уровня паводка 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенный риск неустойчивости склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами) 	<ul style="list-style-type: none"> Движение склона по данным мониторинга Поверхностные разрушения, приводящие к повреждению (камнепады, оползни) 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Доступность более высоких/низких паводков для повышения/уменьшения установленной мощности 	<ul style="list-style-type: none"> Выработка энергии отличается от запланированного или необходимого для финансирования уровня 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Температура	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение снегового покрова вызывает конструктивные проблемы в электростанции 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение из-за снежной или ледяной нагрузки на крышу; повышенная частота ледяных бурь, влияющих на ЛЭП 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение снегового покрова, вызывающее проблемы доступа к электростанции и распределительному оборудованию 	<ul style="list-style-type: none"> Недоступность конкретных мест из-за снега или льда 	
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная или пониженная температура внутри электростанции, вызывающая проблемы для людей и оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> Отказы оборудования из-за жары Плесень, конденсат в электростанции 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная температура воды в замкнутых контурах, вызывающая проблемы с охлаждением генераторов 	<ul style="list-style-type: none"> Недостаточное охлаждение генератора, приводящее к нарушению работы 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Проблемы долговечности материала и расширения/сжатия, вызывающие растрескивание, приводящие к утечке, неустойчивости или эстетическим проблемам 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение бетона (например, растрескивание) 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение

Климатические переменные	Воздействие факторов на компонент проекта	Индикаторы	Временные рамки
Водные пути (например, подводящие каналы)			
Осадки и речные стоки	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение потоков через водные пути 	<ul style="list-style-type: none"> Переливы из водных путей Повреждение гидротехнических сооружений водных путей и затворов 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенный риск неустойчивости склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами) 	<ul style="list-style-type: none"> Движение склона по данным мониторинга Поверхностные разрушения, приводящие к повреждению (камнепады, оползни) 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличенное отложение наносов, приводящее к уменьшению потоков и объема водохранилища и, следовательно, снижению пиковой мощности в гидроаккумулирующих электростанциях 	<ul style="list-style-type: none"> Отложение наносов 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Температура	<ul style="list-style-type: none"> Проблемы долговечности материала и расширения/сжатия, вызывающие растрескивание, приводящие к утечке, неустойчивости или эстетическим проблемам 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение бетона (например, растрескивание) 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Электромеханическое оборудование			
Осадки и речные стоки	<ul style="list-style-type: none"> Различные потоки приводят к различным объемам наносов, которые могут вызвать эрозию турбины 	<ul style="list-style-type: none"> Коррозия/повреждение турбин Повышенные требования к обслуживанию Снижение эффективности электромеханического оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Температура	<ul style="list-style-type: none"> Охлаждающая вода (размеры каналов, засорение растительностью/водорослями) 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение турбин Повышенные требования к обслуживанию Снижение эффективности электромеханического оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Коррозионная стойкость (более агрессивная среда при высоких температурах) 	<ul style="list-style-type: none"> Коррозия/повреждение турбин Повышенные требования к обслуживанию Снижение эффективности электромеханического оборудования 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение

Климатические переменные	Воздействие факторов на компонент проекта	Индикаторы	Временные рамки
	<ul style="list-style-type: none"> Повышенные рабочие температуры (влияют на работоспособность, долговечность, номинальные характеристики) 	<ul style="list-style-type: none"> Пониженные номинальные характеристики, долговечность и повышенные требования к обслуживанию 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
Линии электропередачи (ЛЭП)			
Осадки и речные стоки	<ul style="list-style-type: none"> Повышенный риск нестабильности склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами) 	<ul style="list-style-type: none"> Движение склона по данным мониторинга Поверхностные разрушения, приводящие к повреждению (камнепады, оползни) 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Повышение уровня затопления вдоль трассы ЛЭП 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение опор ЛЭП Сложность доступа к трассе для технического обслуживания или мониторинга 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
Температура	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная температура влияет на проводимость 	<ul style="list-style-type: none"> Эффективность провода падает, а срок службы сокращается 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Молниезащита (изменение риска) 	<ul style="list-style-type: none"> Повреждение в результате удара молнии 	<ul style="list-style-type: none"> Экстремальное, внезапное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Атмосферные изменения, влияющие на солнечную радиацию/солнечные вспышки 		
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение количества пыли на изоляторах 	<ul style="list-style-type: none"> Проблемы с изоляторами из-за пыли 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение частоты, распространения и серьезности пожаров, повреждающих ЛЭП и подстанции 		
	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение температуры воздуха 	<ul style="list-style-type: none"> Повышенная частота обслуживания полосы отвода, так как растительность растет быстрее; расстояние до земли уменьшается из-за увеличения длины кабеля 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение
	<ul style="list-style-type: none"> Таяние вечной мерзлоты 	<ul style="list-style-type: none"> Проблема устойчивости и закрепления 	<ul style="list-style-type: none"> Постепенное, долгосрочное изменение

Приложение В

Реестр рисков и возможностей

Таблица 6. Пример реестра рисков и возможностей.

Фактор климатического стресса	Угрозы/возможность	Шкала времени	Возможные потери/выгоды	Вероятность	Уровень риска/возможности
Например, увеличенный речной сток	Описание угрозы или возможности	Например, в масштабе от 1 до 3	Например, в масштабе от 1 до 3	Например, в масштабе от 1 до 3	Например, незначительный, низкий, средний, высокий, очень высокий

Разработка и обновление реестра рисков и возможностей проекта является неотъемлемой частью оценки климатических рисков. Реестр рисков и возможностей создается на шаге 1.5 и позволяет качественно оценить, требуется ли проводить оценку климатических рисков проекта. По мере выполнения оценки реестр рисков и возможностей будет углубляться с точки зрения уровня детализации и более точной оценки вероятности, последствий и совокупных рисков/возможностей.

Пример реестра рисков и возможностей показан в таблице 6. Для оценки уровня риска/возможности реестр должен содержать описание угрозы/возможности, влияние шкалы времени, потенциальные потери/выгоды, а также вероятности.

Угроза — это обстоятельство, действие или событие, которое может использовать уязвимость для неблагоприятного воздействия на объект или систему. Уязвимость — это степень, в которой система восприимчива или неспособна справиться с неблагоприятными последствиями изменения климата, включая изменчивость климата и экстремальные климатические явления. Уязвимость зависит от характера, величины и скорости изменения климата, которому подвергается система, ее чувствительности и возможностей адаптации.

