

А. А. Волчек, Л. В. Образцов, П. В. Шведовский

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА В ЗАПАДНОМ  
ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ БЕЛАРУСИ**

Минск  
РИВШ  
2020

УДК 332.142:628(476)  
ББК 65.44-1(4Бел)  
В68

Рекомендовано  
советом факультета инженерных систем и экологии  
УО «Брестский государственный технический университет»  
(протокол № 3 от 27 ноября 2019 г.)

Рецензенты:

директор Гродненского филиала частного учреждения образования  
«БИП-Институт правоведения», кандидат физико-математических наук,  
доцент *Ю. Ю. Гнездовский*;  
директор ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси»,  
кандидат биологических наук, доцент *Н. В. Михальчук*

**Волчек, А. А.**

В68      Организационно-экономические и экологические аспекты  
модернизации водохозяйственных объектов жилищно-коммуналь-  
ного хозяйства в западном трансграничном регионе Беларуси /  
А. А. Волчек, Л. В. Образцов, П. В. Шведовский. – Минск : РИВШ,  
2020. – 176 с. : ил.  
ISBN 978-985-586-301-5.

В монографии представлена организация процесса управления рисками при проектировании, строительстве и эксплуатации водохозяйственных объектов. Рассмотрены принципы управления инвестиционной программой, собственно технические аспекты модернизации водохозяйственных систем и объектов, включающие методы технического обследования и оценку технического состояния на примере г. Пружаны. Раскрыты особенности взаимосвязей и взаимозависимости рисков и неопределенности функционирования систем и объектов с эмерджентными и синергетическими подходами. Содержатся прогнозы вероятности возникновения техногенных аварий и оптимизации сроков реализации мероприятий по поддержанию экологической безопасности и надежности объектов и систем.

Адресуется экологам, специалистам, руководителям организаций в области проектирования, строительства и эксплуатации водных объектов.

УДК 332.142:628(476)  
ББК 65.44-1(4Бел)

ISBN 978-985-586-301-5

© Волчек А. А., Образцов Л. В.,  
Шведовский П. В., 2020  
© Оформление. ГУО «Республиканский  
институт высшей школы», 2020

## ВВЕДЕНИЕ

---

Сегодня как никогда ранее насущной является проблема развития и функционирования водохозяйственных объектов в Республике Беларусь с точки зрения экологического и экономического баланса. Развитие современных водохозяйственных объектов требует реализации не локальных модернизаций и капитальных ремонтов, а реконструкций с активным использованием энерго- и ресурсосберегающих технологий и учета естественных способностей природной среды к саморегуляции и восстановлению.

Для большинства водохозяйственных объектов западного трансграничного региона разработаны или находятся в стадии проработки технико-экономическое обоснование и программа приоритетных инвестиций. Поэтому авторами монографии детально проанализированы эколого-экономические аспекты проектных решений: потребность в инвестициях, демографический прогноз, экологическая и экономическая выгода, экономическая рентабельность, менеджмент и др.

Республика Беларусь Указом Президента от 21 апреля 2003 г. присоединилась к Хельсинкской конвенции Европейской экономической комиссии ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, а Указом от 31 марта 2009 г. – к Протоколу по проблемам воды и здоровья к Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер, принятому в Лондоне 17 июня 1999 г. Одним из основных направлений реализации положений Конвенции является организация сотрудничества по трансграничным водам с другими государствами.

В настоящее время Республика Беларусь является стороной двусторонних соглашений о сотрудничестве в области охраны окружающей среды с соседними государствами: Латвийской Республикой, Российской Федерацией, Литовской Республикой, Польшей, Украиной. В соглашениях устанавливаются общие принципы сотрудничества в области охраны окружающей среды, в том числе в части охраны трансграничных водотоков и озер, а также декларируются принципы взаимодействия для реализации установленных целей.

8 июня 2015 г. Президентом Республики Беларусь подписан Указ № 232, позволяющий реализовать инвестиционный проект «Беларусь: экологический инфраструктурный проект – первый этап», направленный на решение экологических проблем западного региона республики. Проектом предусмотрены комплексная реконструкция очистных

сооружений, в том числе Бреста, Пинска, Гродно, и строительство биогазовых комплексов на очистных сооружениях в Барановичах и Слониме. Следует отметить, что в Беларуси эксплуатируется порядка 1300 очистных сооружений, на которых ежегодно очищается более 1,3 млн кубометров стоков.

Не менее важную роль в решении экологической проблемы играет программа «Чистая вода», которая должна быть реализована до 2025 г. Ее масштабность определяется необходимостью модернизации в стране более 2 тыс. объектов систем водоснабжения и водоотведения общей стоимостью порядка 250 млн долларов. А это, безусловно, сложно сделать без привлечения инвестиций международных банков и активного сотрудничества трансграничных стран.

В монографии рассматриваются основные организационно-экономические и экологические аспекты сотрудничества, перспективы развития и пути кардинального решения проблемы оптимального функционирования систем водоснабжения и водоотведения в трансграничном регионе.

Все замечания и пожелания по монографии просим направлять по адресу: 224017, г. Брест, ул. Московская, 267, БрГТУ.

## Глава 1

# ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ<sup>1</sup>

---

Начиная с 2013 г. в Республике Беларусь был введен ряд новых природоохранных нормативных документов, которыми были приняты концепция и нормативы, ужесточающие требования к степени очистки сточных вод по мере увеличения мощности очистных сооружений, а также положения, устанавливающие значения допустимых концентраций загрязняющих веществ в производственных сточных водах отдельных отраслей промышленности, отводимых в водные объекты и системы коммунальной канализации.

Учитывая реальные экономические возможности страны, многие положения принимались с учетом сложившейся практики установления нормативов и контроля их выполнения, которые могут быть достигнуты при взаимодействии органов государственного регулирования и водопользователей. В то же время некоторые из заимствованных положений были более либеральными по отношению к водопользователям, нежели определяемые расчетами по ранее действующим методикам. Был также реализован принцип, направленный на удаление большей массы загрязняющих веществ, отводимых со сточными водами, с использованием технически и экономически обоснованных методов и технологий. Изменение природоохранных норм и требований к степени очистки сточных вод потребовало пересмотра порядка проектирования и строительства очистных сооружений.

Развитие современных водохозяйственных объектов особенно нуждается в реконструкции и переоснащении существующих комплексов и отдельных сооружений, их модернизации и расширении.

Практика проведения локальных модернизаций, капитальных ремонтов не позволяет кардинально решить проблему, так как зачастую мощности подходят к критической черте. При этом всегда присутствуют как минимум две дополнительные проблемы: отсутствие свободных

---

<sup>1</sup> Глава написана совместно с инженером Н. В. Дорогокупец.

площадей для расширения объектов и поступление (с определенной периодичностью) жалоб со стороны жителей прилегающих жилых зон.

Основными вопросами и проблемами экологии остаются сохранение потребности в санитарно-защитных зонах, учет розы ветров, рельефа местности, конфигурации участка. По-прежнему остро стоит проблема интенсивного наращивания мощностей предприятий, строительства жилых и общественных зданий и сооружений. При этом если при строительстве новых объектов учитывать экологические проблемы достаточно просто, то при их реконструкции возникает ряд серьезных проблем.

Реконструкция систем очистных сооружений и их техническое переоснащение – не только экологическая, но и социальная проблема. В современных социально-экономических условиях развития и расширения в большинстве случаев преобладает реконструкция, главной задачей которой было и остается внедрение и активное применение энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий с использованием уже существующего научного потенциала как ближнего, так и дальнего зарубежья.

В качестве альтернативного варианта по планируемой хозяйственной деятельности может рассматриваться отказ от реконструкции действующих сооружений (нулевой вариант). Однако отказ от реконструкции ограничивает возможности улучшения качества вод водоприемников сточных вод и сокращения общей эвтрофикации, что отрицательно скажется на природоохранной деятельности Республики Беларусь как в рамках бассейнов рек, так и в рамках международного сотрудничества по данному направлению.

Баланс интересов различных сторон обеспечивается за счет применения различных моделей и подходов в реализации поставленной задачи. При этом следует рассматривать всю совокупность экономических, правовых, административных и общественных механизмов, способствующих производству экономически эффективных услуг и экономически обоснованному их потреблению.

Одна из основных причин начинающегося экологического дисбаланса в нашей стране – приоритетное развитие в течение многих лет ресурсоемких, многоотходных отраслей материального производства без учета естественных способностей природной среды к саморегуляции и восстановлению [17].

Сегодня реально наиболее эффективно решать проблемы экологической безопасности создаваемых природно-технических систем на этапе их проектирования.

Вместе с тем баланс интересов государства, экологических проблем и задач строительства при реконструкции не приближен к взаимопониманию как в социальной, так и в материальной составляющих. Доля экологических затрат на предприятиях Европейского союза существенно выше, чем на белорусских. По настоящее время предметом дискуссий является проблема законодательного регулирования финансовой политики в данных вопросах. А это формирует и доказывает наличие так называемой экологической культуры страны, ее заботу о благополучии будущих поколений.

Ряд европейских организаций и объединений выразил готовность в оказании консультационных услуг по улучшению экологических аспектов водоочистки и уменьшению воздействия на окружающую среду, финансовой помощи (зачастую безвозмездной) в реализации проектов по повышению степени очистки и снижению концентрации соединений азота и фосфора в отводимых сточных водах.

В июне 2011 г. в г. Шверин (Германия) комиссией Европейского союза в рамках программы «Регион Балтийского моря 2007–2013» был рассмотрен и одобрен Комитетом по мониторингу проект по снижению эвтрофикации Балтийского моря на современном этапе («Project on Reduction of the Eutrophication of the Baltic Sea Today (PRESTO)»). В рамках данного проекта были предоставлены безвозмездные гранты на модернизацию канализационных очистных сооружений в ряде городов Республики Беларусь. Финансирование осуществлялось из фонда Европейского инструмента соседства и партнерства при софинансировании Фонда Джона Нурмиена (John Nurminen Foundation) (Финляндия). Кроме того, проекты в области водного хозяйства Республики Беларусь финансирует Шведское агентство по сотрудничеству в области международного развития, заинтересованное в реализации экологических проектов, и Экологическое партнерство Северного измерения, которое одной из своих целей называет защиту экологии Балтийского моря.

Экологические проблемы, связанные с эвтрофикацией природных водных объектов, весьма актуальны для региона Балтийского моря. Одна из причин, приводящая к интенсификации эвтрофикационных процессов, – поступление питательных веществ (соединений азота и фосфора) и их последующий вынос с речными водами в Балтийское море. Республика Беларусь, не являясь прибрежным государством и не имея прямого выхода к Балтийскому морю, все же частично располагается в водосборном бассейне Балтики, так как речные системы Западной Двины, Немана, Вилии тоже транспортируют значительное количество биогенов в Балтийское море.

Одним из решений указанной проблемы могут быть мероприятия по снижению массы биогенных веществ, поступающих в водные объекты с территории бассейна, в том числе из точечных источников. Как известно, одним из точечных источников эмиссии биогенных веществ являются выпуски сточных вод в реки. Повышение степени очистки и, соответственно, снижение концентрации соединений азота и фосфора в отводимых сточных водах может обеспечить снижение общей биогенной нагрузки на Балтику.

К настоящему времени в Республике Беларусь проделана широкомасштабная работа по строительной экологической оценке при разработке тех или иных проектов общего планирования «Схем комплексной территориальной организации» районов, которая особенно активизировалась после объявления о намерении Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР) профинансировать реконструкцию ряда очистных сооружений в Республике Беларусь.

10 декабря 2009 г. Совет директоров ЕБРР утвердил стратегию по Республике Беларусь, в которой закреплено намерение банка оказывать поддержку инвестиционным проектам, направленным на совершенствование муниципальных услуг, с использованием рамочных механизмов финансирования при участии нескольких муниципалитетов.

Во исполнение указанной стратегии был предложен Рамочный механизм финансирования коммунальной экологической инфраструктуры в Республике Беларусь с использованием кредита для финансирования инвестиций в очистку сточных вод, выработку энергии из биогаза на канализационных очистных сооружениях и других муниципальных услуг. В Рамочном механизме также используются схемы грантового финансирования капитальных проектов из средств Экологического партнерства Северного измерения и Шведского агентства по сотрудничеству в области международного развития. Соответствующее соглашение между Беларусью и ЕБРР подписано в 2016 г.

В консорциуме с Северным инвестиционным банком ЕБРР профинансировал реконструкцию очистных сооружений в Бресте, Гродно и строительство биогазовых комплексов на очистных сооружениях в Слониме и Барановичах. Биогазовая установка в Барановичах была введена в эксплуатацию в декабре 2017 г. Общий объем кредитных средств на реализацию данных проектов составил 39,35 млн евро, грантовое финансирование освоено в размере 31,88 млн евро. Эффект по этим направлениям носит долгосрочный характер, обусловленный в первую очередь снижением нагрузки на окружающую среду, связанной с отведением сточных вод.



Обеспечение финансовой устойчивости водного хозяйства и совершенствование тарифной политики – одно из условий уже заключенных кредитных договоров ЕБРР с Республикой Беларусь.

Департамент ценовой политики Министерства экономики Республики Беларусь акцентировал внимание на том, что при выстраивании тарифной политики в области водоснабжения ставится цель достичь баланса интересов потребителей и производителей. В стране уже действует механизм дифференцированной оплаты: определенный объем воды оплачивается по субсидированному тарифу, остальной – по тарифу, обеспечивающему полное возмещение экономически обоснованных затрат. Сегодня обсуждаются параметры прогноза социально-экономического развития Беларуси и параметры бюджета на 2020 год. В прогнозе должны быть учтены курсы валют, темпы роста ВВП, зарплат и иные макроэкономические факторы, влияющие в том числе на затраты, учитываемые при формировании тарифов, и на платежеспособность населения. Сейчас ЕБРР помогает белорусским организациям оптимизировать затраты с помощью внедрения новых технологий.

Международным банком реконструкции и развития с 2009 г. на реализацию в Беларуси проекта «Развитие системы водоснабжения и водоотведения» выделено 150 млн долларов заемных средств. К 2017 г. освоено около 100 млн долларов, завершены работы по 29 объектам, еще 29 стоимостью около 50 млн долларов введены в 2018 г. Среди проектов – реконструкция системы канализации в Логойске, Борисове и Быхове, канализационного коллектора № 3 в Бобруйске, очистных сооружений в Мстиславле. Планируется также строительство главной канализационной насосной станции в Ганцевичах, водопроводных сетей в Кричеве (первая очередь), станции обезжелезивания подземных вод на головном водозаборе в Речице и 12 станций обезжелезивания в Витебской области.

Всего с 2009 г. в систему жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) Беларуси в рамках сотрудничества с Международным банком реконструкции и развития, Европейским банком реконструкции и развития и Северным инвестиционным банком привлечены инвестиции на общую сумму около 280 млн евро. В Беларуси сложился позитивный опыт работы с международными финансовыми организациями по реализации проектов в сфере ЖКХ. Привлечение кредитных средств в настоящее время является основным способом реабилитации коммунального хозяйства. Международные банки предлагают достаточно комфортные условия заимствования, есть возможность привлечения передового опыта и практики.

По общим оценкам на балансе организаций ЖКХ Беларуси находятся 10 197 артезианских скважин, 1300 очистных сооружений,

598 станций обезжелезивания воды, 38,2 тыс. км водопроводных сетей, 18,5 тыс. км канализационных сетей.

Для каждого из объектов кредитования осуществляется обязательная проработка технико-экономического обоснования (ТЭО) и программы приоритетных инвестиций (ППИ).

Целями ТЭО являются: разработка доступной, наименее затратной, экономически эффективной и приемлемой для банков инвестиционной программы по очистке сточных вод, позволяющей значительно повысить эффективность существующих систем; привнести сильные социальные и экологические преимущества; определить ключевые элементы реконструкции, затрат, рекомендации в отношении подходящих условий кредитных соглашений, сроков реализации и др.

ППИ необходима для оказания предприятиям водопроводно-канализационных хозяйств содействия в повышении качества, надежности и экологической устойчивости оказываемых ими услуг в соответствии с национальными требованиями Республики Беларусь и рекомендациями ХЕЛКОМ по очистке сточных вод (The Helsinki Commission, HELCOM – Хельсинкская комиссия по защите морской среды Балтийского моря).

Финансирование программ приоритетных инвестиций планируется осуществлять за счет кредитов Северной экологической финансовой корпорации (НЕФКО) и возможных грантовых средств на основе финансового анализа.

Реконструкция очистных сооружений с увеличением степени очистки по ряду основных компонентов является одним из приоритетных природоохранных направлений Республики Беларусь для обеспечения снижения экологической нагрузки на бассейн Балтийского моря.

Реализация вышеперечисленных проектов позволяет обеспечить эффективное снижение загрязнений очищаемых коммунальных и производственных сточных вод с использованием современных технологий очистки стоков, реализованных в ряде очистных комплексов Европы.

Проектные решения по модернизации и реконструкции устаревших сооружений очистки разрабатываются индивидуально для каждой существующей площадки очистных сооружений.

Частными задачами, решаемыми для реализации поставленных целей, явились:

- технический обзор ситуации;
- анализ существующего положения;
- техническая оценка состояния реконструируемых объектов.

Что касается в целом по управлению водными ресурсами в трансграничных регионах, то первым и достаточно устойчивым был проект

PL-BY-UA – «Укрепление приграничного польско-белорусско-украинского институционального сотрудничества в части управления водными ресурсами бассейна реки Западный Буг» [9].

Бассейн трансграничной реки Западный Буг площадью около 90 тыс. км<sup>2</sup> составляет 20,3 % бассейна реки Вислы и располагается на территории Польши (49,2 % поверхности бассейна), Беларуси (23,4 %) и Украины (27,4 %) (рис. 1.1). В среднем течение Западный Буг длиной 363 км является естественной границей между странами Западной (Польша) и Восточной (Беларусь и Украина) Европы. Поверхность бассейна используется следующим образом: 45 % – сельскохозяйственные угодья, 27 % – леса и 18 % – луга и пастбища, при этом 14 % территории охвачены государственной охраной (биосферные заповедники, национальные парки, природные заповедники государственного и регионального значения).

На территории бассейна реки Западный Буг проживает около 3 млн человек. Речной сток – 3,82 млрд м<sup>3</sup>, при этом забор поверхностных и подземных вод составляет около 300 млн м<sup>3</sup>, из них в польской части – 38,5 %, в белорусской – 27,1 % и в украинской – 34,4 %. Забор подземных вод составляет более 75 % от общего забора, при этом 77,6 % используется для коммунальных нужд. Забор поверхностных вод (65,4 млн м<sup>3</sup>) производится исключительно для хозяйственных нужд: энергетики, пищевой промышленности, рыбозахвата и орошения.

Объем сточных вод, сбрасываемых в реки бассейна Западного Буга, составляет около 260 млн м<sup>3</sup>, при этом с территории польской части – 12,1 %, белорусской – 18,9 % и украинской – 69,0 %. Загрязнение воды реки органическими веществами по БПК<sub>5</sub> составляет более 3 тыс. т/год, из них в польской части бассейна сброшено 11,4 % БПК<sub>5</sub>, белорусской – 10,6 % и украинской – 78 %.

Качество воды по национальным классификациям на польском участке реки – IV и V класс (по пятиклассификационной системе), белорусском и украинском – II и III класс (по семиклассификационной системе).

Основными целями проекта PL-BY-UA являлись:

- формирование связей для долгосрочного сотрудничества и основ для интеграции деятельности учреждений, занимающихся водной экономикой в бассейне реки Западный Буг в Польше, Беларуси и Украине и региональными и местными учреждениями, которые осуществляют общественно-экономическое развитие;
- увеличение числа и значимости учреждений, участвующих в приграничном сотрудничестве;
- налаживание сотрудничества между экспертами.