Риск (или возможность) определяется для системы или функции как сочетание возможных потерь (выгод) и вероятности климатического события.

$$\text{Риск (или возможность)} = \text{Возможные потери (или выгоды)} \times \text{Вероятность}$$

Таблица 7. Пример цветовых "баллов" для оценки рисков/возможностей.

← Возможности →					← Риски →				
Очень большие	Значительные	Средние	Незначительные	Пренебрежимо малые	Низкие	Средние	Высокие	Очень высокие	

$$\text{Возможность} = \text{Возможные выгоды} \times \text{Вероятность}$$

$$\text{Риск} = \text{Возможные потери} \times \text{Вероятность}$$

		Возможные выгоды		
		Высокие	Средние	Низкие
Вероятность	Маловероятно			
	Возможно			
	Вероятно			

		Возможные потери		
		Низкие	Средние	Высокие
Вероятность	Вероятно			
	Возможно			
	Маловероятно			

Система подсчета баллов для процесса оценки риска/возможности должна быть согласована между пользователем руководства и застройщиком или заказчиком объекта. Система может быть качественной или количественной. Пример шкалы для оценки риска представлен в таблице 7.

Реестр рисков и возможностей для оценки климатических рисков — это не что-то уникальное. Составление такого реестра является фундаментальной частью любого процесса проектирования в области гидроэнергетики. В случае проектов, создаваемых с нуля, оценка климатического риска должна основываться на существующем реестре рисков и возможностей проекта с учетом дополнительных климатических

рисков и возможностей, а также должна считать климат "мультипликатором угрозы" для рисков и возможностей, которые уже выявлены в реестре проекта. Для них можно добавить дополнительные столбцы для рисков, возникающих на технических этапах и этапах оценки воздействия на окружающую среду и общество (как показано в таблице 8).

Хорошей практикой можно считать указание минимального (МИН.), наиболее вероятного (ML) и максимального (МАКС.) влияния каждого риска/возможности на затраты. Для построения кривых распределения потенциальных затрат по проектным рискам в зависимости от вероятности возникновения можно использовать анализ Монте-Карло.

Таблица 8. Пример реестра дополнительных рисков и возможностей для проекта, создаваемого с нуля.

Угроза/ возможность	Техническая оценка и оценка воздей- ствия на окружающую среду и общество								Оценка дополнительного воздействия климата							
	Вероятность (1–5)	Воздействие на затраты (1–5)	Время воздействия (1–5)	Результат =	Вероятность (%)	МИН. воздействие на затраты (тыс. долл.)	Вероятное воздействие на затраты (тыс. долл.)	МАКС. воздействие на затраты (тыс. долл.)	Вероятность (1–5)	Воздействие на затраты (1–5)	Время воздействия (1–5)	Результат =	Вероятность (%)	МИН. воздействие на затраты (тыс. долл.)	Вероятное воздействие на затраты (тыс. долл.)	МАКС. воздействие на затраты (тыс. долл.)
Описание																

Приложение С

Примеры структурных и функциональных мер адаптации

На этапе 4 мы должны включить в систему меры адаптации по обеспечению климатической устойчивости. Примеры структурных и функциональных мер адаптации приведены в таблице 9.

Таблица 9. Примеры структурных и функциональных мер адаптации для новых и существующих гидроэнергетических проектов.

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
СТРУКТУРНЫЕ МЕРЫ АДАПТАЦИИ		
Подъездные пути и рабочие поселки		
Температура	Повреждение дороги в результате повторных циклов замораживания-оттаивания	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительные рабочие швы Материалы для дорожных покрытий, пригодные в условиях температурных колебаний
	Повреждение дороги в результате воздействия высокой температуры	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительные рабочие швы Материалы для дорожных покрытий, пригодные в условиях температурных колебаний
	Увеличение количества пыли на временных или грунтовых подъездных путях	<ul style="list-style-type: none"> Дорожное покрытие Большее количество средств пылеподавления (разбрызгивателей)
	Уменьшение толщины льда на озерах, болотах, торфяниках, сокращение периодов, в течение которых можно использовать ледяные переправы	<ul style="list-style-type: none"> Строительство альтернативных подъездных путей Дистанционное зондирование, дистанционный контроль параметров, которые раньше измерялись на месте, или дистанционные действия, которые раньше осуществлялись на месте
	Таяние вечной мерзлоты и воздействие на дороги, фундаменты	<ul style="list-style-type: none"> Изменение конструкции дорожного покрытия с дополнительным учетом геотехнических условий при положительной температуре грунта
Осадки и речные стоки	Сильные ливни, повреждающие грунтовые дороги	<ul style="list-style-type: none"> Усиленный дренаж Дорожное покрытие/гравий (пересмотр спецификации материала) Изменение конструкции дорожного покрытия (например, увеличение выпуклости поперечного профиля дороги) Увеличение резервов и нормативов на эксплуатацию и техобслуживание

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
	Увеличение стока в водопропускных трубах и дренажных сооружениях для дорог и рабочих поселков	<ul style="list-style-type: none"> Пересмотр размеров водопропускных и дренажных труб с учетом гидрологической неопределенности, в частности возможного увеличения объема стоков, в критериях проекта, считались достаточными для сооружения. Например, если обнаружено воздействие изменения климата на гидрологическую модель, может быть решено, что целесообразно спроектировать водопропускные трубы для более крупного события.
	Увеличенное количество наносных пород после более высокого или бурного стока поверхностных вод	<ul style="list-style-type: none"> Добавление решеток для мусора в дренажные и водопропускные трубы Усиленное техобслуживание
	Повышенный риск неустойчивости склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами)	<ul style="list-style-type: none"> Более детальная оценка опасности оползней (картирование) Дополнительная защита склонов Проектирование дополнительных переходов Более надежная оценка трассы при прокладке дороги
	Увеличение/уменьшение стока, приводящее к увеличению/уменьшению числа речных переправ	<ul style="list-style-type: none"> Пересмотр способов выбора маршрута Проектирование дополнительных переходов Более надежная оценка трассы при прокладке дороги
	Усложнение выбора места для рабочего поселка (более высокая неопределенность риска) (например, события, происходящие по историческим данным один раз в 25 лет, в будущем могут происходить чаще)	<ul style="list-style-type: none"> Более надежная оценка местоположения рабочего поселка (в зависимости от продолжительности строительства)
	Возможны периоды очень низкого уровня речного стока, что влечет за собой недостаточное разбавление очищенных сточных вод, сбрасываемых из рабочего поселка	
Сооружения для отвода реки		
Осадки и речные стоки	Увеличение числа бурных или устойчиво высоких паводковых стоков	<ul style="list-style-type: none"> Использование самых последних гидрологических данных, а не исторических данных при проектировании Для бетонных плотин принятие и организация строительных работ с переливом дает значительную экономию на сооружении деривационного туннеля.
	Отсутствие периода низкого стока для строительства в русле реки	<ul style="list-style-type: none"> Планирование строительства с учетом минимального периода низкого стока (включая выбор сооружения для отвода реки, например, туннель может быть более предпочтительным)