Рис. 1.1. Карта бассейна Западного Буга

Бюджет проекта PL-BY-UA составил 249,7 тыс. евро. Участие в финансировании проекта фондов и партнеров приведено на рис. 1.2.

Финансовая схема проекта PL-BY-UA оказала влияние на организацию проекта, а также на функции отдельных партнеров. Факт использования обоих источников (фонды TESIS/CBC и Европейский фонд регионального развития) финансирования проекта привел к тому, что ведущим и главным финансовым партнером стал партнер из Польши, а партнеры из Беларуси и Украины получили статус обычных партнеров.

	Евросоюз, Европейский фонд регионального развития	16,0 %
	Евросоюз, фонд TESIS/CBC	60,1 %
	Институт охраны окружающей среды. <i>Ведущий партнер – главный финансовый партнер</i>	1,8 %
	Региональное управление водного хозяйства в Варшаве. <i>Обычный партнер</i>	1,7 %
	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды. <i>Обычный партнер</i>	3,8 %
	Волынское областное производственное управление водных ресурсов и водного хозяйства в Луцке. <i>Обычный партнер</i>	3,8 %
	Воеводский фонд охраны окружающей среды и водного хозяйства в Люблине	5,9 %
	Воеводский фонд охраны окружающей среды и водного хозяйства в Варшаве	4,3 %
	Воеводский фонд охраны окружающей среды и водного хозяйства в Белостоке	2,6 %
Общий бюджет – 250 тыс. евро		100 %

Рис. 1.2. Источники финансирования проекта PL-BY-UA

Организационная структура проекта, представленная на рис. 1.3, показывает важные связи между партнерами, а также между финансирующими и контролирующими учреждениями проекта.

Партнером проекта PL-BY-UA был утвержден Руководящий комитет для обеспечения согласованности действий, проводимых в рамках проекта, с политикой государств и регионов.

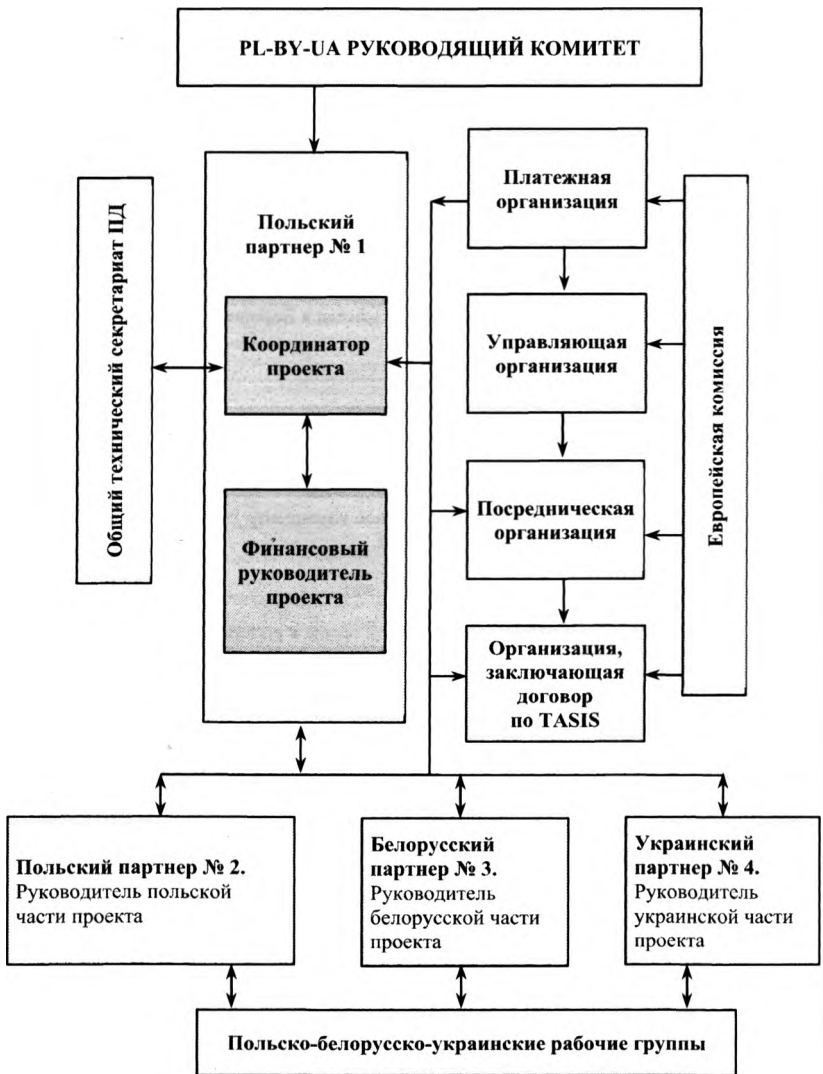


Рис. 1.3. Организационная схема проекта PL-BY-UA

Деятельность рабочих групп в рамках проекта PL-BY-UA была разделена и реализовывалась по трем основным компонентам:

**Компонент А** – организационно-правовой.

**Компонент В** – технический; разделен на четыре компонента: В1. Гидрографическая карта бассейна реки Западный Буг; В2. Рамочная водная директива; В3. Базы данных; В4. Итоги и рекомендации.

**Компонент С** – учебно-информационный; разделен на два подкомпонента: С1. Реклама и публикации; С2. Обучающие курсы

Для управления реализацией проекта были назначены координатор, финансовый руководитель, основной руководитель проекта и руководители белорусской и украинской частями проекта.

В качестве организационно-правовых документов были приняты следующие протоколы и конвенции:

1. **Водная конвенция ЕЭК-ООН:** Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (вступила в силу в 1996 г.); Протокол по воде и здоровью к Водной конвенции ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (вступила в силу в 2005 г.).

2. **Хельсинкская конвенция:** Конвенция по защите морской среды района Балтийского моря (вступила в силу в 2000 г.).

3. **Конвенция в Эспо:** Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (вступила в силу в 1997 г.); Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий (вступила в силу в 2000 г.).

4. **Орхусская конвенция:** Конвенция о доступе информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию в вопросах, касающихся окружающей среды (вступила в силу в 2001 г.).

5. **Рамсарская конвенция:** Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом в качестве местобитаний водоплавающих птиц (вступила в силу в 1975 г.).

Юридической основой системы управления водным хозяйством в Польше, Беларуси и Украине являются Водный закон Польши, Водный кодекс Республики Беларусь и Водный кодекс Украины. Организационная структура управления водным хозяйством во всех этих странах похожая. За водную политику, а также международное сотрудничество на приграничных водах отвечает соответствующее министерство. Вместе с тем реализация этой политики в Польше и Украине

осуществляется по бассейновому принципу, а в Беларуси – по административному (территориальному).

Похожесть организационных структур управления водным хозяйством, а также желание реализовать новую форму сотрудничества позволили оптимизировать организационную структуру Международной комиссии Западного Буга, учрежденной в 2007 г., и начать осуществление проекта PL-BY-UA (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Организационная структура Международной комиссии Западного Буга

Анализ итогов реализации проекта PL-BY-UA позволяет убедительно утверждать, что достигнуты как основные, так и второстепенные цели.

Наиболее существенными результатами проекта PL-BY-UA являются:

- проект Договора в отношении Международной комиссии по охране и использованию водного бассейна Западного Буга;



- ознакомление с правовыми условиями создания и функционирования международных речных комиссий;
- взаимознакомление с системами управления и структурой институционального водного хозяйства в Польше, Беларуси и Украине;
- разработка и согласование на уровне экспертов данных для разработки гидрографической карты бассейна Буга, описания типологии и определения части поверхностных вод, создания гидрографической карты бассейна Буга, организации специализированного обучения.

Проект PL-BY-UA положил начало четырем основным направлениям для дальнейшей работы, которые необходимо продолжать и далее:

- 1) гидрографическая карта бассейна Западного Буга;
- 2) внедрение Единой водной директивы;
- 3) сотрудничество в области совместных рекламных материалов;
- 4) организация специализированного обучения.

Были выявлены и проблемы, препятствующие полной реализации проекта PL-BY-UA, основными из которых являются:

- разные правовые требования в Польше, Беларуси и Украине, а также система хозяйствования водами;
- неравномерная степень доступа к специализированным программам ГТС и компьютерному обеспечению для использования этих программ;
- дифференцированный уровень знаний и опыта в области организации и расчета международных проектов, финансируемых Европейским союзом;

- отсутствие специализированных переводчиков и специализированных польско-русско (белорусско)-украинских словарей, касающихся хозяйствования водами, их охраны и трансграничного сотрудничества в этой области.

Перспективы дальнейшего развития совместной деятельности европейских стран в рамках проекта PL-BY-UA определяются степенью реализации следующих международных рекомендаций:

- полное и безоговорочное исполнение нереализованных рекомендаций Пилотажного проекта по внедрению директив ЕКГ/ООН по мониторингу и оценке качества вод в бассейне реки Западный Буг;
- формирование мероприятий по созданию единой системы мониторинга и оценки качества поверхностных и подземных вод;
- активизация работ, проводимых Государственным геологическим институтом Польши в сфере определения и мониторинга подземных вод бассейна Буга, а также инициирование регулярного

сотрудничества в этой сфере геологических служб Польши, Беларуси и Украины;

- налаживание регулярного сотрудничества польско-белорусско-украинских организаций, занимающихся в бассейне Западного Буга мониторингом, исследованием качества поверхностных вод и разработкой проектной документации, связанной с защитой от наводнений и засухи;

- организация сотрудничества взаимозаинтересованных служб на основе соответствующих трехсторонних соглашений, которые в том числе определяли бы субъект, сферу и форму сотрудничества;

- создание Международного совета бассейна Западного Буга при участии представителей территориального самоуправления и пользователей с польской, белорусской и украинской частей бассейна, а также сотрудничество данного совета с польским Советом Центральной Вислы и украинским Советом по бассейну Западного Буга.

## Глава 2

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ЗАПАДНОМ ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ

---

### 2.1. Особенности оценки потребности в инвестициях<sup>1</sup>

В основе оценки потребности в инвестициях лежат следующие положения:

- 1) цели и политика организации в сфере предоставления услуг водоснабжения и водоотведения;
- 2) основные проблемы и потребности в инвестициях;
- 3) прогнозы водопотребления и объемов сточной воды в долгосрочной перспективе в зоне обслуживания организации;
- 4) долгосрочная инвестиционная стратегия и программа на 20 лет, включающая необходимые мероприятия в следующих подсистемах:
  - производство воды;
  - водопроводная сеть;
  - водоотведение;
  - очистка сточных вод и обработка осадка;
- 5) программа приоритетных инвестиций.

Требования к качеству услуг водоснабжения и водоотведения определены в нормативно-правовых актах Республики Беларусь. Международные финансовые организации формулируют общую цель инвестиционных программ как оказание предприятиям водопроводно-канализационного хозяйства содействия в повышении качества, надежности и экологической устойчивости оказываемых ими услуг в соответствии с действующими национальными требованиями Республики Беларусь и рекомендациями ХЕЛКОМ по очистке сточных вод.

С учетом этого цели и политика в сфере предоставления услуг могут быть сформулированы следующим образом: качество питьевой воды должно соответствовать требованиям национальных норм и директив Европейского союза.

---

<sup>1</sup> Раздел написан инженером Л. Г. Срывкиной.

Основные задачи в сфере развития услуг водоснабжения:

- бесперебойная круглосуточная подача воды с достаточным напором (не менее 0,1 МПа);
- наличие постоянного резерва мощностей для забора и подготовки воды при любых обстоятельствах в размере 20 % от потребности, в том числе при максимальном суточном водопотреблении;
- надлежащее обслуживание и резервирование станций обезжелезивания и распределительных станций с целью недопущения длительных перебоев в подаче воды потребителям;
- уменьшение потерь в системе (в том числе утечек из водопроводной сети) до уровня, соответствующего принципам устойчивости;
- постепенное восполнение долга по реконструкции за счет управления основными средствами и темпа обновления активов в соответствии с принципами устойчивости системы;
- обеспечение подачи воды для целей пожаротушения в соответствии с местными нормативными требованиями.

Качество стоков после очистки должно соответствовать требованиям национальных норм и требованиям ХЕЛКОМ. Обработка и утилизация осадка должны осуществляться в соответствии с национальными требованиями, директивами Европейского союза и принципами устойчивого развития.

Основные задачи в сфере развития услуг водоотведения и очистки сточных вод:

- бесперебойное круглосуточное отведение сточных вод без заплывов;
- уменьшение потерь в системе (в том числе инфильтрации в канализационную сеть) до уровня, соответствующего принципам устойчивости;
- постепенное восполнение долга по реконструкции за счет управления основными средствами и темпа обновления активов в соответствии с принципами устойчивости системы.

Прогноз водопотребления и объемов сточной воды базируется на прогнозе изменения численности населения. В качестве источника информации выступают статистические данные о численности населения соответствующего населенного пункта за 15–20 лет, рассчитанные совокупные среднегодовые темпы роста, а также показатели плановой численности населения согласно генеральному плану развития города. Помимо этого, следует учитывать:

- достигнутый уровень охвата услугами водоснабжения и водоотведения;

- возможное расширение зоны обслуживания водозабора и очистных сооружений канализации;
- показатели потребления воды, расхода сточных вод на душу населения, водопотребления бюджетных организаций, промышленных и коммерческих предприятий и прогноз относительно их роста;
- уровень неучтенных потерь воды;
- объем инфильтрации в канализационную систему.

На основании анализа указанных показателей формируется прогнозируемый баланс водоснабжения и водоотведения населенного пункта на перспективу 20 лет.

Рассмотрим указанные выше положения на примере.

Так, в течение 2001–2018 гг. численность населения г. Кобрин колебалась: до 2006 г. сокращалась, а затем начала постепенно расти с 50 408 человек на 1 января 2006 г. до 53 177 человек на 1 января 2018 г. [9]. Совокупный среднегодовой темп роста составил 0,2 %.

Прогноз изменения численности населения на период до 2038 г., представленный на рис. 2.1, разработан методом экстраполяции с учетом выявленного темпа роста.



Рис. 2.1. Демографический прогноз для г. Кобрин на период до 2038 г.

В таблице 2.1 представлен детальный прогноз численности населения, который использовался при проведении анализа. Данный прогноз является консервативным по отношению к оптимистичной оценке плановой численности населения г. Кобрин согласно Генеральному плану развития, утвержденному решением Кобринского городского исполнительного комитета № 54 от 24 марта 2015 г.: 55 000 человек в 2030 г. (по консервативному прогнозу в таблице – 54 467 человек).

Таблица 2.1

## Прогноз численности населения г. Кобрин на период до 2038 г.

Дата	Численность населения, человек
На 01.01.2018 (факт.)	53 177
На 01.01.2020	53 390
На 01.01.2025	53 926
На 01.01.2030	54 467
На 01.01.2035	55 014
На 01.01.2038	55 345

При расчете баланса водоснабжения и водоотведения на 20-летнюю перспективу в Кобрине принимаются следующие показатели:

1 – в подсистеме производства и потребления воды:

1.1 – достаточно высокий текущий уровень охвата услугами потребления воды – 99,7 % и необходимость охвата прогнозируемого нового населения;

1.2 – относительно низкие текущие показатели потребления воды – 98 л/чел./сут. и прогноз их роста до 120 л/чел./сут.;

1.3 – сохранение текущего уровня водопотребления коммерческих и промышленных предприятий;

1.4 – сохранение текущего уровня неучтенных потерь воды (9 %) и потребления воды на собственные нужды Водоканала (650 м<sup>3</sup>/сут.);

2 – в подсистеме водоотведения:

2.1 – сохранение текущего уровня охвата населения услугами водоотведения (около 95 %) и необходимость охвата прогнозируемого нового населения;

2.2 – относительно низкий текущий расход сточных вод на душу населения – 92 л/чел./сут. и прогноз роста данного показателя до 120 л/чел./сут.;

2.3 – неизменный уровень инфильтрации в канализационную систему – 30 %.

Потенциальная зона расширения водоснабжения включает несколько сельских населенных пунктов с суммарной численностью населения 2500 человек, расположенных в радиусе 1,5–3,5 км от города. Если они будут подключены к городскому водозабору с учетом приведенных выше прогнозируемых показателей, то через 20 лет среднесуточная добыча воды из артезианских скважин составит 9900 м<sup>3</sup>/сут.

На текущий момент максимальный суточный объем подъема воды из артезианских скважин составляет около 12 000 м<sup>3</sup>/сут., что в 1,5 раза больше среднесуточного показателя (7950 м<sup>3</sup>/сут.). При использовании такого же коэффициента для составления прогноза через 20 лет максимальный суточный объем подъема из артезианских скважин составит

14 500–15 000 м<sup>3</sup>/сут. Учитывая необходимость резервирования 20 % мощностей сверх максимального уровня водопотребления, требуемая производительность водозаборов составит 17 400–18 000 м<sup>3</sup>/сут. Производительность существующих скважин и станции обезжелезивания составляет 19 000 м<sup>3</sup>/сут (792 м<sup>3</sup>/ч). Таким образом, текущая производительность достаточна для обеспечения будущих потребностей.

С учетом потенциального расширения зоны обслуживания очистных сооружений канализации г. Кобрина за счет подключения нескольких сельских населенных пунктов прогнозируемый средний расход сточных вод на очистных сооружениях города в 20-летней перспективе составит 12 190 м<sup>3</sup>/сут.

На основе выявленных основных задач в сфере потребления услуг и основных проблем по результатам оценки технического состояния систем водоснабжения и водоотведения формируется долгосрочная стратегия 2019–2038 гг. (таблица 2.2).

Таблица 2.2

**Мероприятия долгосрочной инвестиционной стратегии  
по модернизации системы водоснабжения и водоотведения  
КУПП «Кобринрайводоканал»**

Подсистема	Мероприятия
Производство воды	Замена трубопровода сырой воды для обеспечения бесперебойной подачи воды на станцию обезжелезивания
	Замена запорно-регулирующей арматуры на приводные задвижки, внедрение полной автоматизации на водозаборе «Брилево»
	Замена оборудования насосной станции второго подъема насосами меньшей производительности с преобразователями частоты
	Разработка плана обеспечения безопасности водоснабжения при авариях и мер по снижению рисков в зоне формирования подземных запасов воды и на водозаборе
Водопроводная сеть	Замена двух дюкеров под р. Мухавец
	Расширение распределительной сети на близлежащие деревни
	Продолжение замены полностью амортизированных водопроводных сетей и задвижек
	Внедрение дистанционной системы управления напором в сетях и расходом
Водоотведение	Промывка самотечных коллекторов и их телеметрическое обследование для уточнения данных о состоянии канализационных трубопроводов
	Реконструкция наиболее проблемных участков коллекторов на основе результатов телеметрического обследования
	Строительство второго напорного коллектора для КНС по ул. Новоселов
	Реконструкция пяти крупнейших канализационных насосных станций
	Подключение ближайших деревень к основной системе канализации
	Продолжение замены полностью амортизированных самотечных канализационных коллекторов

Окончание табл. 2.2

Подсистема	Мероприятия
Очистка сточных вод и обработка осадка	Повышение эффективности удаления биогенных элементов в соответствии с рекомендациями ХЕЛКОМ путем внесения изменений в технологический процесс и расширения существующих сооружений биологической очистки
	Замена механического и электрического оборудования с целью обеспечения работоспособности существующих технологических блоков и снижения энергопотребления
	Строительство нового блока обезвоживания осадка для снижения объемов осадка. Исследование возможности принятия дополнительных мер для использования обезвоженного осадка в сельском хозяйстве и (или) при благоустройстве территорий в соответствии с принципами экологической устойчивости
	Принятие мер по усилению мониторинга качества промышленных сточных вод для снижения нагрузок промышленных стоков на очистные сооружения

На основе долгосрочной стратегии с учетом предварительной оценки стоимости конкретных планируемых мероприятий разработана долгосрочная программа, рассчитанная на капиталовложения за 20 лет в объеме около 16 760-тыс. евро – 315 евро на душу населения (рис. 2.2).

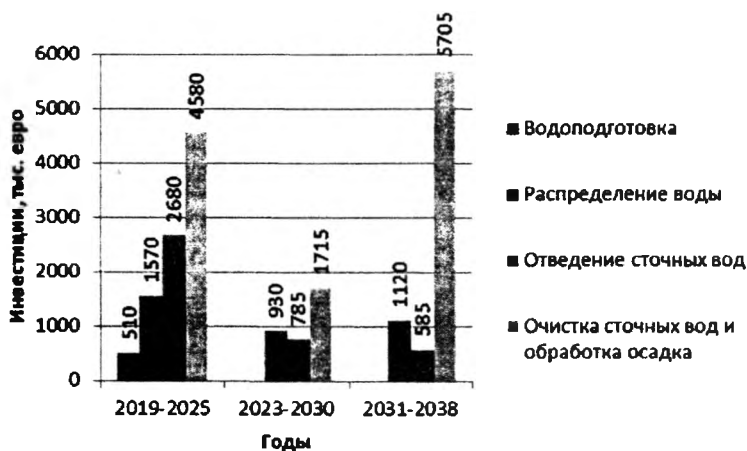


Рис. 2.2. Ориентировочная разбивка долгосрочных инвестиционных потребностей по периодам реализации программы

Основные инвестиционные потребности связаны с системой водоотведения (12 630 тыс. евро, или 75,4 %), в то время как капиталовложения



в систему водоснабжения (4130 тыс. евро) составляют 24,6 % от общих затрат (рис. 2.3).

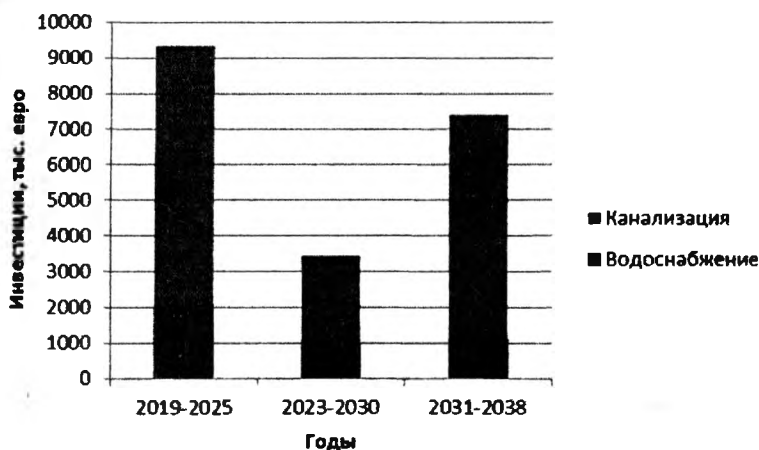


Рис. 2.3. Структура долгосрочных инвестиционных потребностей

Таким образом, для реализации программы модернизации системы водоснабжения и водоотведения требуется выполнить большой объем работ в условиях ограниченного финансирования. Данная цель может быть достигнута только в перспективе (реалистичный срок достижения – 2030–2040 гг.), т. е. за пределами горизонта практического планирования.

Тем не менее разработка стратегии является важным шагом, поскольку дает возможность сформулировать долгосрочные цели, определить ресурсы для их достижения и осуществить поиск возможностей получения ресурсов. На тактическом уровне управления реализацией программы решается вопрос о том, как достичь поставленных стратегических целей, как должны быть распределены ресурсы организации в среднесрочной перспективе. Оперативный уровень управления связан с принятием решений об отдельных операциях и задачах в краткосрочной перспективе (обычно до одного месяца), в первую очередь связанных с ликвидацией отклонений от тактических программ.

В связи с ограниченностью финансовых ресурсов возникает необходимость формирования детализированной краткосрочной программы приоритетных инвестиций.

## 2.2. Программа приоритетных инвестиций<sup>2</sup>

Программа приоритетных инвестиций включает следующие компоненты:

- 1) предложение и одобрение ППИ;
- 2) подробное описание программы и оценка затрат;
- 3) стратегия реализации программы;
- 4) анализ доступности.

Ориентировочная стоимость ППИ для КУПП «Кобринрайводо-канал» составляет 5 700 000 евро с учетом НДС.

Важным этапом является финансовый и экономический анализ программы, механизм выполнения которого отражен в таблице 2.3.

Таблица 2.3

**Методика финансово-экономического анализа программы приоритетных инвестиций**

Направления	Разделы	Показатели
1. Социально-экономические данные	1.1. Данные о населении	Численность населения
		Доля трудоспособного населения
	1.2. Домашние хозяйства	Средний доход на душу населения
		Распределение населения и домашних хозяйств по уровню среднедушевых располагаемых ресурсов
		Расходы
	1.3. Ориентир на доступность	Доступный счет за воду Средний реальный счет за воду
2. Установление тарифов, доступность, политика выплаты субсидий и договор на оказание услуг населению	2.1. Нормы установления тарифов и методология	Тарифы для населения
		Тарифы для юридических лиц Субсидии
	2.2. Динамика тарифов	Население
		Другие потребители
	2.3. SWOT-анализ тарифной системы	Сильные стороны
		Слабые стороны Возможности Угрозы
3. Финансовый анализ компании	3.1. Результаты работы предприятия	Оборот по комплексу услуг (если таковые имеются), объемы продаж в натуральном выражении по виду оказанных услуг
		Выписывание счетов, система сбора и собираемость платежей, в том числе по наличному и безналичному расчету
	3.2. Активы	Новые активы
		Активы выведены из эксплуатации
		Износ активов
		Переоценка активов

<sup>2</sup> Раздел написан инженером Л. Г. Срывкиной.

Окончание табл. 2.3

Направления	Разделы	Показатели		
	3.3. Долговые обязательства	Список кредиторов и сумма кредиторской задолженности Социальные обязательства, взятые на себя компанией Непогашенные кредиты		
	3.4. Внеоборотные средства	Основные средства по основным категориям Политика начисления амортизации и сравнение амортизационных расходов с капитальными затратами Список объектов, незавершенных строительством		
	4. Финансовая модель и прогноз для компании	4.1. Инвестиционный пакет ПИП	Инвестиции Экономия за счет энергосбережения Дополнительные операционные расходы Экономические выгоды с точки зрения экологических выгод Внутренняя норма доходности ( <i>IRR</i> ) Чистая текущая стоимость ( <i>NPV</i> )	
			4.2. Предположения для финансового анализа	Период анализа Базовый сценарий Общий объем капитальных затрат Прочие инвестиции, не в рамках ППИ и из собственных источников с учетом политики амортизации Предполагаемая структура финансирования Объемы водоснабжения и водоотведения Тарифы для населения Тарифы для юридических лиц Собираемость платежей Другие доходы Операционные расходы Другие финансовые расходы
4.3. Результаты финансового анализа				Макроэкономический базовый сценарий: <ul style="list-style-type: none"> <li>• прибыль и убыток;</li> <li>• коэффициент доходности;</li> <li>• денежный поток по годам;</li> <li>• коэффициент обслуживания долга;</li> <li>• баланс текущих активов и краткосрочных обязательств;</li> <li>• доступность тарифов</li> </ul> Влияние различных макроэкономических сценариев на ключевые показатели. Сценарии – базовый, пессимистический, оптимистический
				4.4. Анализ чувствительности

Критерии эффективности инвестиционных проектов делятся на две группы в зависимости от того, учитывается ли в расчетах разница в стоимости денег во времени [10; 14; 32; 44]:

- 1) динамические – основанные на дисконтированных оценках;
- 2) статические – основанные на учетных (не включающих дисконтирование) оценках (таблица 2.4).

Таблица 2.4

## Показатели оценки эффективности инвестиций

Динамические показатели	Статические показатели
Чистая текущая стоимость ( <i>NPV</i> , <i>Net Present Value</i> ).	Срок окупаемости инвестиций ( <i>PP</i> , <i>Payback Period</i> ).
Внутренняя норма рентабельности ( <i>IRR</i> , <i>Internal Rate of Return</i> ).	Коэффициент эффективности инвестиций ( <i>ARR</i> , <i>Accounting Rate of Return</i> )
Индекс доходности инвестиций ( <i>PI</i> , <i>Profitability Index</i> ).	
Модифицированная внутренняя норма рентабельности ( <i>MIRR</i> , <i>Modified Internal Rate of Return</i> ).	
Дисконтированный срок окупаемости инвестиций ( <i>DPP</i> , <i>Discounted Payback Period</i> )	

На этапе технико-экономического обоснования инвестиционного проекта используются два основных показателя – чистая текущая стоимость *NPV* и внутренняя норма рентабельности *IRR* (таблица 2.5).

Таблица 2.5

## Расчет ключевых показателей эффективности на этапе технико-экономического обоснования инвестиционного проекта

Наименование показателя	Определение	Методика расчета	Критерий эффективности	Примечание
Чистая текущая стоимость ( <i>NPV</i> )	Сумма дисконтированных (приведенных к начальному моменту времени) денежных потоков за весь рассматриваемый период осуществления проекта	$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t}$	$NPV > 0$	<i>T</i> – расчетный период; <i>CF<sub>t</sub></i> – денежный поток за период <i>t</i> ; <i>r</i> – ставка дисконтирования, принятая норма дохода
Внутренняя норма рентабельности ( <i>IRR</i> )	Уровень доходности инвестиций при условии полного покрытия всех расходов по проекту за счет доходов	$\sum_{t=1}^T \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = 0$	$IRR > r$	

Особенностью технико-экономического обоснования данного проекта является то, что оно исходит из экономической выгоды проекта с точки зрения экологических выгод.

Экономические выгоды заключаются в следующем:

- экономия электрической энергии;
- привлечение дополнительных трудовых ресурсов на период строительства, т. е. создание новых рабочих мест;
- экологические преимущества;
- поступление дополнительных налогов в бюджет.

Сложно количественно соотнести экологическую и экономическую выгоды. Тем не менее экологическая выгода от сокращения возможного загрязнения подземных и грунтовых вод обеспечивает также значительную экономическую выгоду с точки зрения наземного использования воды и последующего использования на территории населенных пунктов и в других районах. Сокращение поступлений фосфора и азота снижает опасность эвтрофикации для конечных получателей и для Балтийского моря, что имеет влияние на промысловое рыболовство и туризм.

Целесообразно рассмотреть несколько сценариев реализации инвестиционной программы: базовый, пессимистический и оптимистический. Базовым является макроэкономический сценарий, как этого требует Европейский банк реконструкции и развития.

На ход реализации инвестиционной программы могут оказать влияние риски, вероятность наступления которых предсказать невозможно. Для учета влияния этих видов риска применяют анализ чувствительности, который заключается в оценке влияния изменения ключевых показателей экономической эффективности проекта ( $NPV$ ,  $IRR$ ) при возможных отклонениях внешних и внутренних условий его реализации от тех, которые были первоначально запланированы. С точки зрения расчетов речь идет об изменении показателей эффективности проекта при изменении одного или нескольких факторов, влияние которых нас интересует.

На начальном этапе следует выбрать факторы, относительно которых разработчик проекта не имеет однозначного суждения, т. е. пребывает в состоянии неопределенности. Затем устанавливаются предельные верхние и нижние значения и шаг изменения факторов. На следующем этапе рассчитываются значения показателей эффективности для всех выбранных значений каждого фактора и строятся графики чувствительности. Чем больше угол наклона прямой, характеризующей изменение некоторого фактора, тем более чувствительным является инвестиционный проект к его изменению.

Анализ чувствительности позволяет выявить факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на ход реализации проекта. Это

необходимый шаг для эффективного управления проектными рисками. С учетом специфики проекта целесообразен анализ чувствительности к изменению следующих факторов:

- процент собираемости платежей;
- затраты на 1 м<sup>3</sup> проданной воды;
- доходы от 1 м<sup>3</sup> проданной воды;
- затраты на 1 м<sup>3</sup> отброшенной воды;
- доходы от 1 м<sup>3</sup> отброшенной воды.

Затраты по инвестиционной программе должны быть обеспечены соответствующими источниками финансирования.

В общем случае в процессе обоснования схемы и источников финансирования инвестиционного проекта решаются следующие основные задачи [3]:

1) обеспечение реализации проекта необходимыми инвестиционными ресурсами в полном соответствии с объемом предусмотренных инвестиционных затрат по нему;

2) определение необходимой доли участия инициатора проекта в общем объеме финансирования;

3) минимизация средневзвешенной стоимости инвестиционных ресурсов, привлекаемых для реализации проекта;

4) минимизация уровня инвестиционного риска, связанного с выбором источников финансирования проекта.

Этапы обоснования схемы и источников финансирования отражены в таблице 2.6, составленной на основании [3].

Таблица 2.6

**Этапы обоснования схемы и источников финансирования инвестиционного проекта**

Этап	Характеристика
1. Идентификация инвестиционного проекта по основным характеристикам, определяющим условия его финансирования	Осуществляется на основании следующих признаков: <ul style="list-style-type: none"> <li>• функциональная направленность проекта;</li> <li>• целевая направленность проекта;</li> <li>• совместимость реализации отдельных проектов предприятия;</li> <li>• период реализации проекта;</li> <li>• стоимость проекта</li> </ul>
2. Выбор системы финансирования проекта	Выделяют два принципиальных подхода: <ul style="list-style-type: none"> <li>• система традиционного финансирования инвестиционных проектов, когда инициатор проекта выступает в качестве основного организатора финансирования проекта, обязательно привлекает к финансированию проекта собственные внутренние источники формирования инвестиционных ресурсов</li> </ul>

Окончание табл. 2.6

Этап	Характеристика
	(капитализируемую часть чистой прибыли, амортизационные отчисления и т. п.), получает преимущественную часть доходов от реализации проекта и несет финансовую ответственность перед кредиторами в случае неудачи проекта; * система проектного финансирования, при которой обслуживание финансовых обязательств перед кредиторами и инвесторами осуществляется исключительно за счет доходов, получаемых в процессе реализации проекта
3. Выбор схемы финансирования проекта	Определяется системой финансирования. Основные схемы для системы традиционного финансирования – кредитное, государственное или смешанное финансирование
4. Выбор источников финансирования проекта	Формируется состав инвесторов и кредиторов с учетом принятой системы и схемы финансирования проекта, а также идентифицированных особенностей проекта
5. Определение необходимого объема инвестиционных ресурсов в разрезе источников финансирования проекта	Путем переговоров определяется объем финансового участия каждого потенциального инвестора и кредитора. Целесообразно оптимизировать структуру капитала инвестиционного проекта по критерию минимальной средневзвешенной стоимости
6. Распределение поступления инвестиционных ресурсов по источникам финансирования проекта в разрезе отдельных периодов жизненного цикла проекта	Осуществляется исходя из требования сбалансированности планируемого объема инвестиционных поступлений по отдельным периодам и по проекту в целом с планируемой суммой инвестиционных затрат

### 2.3. Финансирование программы приоритетных инвестиций<sup>3</sup>

Финансирование ППИ для КУПП «Кобринрайводоканал» (5,7 млн евро) предполагает привлечение кредитов международных финансовых институтов и грантовой (безвозмездной) помощи. Рассмотрим потенциальных кредиторов.

Одним из основных финансовых институтов является *Европейский банк реконструкции и развития* (ЕБРР, European Bank for Reconstruction and Development), созданный в 1991 г. для поддержки рыночной экономики и демократии.

<sup>3</sup> Раздел написан инженером Л. Г. Срывкиной.

ЕБРР делает упор на взаимодействие с частным сектором. В уставе банка предусмотрено, что не менее 60 % от объема кредитов должны предоставляться частному сектору. Банк также ведет активный диалог по вопросам государственной политики, предоставляет техническое содействие развитию инноваций и построению устойчивой и открытой рыночной экономики.

ЕБРР декларирует следующие принципы для каждой инвестиционной операции:

- содействие дальнейшему развитию здоровой рыночной экономики;
- принятие на себя рисков в целях оказания поддержки частным инвесторам;
- следование рациональным принципам банковской деятельности;
- содействие процессу устойчивого развития [25].

Акционерами ЕБРР являются 65 стран и две межправительственные организации (Европейский союз и Европейский инвестиционный банк). Республика Беларусь является членом ЕБРР с 1992 г. и владеет 6002 евроакциями на сумму 60,02 млн евро (0,2 % от уставного капитала ЕБРР).

Средства ЕБРР в Республике Беларусь используются для поддержки малого и среднего предпринимательства, развития частного сектора экономики, строительства дорог, повышения энергоэффективности, развития систем водоснабжения и водоотведения. Общий объем финансовых ресурсов, предоставленных ЕБРР Беларуси за период 1992–2016 гг., составляет 1 875 млн евро. При этом за 2011–2015 гг. (в период реализации Стратегии для Беларуси) объем операций вырос до 929 млн евро [6].

Беларусь продолжает тесно взаимодействовать с ЕБРР. В сентябре 2016 г. утверждена новая стратегия ЕБРР для Беларуси на 2016–2019 гг. В ней в качестве одного из стратегических направлений выделено повышение устойчивости и качества услуг государственной инфраструктуры посредством реформирования политики, регулирования и внедрения инвестиционных решений. Банк декларирует свое стремление поддерживать, с одной стороны, участие частного сектора в предоставлении услуг в области инфраструктуры, а с другой – инициативы правительства по реформированию на уровне проектов в сфере ЖКХ, в транспортной и энергетической сферах путем инвестиций и технической помощи.

Европейский банк реконструкции и развития совместно с Северным инвестиционным банком (СИБ), Экологическим партнерством Северного измерения (ЭПСИ), Шведским агентством по сотрудничеству



в области международного развития (СИДА) и правительством Финляндии реализуют проект «Беларусь: экологический инфраструктурный проект – первый этап», который предусматривает:

- участие ЕБРР в реконструкции очистных сооружений в Витебске и строительстве биогазовых комплексов на очистных сооружениях в Слониме и Барановичах;
- участие СИБ в реконструкции очистных сооружений в Бресте и Гродно.

Совет директоров ЕБРР 16 декабря 2016 г. одобрил второй этап под названием «Беларусь: рамочная программа в секторе водоснабжения», предусматривающий инвестиции в объеме 40 млн евро, в том числе для объектов в городах Лида, Орша, Полоцк. Соответствующее кредитное соглашение («Программа по водному сектору в Республике Беларусь, 2-й этап») между Республикой Беларусь и ЕБРР подписано 24 октября 2016 г. Оно предусматривает предоставление кредита ЕБРР в размере 21 млн евро для финансирования модернизации систем водоснабжения и водоотведения в указанных выше городах.

ЕБРР обычно финансирует проекты в диапазоне от 5 до 250 млн евро в виде кредитов или вложений в акции. Средний размер инвестиций ЕБРР – 25 млн евро. Менее крупные проекты могут финансироваться через финансовых посредников или в рамках программ прямых инвестиций для стран с отстающими реформами.

При кредитовании учитывается прогноз движения денежных средств при реализации проекта и способность клиента погасить кредит в согласованные сроки. Банк может полностью взять на себя кредитный риск либо частично синдицировать его на рынке. В качестве обеспечения кредита может выступать имущество заемщика. Он также может быть конвертирован в акции либо привязан к акционерному капиталу в зависимости от конкретной ситуации.

В общем случае, помимо минимальной суммы, кредиты ЕБРР имеют следующие характеристики:

- фиксированная или плавающая процентная ставка;
- старший, субординированный, промежуточный или конвертируемый кредит;
- номинирован в основных иностранных или нескольких национальных валютах;
- сроки погашения – от короткого (1 год) до длительного (15 лет) при реализации долгосрочных инфраструктурных проектов под государственную гарантию;
- при необходимости в отдельных случаях предоставляются льготные периоды.