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
Дамбы и водопроводящие приплотинные сооружения (включая водослив, водозабор и сооружения для удаления наносов)		
Осадки и речные стоки	Увеличенный объем наносов, приводящий к уменьшению объема водохранилища или увеличению частоты промывки (если предусмотрена возможность промывки)	<ul style="list-style-type: none"> • Дополнительные средства для промывки и удаления наносов • Изменение методологии работы • Внедрение плана борьбы с эрозией водосбора • Поднятие гребня плотины для увеличения рабочего объема водохранилища • Разработка средств удаления наносов выше по течению
	Недостаточная пропускная способность водослива для прохождения паводков, что приводит к проблемам безопасности плотин (например, для адаптации существующих проектов)	<ul style="list-style-type: none"> • Увеличение пропускной способности водослива • Дополнительные затворы водослива/предохранительные затворы • Использование водосливов лабиринтного типа • Резиновые плотины • Переоценка типа плотины, чтобы допустить перелив (то есть бетонная плотина) • Увеличение надводного борта плотины или припуска на подъем паводка • Добавление верхнего парашута/волнолома на гребне плотины
	Повышенный риск нестабильности склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами) (например, для адаптации существующих проектов)	<ul style="list-style-type: none"> • Дополнительная защита склонов и меры их стабилизации • Наблюдение и мониторинг стабильности склонов • Переоценка расположения или уровня плотины
	Дополнительная нагрузка от снега/льда/ветра на конструкцию плотины и затворы	<ul style="list-style-type: none"> • Пересмотр условия нагрузки (ветер, снег, дождь) в конструкции
	Изменение экологических стоков (для рыбы, качества воды, навигации)	<ul style="list-style-type: none"> • Проектирование пропускной способности экологического стока с учетом возможности изменения расхода • Проектирование системы экологического стока с возможностью адаптации в будущем, если изменятся требования к экологическому стоку
	Изменение стоков в проходах для рыбы	<ul style="list-style-type: none"> • Проектирование систем прохода для рыбы с учетом возможности изменения расхода • Учет изменения климата при разработке системы прохода для рыбы • Проектирование систем прохода для рыбы с возможностью адаптации в будущем, если изменятся требования к экологическому стоку
	Эрозия пяты плотины из-за увеличения расхода водослива	<ul style="list-style-type: none"> • Изменение расположения водослива для обеспечения того, чтобы паводковые воды сбрасывались ниже по течению от электростанции (например, во вторичный канал или путем расширения водослива за пределы электростанции у пяты плотины) • Увеличение рассеяния энергии от водослива • Увеличение емкости и защита водобойного колодца

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
Температура	Проблемы расширения/сжатия материала, вызывающие растрескивание, приводящие к утечке или нестабильности	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительные монолиты и/или строительные швы Новые бетонные смеси, более устойчивые к колебаниям температуры Изменение типа плотины/выбор строительных материалов Контроль температуры бетона плотины путем предварительного или последующего охлаждения
	Строительство с использованием определенных материалов (например, укладка бетона или глиняное противofiltrационное ядро плотины) не должно выполняться при экстремальных температурах	<ul style="list-style-type: none"> Планирование строительства с учетом экстремальных колебаний температуры, которые могут потребовать дополнительных мер во время строительства (например, мороз при строительстве из бетона) или пересмотра графика строительства
Ветер	Увеличение высоты волн и повышение требований к надводному борту плотин	<ul style="list-style-type: none"> Расчеты надводного борта плотины должны учитывать возможное повышение ветровой нагрузки
	Увеличенная ветровая нагрузка на конструкции (здания, опоры ЛЭП и т. д.)	<ul style="list-style-type: none"> Расчеты ветровой нагрузки должны учитывать возможное повышение ветровой нагрузки
Осадки и речные стоки	Нестабильность склона водохранилища, вызывающая оползни и падение деревьев в водохранилище	<ul style="list-style-type: none"> Детальная оценка устойчивости уреза воды водохранилища, приводящая к стабилизации склона в зонах риска
	Ледниковые опасности (например, затопления в результате выбросов ледниковых озер), приводящие к проблемам безопасности плотины	<ul style="list-style-type: none"> Мониторинг ледниковых озер, ведущий к изменению условий эксплуатации Контролируемый прорыв ледникового озера Изменение типа плотины, чтобы допустить перелив
	Изменение режима реки с уменьшением базового стока и усилением паводков	<ul style="list-style-type: none"> Увеличение пропускной способности водослива, чтобы допустить увеличение стока Рассмотрение вопроса об изменении методологии работы, чтобы проектируемое водохранилище могло сдерживать увеличенный паводок Включение положений по будущему увеличению емкости водохранилища за счет повышения плотины и нормального подпорного уровня
	Повышенное количество мусора и растительности в водохранилище из-за увеличения стока	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительные грабли для мусора и типы решеток для мусора, автоматическое или более частое удаление мусора или более надежная конструкция системы
	Увеличение/уменьшение объема наносов, влияющих на режим работы водохранилища	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительные средства для промывки и удаления наносов, например, увеличенное временное водохранилище для наносов, которое используется в качестве отстойника Изменение методологии работы Выемка песка и строительных материалов местными жителями в хвосте водохранилища Дополнительное драгирование
	Дополнительная плавающая растительность/водоросли, которые могут заблокировать водозаборы	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительное переливное сооружение для очистки поверхности водохранилища Дополнительная предохранительная решетка водозаборного сооружения для сбора мусора

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
Температура	Увеличение снегового покрова вызывает конструктивные проблемы в электростанции	<ul style="list-style-type: none"> Учет потерь электроэнергии при моделировании Плавающая система защиты водохранилища от солнца
	Температура воды (загрязнение, содержание кислорода, застой и гибель рыбы)	<ul style="list-style-type: none"> Мониторинг эксплуатации и техобслуживания
Состав воздуха	Повышенное содержание CO ₂ в атмосфере стимулирует рост растений в водохранилище, что негативно влияет на водозабор	<ul style="list-style-type: none"> Конструкция водозабора с подходящими сооружениями для сбора мусора и учет при эксплуатации и техобслуживании
Падающее солнечное излучение	Повышение температуры воды в водохранилище	
Электростанция, отводящий водовод и распределительное оборудование		
Осадки и речные стоки	Затопление электростанции из-за увеличения речного стока	<ul style="list-style-type: none"> Усиление защиты электростанции от затопления Расположение электростанции на более высоком месте Перемещение наземной электростанции под землю, чтобы повысить устойчивость к речным наводнениям Изменение расположения водослива для обеспечения того, чтобы паводковые воды сбрасывались ниже по течению от электростанции (например, во вторичный канал или путем расширения водослива за пределы электростанции у пяты плотины)
	Затопление электростанции непосредственно осадками	<ul style="list-style-type: none"> Улучшение дренажа внутри и вокруг электростанции
	Повышенный риск нестабильности склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами)	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительная защита склонов и меры их стабилизации Наблюдение и мониторинг стабильности склонов Переоценка расположения или уровня электростанции
	Доступность более высоких/низких паводков для повышения/уменьшения установленной мощности	<ul style="list-style-type: none"> Строительство более крупной электростанции, чтобы в будущем в ней можно было установить дополнительное электромеханическое оборудование (например, место в электростанции для дополнительных турбин и генераторов) Увеличенная максимальная вместимость нижнего бьефа, допускающая потенциально более высокий сброс уровня воды
Температура	Увеличение снегового покрова, вызывающее конструктивные проблемы в электростанции	<ul style="list-style-type: none"> Проектирование с учетом возможной дополнительной снеговой нагрузки
	Увеличение снегового покрова, вызывающее проблемы доступа к электростанции и распределительному оборудованию	<ul style="list-style-type: none"> Проектирование с учетом доступа к электростанции (выше уровня снежного покрова)

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
Температура	Повышенная или пониженная температура внутри электростанции, вызывающая проблемы для людей и оборудования	<ul style="list-style-type: none"> • Требования к кондиционированию воздуха, отоплению, теплоизоляции, вентиляции (естественные, механические) • Контроль влажности (плесень, конденсация, защита от влаги)
	Повышенная или пониженная температура, вызывающая проблемы с укладкой бетона при строительстве электростанции	<ul style="list-style-type: none"> • Дополнительные рабочие швы • Новые бетонные смеси, более устойчивые к колебаниям температуры • Замена строительных материалов
	Повышенная температура воды в замкнутых контурах, вызывающая проблемы с охлаждением генераторов	<ul style="list-style-type: none"> • Изменение конструкции и, возможно, переделка или модификация системы охлаждения
	Проблемы долговечности материала и расширения/сжатия, вызывающие растрескивание, приводящие к утечке, нестабильности или эстетическим проблемам	<ul style="list-style-type: none"> • Дополнительные монолиты и/или строительные швы • Замена бетонных смесей на более устойчивые к колебаниям температуры • Замена строительных материалов
Водные пути (например, подводящие каналы)		
Осадки и речные стоки	Увеличение потоков через водные пути	<ul style="list-style-type: none"> • Движение склона по данным мониторинга • Поверхностные разрушения, приводящие к повреждению (камнепады, оползни)
	Повышенный риск нестабильности склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами)	<ul style="list-style-type: none"> • Дополнительная защита склонов и меры их стабилизации • Наблюдение и мониторинг стабильности склонов • Переоценка расположения или уровня водных путей
	Увеличенное отложение наносов, приводящее к уменьшению потоков	<ul style="list-style-type: none"> • Включение бассейнов-отстойников • Меры дополнительной защиты склонов • Наблюдение и мониторинг стабильности склонов
Температура	Проблемы долговечности материала и расширения/сжатия, вызывающие растрескивание, приводящие к утечке, нестабильности или эстетическим проблемам	<ul style="list-style-type: none"> • Дополнительные монолиты и/или строительные швы • Новые бетонные смеси, более устойчивые к колебаниям температуры • Замена строительных материалов
Электромеханическое оборудование		
Осадки и речные стоки	Увеличение потоков, проходящих через турбины	<ul style="list-style-type: none"> • Установка турбин с регулируемой скоростью или турбин с более высоким КПД для широкого диапазона скорости водосброса
	Различные потоки приводят к различным объемам наносов, которые могут вызвать эрозию турбины	<ul style="list-style-type: none"> • Установка турбинных лопаток, устойчивых к коррозии

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
Температура	Охлаждающая вода (размеры каналов, засорение растительностью/водорослями)	• Проектирование с учетом более высокой неопределенности
	Коррозионная стойкость (более агрессивная среда при высоких температурах)	• Установка турбинных лопаток, устойчивых к коррозии
	Рабочие температуры (влияют на работоспособность, долговечность, номинальные характеристики)	• Проектирование с учетом более высокой неопределенности
Линии электропередачи (ЛЭП)		
Осадки и речные стоки	Повышенный риск нестабильности склонов (разрушения, вызванные поверхностными водами, и разрушения, вызванные грунтовыми водами)	<ul style="list-style-type: none"> • Дополнительная защита склонов и меры их стабилизации • Наблюдение и мониторинг стабильности склонов • Переоценка местоположения и уровня опор ЛЭП • Проектирование фундамента опор ЛЭП с учетом стабильности в условиях более высокой неопределенности
	Затопления вдоль трассы ЛЭП	• Выбор трассы (избежание затопляемой поймы реки, крутых склонов)
Температура	Температура влияет на проводимость	<ul style="list-style-type: none"> • Внесение изменений в технические требования к проводам для большей устойчивости к воздействию температур • Учет тепловых воздействий на нагрузку провода
	Увеличение снеговой/ледовой нагрузки на опоры и провода	• Проектирование опор с учетом более высокой снеговой/ледовой нагрузки
	Молниезащита (изменение риска)	• Конструкция опор ЛЭП должна учитывать риск молнии
	Атмосферные изменения, влияющие на солнечную радиацию/солнечные вспышки	
	Увеличение количества пыли на изоляторах	• Проектирование защиты изоляторов
	Увеличение частоты, распространения и серьезности пожаров, повреждающих ЛЭП и подстанции	
	Расстояние до земли уменьшается из-за увеличения длины кабеля	• Увеличение расстояния до земли
	Проблема устойчивости и закрепления в условиях таяния вечной мерзлоты	• Альтернативная конструкция фундамента, не зависящая от вечной мерзлоты