Проектный цикл ЕБРР включает следующие стадии:

1) рассмотрение и утверждение концепции проекта и его общей схемы (в том числе предлагаемой схемы финансирования и соответствующих обязательств) Операционным комитетом ЕБРР; подписание ЕБРР и клиентом мандатного письма, в котором отражены план проекта, расходы на разработку проекта и обязанности сторон;

2) окончательное рассмотрение проекта в Операционном комитете после согласования всех основных параметров сделки и прохождения всех необходимых экспертиз;

3) рассмотрение проекта на Совете директоров ЕБРР и утверждение;

4) подписание ЕБРР и клиентом сделки, имеющей обязательную юридическую силу;

5) выборка средств по кредиту;

6) погашение кредита в соответствии с графиком платежей;

7) окончательный срок возврата кредита;

8) завершение.

Для оценки пригодности проекта к финансированию ЕБРР запрашивает определенную информацию. При ее наличии на заключение сделки уходит 3–6 месяцев. Описание необходимой информации приводится в таблице 2.7 на основании данных ЕБРР [43].

Таблица 2.7

**Информация, требуемая для выделения финансирования ЕБРР**

Группа данных	Характеристика
Сведения о проекте	Краткое описание проекта с указанием направлений расходования ЕБРР
	Справочная информация о кураторе проекта: опыт производственно-хозяйственной деятельности, финансовое состояние, формы оказания его компанией поддержки проекту (участие в капитале, управлении, производственно-хозяйственной деятельности, сбыте продукции)
	Подробное описание предполагаемой продукции или услуг и процесса их производства
	Маркетинговый обзор, включая анализ потенциальных потребителей продукции, состояние конкуренции, доли рынка, объемов реализации, стратегии ценообразования и сбыта
Финансовая информация	Точная разбивка расходов на проект по статьям
	Краткое изложение требований к реализации проекта (привлечение подрядчиков, порядок закупок товаров и услуг)
	Описание дополнительных источников привлечения средств
	Обзор прогнозных финансовых показателей проекта

Окончание табл. 2.7

Группа данных	Характеристика
Природоохранная и нормативная информация	Краткое изложение природоохранных вопросов с приложением документов об экологических аудитах или оценке воздействия проекта на окружающую среду
	Описание: <ul style="list-style-type: none"> <li>• требуемых государственных лицензий или разрешений;</li> <li>• получаемых субсидий;</li> <li>• режима регулирования экспортно-импортных операций, таможенных пошлин;</li> <li>• режима регулирования валютных операций</li> </ul>

Одним из финансовых институтов, кредитующих проекты в Беларуси, является *Северная экологическая финансовая корпорация* (НЕФКО, Nordic Environment Finance Corporation), основанная в 1990 г. странами Северной Европы – Данией, Исландией, Норвегией, Финляндией и Швецией. Деятельность НЕФКО связана с финансированием практических программ, содействующих зеленому росту (results-based greening financing).

НЕФКО финансирует преимущественно небольшие и средние экологические проекты в частном и государственном секторах стран Центральной и Восточной Европы, включая Беларусь. Основным критерием является экономическая эффективность инвестиций при достижении установленных природоохранных целей в Северном регионе. При этом принимается во внимание, что загрязнение окружающей среды не признает границ, и в странах Северной Европы сопутствующие загрязнению затраты неизбежно растут.

Инвестиционный портфель НЕФКО включает свыше 600 малых и средних проектов более чем в 60 странах. Общий капитал управляемых НЕФКО целевых фондов составляет примерно 400 млн евро.

Корпорация использует различные финансовые механизмы привлечения необходимых для проектов средств. Основные из них – Инвестиционный фонд НЕФКО (NEFCO Investment Fund), Северный фонд экологического развития (Nordic Environmental Development Fund, NMF), Углеродный фонд региона Балтийского моря (Baltic Sea Region Testing Ground Facility, TGF), Углеродный фонд НЕФКО (NEFCO Carbon Fund, NeCF).

НЕФКО реализует гибкие подходы и привлекает дополнительные источники финансирования, в том числе государственные фонды и программы, а также средства крупных международных финансовых организаций, например, ЕБРР.

Наряду с Европейским банком реконструкции и развития, Северным инвестиционным банком, Европейским инвестиционным банком

и Всемирным банком НЕФКО является исполнителем проектов ЭПСИ. При этом НЕФКО предоставляет кредиты для реализации смешанных схем финансирования. Обычно подобные схемы предусматривают следующую структуру капитала проекта: местное (национальное) финансирование – 25 %, кредиты международных финансовых учреждений (в том числе НЕФКО) – 50 %, грант ЭПСИ – 20 %, прочие гранты – 5 % [34].

Все финансируемые НЕФКО проекты должны характеризоваться экологическим эффектом и одновременно обеспечивать экономическую рентабельность. При перечислении очередного транша НЕФКО контролирует достижение запланированных результатов по предыдущим этапам проекта, что препятствует коррупции, способствует прозрачности и ответственности кредитополучателей, а также обеспечивает надежность достижения поставленных целей.

Инвестиционный фонд НЕФКО предоставляет странам Восточной Европы финансирование по различным секторам экономики (рис. 2.4, 2.5).

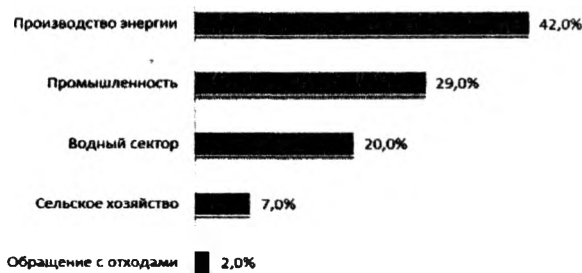


Рис. 2.4. Распределение финансирования Инвестиционного фонда НЕФКО по секторам экономики [47]

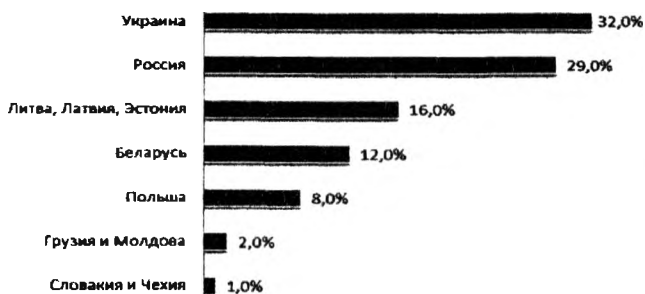


Рис. 2.5. Распределение финансирования Инвестиционного фонда НЕФКО по странам [47]

В сфере водоснабжения и водоотведения Инвестиционный фонд НЕФКО финансирует следующие типы проектов:

- очистка сточных вод и обращение с отходами;
- мероприятия по повышению энергоэффективности;
- экологический консалтинг.

Как правило, размер инвестиций по отдельному проекту не превышает 5 млн евро. Суммарный объем финансирования НЕФКО (кредитование и долевое участие) обычно составляет 30–40 %, но в отдельных случаях может достигать 50 % [4].

Критерии получения финансирования НЕФКО:

- экономическая рентабельность проекта;
- положительное воздействие на окружающую среду;
- отражение в проекте интересов Северных стран.

Проектный цикл с финансированием НЕФКО отражен в таблице 2.8.

Таблица 2.8

#### Проектный цикл Инвестиционного фонда НЕФКО

Стадия	Состав работ
Проектное предложение	Инвестор представляет идею проекта. НЕФКО осуществляет предварительную финансовую и экологическую оценку
Бизнес-план	Заявитель разрабатывает бизнес-план. НЕФКО оценивает экологическое воздействие, техническую выполнимость и рентабельность проекта
Утверждение проекта	Проект рассматривается Инвестиционным комитетом НЕФКО, затем представляется совету директоров корпорации. В ходе переговоров определяются условия финансирования, в том числе требуемый экологический эффект
Соглашение	Условия кредитования или участия в акционерном капитале. Инвестор реализует проект
Мониторинг и завершение проекта	Контроль со стороны НЕФКО в отношении экологических и финансовых показателей выполнения проекта. Завершение участия НЕФКО в проекте. Оценка полученных результатов

НЕФКО финансирует в Беларуси проекты экологической направленности достаточно давно – с 2007 г. Но полноценному сотрудничеству препятствовало отсутствие Рамочного соглашения, поэтому корпорация не участвовала в финансировании муниципальных проектов по энергоэффективности и очистке сточных вод.

20 января 2015 г. подписано Рамочное соглашение между Республикой Беларусь и НЕФКО, ратифицированное Законом Республики Беларусь от 6 июля 2015 г. № 279-З [27]. Оно определяет общие принципы, условия и правовые рамки долгосрочного сотрудничества Беларуси и НЕФКО в процессе использования финансовых ресурсов в виде инвестиций в основной капитал, кредитов, гарантий, предоставляемых корпорацией.

До подписания Рамочного соглашения была проведена предварительная работа НЕФКО с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь в рамках международного проекта технической помощи «Оценка степени загрязнения региона биогенами и определение первоочередных инвестиционных проектов». Проект реализовывался с ноября 2012 г. по декабрь 2013 г., его стоимость составила около 250 тыс. евро. В результате для инвестирования со стороны международных организаций сформирован перечень приоритетных инвестиционных проектов по снижению загрязнения Балтийского моря биогенными веществами из Беларуси. По предварительной оценке НЕФКО требуемый объем финансовых ресурсов составляет 60,9 млн евро, в том числе приоритетных инвестиций – 17,7 млн евро. В список включены девять водоканалов (Кобрин, Лида, Сморгонь, Новогрудок, Скидель, Щучин, Ошмяны, Пружаны, Ляховичи) и два государственных предприятия [23; 46].

Таким образом, достаточное количество международных организаций имеют опыт финансирования в Беларуси проектов экологической направленности, связанных с сокращением загрязнения бассейна Балтийского моря, и отработали правовой механизм подобного сотрудничества. Но принципиальным условием их участия в проекте является выполнение тщательного обоснования эффективности проекта с позиций экономической и экологической составляющей в соответствии с политикой международной финансовой организации.

## **2.4. Интегрированная система менеджмента и ее влияние на эффективность инвестиционно-строительных проектов<sup>4</sup>**

### **2.4.1. Особенности управления инвестиционными проектами**

Управление инвестиционными проектами является многоэтапным и сложным процессом. Каждый из этапов требует использования различных подходов, методик, анализа разнообразных факторов. Проекты перестают быть стандартными, многократно повторяющимися. В связи с этим цели и задачи, методы управления проектами разрабатываются индивидуально. Данный процесс осуществляется с целью достижения проектами эффективности.

Строительство и модернизация водохозяйственных объектов представляют собой сферу деятельности, в которой к качеству

---

<sup>4</sup> Раздел написан кандидатом технических наук доцентом Е. И. Кисель.

выполнения работ предъявляются повышенные требования. В Республике Беларусь документальное оформление систем качества для строительных и проектных организаций, участвующих в реализации инвестиционных проектов, носит обязательный характер.

Так, наличие системы менеджмента качества в соответствии с ISO 9001 является одним из обязательных квалификационных требований для прохождения аттестации в строительстве.

Для выполнения функций генерального подрядчика (аттестаты 1–2-й категорий) требуется пройти сертификацию и получить сертификат менеджмента качества [26; 28].

В связи с тем, что проекты имеют множество целей (так, в соответствии со стандартом управления проектами PMBOK «проект успешен, если выполнен согласно утвержденным критериям: объему, сроку, качеству», а в соответствии с SCRUM «проект успешен, если заказчик удовлетворен»), необходимо сформировать такую систему менеджмента проекта, которая бы позволила обеспечить баланс интересов всех участников проекта.

Ориентировать свою деятельность только на систему ISO 9001 – значит не в полной мере сформировать основу для эффективной реализации инвестиционно-строительных проектов.

Наиболее эффективным способом совершенствования управления проектами в настоящее время является внедрение интегрированных систем менеджмента, созданных с учетом требований международных стандартов: ISO 9001 (качество), ISO 14001 (охрана окружающей среды), OHSAS 18001 (охрана труда и промышленная безопасность), ISO 21500 (проектный менеджмент), ISO 31000 (менеджмент рисков) и др. (рис. 2.6).

Формирование составляющих интегрированной системы менеджмента определяется особенностями и ограничениями проектов. Можно выделить следующие особенности конечной продукции строительного производства [13]:

- 1) индивидуальна;
- 2) изготавливается «под заказ»;
- 3) требует проектной проработки;
- 4) разнообразна по видам и назначению;
- 5) неподвижна;
- 6) с длительным производственным и эксплуатационным циклом;
- 7) обладает высокой материалоемкостью;
- 8) требует широкой номенклатуры ресурсов;
- 9) требует мобильных факторов производства;
- 10) создается в естественной природной среде;
- 11) капиталоемка.



Рис. 2.6. Пример интегрированной системы менеджмента

При создании конечного результата инвестиционно-строительной продукции необходимо учитывать политические, юридические, финансовые, экономические, социальные, культурные, технологические, инфраструктурные, природные и экологические ограничения.

В последнее десятилетие инвестиционная привлекательность проектов определяется не только грамотным менеджментом финансов, персонала, производственными факторами, но и экологичностью. Многие предприятия создают и внедряют «Систему управления окружающей средой» (СУОС), которая входит в общую систему менеджмента предприятия, а затем активно продвигают ее принципы при участии и реализации различных проектов. В Республике Беларусь основой является STB ИСО 14001:2017 «Менеджмент окружающей среды» – стандарт, в котором содержатся основополагающие требования по формированию



системы управления и который способствует уменьшению загрязнения окружающей среды в результате деятельности. Его цель – внедрение на предприятиях системы экологического менеджмента, с помощью которой будет постоянно совершенствоваться экологическая безопасность хозяйственной деятельности.

В период с 2011 г. и по настоящее время наблюдается рост инвестиций в основной капитал предприятия, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов (таблица 2.9).

Таблица 2.9

**Инвестиции, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в Республике Беларусь (млрд рублей в фактически действующих ценах) [39]**

Года	Всего	Из них на				
		охрану атмосферного воздуха	охрану и рациональное использование водных ресурсов	охрану и рациональное использование земель	охрану и рациональное использование лесных ресурсов	строительство зданий, полигонов и установок по утилизации, переработке, обезвреживанию, захоронению отходов производства
2011	747,6	188,4	241,1	104,3	3,3	205,3
2012	883,3	231,2	337,3	240,7	13	0,3
2013	963,5	329,5	422,0	148,1	0,9	58,4
2014	1261,4	658,7	401,6	147	1,2	50,5
2015	2158,7	1134,1	582,0	357	1,6	77,3
2016*	290,8	184,1	57,3	28,3	0,06	20,4

\*Примечание. Млн рублей (с учетом деноминации уменьшение в 10 тыс. раз).

В 2011 г. увеличились инвестиции, направленные на переработку и утилизацию отходов производства (например, строительство мусороперерабатывающего завода в Бресте).

В 2012 г. наряду с ростом инвестиций в охрану окружающей среды увеличились инвестиции, направленные на рациональное использование лесных ресурсов, в 2013–2014 гг. – инвестиции, направленные на охрану атмосферного воздуха и рациональное использование водных ресурсов, в 2015–2016 гг. – инвестиции, направленные на охрану атмосферного воздуха (примерно в 8–10 раз по сравнению с 2011 г.).

Однако большинство секторов промышленности не направляет финансовые средства на охрану и рациональное использование земель.

Успех проекта достигается за счет способности системы управления проектами сбалансированно удовлетворять потребностям и соответствовать ожиданиям потребителей и других заинтересованных сторон в течение длительного времени (таблица 2.10).

Таблица 2.10

### Ожидания и потребности участников строительных проектов

Заинтересованные стороны	Потребности и ожидания
Потребители	Качество строительной продукции, повышение потребительских качеств (экологичности) строительной продукции, снижение цены на эксплуатацию, повышение качества жизни за счет введения в эксплуатацию объектов строительства
Владельцы организации	Стабильная прибыль, приток инвестиций, снижение энергоёмкости и ресурсоёмкости производства, формирование конкурентных преимуществ и положительного имиджа
Сотрудники	Качество производственной среды, улучшение условий труда, повышение квалификации в области экологии
Поставщики и партнеры	Извлечение выгоды из положительного имиджа партнера
Общество	Защита окружающей среды, формирование надлежащего социально-ориентированного бизнеса

В Республике Беларусь практика создания интегрированных систем только набирает обороты, однако предприятий, внедривших несколько (более двух) систем, достаточно много (рис. 2.7).

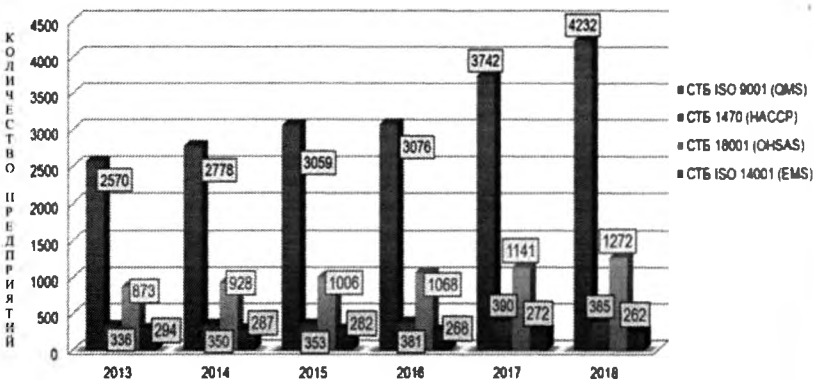


Рис. 2.7. Сертификация систем менеджмента в Республике Беларусь (данные НСПС за 2013–2018 гг.)

В результате интеграции систем менеджмента могут быть получены следующие преимущества:

- повышение технологичности их разработки, внедрения и функционирования;
- создание единой гармонизированной структуры менеджмента, ориентированной на достижение общей стратегии развития организации;
- снижение затрат на разработку, функционирование и сертификацию систем;
- совмещение ряда процессов (планирования, анализа со стороны руководства, управления документацией, обучения, внутренних аудитов и пр.), вычленение повторяющихся управленческих функций, повышение эффективности управленческого труда;
- повышение мобильности и большей адаптации к изменяющимся условиям;
- большая привлекательность для потребителей, инвесторов и других заинтересованных сторон;
- формирование положительного имиджа и узнаваемости организации.

#### 2.4.2. Формирование этапов менеджмента окружающей среды

Менеджмент представляет собой процесс управления чем-либо: строительством, экологической безопасностью, зданием и т. д. При этом процесс управления должен опираться как на международный опыт, так и на научный анализ.

В ходе формирования локальных задач также должны быть учтены местные условия реализации таких функций менеджмента, как планирование, организация, контроль, регулирование, мотивация.

Для того чтобы обеспечить максимальную эффективность внедрения экологического менеджмента, необходимо четко представлять «глобальные» цели предприятия, проекта, общую стратегию развития. После этого можно приступать к формированию отдельных этапов менеджмента (рис. 2.8), каждый из которых требует особого внимания. При реализации этапов рационально использовать научный подход и учитывать мировой опыт.

Стратегия организации, являясь долгосрочным ориентиром качественного развития, должна обозначить цели, возможность достижения баланса экономических и социальных эффектов. Экологизация деятельности должна стать основой формирования новых внешних и внутренних коммуникаций, способных обеспечить занятие новой рыночной ниши или сформировать у потребителя новые предпочтения и ожидания – строительство и дальнейшая деятельность без вреда для окружающей среды.