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МЕРЫ АДАПТАЦИИ		
Сезонный и еженедельный объем водохранилища		
Изменение режима реки с усилением паводков и уменьшением базового стока	Увеличение или уменьшение требований к объему водохранилища	<ul style="list-style-type: none"> • План пересмотренного оптимального минимального рабочего уровня • Уменьшение водоприемника ГЭС • Подготовка условий для будущего поднятия гребня плотины и повышения нормального подпорного уровня.
		<ul style="list-style-type: none"> • Преобразование поверхностного водослива в водослив с затворами • Предохранительные затворы в дополнение к поверхностному водосливу • Изменение правил эксплуатации, такие как изменение предельных уровней водохранилища с целью увеличения буфера для паводковых вод
Борьба с паводком		
Увеличение пикового стока во время паводка	Увеличенная пропускная способность выпуска во время паводка	<ul style="list-style-type: none"> • Пересмотр месячного графика при эксплуатации водохранилища • Для экстремальных случаев (только для бетонных плотин) следует рассмотреть возможность перелива воды через гребень плотины с мерами по защите пяты плотины от эрозии. • Ограничение освоения земель в зонах, подверженных затоплению • Защита или устранение уязвимых зон • Создание или пересмотр системы раннего предупреждения
Контроль наносов		
Изменение объема наносов в результате изменения режима стока реки	Потеря активного объема водохранилища и/или большие перебои в выработке энергии	<ul style="list-style-type: none"> • Увеличение временного водохранилища • Дополнительные и/или более эффективные средства удаления отложений • Обходные туннели/сооружения для отвода наносов (с использованием части воды для переноса отложений в зоны после водозаборов) • Использование более стойких турбин

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
Гибкое многоцелевое использование		
Общие проблемы изменения климата	Изменения для водопользователей, непосредственно не связанные с функциями гидроэнергетики	<ul style="list-style-type: none"> • Проведение исследований, направленных на выявление воздействия изменения климата на различных водопользователей в пределах водосборного бассейна. • Модификация правовых соглашений между различными правительствами, заинтересованными сторонами и другими субъектами, которые влияют на эксплуатацию водосборного бассейна. • Совершенствование технологий, которые используются для координации взаимодействия между различными гидроэнергетическими проектами, а также для глобальной эксплуатации комплексов с участием нескольких водосборных бассейнов. • Улучшение координации между эксплуатацией проекта и другими видами водопользования в водосборном бассейне
		<ul style="list-style-type: none"> • Содействие образовательным проектам по информированию граждан о последствиях изменения климата, с надеждой найти адаптивные меры, которые компенсируют эти воздействия и уменьшают негативное влияние на гидроэнергетику. • Изменение правил, которые влияют на отдых, ирригацию, водоснабжение и забор воды для производственных нужд
Потребление энергии		
Температура	Ежедневные уровни потребления (переход от вечернего к полуденному пику) и сезонные уровни потребления (переход от зимнего к летнему пику)	<ul style="list-style-type: none"> • Переоценка типа ГЭС (базовая нагрузка/пик и сток реки/водохранилище) • Переоценка необходимости увеличения установленной мощности
Энергетический рынок		
Общие проблемы изменения климата	Изменение стоимости выработанной электроэнергии	<ul style="list-style-type: none"> • Мониторинг рыночных трендов и регулярная переоценка
Линии электропередачи (ЛЭП)		
Температура	Более быстрый рост растительности на полосе отвода	<ul style="list-style-type: none"> • Увеличение частоты обслуживания на полосе отвода
	Изменение коэффициента загрузки системы (отношение пиковой мощности к средней)	<ul style="list-style-type: none"> • Переоценка типа ГЭС (базовая нагрузка/пик и сток реки/водохранилище)
	Воздействие на другие технологии (снижение тепловой энергии из-за температуры/доступности охлаждающей воды, выработка энергии из возобновляемых источников)	<ul style="list-style-type: none"> • Переоценка типа ГЭС (базовая нагрузка/пик и сток реки/водохранилище)

Климатические переменные	Воздействие на компонент проекта	Потенциальные меры адаптации по обеспечению устойчивости
Осадки и речные стоки	Увеличение или уменьшение выработки энергии	<ul style="list-style-type: none"> Разработка или совершенствование инструментов гидрологического прогнозирования, включая разработку и применение соответствующих мер для борьбы с экстремальными гидрологическими явлениями, в частности для оценки моделей выработки энергии
Поддержка сети		
Общие проблемы изменения климата	Изменение структуры генерации энергии — замена ископаемого топлива возобновляемыми источниками	<ul style="list-style-type: none"> Повышенное внимание гидроэнергетики к вспомогательным услугам для интеграции с другими возобновляемыми источниками энергии Увеличение водохранилища для резервирования неравномерно вырабатываемой энергии Повышение механической инерции для замены выведенных из эксплуатации тепловых станций
	Увеличение выработки энергии другими электрогенерирующими объектами	<ul style="list-style-type: none"> Значение диспетчеризации возрастает с ростом неконтролируемой выработки энергии
	Переход с ископаемого топлива на электричество для отопления помещений	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительная выработка энергии гидроэлектростанциями, необходимая для удовлетворения растущего спроса на энергию
	Переход с ископаемого топлива на электричество для транспорта	<ul style="list-style-type: none"> Дополнительная выработка энергии гидроэлектростанциями, необходимая для удовлетворения растущего спроса на энергию
Эксплуатация гидроэнергетических объектов		
		<ul style="list-style-type: none"> Разработка усовершенствованных технологий для оценки эффективности проектов и определения способов их эксплуатации в измененных климатических условиях Создание регулирующих органов, уполномоченных разрабатывать и применять улучшенные стратегии эксплуатации

Приложение D

Принятие решений в условиях неопределенности (DMU)

На планете происходит потепление, и происходит быстро. И это мы знаем совершенно точно. Что мы знаем неточно, причем очень неточно, так это воздействие потепления на климатологические и гидрологические процессы, которые непосредственно влияют на эффективность гидроэнергетики. Ведущие научные организации, международные кредиторы, такие как Группа Всемирного банка, и такие организации, как Межправительственная группа экспертов по изменению климата, рекомендуют рассматривать изменение климата как проблему управления рисками, которая включает в себя выявление и оценку потенциальных рисков (а также потенциальных возможностей), связанных с изменением климатических условий, таких как среднее количество осадков или частота экстремальных засух, и последующую разработку и применение индивидуальных подходов, помогающих смягчить или минимизировать все связанные с этими изменениями негативные последствия.

Гидроэнергетики, проектировщики и менеджеры часто сталкиваются с неопределенностью и управлением рисками. В современных отраслевых руководящих принципах и практиках используются подходы, основанные на вероятностном анализе рисков, затрат и выгод, а также на анализе сценариев. Вероятностные подходы обычно предполагают наличие хорошо изученных распределений вероятностей, тогда как анализ сценариев обычно не использует вероятностную информацию. Для выявления потенциальных уязвимостей инженеры проводят стресс-тесты своих проектов. Кроме того, существует множество возможностей управления неопределенностью, например, запас прочности, эксплуатационные правила (такие как ограничение нагрузки) и инвестиции в инфраструктуру, которая относительно нечувствительна к изменениям климата (например, использование гидроаккумулирующих вместо русловых ГЭС).

Проблемы возникают, когда хорошо изученная вероятностная информация недоступна. Вероятности (например, вероятность сезонной температуры, экстремальных осадков или уровня реки) определяются путем подгонки распределений к историческим наблюдениям и полезны для анализа будущих рисков, когда предполагается, что в будущем будет происходить приблизительно то же самое, что происходило в прошлом. Быстрое изменение климата означает, что вероятности, полученные по историческим наблюдениям, нельзя применять для прогнозирования будущих условий. Это было названо смертью стационарности (Милли и другие, 2008).

В ответ на это разрабатывается более широкий набор подходов, методов и методик, призванных помогать лицам, принимающим решения в условиях неопределенности.¹² В этих подходах лучшие характеристики вероятностного анализа рисков, затрат и выгод используются совместно с лучшими элементами анализа сценариев. Они выполняются снизу вверх, и в их основе лежит надежность. В парадигмах планирования "снизу вверх" предпочтение отдается анализу потребностей местных заинтересованных сторон (в отличие от анализа "сверху вниз", разработанного для общего случая). В парадигмах планирования на основе надежности способность хорошо работать в широком диапазоне непредсказуемых возможных вариантов будущего ценится выше, чем способность оптимально работать в ожидаемых условиях будущего. Методы принятия решений в условиях неопределенности (DMU) также являются универсальными в том смысле, что они ищут стратегии, которые получают высокие оценки по разным показателям, таким как затраты, надежность, окупаемость инвестиций в худшем случае, воздействие на окружающую среду, а не объединяют все показатели в единую меру, часто выражаемую в денежных единицах.

Такое изменение парадигмы необходимо по нескольким причинам. Во-первых, многие неопределенности в развитии гидроэнергетики стали более масштабными или более трудными для изучения. Изменение климата является ярким примером, но во многих случаях экономическая, технологическая, социальная и политическая неопределенность может быть даже выше. В этих случаях могут возникнуть разногласия по поводу того, как лучше всего описать или смоделировать неопределенность с использованием традиционных подходов. Во-вторых, тогда как в прошлом лица, принимающие решения, получали преимущества, связанные с актами государственной власти, что проявлялось в более крупных бюджетах и праве на резервирование земли для государственных и муниципальных нужд, теперь лица, принимающие решения, как правило, сталкиваются с более серьезными ограничениями. Эти ограничения затрудняют устранение этих возрастающих неопределенностей с помощью традиционных методов, таких как использование более высоких коэффициентов надежности. В-третьих, упрощается доступность и расширяется набор вариантов управления неопределенностью, от адаптивного проектирования до регионального распределения рисков, использования страховых и других финансовых инструментов. Для сортировки вариантов и определения наиболее эффективного портфеля адаптаций нужны инструменты анализа.

В-четвертых, инвесторы и пользователи инфраструктуры все чаще требуют более высокого уровня обслуживания и устойчивости от своей инфраструктуры и связанных с ней систем.

Методы DMU все чаще включаются в руководящие документы по всему миру.¹³ Эти руководящие принципы по DMU для гидроэнергетики основаны на методах оценки рисков при инвестициях в инфраструктуру, рассмотренных Всемирным банком в сборнике "Рабочий документ по исследованию политики" (Халлегат и др., 2012), и, в частности, для менеджеров по водным ресурсам, — в статье "Структура дерева решений" (Рай и Браун, 2015). Эти методы продолжают разрабатываться, тестироваться и применяться в различных контекстах (Маршу и др., 2019), в том числе в гидроэнергетическом секторе. В данном случае планирование климатической устойчивости становится критически важным, поскольку изменения климата не только обостряют зависимость от местных водных ресурсов, но и влияют на решения об инвестициях в инфраструктурные проекты с длительным сроком службы. Краткое описание других методов DMU приведено в документе "Структура дерева решений".

Существует множество типов подходов и методов DMU, большинство из которых связаны между собой, но уделяют основное внимание различным факторам.¹⁴ Большинство из этих новых методов DMU следуют подходу "согласованное решение" (Калра и др., 2014), который начинается с вариантов стресс-тестов в широком диапазоне правдоподобных условий, не требуя от лиц, принимающих решения, соглашаться с тем, какие условия являются более или менее вероятными, и устанавливает ряд целей или показателей успеха, не требуя от лиц, принимающих решения, соглашаться с тем, как они будут объединяться или какой весовой коэффициент они будут иметь. В результате, эти методы легче применять в условиях значительной неопределенности или несогласия с ценностями и

целями. Представляя решения как баланс плюсов и минусов и стремясь к оптимальности по Парето, эти методы способствуют конструктивным переговорам и достижению консенсуса. В стремлении к гибким и надежным проектам и правилам обеспечения надежной работы системы они позволяют находить баланс между неприятием риска и оппортунизмом. Если лицо, принимающее решения, негативно относится к риску, оно стремится к надежности и, вероятно, к чрезмерным мерам безопасности, тогда как лицо, принимающее оппортунистические решения, хочет извлечь выгоду из ресурсов в настоящий момент, и надеется, что сможет обновить проект в будущем в ответ на изменения. Методы DMU позволяют сбалансировать затраты и выгоды каждого подхода. Все большее количество конкретных примеров на эту тему показывает, что такие методы можно применять в реальных условиях, что в условиях небольших неопределенностей они дают такие же результаты, как и традиционные методы, и что они не обязательно будут дороже или сложнее традиционных подходов.