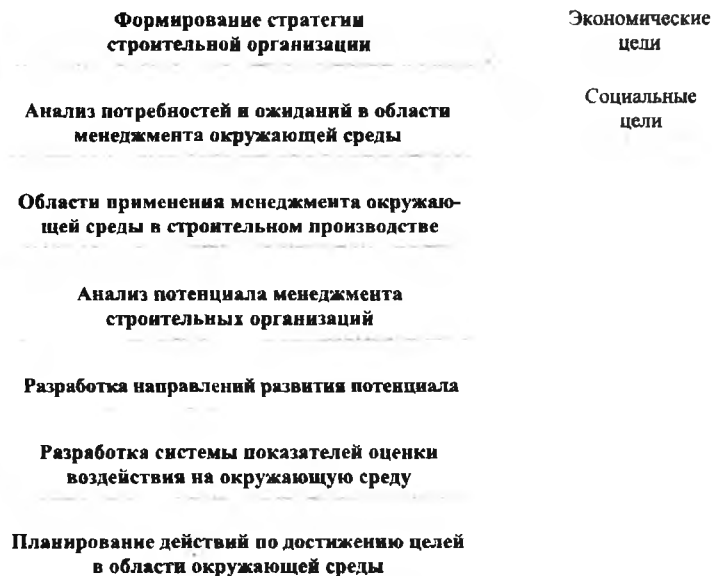


Рис. 2.8. Этапы внедрения менеджмента окружающей среды в соответствии с СТБ ISO 14001:2017

Грамотно сформированная стратегия наряду с правильно поставленными целями ее реализации на всех этапах реализации проекта формируют локальные цели, направленные на уменьшение влияния на окружающую среду.

Основное отличие СТБ ISO 14001 от других стандартов состоит в результате процесса стандартизации. Сертификат соответствия выдается не на вид строительной работы, как в LEED, или объект строительства, а организации в целом. В связи с этим актуально применение стандарта в таких областях, как проектно-изыскательские, земляные работы, подготовка, вынос инженерных сетей, общестроительные работы, выбор строительных материалов и конструкций, технологий, благоустройство и озеленение, ликвидация здания, утилизация отходов и т. д.

Под *потенциалом менеджмента* окружающей среды следует понимать наличие управленческих ресурсов, способных осуществить реализацию всех этапов стандарта: планирование, мониторинг, контроль и т. д. К таким ресурсам можно отнести наличие соответствующих специалистов, лабораторий, специалистов, обеспечивающих информационно-методическую поддержку процесса, финансовых ресурсов.

К потенциалу менеджмента окружающей среды организации можно также отнести и другие активы, к примеру, транспорт, строительные машины и механизмы, инструмент, применяемые технологии.

Опираясь на анализ потенциала менеджмента окружающей среды организации и руководствуясь выбранными целями и задачами в области охраны окружающей среды, необходимо выбрать направления, в которых потенциал можно реализовать, негативно не влияя на финансовые показатели. В случае, когда поставленные цели невозможно выполнить имеющимся оборудованием, материалами, специалистами, следует привлекать дополнительные средства, что является целью стандарта СТБ ISO 14001.

К системе показателей оценки воздействия на окружающую среду относят ряд критериев, воздействующих на отдельные элементы окружающей среды (вода, воздух, земля).

**Планирование действий** по достижению целей в области окружающей среды – это процесс планирования (с учетом анализа потенциала менеджмента окружающей среды, системы показателей оценки) действий, мероприятий организационно-технического характера, направленных на минимизацию воздействия вредных факторов на окружающую среду с дифференциацией по отдельным видам производства и указанием ответственных лиц.

Таким образом, в ходе внедрения стандарта СТБ ISO 14001, контроля за уровнем соответствия стандарту неизбежно выстраиваются внутренние и внешние коммуникации, которые обеспечивают не только обмен информацией, но и влияют на способность персонала вносить свой вклад в постоянное улучшение процессов строительного производства.

### **2.4.3. Определение направлений снижения воздействий строительной деятельности на окружающую среду**

Одна из главных задач сохранения и поддержания экологического равновесия (компонентного и территориального) – учет и анализ всех антропогенных нагрузок на окружающую среду и оценка воздействий на нее.

Степень воздействия на природу может зависеть от организации, ее качественного и количественного состава, качества проектных работ, материалов, применяемых для строительства, технологии возведения зданий и сооружений, технологической оснащенности строительного производства, типа и качества строительных машин, механизмов и транспортных средств и других факторов.

При производстве работ многое зависит и от того, насколько готова к их проведению организация, которой предстоит выполнять такие работы. А в нашем случае – от того, насколько она готова реализовать проектные решения на практике и наносить при этом минимальный ущерб окружающей среде.

Одним из направлений снижения воздействия на окружающую среду на стадии выбора подрядной организации может служить изготовление у заказчика внутренних документов, регламентирующих порядок оценки будущего подрядчика на предмет экологической безопасности по определенным критериям, в частности:

- наличие у подрядчика при проведении строительных работ необходимых лицензий, договоров и разрешений (разрешение на выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, образующихся в ходе проведения строительных работ, договоры на вывоз мусора со строительной площадки, заключаемые со специализированной организацией);
- наличие у подрядной организации, занятой строительными работами, экологической службы (или лиц, ответственных за охрану окружающей среды);
- наличие у подрядной организации опыта проведения производственного экологического контроля и мониторинга;
- наличие первичной документации по негативному воздействию на окружающую среду, а также опыта ведения отчетности по охране окружающей среды с целью своевременного внесения платежей за загрязнение.

Для снижения воздействия на окружающую среду на стадии проектирования необходимо предлагать конкретные мероприятия по уменьшению воздействия на различные компоненты окружающей среды (воздушную среду, почвы и грунты, растительный покров, животный мир). Так, например, при работе техники и строительных машин предлагается ограничить уровни шума и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, снизить расход топлива и горюче-смазочных материалов, организовать сбор и вывоз строительных отходов и мусора.

При разработке таких мероприятий можно использовать следующий алгоритм: вначале выявить возможные воздействия на окружающую среду, причем применительно к каждому из компонентов среды в отдельности, и только потом разработать и обосновать мероприятия с целью предотвращения (минимизации) этих воздействий.

Экологическая оценка характеризуется следующими особенностями:

- представляет собой процесс получения информации, а не его результат;
- это процесс систематический, следующий определенным правилам;
- охватывает как этап планирования, так и этап осуществления намечаемой деятельности.

Процедуры экологической оценки в разных странах различаются в зависимости от того, для каких видов деятельности проводится экологическая оценка, кто ее проводит, в каких решениях и каким образом учитываются ее результаты.

Предметом экологической оценки является воздействие намечаемой деятельности на окружающую среду. Под воздействием здесь понимаются те изменения в окружающей среде, которые полностью или частично меняют параметры окружающей среды. Прогноз и разработка мер по их смягчению служат одной из основных составляющих процесса экологической оценки. Последняя позволяет выявлять те воздействия, которые могут неадекватно учитываться стандартами, установленными для отдельных сред и источников воздействия, – это прежде всего непрямые и кумулятивные воздействия. К предмету экологической оценки также относится намечаемая деятельность проектного уровня – проекты конкретных хозяйственных объектов. Основные усилия должны быть сосредоточены на проектах, предполагающих значительное воздействие на природу. Поэтому проведение полномасштабной экологической оценки для всех проектов вряд ли было бы целесообразным, и с самого начала этот механизм был ориентирован прежде всего на крупные проекты. Предметом экологической оценки могут быть не только отдельные проекты, но и инициативы более высокого уровня, например, различные планы и программы, отраслевые схемы развития, проекты нормативных актов, которые могут иметь значительные экологические последствия.

Экологическая оценка должна быть сконцентрирована на наиболее важных, ключевых воздействиях. В рамках экологической оценки воздействия рассматриваются не только с точки зрения их физической величины, но и с позиции их значимости для общества в целом и для отдельных социальных групп и граждан в частности.

Экологическая оценка всегда в той или иной мере затрагивает медицинские, социальные и экономические последствия намечаемой деятельности, связанные с воздействием на окружающую природную среду. Исследование таких последствий в ходе экологической оценки – практическая необходимость независимо от того, закреплены ли подобные требования законодательно. Специального анализа может также требовать стандартный проект, реализуемый в нестандартных условиях, например, вблизи уникального природного комплекса. Серьезная обеспокоенность населения также может быть основанием для проведения экологической оценки или, по крайней мере, одним из факторов, от которых зависит необходимость ее проведения. Поэтому решение вопроса о необходимости экологической оценки в том или ином конкретном случае представляет собой определенную проблему. Программа управления воздействием на окружающую среду может быть основана на организационных и технических решениях.

Под *организационными решениями* понимаются решения, руководства о мере воздействия на окружающую среду, о намерениях организации,

эксплуатирующей объекты водоснабжения и водоотведения, снижать отрицательное влияние на окружающую среду и осуществлять сертификацию согласно требованиям СТБ ISO 14001, СТБ ISO 31000.

Под **техническими решениями** понимаются конкретные методы и способы контроля, анализа, мониторинга воздействия на окружающую среду с последующей разработкой мероприятий для снижения влияния факторов воздействия либо сведения их к минимуму.

Приоритетной целью является минимизация отрицательного воздействия производства на окружающую природную среду, под которой подразумеваются целенаправленные, мотивированные, последовательные изменения удельных показателей сбросов и выбросов загрязняющих веществ, отходов, используемых сырьевых и энергетических ресурсов, экологических показателей выпускаемой продукции, достигаемые на основе совокупности разнообразных организационных, технико-технологических и экономических средств.

#### 2.4.4. Организационные мероприятия по внедрению стандарта СТБ ISO 14001-2017

В настоящее время нет экономических предпосылок для внедрения стандарта СТБ ISO 14001, отсутствует опыт получения эффекта от него, нет документооборота, схемы процессов, карты процессов, ответственных лиц и т. д., а в самом стандарте отсутствуют разработанные процедуры, имеются только направления. Поэтому в деятельность многих предприятий СТБ ISO 14001 внедряется медленно.

Общие организационно-технические мероприятия по внедрению стандарта СТБ ISO 14001 в деятельность строительной организации могут быть сформированы, как показано в таблице 2.11.

Таблица 2.11

#### Мероприятия по внедрению стандарта СТБ ISO 14001 в деятельность строительной организации

Наименование мероприятий (работ)	Форма отчетности
<i>1 этап – организационные мероприятия</i>	
1.1. Обеспечение организации официальным экземпляром	Наличие на предприятии официально приобретенного стандарта
1.2. Определение подразделения, ответственного за внедрение стандарта	Приказ о назначении подразделения (или должностного лица), ответственного за внедрение стандарта
2.1. Анализ рабочей группой отличительных требований	Справка-доклад по результатам анализа
2.2. Анализ действующей в организации системы управления окружающей средой и существующей документации по системе менеджмента. Определение процессов, подлежащих документированию	Справка доклад по результатам анализа. Перечень процессов, подлежащих документированию



Окончание табл. 2.11

Наименование мероприятий (работ)	Форма отчетности
<i>II этап – организационно-технические мероприятия по внедрению требований</i>	
2.3. Пересмотр организационной структуры предприятия, матрицы распределения ответственности (при необходимости)	Новая организационная структура и матрица ответственности персонала
2.4. Формирование политики организации в области СУОС	Политика в области СУОС
2.5. Уточнение перечня процессов, схемы их взаимодействия, критериев результативности, входов и выходов, способов мониторинга, владельцев, поставщиков и потребителей процессов	Схема процессов, карты процессов
2.6. Анализ существующей документации по охране окружающей среды. Определение процессов, подлежащих документированию. Составление перечня необходимой документации по процессам и процедурам	Перечень документации
2.7. Разработка путей ресурсного обеспечения процессов: • определение потребностей в ресурсах для каждого процесса; • определение каналов связи (информационное обеспечение процессов); • определение требований к составу данных и записей	Проект схемы сети процессов с указанием ресурсов и мест сбора данных. Формы документов для регистрации данных. Перечень записей, подлежащих сохранению

Рекомендуется использовать определенные зоны ответственности участников проекта, которые представлены в таблице 2.12.

Таблица 2.12

## Зоны ответственности участников проекта

Название зоны ответственности	Условное обозначение	Краткое описание зоны ответственности
Исполнитель	И	Отвечает за выполнение порученной ему задачи в установленные сроки в полном объеме и с требуемым уровнем качества. Отчитывается перед ответственным исполнителем о ходе выполнения задачи, выявленных рисках, возникших проблемах и о полученных результатах
Ответственный исполнитель	ОИ	Организовывает работы исполнителей для достижения требуемого результата и контролирует ход ее выполнения. Отвечает за достижение цели в установленные сроки, в полном объеме, в рамках запланированных затрат и с требуемым уровнем качества. Отчитывается перед руководителем проекта о ходе выполнения работ, достигнутых результатах, выявленных рисках и возникших проблемах

Окончание табл. 2.12

Название зоны ответственности	Условное обозначение	Краткое описание зоны ответственности
Участник, контролирующий качество выполняемых работ	КК	Контролирует качество выполняемых работ
Участник, контролирующий исполнение работ	КИ	Контролирует исполнение работ, осуществляет систематическое наблюдение за ходом выполнения определенных работ/задач

Для эффективного функционирования, формулирования экологической политики и контроля должна быть создана система производственного экологического контроля, определена экологическая комиссия – назначенный руководством предприятия орган, в котором наряду с членами самого руководства представлены также специалисты экологически значимых видов деятельности.

В ходе экологического контроля идентифицируются подразделения предприятия, в которых осуществляются экологически значимые виды деятельности, и дается характеристика экологических аспектов в них. Обработка результатов экологического контроля позволяет увидеть, как можно организовывать деятельность, создавать изделия и предоставлять услуги, не нанося вреда окружающей среде, и выявить необходимые для этого инструменты менеджмента.

Система производственного экологического контроля выступает ключевым инструментом для реализации целей и задач по снижению воздействия производственной нагрузки на окружающую среду на отдельных стадиях строительного производства.

Формирование данной системы на производстве является важнейшей задачей для руководства и одним из организационных мероприятий по внедрению СТБ ISO 14001. Наиболее важные разделы данной системы, подлежащие обязательному выполнению, следующие:

1. Организация производственного экологического контроля (ПЭК):
  - определение лиц, ответственных за охрану окружающей среды на предприятии;
  - создание отдела производственно-экологического контроля;
  - разработка руководящих документов по функционированию отдела.
2. Объекты производственного экологического контроля.

В Положении об отделе производственного экологического контроля определяется, на какие объекты и работы в строительной организации распространяется их воздействие.

3. Планирование и проведение производственного экологического контроля:

- разработка и внедрение документов, определяющих порядок проведения ПЭК;
- составление планов графиков ПЭК;
- определение ответственных лиц;
- порядок составления и предоставления отчетности.

4. Организация и проведение локального мониторинга окружающей среды:

- определение потенциальных воздействий на окружающую среду, подлежащих мониторингу объектов и работ;
- определение критериев показателей и систем оценки;
- подведение итогов в результате мониторинга;
- порядок снижения воздействия.

5. Планирование, разработка и утверждение мероприятий по охране окружающей среды и контроль за их выполнением:

- разработка новых мероприятий, необходимых для более эффективного снижения нагрузки на окружающую среду;
- внесение изменений в экологическую политику предприятия.

6. Мотивация:

- по результатам работы предоставить отчет о ликвидации рисков, связанных с не внедрением ПЭК предприятия;
- премирование ответственных лиц;
- статистическая отчетность.

Составным элементом экологического управления является разработка высшим руководством целей и задач для отдельных уровней по реализации природоохранной политики. Природоохранные цели должны быть конкретными, измеримыми, достижимыми, эффективными, ориентированными во времени и совместимыми.

#### **2.4.5. Объекты водоснабжения и водоотведения как пример реализации экологической политики на стадии эксплуатации**

Внедрение систем экологического управления в строительную деятельность имеет не только отраслевые особенности, но и особенности назначения объектов. Существуют объекты строительства, которые на стадии их создания оказывают влияние на окружающую среду, рассмотренное выше. Но есть объекты, которые, имея целью обеспечить защиту природных ресурсов, оказывают непосредственно большее давление на природную среду в период эксплуатации. Это объекты водоснабжения и водоотведения.

Крупные инвестиционные проекты строительства и реконструкции систем водоснабжения и водоотведения имеют свою специфику [23]:

- на этапе предварительного планирования отсутствует технологический раздел проекта, поэтому неизвестны конкретные объекты строительства;
- к одной и той же цели могут приводить различные технические решения;
- одно и то же решение может быть реализовано с использованием разного оборудования с различными строительными, экономическими и экологическими характеристиками;
- некоторые из этапов работы на конечную цель влияют незначительно, а на сроки и стоимость строительства – существенно;
- непредсказуемые перерывы в финансировании по объемам и срокам;
- низкая рентабельность или даже убыточность процессов очистки;
- невозможность остановки основного процесса в связи с высокой социальной значимостью отрасли;
- ограниченность объектов в пространстве;
- изменение требований к качеству очистки, особенно в части снижения концентрации соединений биогенных элементов в очищенных сточных водах;
- необходимость «латания дыр» (аварии, износ оборудования, нехватка реагентов и пр.) параллельно с реализацией основного проекта;
- необходимость снижения энергозатрат на очистку сточных вод, продиктованная растущими ценами на энергоносители;
- высокие (в сравнении с показателями стран Евросоюза) трудозатраты на эксплуатацию очистных сооружений;
- техническое отставание в области обезвоживания и утилизации осадков сточных вод.

Бизнес-план строительства (реконструкции) таких объектов, включая прогрессивную экологическую стратегию, должен обеспечить экологическую совместимость всех производств предприятия, а также создать такие условия, при которых плановые, информационные и контролирующие службы уделяли бы равное внимание экологическим, экономическим и финансовым вопросам. В «зеленом» бизнес-плане подробно рассматриваются технологии, производственные процессы и продукты, необходимые не только для производства, но и для конечного использования и утилизации. Принятый вариант бизнес-плана должен сочетать благоприятные экономические и экологические показатели.

На стадии эксплуатации объектов водоснабжения и водоотведения необходимо обеспечить управление работой всех отделов и служб для выполнения ими природоохранной функции (таблица 2.13).

Таблица 2.13

**Распределение природоохранных функций  
между подразделениями объектов, осуществляющих функции  
водоснабжения и водоотведения**

Наименование подразделения	Природоохранные функции
Экологическая служба	Обеспечение контролирующей и координационной работы в природоохранной деятельности объекта строительства
Производственный отдел	Постановка и решение задач, связанных с предотвращением и минимизацией негативного воздействия производственной деятельности объекта на окружающую среду
Служба материально-технического снабжения	Поставка экологически чистых материалов, причиняющих минимальный вред окружающей среде при транспортировке, хранении, использовании и рециркуляции, для осуществления производственного процесса
Служба маркетинга	Обеспечение чистоты, безопасности и эффективности услуг в соответствии с ожиданиями потребителей. Создание благоприятного имиджа предприятия путем формирования коммуникаций с контактными аудиториями
Финансовый отдел	Финансовое обеспечение выполнения природоохранных мероприятий, проектов, договоров
Планово-экономический отдел	Создание новых и совершенствование существующих услуг по водоснабжению, водоотведению и технологических процессов в контексте обеспечения их экологической безопасности. Планирование текущих и капитальных природоохранных затрат. Анализ экономической эффективности природоохранных проектов и мероприятий
Бухгалтерия	Учет фактических природоохранных затрат и результатов. Предоставление финансовой информации в экологическую службу
Отдел кадров	Подготовка работников предприятия к выполнению экологических задач на своих рабочих местах, формирование у них экологического мышления, организация процесса обучения и аттестации
Отдел охраны труда и техники безопасности	Профилактика профессиональных заболеваний и обеспечение безопасных условий труда для работников
Отдел технического контроля	Обеспечение высокого качества услуги при учете как технических, так и экологических аспектов

## Глава 3

# ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ЗАПАДНОМ ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ<sup>1</sup>

---

### 3.1. Общие принципы управления инвестиционной программой

Для управления реализацией инвестиционной программы следует применять принципы и механизмы управления проектами и программами, предусмотренные нормативно-правовыми актами Республики Беларусь, в том числе ТНПА, и международной практикой:

- Указ Президента Республики Беларусь от 14 января 2014 г. № 26 «О мерах по совершенствованию строительной деятельности» [26].
- Закон от 5 июля 2004 г. № 300-3 «Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь» [28].
- ТКП 45-1.02-298-2014. Строительство. Предпроектная (предынвестиционная) документация. Состав, порядок разработки и утверждения [20].
- СТБ ISO 21500-2015. Руководство по менеджменту проекта [38].
- СТБ 2529-2018. Строительство. Управление инвестиционными проектами. Основные положения [37].
- Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК), 6-е издание [33].
- Расширение для строительной отрасли к третьему изданию Руководства к своду знаний по управлению проектами [38; 41].