Рабочая группа европейских финансовых учреждений по адаптации к изменению климата (EUFIWACC) описывает процессы, помогающие встроить требования климатической устойчивости и адаптации к изменению климата в инвестиционную деятельность. В руководстве 2016 года о растущем практическом опыте описывается основная передовая практика, позволяющая учитывать присущие неопределенности и сложности. Их цель состоит в разработке гибких подходов, согласованных с профилями климатических рисков проектов и партнеров по проектам, подходов, которые помогут принимать решения в условиях климатической неопределенности. Хотя этот документ не относится к гидроэнергетике, он содержит список принципов, касающихся климатической устойчивости и инвестиций, то есть принципов, которые могут быть полезны пользователям данного руководства.

Приложение Е

Пример

Этот пример соответствует этапу 3 "Климатический стресс-тест" и этапу 4 "План управления климатическими рисками". Но здесь всего лишь иллюстрируются некоторые шаги на каждом этапе. В этом примере показан климатический стресс-тест, проведенный в рамках комплексного подхода, и описано, как выполнить шаг 4.3. Анализ устойчивости модифицированных вариантов проекта, предложенных на шаге 4.2.

Для гидрологического моделирования создайте новые последовательности переменных параметров погоды для моделирования изменения климата в вероятном диапазоне потенциальных климатических сценариев будущего. Это делается в два этапа: а) повторная выборка исторических климатических записей (например, с использованием генератора погоды) для разработки ряда (например, 10–30) климатических траекторий, которые в суммарной статистике похожи на исторические климатические записи, но представляют неопределенности будущих значений среднего, дисперсии, асимметрии (экстремумов) и постоянства (межгодовой автокорреляции) в предположении стационарности климата; б) применение климатических сдвигов к выборке траекторий естественной изменчивости.

Как правило, климатические сдвиги применяются к переменным, которые представлены наиболее достоверными моделями общей циркуляции: долгосрочные среднегодовые осадки и температуры в бассейне. Диапазон применяемых климатических сдвигов должен учитывать все изменения, которые считаются возможными, а не просто вероятными. Этот диапазон часто выходит за пределы типичного диапазона ансамбля проекций климатической модели. Диапазон можно выбрать с использованием полнофакторной структуры выборки (сопоставляя каждое возможное дискретное изменение температуры с одним из возможных дискретных изменений осадков, независимо от вероятности такого сочетания) или с помощью более интеллектуальных методов выборки, таких как латинский гиперкуб (Маккей, 1979).

Многократно запускайте модель системы гидрологических и водных ресурсов в течение всего периода для многих климатических сценариев будущего для каждого из рассматриваемых планов гидрологической системы (см. рисунок 5).

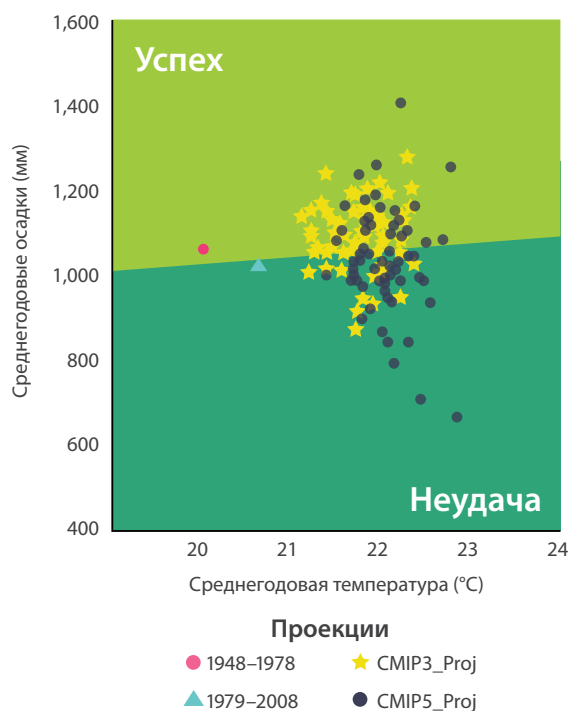
Рисунок 5. Представление моделей, которые можно использовать в стресс-тесте.



По результатам работы моделей (гидрологическая модель в сочетании с моделью гидроэнергетики, а затем экономическая модель), составьте карту реагирования на изменение климата (см. рисунок 6), показывающую эффективность проекта в широком диапазоне возможных состояний климата. Этот инструмент позволяет определить состояния климата, которые приводят к неприемлемым показателям эффективности относительно заданного уровня затрат, внутренней экономической окупаемости или порогового значения чистой текущей стоимости. Карта реагирования на изменение климата показывает состояния климата, которые приводят к неприемлемой эффективности относительно пороговых значений. Области, выделенные красным, считаются неприемлемыми, а зеленые — приемлемыми. Поэтому, как видно из этого примера, сценарии, которые находятся в красной области или вблизи порога между красной и зеленой областью, потребуют дополнительного внимания. Поля изменения климата из климатических моделей можно использовать только для информирования о диапазоне изменений, при этом вопросы вероятности оставлены для ответа на последующих этапах стресс-теста.

Определите области на поверхности реагирования на климат, где эффективность системы становится неприемлемой в сравнении с ранее заданными порогами эффективности. Сценарии, приводящие к неудаче, которые называются сценариями уязвимости, определяются уровнями суммарных осадков и температуры (или другими переменными изменения климата, если применимо), выше или ниже которых система не может работать приемлемым образом.

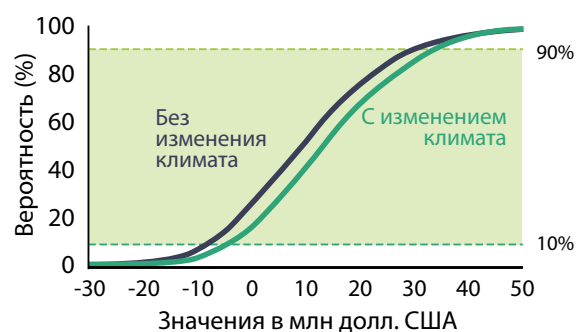
Рисунок 6. Пример карты реагирования на изменение климата для гидроэнергетического проекта в русле реки (Рэй и Браун, 2015 г.). Значки соответствуют среднегодовым значениям температуры и осадков за указанные периоды. Масштабированные на меньший размер значения модели общей циркуляции представляют собой средние значения за 20 лет с 2030 по 2050 год.