В настоящее время завершено рассмотрение проектов государственных стандартов:

- Строительство. Управление портфелем инвестиционных проектов. Основные положения.
- Строительство. Управление программами инвестиционных проектов. Основные положения.

Государственный стандарт Республики Беларусь СТБ ISO 21500-2015 имеет идентичную степень соответствия (IDT) международному стандарту ISO 21500:2012 Guidance on project management.

---

<sup>1</sup> Глава написана совместно с инженером Л. Г. Срывкиной.

**Инвестиционный проект в строительстве** – совокупность документов и организационно-технических мероприятий, связанных с инвестированием средств в объекты капитального строительства в процессе проведения предпроектных, проектных, строительных, пусконаладочных и иных работ, а также работ по вводу объекта в эксплуатацию [37].

Проекты структурируются по фазам жизненного цикла, состав и содержание которых зависят от потребностей управления конкретным проектом. Жизненный цикл проекта начинается с момента возникновения инвестиционного замысла и продолжается до достижения целей заинтересованных сторон (или досрочного завершения). Границами фаз обычно являются точки принятия решений, которые облегчают руководство проектом.

Для каждого проекта выделяют пять обязательных групп процессов управления проектом: инициирование, планирование, реализация, контроль, завершение. Они применяются на протяжении всего жизненного цикла как для проекта в целом, так и для отдельных его фаз. Взаимосвязь групп процессов отражена в таблице 3.1.

Таблица 3.1

**Увязка стадий реализации проекта и групп процессов по его управлению (с учетом [25])**

Группы процессов по СТБ ISO 21500		Стадии реализации инвестиционного проекта в строительстве
Инициирование	Контроль	Предпроектная (предынвестиционная)
Планирование		Освоение строительной площадки
		Обеспечение проектной документацией
		Материально-техническое обеспечение
Реализация		Обеспечение процесса закупок
Завершение		Организация строительства объекта
		Приемка законченного строительством объекта в эксплуатацию

В таблице 3.2 отражена структура областей знаний по управлению инвестиционным проектом в строительстве в соответствии с требованиями ТНПА.

Под **инвестиционной программой в строительстве** понимается группа взаимосвязанных инвестиционных проектов в строительстве и других работ, согласованных со стратегическими целями организации. Управление программой представляет собой централизованную и скоординированную деятельность, направленную на достижение поставленных целей.

Таблица 3.2

**Области знаний по управлению инвестиционным проектом  
в строительстве**

Общие для всех проектов, по СТБ ISO 21500	Специфические для строительства, по СТБ 2529-2018
Управление интеграцией проекта. Управление содержанием проекта. Управление расписанием проекта. Управление стоимостью проекта. Управление качеством проекта. Управление ресурсами проекта. Управление коммуникациями проекта. Управление рисками проекта. Управление закупками проекта	Управление безопасностью проекта. Управление воздействием проекта на окружающую среду. Управление финансами проекта. Управление претензиями по проекту

Управление программой подразумевает координацию процессов инициирования, планирования, реализации, контроля и завершения для каждого из проектов и осуществляется на более высоком уровне, чем проект. Для управления программой целесообразно применение смешанной схемы планирования: сначала сверху-вниз, а затем снизу-вверх. Это дает возможность получить необходимую информацию на всех уровнях управления и обеспечить обратную связь. Процессы управления инвестиционной программой в строительстве отражены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

**Процессы управления инвестиционной программой в строительстве**

Процессы	Содержание
Инициирование	Обоснование необходимости реализации, определение основных параметров и формальный запуск программы
Планирование	Планирование содержания и выгод программы Разработка расписания программы Организационное планирование программы Планирование поставок программы Планирование управления рисками программы Планирование коммуникаций программы Планирование управления изменениями программы Планирование взаимодействия с заинтересованными сторонами
Реализация	Обеспечение исполнения программы Запуск программы Контроль выполнения программы и управления изменениями Приемка результатов проектов Завершение структурных компонентов программы
Завершение	Формальное завершение программы

Реализация инвестиционных программ в инфраструктурном секторе затрагивает интересы большого количества сторон. Однако существенной проблемой является недостаток информации и понимания процесса



планирования со стороны общественности. В случае неожиданных изменений, которые не были предвидены менеджерами проекта, реакция общественности зависит от понимания последствий и способности их минимизировать.

Население зачастую не знает о необходимых правилах и процедурах защиты своих интересов. Это является основной причиной трудностей, возникающих у местных жителей в отношениях с промышленными застройщиками, так как они находятся в неравных условиях. Поэтому в целях предоставления широкой общественности и СМИ всеобъемлющей информации о программе необходимо разработать план привлечения заинтересованных сторон, который включает принципы и процедуры, позволяющие населению, организациям и СМИ получать информацию о программе, а также ссылки на источники, где информацию о программе можно получить без помощи специалистов.

Заинтересованные стороны можно разделить на две группы:

- основные заинтересованные стороны – получают выгоду от реализации программы или являются пострадавшими сторонами;
- второстепенные заинтересованные стороны – выполняют посредническую роль (консалтинговые компании, строительные организации, поставщики оборудования).

В таблице 3.4 представлены лица, заинтересованные в реализации программы КУПП «Кобринрайводоканал».

Таблица 3.4

#### Заинтересованные в реализации программы стороны и их интересы

Заинтересованные стороны	Интересы
Собственники земли	Приобретение земли для проекта (ограниченный период времени)
Жители города	Более высокое качество воды в реке. Усовершенствованные возможности использования ресурсов реки (например, рыболовство) благодаря лучшей очистке стоков и сокращению загрязняющих веществ
Резиденты, проживающие вокруг реки	Усовершенствованные возможности использования ресурсов реки (например, рыболовство) благодаря лучшей очистке стоков и сокращению загрязняющих веществ
Резиденты, проживающие в районах Кобрина (вблизи существующих станций по очистке сточных вод)	Улучшение качества окружающей среды благодаря ликвидации станций по очистке сточных вод
Жители вблизи стройки (реконструкции)	Обеспеченность в ходе строительных работ/ реконструкции (ограниченный период времени)
Администрация города	Развитие инфраструктуры
Администрация района	Развитие инфраструктуры

Окончание табл. 3.4

Заинтересованные стороны	Интересы
Органы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Брестского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды	Улучшение экологических условий реки
Негосударственные организации с общими интересами в решении экологических вопросов или развития инфраструктуры	Экологическая и социальная ответственность, улучшение экологических условий
Сотрудники водоканала	Улучшение условий труда ввиду работ по реконструкции

Зачастую проблемы возникают в связи с тем, что различные заинтересованные стороны имеют разные и противоречивые ожидания относительно их ролей. Причем роли и мнения сторон могут меняться по мере развития проекта. Это можно отразить в матрице участия заинтересованных сторон (таблица 3.5)

Таблица 3.5

Матрица участия заинтересованных сторон

Этапы	Информация	Консультации	Партнерство	Контроль
Инициирование				
Планирование				
Реализация				
Мониторинг и оценка				

### 3.2. Процесс закупок и реализации программы

Успешная реализация программы определяется стратегией в отношении закупок. Эта стратегия зависит от компонентов программы в соответствующих контрактах, от эффективной подготовки и управления контрактом. Большинство международных финансовых учреждений обладает соответствующей политикой и принципами, определяющими стратегию закупок.

Как правило, международные финансовые учреждения принимают три основных принципа:

- открытая и справедливая конкуренция;
- использование средств по назначению
- не использование внешних средств для покрытия долга и налоговых издержек.

Принцип заключения контрактов в государственном секторе на основе открытых и справедливых процедур помогает создавать надежные и стабильные рынки для эффективных частных предприятий. В долгосрочной перспективе это приводит к значительной экономии времени и затрат. Целесообразной является реализация данной программы на основе стандартов ФИДИК (Federation Internationale des Ingenieurs-Counseils, FIDIC), которые включают вышеперечисленные принципы.

Для содействия добросовестной конкуренции важно, чтобы общие стандарты были приняты в отношении определенных товаров и работ. Поэтому для подобных проектов рекомендуется использование международных стандартов и спецификаций. Там, где не указаны национальные стандарты, могут использоваться альтернативные стандарты, которые являются эквивалентными или отвечают более высоким требованиям.

Правильная стратегия закупок для ППИ – это предложение оказания работ, предусмотренных в контракте по строительству ФИДИК «Желтая книга» [1].

Типовые контракты ФИДИК ориентированы в первую очередь на проведение международных торгов на строительство, но могут применяться и на национальном уровне. В целом они не имеют общеобязательной силы. Однако если какие-то их положения включены в конкретный договор или на них даны ссылки, то эти положения становятся обязательными для участников договора.

В настоящий момент разработано десять типовых контрактов ФИДИК, часть из которых издана в книгах разных цветов, давших неофициальные названия соответствующим книгам контрактов. Так, «Новая Желтая книга» («New Yellow Book»), изданная в 1999 г., имеет официальное название «Условия контракта на поставку оборудования, проектирование и строительство» («Conditions of Contract for Plant and Design and Build, First Edition»). Ее применение рекомендуется при поставке и монтаже электрического и (или) механического оборудования, а также при разработке проекта и выполнении строительных или инженерных работ. В рамках контракта подобного типа подрядчик разрабатывает проект и в соответствии с требованиями заказчика осуществляет монтаж оборудования и(или) другие виды работ, которые могут включать любую комбинацию инженерно-инфраструктурных, механических, электрических и(или) строительных работ.

В Водоканале создается группа по реализации проекта (ГРП), которая будет управлять всеми закупками, строительными-монтажными работами и внедрением всех инвестиционных объектов. Проект должен выполняться в полном соответствии с требованиями предоставляющей

финансовые ресурсы международной организации и не противоречить требованиям законодательства Республики Беларусь.

Идеология ФИДИК отводит важную роль в реализации инвестиционного проекта в строительстве *консультанту*.

Для поддержки Водоканала и ГРП во всех аспектах реализации проекта, включая подготовку детального технического задания, технических спецификаций, конкурсной документации, содействие проведению конкурса, оценку конкурсных предложений и окончательную доработку контракта, а также создание системы выборки средств, Водоканал привлекает опытную консультационную фирму (консультанта).

Основные задачи консультанта при реализации ППИ:

1) общая поддержка управления проектом, включая разработку плана реализации проекта, по мере необходимости;

2) проведение анализа технического состояния существующего оборудования, сооружений и зданий;

3) разработка детального технического задания, функциональных и технических спецификаций и требований заказчика к работам и оборудованию;

4) разработка проекта технического задания и запроса предложений для выбора консультанта по строительному надзору/инженера ФИДИК;

5) разработка предквалификационных документов и конкурсной документации (двухэтапный тендерный процесс) на закупку работ;

6) организация процедуры проведения конкурса и выбора подрядчиков и консультантов, а также оценка предложений консультантов и подрядчиков и составление отчетов об оценке конкурсных предложений;

7) оказание помощи Водоканалу в подписании договоров на выполнение работ и оказание консультационных услуг, на строительный надзор;

8) организация своевременных выплат по контрактам в соответствии с условиями кредитного соглашения с международной финансовой организацией.

Работа консультанта относится ко всему проекту, а не только к той части, которая финансируется международной финансовой организацией.

В обязанности консультанта входит поддержка ГРП в рамках решения следующих задач:

1) оказание помощи Водоканалу в создании ГРП, включая подготовку ключевых рекомендаций к подбору персонала, требований к квалификации персонала, должностных инструкций, системы ежегодной

оценки работы, повышения квалификации, обучения на рабочих местах и с помощью формальных тренингов;

2) мониторинг и обновление плана реализации проекта;

3) составление проектов документов предварительной квалификации для контракта на выполнение работ, проведение предквалификации и подготовка проекта отчета о предквалификационной оценке;

4) разработка детального технического задания на работы (в соответствии с требованиями белорусского законодательства и с учетом требований нормативно-технических документов Европейского союза), функционально-технических характеристик и требований Водоканала;

5) разработка проекта конкурсной документации (в том числе по требованиям для подрядчиков в части охраны окружающей среды, охраны труда и социальным требованиям) для двухэтапного тендера, проведение тендерных процедур, подготовка отчета об оценке и контракта, обеспечение предоставления необходимых документов международной финансовой организации для рассмотрения;

6) предоставление поддержки ГРП в вопросах управления проектом, включая выполнение плана экологических и социальных мероприятий, плана взаимодействия с заинтересованными сторонами, планов экологического и социального мониторинга и подготовки соответствующих ежегодных отчетов в международную финансовую организацию;

7) оказание помощи в обеспечении организации ГРП платежей подрядчику, которому были одобрены платежи, в обеспечении своевременного осуществления всех таких платежей и наличия надлежащих систем контроля и учета для соблюдения обязательств перед финансирующими организациями и национальных бухгалтерских требований;

8) предоставление форм отчетов и обеспечение своевременного предоставления всех отчетов, требуемых международной финансовой организацией в рамках реализации проекта, кредитного соглашения и договора о финансировании, а также приемлемого качества таких отчетов;

9) разработка комплексного графика проведения встреч с различными сторонами; присутствие на встречах вместе с ГРП для поддержки инвестиционной программы в целом, получение комментариев по отчетам и регулярное обсуждение связанных с проектом вопросов с ГРП и другими ключевыми лицами; подготовка и распространение протоколов заседаний, включая последующие действия, необходимые для обеспечения прогресса в ходе реализации проекта.

Основные процессы создания группы по реализации проекта отражены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

## Участие консультанта в создании ГРП

Наименование этапа	Состав работ этапа
Определение потребностей в составе ГРП	Консультант определяет ключевые квалификации членов ГРП и составляет проекты соответствующих должностных инструкций
Разработка плана обучения	Консультант выявляет потребности в обучении в рамках проекта, методы обучения, составляет план обучения в соответствии с выявленными потребностями. После утверждения этого плана Водоканалом проводит необходимое обучение, которое может включать как официальные учебные семинары, так и неформальное обучение на местах
Выстраивание процедур функционирования ГРП	<p>Консультант выстраивает рабочие процедуры и системы ГРП, необходимые для управления деятельностью в рамках всего проекта. Эти системы включают:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>систему процедур проекта</i>, определяющую сферу ответственности, обязанностей и полномочий сторон, участвующих в проектировании и строительстве, включая все необходимые процедуры коммуникации, совещаний, отчетности, контроля изменений, контроля качества, которые необходимы для эффективного осуществления проекта и управления им;</li> <li>• <i>корпоративные планы и процедуры</i> по управлению такими вопросами, как охрана окружающей среды, социальные вопросы, здоровье и безопасность, трудовые ресурсы и равные возможности;</li> <li>• <i>систему финансового менеджмента</i>, которая включает следующие подсистемы: систему бухгалтерского учета и управления бюджетом проекта; порядок оплаты поставщикам услуг, товаров и работ; систему финансовой отчетности для международной финансовой организации;</li> <li>• <i>систему управления проектом</i>, с помощью которой все соответствующие стороны осведомлены и регулярно получают уведомления о сроках важных этапов и событий</li> </ul>

Система управления проектом включает матрицу принятия решения для всех участников проекта, в которой указаны даты принятия всех решений и утверждений в течение предстоящих шести месяцев.

Консультант разрабатывает план управления коммуникациями, который должен получить одобрение Водоканала. План включает коммуникационную матрицу для всех заинтересованных сторон проекта. Консультант должен регулярно пересматривать и обновлять план в течение всего срока реализации проекта.

Консультант совместно с Водоканалом должен создать приемлемый для международной финансовой организации план реализации проекта, включающий все аспекты проекта, в том числе:

1. *Проектную программу* с указанием всех видов деятельности и ключевых событий проектирования, согласования, строительства, ввода в эксплуатацию, завершения, аудита, отчетности и т. д.

2. *Бюджет проекта* – подробный бюджет расходов, а также прогноз движения денежных средств для всего проекта.

3. *План закупок*.

4. *Матрицу рисков*, в которой изложены основные проблемы и риски, связанные с проектом, а также меры, предлагаемые для их устранения, снижения или смягчения.

5. *Обзор местных нормативных правовых актов*, имеющих отношение к реализации проекта, уделяя особое внимание строительному, закупочному и налоговому законодательству и сопоставляя его положения с требованиями тендеров, а также контрактами на проектирование и строительство и консультационные услуги.

В случае выявления существенных несоответствий консультант должен сообщить Водоканалу о путях их решения, в том числе о внесении необходимых изменений в тендерные документы и контракты, составлении разъяснительных писем в соответствующие государственные органы и т. д. Особое внимание он должен уделить законодательству в области освобождения товаров, работ и услуг от НДС, таможенных пошлин, косвенных налогов и других платежей в рамках реализации проекта.

Затем консультант предоставляет план реализации проекта Водоканалу для утверждения. После утверждения в обязанности консультанта входит отслеживание прогресса выполнения запланированной программы, бюджета и плана закупок. Если в ходе мониторинга консультант и группа по реализации проекта выявляют необходимость изменения плана реализации проекта, в Водоканал поступает запрос на одобрение изменения с четким обоснованием его необходимости.

Подготовка детального технического задания, функциональных и технических спецификаций включает следующие *этапы деятельности консультанта*:

1. *Первоначальный сбор данных* – консультант изучает имеющуюся документацию по результатам технического обследования строительных конструкций и инженерных систем, геодезическим и геологическим изысканиям и, при необходимости, организует проведение недостающих обследований.

2. *Разработка требований заказчика* – консультант готовит детальное техническое задание и технические спецификации для включения в конкурсную документацию. Степень подробности должна быть достаточной для обеспечения закупки работ и получения точной оценки стоимости. При этом должны учитываться требования законодательства Республики Беларусь, рекомендации отчета об Оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС), требования Европейского союза и международных стандартов.

3. *Получение официальных разрешений* со стороны государственных органов в отношении технической и конкурсной документации, подготовленной консультантом.

4. *Подготовка технического задания для строительного надзора* – консультант должен подготовить проект технического задания для инженера ФИДИК на основе технического задания, предложенного международной финансовой организацией, с внесением, в случае необходимости, правок с учетом требований, согласованных с Водоканалом.

Основные этапы деятельности консультанта отражены в таблице 3.7.