Анализ Монте-Карло или другие модели дадут кривую распределения вероятностей проектных рисков с изменением климата и без него. Иллюстративный пример эмпирической кумулятивной функции распределения представлен на рисунке 7. Эти результаты представлены в виде "общей" кривой распределения (при условии, что каждый прогон модели одинаково вероятен и ранжирован в порядке стоимости моделируемого проекта), полученной из анализа реестра рисков, чтобы показать возможное изменение стоимости проекта, относящееся к рискам проекта с изменением климата и без него. На рисунке 7 показан только один сценарий воздействий изменения климата, но на более проработанных графиках будет представлено воздействия для как можно большего числа сценариев, вероятно, с использованием

диапазонов и границ неопределенности. По этой кривой распределения для данного конкретного проекта можно дать вероятностную оценку возможного воздействия затрат, связанных с климатическими изменениями, на существующий проект.

Рисунок 7. Пример кривой распределения для нарастающих или убывающих затрат на строительство, связанных с рисками проекта с изменением климата и без него.



После выбора мер адаптации на этапе 4 можно разработать аналогичные кривые распределения, отражающие изменение уязвимости модифицированного проекта на этапе 4.2.

На шаге 4.3. расчет потерь имеет основополагающее значение для принятия решения о наилучшем модифицированном проекте.

Потери проекта в любом сценарии — это отклонение или разница между эффективностью этого проекта в этом сценарии и эффективностью наилучшего проекта в этом сценарии. Сравнение "потерь" может оказаться полезным в условиях неопределенности, так как помогает ответить на следующий вопрос: Насколько плохими могут быть результаты, если климатические проекции окажутся неточными? Сравнение "потерь" оказывается особенно полезным, когда вероятность альтернативных сценариев неизвестна с какой-либо достоверностью.

Чтобы рассчитать потери, сначала рассчитайте эффективность каждого проекта в каждом сценарии. Затем для каждого сценария выявите проект, который лучше всего работает в этом сценарии. Назначьте для этой наилучшей стратегии нулевое значение потерь в этом сценарии. Наконец, для каждой из остальных стратегий назначьте потери в этом сценарии, равные разнице между эффективностью этой стратегии и эффективностью наилучшей стратегии.

Обратите внимание, что потери могут быть записаны в абсолютном или относительном выражении. Относительные показатели могут быть удобнее для оценки отклонения от наилучшей целевой эффективности.

В таблицах 10 и 11 показан простой условный пример вычисления потерь для двух проектов (А и В) и трех сценариев (1, 2 и 3). Предположим, что числа представляют чистый дисконтированный доход от электроэнергии, выработанной в рамках проекта, которую заказчик/застройщик хотел бы максимально увеличить.

Из таблицы 10 видно, что проект А работает лучше в сценариях 2 и 3, но хуже в сценарии 1. Проект А работает в сценарии 1 очень плохо и дает максимальные потери 6, по сравнению с максимальными потерями проекта В, которые равны 3 (как показано в таблице 11). Таким образом, для минимизации максимальных потерь следует выбрать проект В.

Если заказчики/застройщики будут удовлетворены проектом, который лишь на три единицы отличается от наилучшего проекта выработки электроэнергии, у проекта В будут приемлемые потери во всех трех сценариях, в то время как у проекта А приемлемые потери будут в двух сценариях. Таким образом, по критерию приемлемых потерь проект В также считается наиболее устойчивым. Однако, если заказчикам/застройщикам требуются потери не более двух, то на основании критерия приемлемых потерь нельзя рекомендовать ни один из этих двух проектов. В этом случае заказчики/застройщики могут либо искать дополнительный проект С, потери которого не

превышают трех во всех трех сценариях, либо должны пересмотреть свое требование о потерях не более трех.

Таблица 10. Представление чистого дисконтированного дохода от производства электроэнергии.

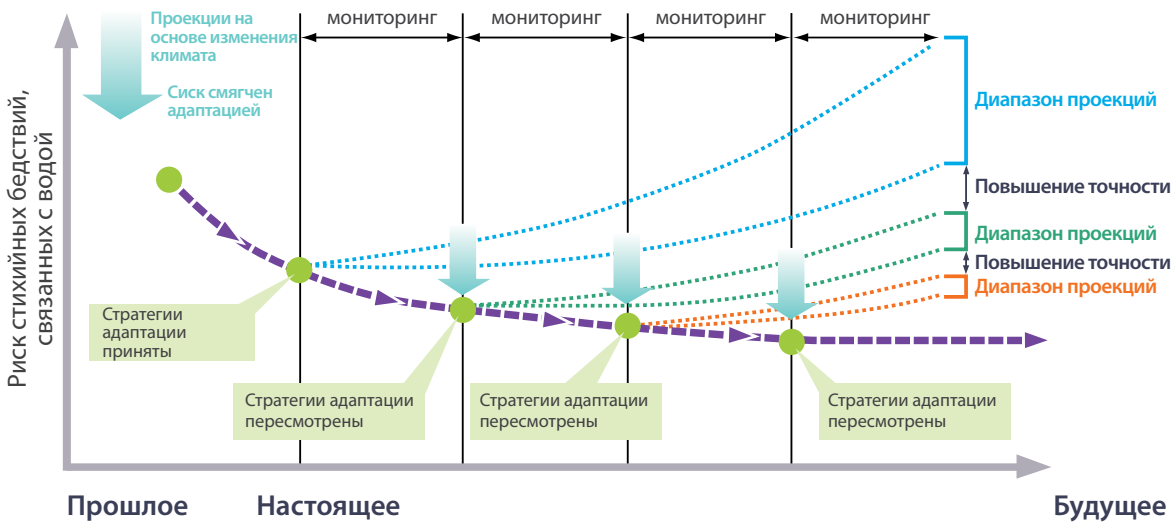
	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Проект А	4	10	5
Проект В	10	7	4

Таблица 11. Расчет потерь для вариантов.

	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3
Проект А	6	0	0
Проект В	0	3	1

Можно также использовать подход "пути адаптации" (как показано на рисунке 8). Он позволяет составить список мер, которые обеспечивают низкий уровень потерь и взаимовыгодные меры повышения устойчивости.

Рисунок 8. Подход к адаптивному управлению без потерь (ICOLD, 2016 г.).





www.hydropower.org

Международная ассоциация гидроэнергетики (International Hydropower Association, IHA) — это некоммерческая организация, которая работает со множеством членов и партнеров более чем в 100 странах.

Наша миссия состоит в том, чтобы **развивать устойчивую гидроэнергетику** путем накопления и обмена знаниями о ее роли в системах возобновляемой энергетики, ответственном управлении пресной водой и решениях, связанных с изменением климата.