Таблица 3.7

## Участие консультанта в контрактно-закупочной деятельности

Наименование этапа	Состав работ этапа
Мониторинг закупок	Обеспечение соответствия процесса закупок правилам международной финансовой организации
Консультации по стратегии закупок	Выдача рекомендаций в отношении всех аспектов стратегии закупок: форм контрактов, управления коммуникацией, оптимального графика контрактов, требований к надзору, выбора процедуры разрешения споров
	Представление сравнительного анализа потенциально возможных схем реализации проекта с использованием различных типов контрактов ФИДИК с отражением по каждому варианту возможных сильных и слабых сторон, распределения рисков и иных аспектов
Поддержка ГРП при подготовке тендерных документов	Анализ имеющихся технических характеристик и документации
	Преобразование детального технического задания, чертежей, и экологических и социальных требований международной финансовой организации, в форму, подходящую для включения в тендерные документы и контракты для выполнения работ
	Консультации в отношении возможных альтернатив, экономии затрат, инноваций, возможностей для проведения функционально-стоимостного анализа, а также включения этих положений в тендерные документы
	Подготовка проекта конкурсной документации с использованием стандартных тендерных документов международной финансовой организации на поставку и установку оборудования
	Учет замечаний и рекомендаций экспертиз, полученных на стадии технико-экономического обоснования и рассмотрения национальными экспертами



Окончание табл. 3.7

Наименование этапа	Состав работ этапа
Поддержка ГРП в процессе закупок	Составление и своевременное размещение всех уведомлений о закупках
	Администрирование тендерного процесса, обеспечение ведения соответствующего учета, надлежащее хранение, регистрация и использование документации, а также обеспечение сохранения конфиденциальности
	Подготовка проектов ответов на запросы участников тендера, организация их утверждения, направления и регистрации
	При необходимости, подготовка проектов поправок к тендерным документам
Поддержка в процессе оценки	Консультирование Водоканала по составу конкурсной комиссии, а также самой комиссии
	Проведение разъяснительных встреч с участниками тендеров совместно с комиссией
	Предоставление проекта подробного отчета по технической оценке (по двум этапам конкурса на проведение работ). Составление отчета об оценке в необходимом формате, включая технический и финансовый анализ, отчеты о проведении комиссией консультаций с внешними сторонами и запрошенные и полученные разъяснения
	Организация заседаний комиссии, участие в них в качестве советника и ведение протокола с представлением его для утверждения главе ГРП
	Документирование обсуждения комиссией отчета об оценке и оформление достигнутого соглашения
	Подготовка проектов ответов по всем запросам и жалобам в рамках проекта, обеспечение своевременности ответов
Поддержка при заключении контракта	Подготовка краткого резюме для ГРП с описанием всех подлежащих разрешению перед заключением контракта вопросов (при их наличии)
	Участие в обсуждениях перед заключением контракта, документирование обсуждений, актуализация документов договора по мере необходимости и получение необходимых разрешений
	Консультирование по вопросам, связанным с контрактом обеспечительных документов
	Уведомление не выигравших участников тендера
	Обеспечение своевременного рассмотрения всех запросов и жалоб на должном уровне

В отношении последовательности действий по реализации инвестиционного проекта в строительстве в соответствии с законодательством Республики Беларусь выделяются следующие основные схемы [1]:

- 1) подрядная схема управления проектом;
- 2) генподрядная схема управления проектом;
- 3) схема комплексного управления строительной деятельностью;
- 4) схема строительства объекта под ключ;
- 5) схема реализации проекта хозяйственным способом.

Реализации рассматриваемого инвестиционного проекта в наибольшей степени соответствует схема строительства объекта под ключ, адаптированная к специфике проекта (таблица 3.8).

Таблица 3.8

**Основные функции участников инвестиционного проекта  
на инвестиционной стадии**

Заказчик (Водоканал)	Консультант	Инженер ФИДИК	Генподрядчик	Проектные организации	Подрядные организации
Утверждение протокола выбора генподрядчика. Подписание договора строительного подряда	Организация процедуры проведения конкурса и выбора генподрядчика и инженера ФИДИК	Технический надзор за строительством	Организация разработки проектной документации и ее государственной экспертизы	Разработка проектной документации и ее государственная экспертиза	Выполнение строительно-монтажных и пусконаладочных работ
Утверждение проектной документации	Оказание помощи Водоканалу в подписании договоров на выполнение работ и строительный надзор	Подтверждение соответствия	Уведомление органов госстройнадзора о начале производства строительно-монтажных работ	Авторский надзор	Закрытие договоров строительного подряда
Оплата выполненных работ на условиях заключенного договора	Общая поддержка управления проектом	Техническая приемка выполненных работ	Организация выполнения строительно-монтажных работ		Выполнение гарантийных обязательств
Приказ о создании приемочной комиссии			Поставка технологического оборудования, мебели, инвентаря		
Приемка готового к эксплуатации объекта			Организация пусконаладочных работ, подготовки объекта к приемке в эксплуатацию		
Утверждение акта присмки объекта в эксплуатацию			Передача готового к эксплуатации объекта заказчику		

Окончание табл. 3.8

Заказчик (Водоканал)	Консультант	Инженер ФИДИК	Генподряд- чик	Проектные организа- ции	Подрядные организа- ции
Регистрация недвижимого имущества			Подготовка документов для регистра- ции недвижи- мого имуще- ства		
Закрытие проекта создания объекта не- движимости			Закрытие договора строитель- ного подряда		
			Выполнение гарантийных обязательств		

Условия контрактов ФИДИК характеризуются очень тщательной проработкой всех позиций. Например, участник торгов, претендующий на заключение договора генерального подряда, должен в составе конкурсной документации представить доказательства своей квалификации на уровне, достаточном для выполнения договора, а именно:

1) *правомочность*;

2) *случаи неисполнения обязательств по договорам*;

3) *финансовое состояние*:

- финансовое состояние за предшествующий период – прошедшую аудиторскую проверку балансовую отчетность за последние 5 лет, чтобы доказать надежность финансового положения и долгосрочную рентабельность деятельности;

- среднегодовой оборот – участник торгов должен иметь среднегодовой оборот за последние 5 лет в качестве генерального подрядчика не менее определенной суммы;

- финансовые средства – участник торгов должен представить доказательства того, что он может получить или имеет в своем распоряжении ликвидные активы, незаложенную недвижимость, кредитные линии и иные финансовые средства, позволяющие ему обеспечить наличие оборотных средств для выполнения строительных работ согласно договору в течение 4 месяцев в определенной сумме с учетом имеющихся у него обязательств по другим договорам;

4) *опыт работы* – участник торгов должен представить доказательства наличия у него опыта успешного выполнения в течение 5 последних лет в качестве генерального подрядчика по крайней мере двух проектов, сравнимых по характеру и сложности с предлагаемым договором;

5) *персонал* – участник торгов должен предоставить квалифицированный персонал для должностей, приведенных в конкурсной документации; по каждой должности должны быть приведены сведения об основном и запасном кандидатах, соответствующих указанному в конкурсной документации опыту работы;

б) *оборудование* – участник торгов должен подтвердить наличие у него в собственности или наличие гарантированного доступа к получению (в форме аренды, лизинга, приобретения, эксплуатации производственного оборудования) перечисленного в конкурсной документации оборудования, находящегося в рабочем состоянии. Участнику также необходимо доказать, что он сможет обеспечить наличие этого оборудования на объекте при проведении соответствующих работ, принимая во внимание его обязательства по другим договорам. Участник может представить перечень альтернативного оборудования, которое он предлагает использовать при выполнении обязательств по договору, с соответствующими обоснованиями.

Для предоставления всей указанной выше информации разработаны подробные формы, которые приводятся в перечне конкурсной документации.

### 3.3. Оперативное управление ходом работ по проекту

Реализация инвестиционного проекта осуществляется в условиях постоянного действия внешних и внутренних возмущающих воздействий. Поэтому в системе неизбежно возникают отклонения от первоначально намеченного плана (траектории движения к поставленной цели). Соответственно, возникает необходимость в текущем наблюдении и вмешательстве в ход производственного процесса (корректировки состояния системы) для достижения намеченных частных целей, т. е. в оперативном управлении.

Оперативное управление является составной частью управленческой деятельности, ограниченной определенным временным интервалом – месяцем, неделей, сутками, и представляет собой совокупность мер, позволяющих воздействовать на конкретные отклонения от установленных производственных заданий.

Глобальная цель системы оперативного управления – обеспечение экономически эффективной реализации целей организации посредством своевременного принятия эффективных мер по ликвидации отклонений от намеченного хода реализации текущего плана, вызванных внешними и внутренними возмущениями. Подсистема оперативного

управления является регулятором системы относительно заданной программы действий.

Процесс оперативного управления строительным производством включает следующие операции:

- контрольную – получение и обработка информации о состоянии объекта, сопоставление полученной информации с плановым заданием;
- аналитическую – анализ выявленных отклонений;
- информационную – получение информации о состоянии ресурсов в системе;
- нормативную – определение ресурсов, необходимых для возвращения системы в заданное состояние, в соответствии с действующими нормами (в том числе производственными);
- управляющую – принятие решения.

Если в результате обработки и анализа полученной информации формируются решения, для реализации которых отводится достаточно длительный период (неделя, месяц), возникает необходимость разработки оперативного плана.

Следует отметить, что система оперативного управления производством в любой отрасли экономики включает одни и те же элементы: управляемый процесс, обратную связь, сравнение, корректирующий фактор, планирующую систему с участием человека.

Оперативное планирование является элементом единой системы планирования экономической организации. По содержанию плановых решений планы подразделяются на стратегические, тактические и оперативные. Стратегический план ориентирован на долгосрочную перспективу, поиск новых возможностей. Тактический план направлен на создание предпосылок для реализации известных возможностей, распределение ресурсов организации для достижения поставленных стратегических целей. Оперативный план сосредоточен непосредственно на процессе реализации данной возможности в краткосрочном периоде (месяц, неделя) [13].

Оперативное планирование отличается от стратегического и тактического рядом характеристик, отраженных на рис. 3.1.

Оперативное планирование принципиально отличается от других видов планирования. Во-первых, оно не предполагает пересмотра целей функционирования системы управления и предназначено для возврата ее в состояние, заданное при тактическом планировании. Во-вторых, оперативное планирование опирается на достаточно точную информацию о состоянии объекта управления (выполненных объемах работ на строящихся объектах, наличии трудовых ресурсов, материалов и оборудования). При составлении планов строительного предприятия на относительно продолжительный период невозможно учесть все факторы, которые

могут возникнуть непосредственно перед началом производства работ. Тактическое, а тем более стратегическое планирование характеризуются значительной степенью неопределенности. По мере приближения к намечаемым срокам выполнения работ информированность о текущей ситуации возрастает; соответственно, возрастают достоверность и детализация плановых расчетов.

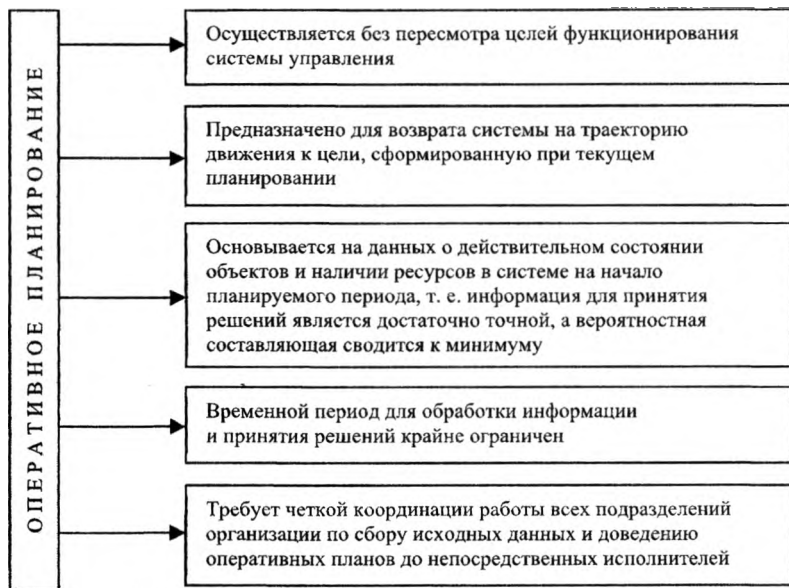


Рис. 3.1. Особенности подсистемы оперативного планирования

В основе оперативного управления лежит мониторинг выполнения проекта. Эффективный мониторинг сегодня обязательно базируется на компьютерном управлении проектами с использованием систем типа Microsoft Project, Primavera, Spider Project и т. п., которые позволяют эффективно сравнивать реальный ход выполнения проекта с первоначально запланированным, т. е. осуществлять отслеживание.

К сожалению, в практической деятельности организации Брестской области не спешат применять информационные технологии и использовать их преимущества при оперативном управлении [36].

В основе анализа выполнения проекта лежат смета и расписание работ. На смету и расписание оказывают возмущающие воздействия события, происходящие в процессе работ: плохая погода, изменения проекта, недостаточно квалифицированные кадры и т. п.

Задача мониторинга – вовремя заметить отклонения и путем корректирующих действий обеспечить выполнение проекта в заданных параметрах.

Одним из важных этапов мониторинга является *контроль* – процесс сравнения фактических результатов с планом для выявления отклонений, оценки альтернативного развития событий и принятия соответствующих корректирующих мер.

Шаги контроля над проектом:

1. *Разработка основного (базового) плана.* Базовый план – это своего рода «снимок» календарного плана на момент окончания стадии планирования или завершения одного из ее основных этапов. Базовый план может быть не единственным. Некоторые проекты, в первую очередь непродолжительные, могут иметь один базовый план. Другие могут потребовать создания нескольких базовых планов по ходу выполнения, если фактические значения параметров будут сильно отличаться от их исходных оценок.

Базовый план должен отражать все основные этапы реализации проекта:

- проектные и изыскательские работы (предпроектные и изыскательские работы, разработку архитектурного проекта, государственную экологическую экспертизу архитектурного проекта, государственную экспертизу архитектурного проекта, разработку строительного проекта, государственную экспертизу отдельных разделов строительного проекта);
- подготовительный период строительства;
- основной период строительства с разбивкой по зданиям, сооружениям и основным видам работ;
- поставку оборудования;
- пусконаладочные работы и проведение испытаний.

2. *Измерение прогресса и результатов (сроков и стоимости).*

3. *Сравнение плана с фактами.*

Планы обычно не реализуются в соответствии с первоначальными ожиданиями. Поэтому необходимо обязательно осуществлять периодический мониторинг и отслеживать состояние проекта, чтобы сравнить факты с планом и решить, необходимо ли принимать меры. Периодичность выхода отчетов о состоянии должна быть такой, чтобы можно было заранее определить отклонения от плана и скорректировать причины. Обычно отчет о состоянии выходит один раз в 1–4 недели. Специалисты считают, что этого достаточно для выработки корректирующих действий [21].

Когда вносится информация о фактическом ходе работ, программа (например, MS Project) показывает откорректированный календарный

план. Если программа обнаруживает, что выполнение определенной задачи задерживается, она автоматически смещает все зависимые задачи.

Деятельность по отслеживанию позволяет создавать отчеты для руководства, отражающие, в какой точке выполнения находится проект. Например, в MS Project формируется наглядное представление Tracking Gantt («Диаграмма Гантта с отслеживанием»), включающее по умолчанию таблицу Tracking («Отслеживание»).

4. *Принятие мер.* Если отклонения от плана значительны, то требуются корректирующие действия, чтобы вернуть проект на первоначальную траекторию движения. Иногда условия реализации или объем проекта могут настолько существенно меняться, что потребуются изменение базового плана на основе новой информации.

На рис. 3.2 отражены составляющие контроля над проектом.



Рис. 3.2. Составные элементы контроля выполнения проекта

**Контроль стоимости** необходим в силу влияния на проект факторов, вызывающих отклонения от ранее запланированного бюджета. Он направлен на управление изменениями в стоимости проекта с целью снижения влияния отрицательных аспектов и увеличения позитивных последствий изменений стоимости проекта. Для осуществления контроля следует на ранней стадии строительства установить основные элементы стоимости, определяющие конечные результаты и (или) элементы с наибольшим уровнем риска повышения стоимости. Руководитель проекта сосредотачивает свое внимание именно на этих элементах, а остальные менее критичные работы контролирует путем рассмотрения их в совокупности по суммарной оценке.

Контроль стоимости включает:

- мониторинг стоимостных показателей реализации проекта с целью обнаружения отклонений от бюджета;



- управление изменениями в бюджете с целью обеспечения его выполнения;
- предотвращение ранее запланированных ошибочных решений;
- информирование всех заинтересованных лиц о ходе выполнения проекта с точки зрения соблюдения бюджета [42].

Составляющие контроля стоимости:

1) *учетная* – оценка фактической стоимости выполнения работ и затраченных ресурсов;

2) *прогнозная* – оценка будущей стоимости проекта.

**Контроль сроков** включает отслеживание времени выполнения работ. В зависимости от заданного уровня контроля могут использоваться суммарные или детальные показатели выполнения на контрольную дату. Детальный контроль может быть реализован с использованием метода критического пути, а суммарный – календарными планами с большей или меньшей детализацией в зависимости от потребностей управления.

Мониторинг выполнения проекта должен проводиться на регулярной основе и включать ежемесячные совещания с участием представителей заказчика (Водоканала), инженера и генподрядчика. С целью систематизации результатов мониторинга, своевременного выявления причин проблем и фиксации основных решений предлагается использование определенной формы протокола ежемесячных совещаний.

Реализация инвестиционных программ модернизации систем водоснабжения и водоотведения с участием международных финансовых институтов создает для субъектов хозяйствования Республики Беларусь уникальную возможность обогатить свой опыт в области управления проектами в строительстве, организации закупочной деятельности, работы с международными типовыми контрактами. В первую очередь это связано с исключительно тщательной переработкой всех позиций типовых контрактов, четким распределением обязанностей между сторонами контракта, наличием продуманных механизмов контроля хода проекта и оперативности управления.

## Глава 4

## ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ЗАПАДНОМ ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ<sup>1</sup>

### 4.1. Классификация водохозяйственных объектов по вероятности возникновения аварийных ситуаций

Для практики большое значение имеет классификация водохозяйственных объектов по вероятности возникновения аварийных ситуаций. Согласно исследованиям [7; 11] классификацию, базирующуюся на дискриминантном и инвестиционном ранжировании объектов по вероятности возникновения аварийных ситуаций, целесообразно осуществлять по следующим признакам:

- категории научно-технического уровня предприятия (таблица 4.1);

Таблица 4.1

#### Категории научно-технического уровня предприятия

Категория	Научно-технический уровень
0	Недопустимо низкий уровень
1	Ниже среднего достигнутого уровня в отрасли
2	Средний достигнутый уровень в отрасли
3	Передовой достигнутый уровень в отрасли
4	Выше передового достигнутого уровня в отрасли
5	Передовой достигнутый уровень в стране
6	Выше передового достигнутого уровня в стране
7	Передовой уровень в мире
8	Выше достигнутого передового уровня в мире

- категории уровня эксплуатации (таблица 4.2);

Таблица 4.2

#### Категории уровня эксплуатации

Категория	Уровень эксплуатации
0	Оценить невозможно из-за отсутствия контроля
1	Крайне плохой, отмечались грубые нарушения режима эксплуатации, нанесен серьезный ущерб населению или окружающей среде

<sup>1</sup> Глава написана совместно с кандидатом технических наук доцентом О. Л. Образцовым.

Окончание табл. 4.2

Категория	Уровень эксплуатации
2	Неудовлетворительный, нарушаются среднегодовые и (регулярно) разовые нормативные показатели, устанавливаемые в отрасли
3	Средний, среднегодовые установленные показатели выполняются, отмечаются кратковременные нарушения разовых показателей
4	Высокий, постоянно обеспечивающий соблюдение показателей, установленных при проектировании или последней реконструкции

- категории выбросов и сбросов вредных веществ (таблица 4.3);

Таблица 4.3

## Категории выбросов и сбросов вредных веществ

Категория	Характеристика аварийных выделений и выбросов (сбросов)
0	Аварийные выделения невозможны, так как производство не связано с хранением и образованием значительных количеств вредных веществ
1	Производство связано с образованием или хранением значительных количеств вредных веществ. Однако благодаря принятию специальных мер технического характера аварийные выделения практически исключены
2	Аварийные выделения возможны, но аварийные выбросы (сбросы) практически исключены за счет принятия специальных мер по газоочистке, сжиганию, разбавлению и т. д.
3	Возможны кратковременные аварийные выбросы (сбросы)
4	Возможны длительные аварийные выбросы (сбросы)
5	То же, что и для категории 3, но аварийные выбросы (сбросы) реально имели место на аналогичных объектах
6	То же, что и для категории 4, но аварийные выбросы (сбросы) реально имели место на аналогичных объектах

- вероятность возникновения риск-ситуации (таблица 4.4).

Таблица 4.4

## Вероятность возникновения риск ситуаций

Износ основных фондов, $W_p$ , %	Вероятность возникновения риск-ситуаций, %
20	20
30	35
50	65
75	85
95	98

## 4.2. Результаты обследования водохозяйственных объектов

### *Особенности технической оценки состояния реконструируемых объектов*

В Брестской области в период с 2010 по 2018 г. на водохозяйственных объектах ЖКХ были выполнены следующие обследовательские работы:

- техническое обследование строительных конструкций зданий очистных сооружений в г. Пружаны;
- техническое обследование с целью реконструкции КНС № 6 в г. Бресте;
- техническое обследование строительных конструкций зданий очистных сооружений г. Бреста:
  - а) «Техническое состояние строительных конструкций зданий илоциркуляционной насосной станции»;
  - б) «Техническое состояние строительных конструкций вторичных радиальных капитализационных отстойников №1–6»;
  - в) «Техническое обследование строительных конструкций КНС-11»;
- техническое обследование строительных конструкций здания насосной станции обработки осадка на территории очистных сооружений канализации в г. Барановичи;
- техническое обследование строительных конструкций резервуара усреднителя на очистных сооружениях г. Иваново и ряд других объектов.

Цель вышеперечисленных работ – определение фактического технического состояния и возможность дальнейшей нормальной эксплуатации этих объектов.

Все работы выполнены по действующим методикам и сгруппированы в три блока:

#### **А. Изыскательские работы по обследованию:**

- осмотр и фотографирование объектов в целом и отдельных конструктивных элементов объекта;
- предварительный визуальный осмотр и выявление необходимости устройства временных креплений и усиления несущих и ограждающих конструкций (при обнаружении критических дефектов) для предотвращения возможного обрушения конструкций и возможности безопасного проведения работ по обследованию объекта;
- оценка расположения объекта в существующей застройке;
- сплошной визуальный осмотр строительных конструкций объекта с фиксацией и измерением выявленных дефектов и повреждений (предварительная (ориентировочная) оценка технического состояния

элементов объекта (по внешним признакам) и, в случае необходимости, принятие решения о противоаварийных мероприятиях согласно существующим требованиям);

- исследование (определение) прочностных и деформационных характеристик (физико-механических свойств) материалов основных строительных конструкций и их элементов приборами неразрушающего контроля; определение места выработок, вскрытий, зондирования конструкций для последующего детального обследования элементов объекта обследования (при необходимости);

- вскрытие защитного слоя конструкций с целью установления фактического армирования и его состояния, вскрытие стыковочных узлов конструкций и отдельных поврежденных участков конструкций (при необходимости);

- составление дефектных карт и ведомостей по результатам осмотра объекта (составление по результатам осмотра и необходимых измерений элементов дефектных ведомостей, схем, разверток или таблиц со ссылками на фотоиллюстрации, содержащих подробную информацию о конкретном месте расположения дефекта и его основных параметрах), выполнение обмеров конструкций и узлов их сопряжений, измерение параметров трещин, прогибов, наклонов элементов.

**Б. Оценка технического состояния конструкций объекта:**

- анализ планировочных и конструктивных решений;
- установление фактических нагрузок и воздействий как на строительные конструкции и их отдельные элементы, так и на здание в целом;
- установление фактических расчетных схем конструкций и их отдельных элементов;

- выполнение сравнительного анализа состояния арматуры, бетона и прочностных характеристик конструктивных элементов объекта;

- идентификация строительных конструкций объекта;

- систематизация и анализ данных о техническом состоянии объекта (с учетом действующих нагрузок), его отдельных конструктивных элементов, оценке их технического состояния и степени износа (определение пригодности строительных конструкций к дальнейшей безопасной эксплуатации); выявление имеющихся запасов прочности строительных конструкций и возможности (при необходимости) усиления конструкций на основании технического обследования (при необходимости (при выполнении детального обследования));

- определение технического состояния инженерных систем, доступных для осмотра и требуемых по техзаданию (при необходимости), и отдельных их элементов, их физического износа, для установления возможности дальнейшей эксплуатации.

**В.** Составление заключения с выводами, разработка указаний (рекомендаций) по дальнейшей нормальной эксплуатации объекта в целом и отдельных строительных конструкций (элементов) с учетом выявленных дефектов и повреждений. Заключение выполнялось с учетом специфики данного (осмотренного) объекта и соответствующих требований.

В результате обследования по всем объектам на момент проведения работ исполнительная техническая документация, акты на скрытые работы, паспорта и сертификаты на смонтированные конструкции, журналы производства работ и документы, характеризующие примененные материалы, условия и качество производства работ, отсутствовали либо заказчиком не представлялись. Данные об инженерно-геологических изысканиях по обследуемым объектам у заказчиков также отсутствовали.

Ввиду отсутствия проектных данных техническое решение основных несущих элементов зданий было получено в процессе выполнения работ по их детальному обследованию.

#### *Техническое состояние конструкций приемной камеры комплекса очистных сооружений г. Пружаны*

Тип исполнения приемной камеры – из монолитного железобетона (монолитное днище и стены). Приемная камера имеет прямоугольную форму с размерами  $6,91 \times 1,89 \times 1,91$  м ( $l \times b \times h$ ), толщина стенок приемной камеры – 200 мм (рис. 4.1).



*Рис. 4.1. Общий вид и конструктивное решение приемной камеры*

Прочность бетона конструктивных элементов приемной камеры определялась по существующим методикам «Определение прочности бетона механическими методами неразрушающего контроля».

Фактическая прочность бетона конструктивных железобетонных элементов приемной камеры находилась в пределах от 17,8 до 22,4 МПа при коэффициенте вариации  $V = 12,9\text{--}13,2\%$ .

Железобетонные стены и днище приемной камеры имели дефекты и повреждения, появление которых следует связывать с качеством строительно-монтажных работ, качеством изготовления конструкций и условиями эксплуатации сооружений (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Техническое состояние приемной камеры

Дефекты можно классифицировать следующим образом:

- химическая коррозия бетона, биологическая коррозия бетона стен (выше уровня сточных вод), повреждено до 50 % поверхности стен (выше уровня сточных вод), выщелачивание бетона стен, повреждены все поверхности стен;
- разрушение (отслоение) защитного слоя бетона рабочей и конструктивной арматуры стен, коррозия рабочей и конструктивной арматуры панелей, повреждено до 20 % поверхности стен;
- разрушение защитного слоя бетона арматуры стен, вымывание, истирание поверхности бетона стен без обнажения и с обнажением конструктивной и рабочей арматуры стен.

Возникновение данных дефектов следует связывать с высокой турбулентностью потока нечистот (турбулентность потока в районе шиберной заслонки вызвана недостаточным ее закрытием, что создает гидравлическое сопротивление выходящему из приемной камеры потоку нечистот), содержащего абразивный материал (песок), который

истирует и выносит растворимую составляющую бетона, обнажая зерна крупного наполнителя и близко расположенную к поверхности арматуру; отрицательно воздействует на бетон и среднеагрессивная среда эксплуатации приемной камеры;

- дефекты изготовления (низкое качество бетонных работ по устройству приемной камеры) монолитных стен и днища (каверны, раковины, пустоты, инородные включения в бетоне, пористость, малая величины защитного слоя бетона арматуры, несоблюдение геометрических размеров (очертаний) камеры);

- деструкция (размораживание) бетона стен глубиной до 20 мм в результате циклического замораживания и оттаивания материала стен в водонасыщенном состоянии.

### *Техническое состояние песколовок*

Тип эксплуатируемых песколовок – круглые (в плане) горизонтальные песколовки с круговым движением сточной воды (круглые резервуары конической формы с периферийными лотками для протекания сточной воды). Стены и днище песколовок выполнены из монолитного железобетона (монолитное конусное днище и монолитные стены), толщина стенок песколовок – 115–125 мм (рис. 4.3, 4.4).

Фактическая прочность бетона стен песколовок – от 19,3 до 22,4 МПа при коэффициенте вариации  $V = 12,8\text{--}15,6\%$ .

Железобетонные стены и днища песколовок имеют дефекты и повреждения, появление которых следует связывать с качеством строительно-монтажных работ, качеством изготовления конструкций и условиями эксплуатации сооружений:

- химическая коррозия бетона, биологическая коррозия бетона стен (выше уровня сточных вод), выщелачивание бетона стен;

- разрушение (отслоение), вымывание, истирание поверхности защитного слоя бетона рабочей и конструктивной арматуры стен резервуаров, коррозия рабочей и конструктивной арматуры панелей (выше уровня сточных вод), а также дефекты изготовления (низкое качество бетонных работ по устройству песколовок) монолитных стен и днища (каверны, раковины, пустоты, инородные включения в бетоне, пористость, малая величины защитного слоя бетона арматуры); деструкция (размораживание) бетона стен глубиной до 40 мм в результате циклического замораживания и оттаивания материала стен в водонасыщенном состоянии (при переменном уровне сточных вод).

На момент обследования песколовок существенных деформаций, недопустимого раскрытия трещин и других дефектов, значительно влияющих на возможность дальнейшей нормальной эксплуатации песколовок, не выявлено.





Рис. 4.3. Общий вид и конструктивное решение песколовков



Рис. 4.4. Техническое состояние песколовков

#### *Техническое состояние первичных отстойников*

Тип эксплуатируемых первичных отстойников – круглые (в плане) вертикальные отстойники (круглые резервуары конической формы) с разделительной железобетонной перегородкой и периферийными сборными и отводящими лотками. Стены и днище первичных отстойников выполнены из монолитного железобетона (монолитное конусное днище и монолитные стены), толщина стенок песколовков – 120–130 мм, периферийные сборные и отводящие лотки выполнены из сборных железобетонных элементов (рис. 4.5). На монолитные стены установлены (смонтированы) сборные железобетонные балки пролетом 9,3 м, к которым приварены стальные балки из различного проката.

Фактическая прочность бетона элементов первичных отстойников – от 19,2 до 22,5 МПа при коэффициенте вариации  $V = 9,3\text{--}14,7\%$ .



Рис. 4.5. Общий вид и конструктивное решение первичных отстойников

Железобетонные конструктивные элементы первичных отстойников имеют дефекты и повреждения, появление которых следует связывать с качеством строительно-монтажных работ, качеством изготовления конструкций и условиями эксплуатации сооружений. Общий вид отстойников приведен на рис. 4.6.



Рис. 4.6. Техническое состояние первичных отстойников

Общая классификация дефектов может быть сгруппирована по тем же признакам, что и приведенная выше. Только в данном случае следует добавить некоторые характерные для этого объекта параметры:

- дефекты изготовления монолитных стен и днища;
- отсутствие, разрушение (отслоение), растрескивание бетона стыков сборных элементов отстойников;
- равномерная поверхностная коррозия закладных деталей и их сварных швов сборных железобетонных балок перекрытия отстойников, повреждено до 100 % железобетонных балок;
- биологическая коррозия бетона железобетонных балок перекрытия, повреждены поверхности балок перекрытия, незначительное выщелачивание бетона балок;
- поверхностная коррозия стальных балок (толщина продуктов коррозии – 0,5–4,0 мм), повреждено до 100 % стальных балок.

В результате выполненного осмотра первичных отстойников существенных деформаций, недопустимого раскрытия трещин и других дефектов, значительно влияющих на возможность дальнейшей нормальной эксплуатации первичных отстойников, на момент обследования не выявлено.

Общий вид и конструктивное решение осветлителей-перегнивателей представлены на рис. 4.7. Стены осветлителей выполнены из сборных железобетонных стеновых панелей для круглых емкостных сооружений типа ПСЦ1 по серии 3.900-3. Панели выполнены постоянной по высоте толщиной. Пространственная жесткость внутреннего кольца стен осветлителей обеспечивается за счет сварки закладных деталей стен между собой и колец из стальной арматуры. Поверхности стен резервуаров осветлителей покрыты торкретбетоном толщиной 15–25 мм. Днища резервуаров – монолитные железобетонные.



**Рис. 4.7. Общий вид и конструктивное решение осветлителей-перегнивателей**

### **Техническое состояние осветлителей-перегнивателей**

В ходе осмотра конструкций осветлителей установлено, что они не эксплуатируются продолжительное время, консервация конструкций осветлителей не проводилась, что отрицательно отразилось на строительных конструкциях сооружения.

Фактическая прочность бетона элементов осветлителей-перегнивателей – в пределах от 19,2 до 21,0 МПа при коэффициенте вариации  $V = 8,7-12,5 \%$ . На момент обследования конструкций осветлителей-перегнивателей (рис. 4.8) существенных деформаций, недопустимого раскрытия трещин и других дефектов и повреждений, значительно влияющих на возможность дальнейшей нормальной эксплуатации осветлителей-перегнивателей, не выявлено.



**Рис. 4.8. Техническое состояние осветлителей-перегнивателей**

### **Техническое состояние аэротенков**

На очистных сооружениях применены два спаренных двухкоридорных аэротенка с размерами коридора  $24 \times 4 \times 36$  м и объемом одной секции  $1300 \text{ м}^3$  с дисковыми аэраторами (рис. 4.9). Аэротенки представляют собой длинные железобетонные резервуары прямоугольного сечения, их стены выполнены из унифицированных сборных железобетонных элементов (панелей) по серии 3.900-2, днища – монолитные железобетонные. В качестве несущих элементов для технологического оборудования аэротенков применены сборные железобетонные ребристые плиты покрытия.



*Рис. 4.9. Общий вид и конструктивное решение аэротенков*

Фактическая прочность бетона элементов аэротенков – от 19,6 до 21,4 МПа при коэффициенте вариации  $V = 9,7\text{--}11,4\%$ .

### *Вторичные отстойники*

Тип эксплуатируемых вторичных отстойников – круглые (в плане) вертикальные отстойники (круглые резервуары конической формы) из сборного железобетона. Резервуар имеет форму цилиндра с коническим монолитным железобетонным днищем. Стены (цилиндрическая часть) отстойников выполнены из унифицированных сборных железобетонных элементов (панелей) по серии 3.900-2 и обжаты кольцевой напрягаемой арматурой (рис. 4.10). На стены отстойников установлены (смонтированы) сборные железобетонные балки прямоугольного сечения. Водосборные (водоприемные) лотки отстойников – сборные железобетонные. В качестве элементов лотков применены сборные железобетонные лотки по серии 3.900-2 с зубчатым гребнем.



*Рис. 4.10. Общий вид и конструктивное решение вторичных отстойников*

Фактическая прочность бетона элементов вторичных отстойников – от 19,6 до 22,0 МПа при коэффициенте вариации  $V = 8,9\text{--}12,3\%$ . Вторичные радиальные отстойники представлены на рис. 4.11.



*Рис. 4.11. Общий вид вторичных радиальных канализационных отстойников № 1–6 КПУП «Брестводоканал»*

### *Стены отстойников*

Тип исполнения вторичных радиальных канализационных отстойников № 1 и № 2 – из монолитного железобетона (монолитное днище и стены) с вращающимся сборно-распределительным устройством (скребковым механизмом) (рис. 4.12).

Стены отстойников № 1 и № 2 – сплошные монолитные железобетонные, выполнены постоянной по высоте толщиной. Верх монолитной стены (по периметру отстойника) выполнен в виде железобетонной консоли с уширением в наружную сторону на величину до 150 мм (для движения тележки вращающегося сборно-распределительного устройства (скребкового механизма)). Ширина консоли стен – 385–415 мм, высота – 580–610 мм.

Фактическая прочность бетона элементов вторичных отстойников – от 18,6 до 24,5 МПа при коэффициенте вариации  $V = 8,5–15,4 \%$ .

По периметру консоли отстойников выполнена защитная полоса из окрашенной тонколистовой стальной полосы (листов).

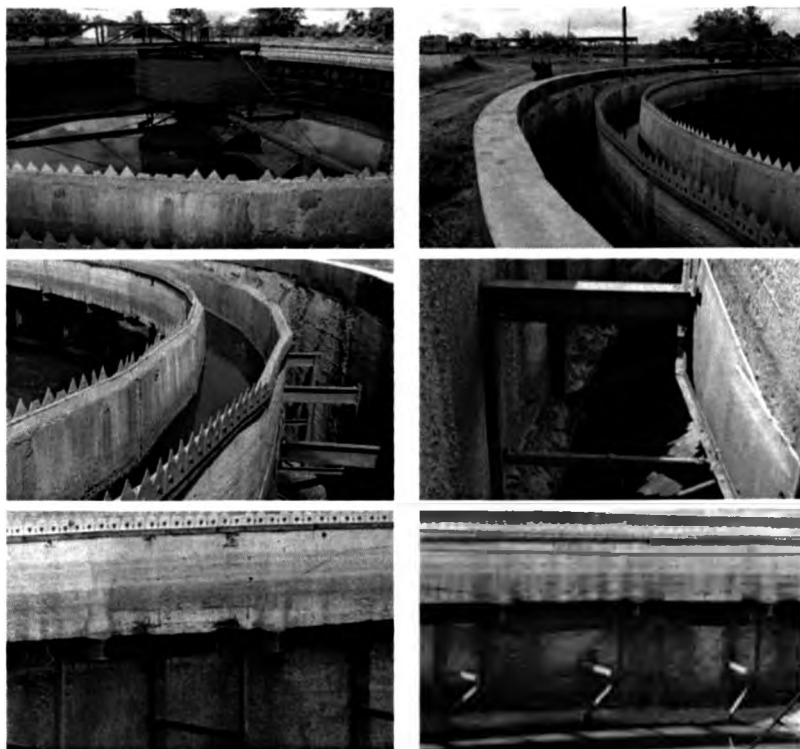
Тип исполнения вторичных радиальных канализационных отстойников № 3–6 – из сборного железобетона (железобетонных конструкций) с монолитным днищем с вращающимся сборно-распределительным устройством (рис. 4.13).



**Рис. 4.12. Общий вид и конструктивное решение вторичных радиальных канализационных отстойников № 1 и № 2 станции КПУП «Брестводоканал»**

В качестве ограждающих конструкций стен отстойников № 3–6 применены сборные железобетонные стеновые панели для круглых емкостных сооружений типа ПСЦЗ по серии 3.900-3. Панели выполнены постоянной по высоте толщиной. По верху стеновых панелей (по периметру отстойника) выполнен монолитный железобетонный оголовок (обвязочная балка) для движения тележки вращающегося сборно-распределительного устройства (скребкового механизма). Ширина оголовка (обвязочной балки) – 290–400 мм, высота – 400–620 мм.

По периметру железобетонного оголовка (обвязочной балки) отстойника № 5 выполнена защитная полоса из окрашенной тонколистовой стальной полосы (листов).



**Рис. 4.13. Общий вид и конструктивное решение вторичных радиальных канализационных отстойников № 3–6 станции КПУП «Брестводоканал»**

Внутренние (на всю высоту стены) и наружные (выше уровня земли) поверхности стен отстойников № 3–6 покрыты цементно-песчаной штукатуркой толщиной 15–25 мм.

#### **Водосборные лотки**

Водосборные (водоприемные) лотки отстойников № 1 и № 2 – «Г-образные» (в качестве одной стенки лотков выступает монолитная стена отстойника) сплошные монолитные железобетонные (рис. 4.14). Толщина стенки и днища лотков – 90–100 мм. Гребень зубчатого водослива выполнен из треугольных пластмассовых элементов.

Водосборные (водоприемные) лотки отстойников № 3–6 – «П-образные» сборные железобетонные. В качестве элементов лотков применены сборные железобетонные лотки с опорами в местах стыков лотков по серии 3.900.1-12. Толщина стенок и днища лотков – 90–100 мм. Железобетонные стенки и днища водосборных лотков армированы

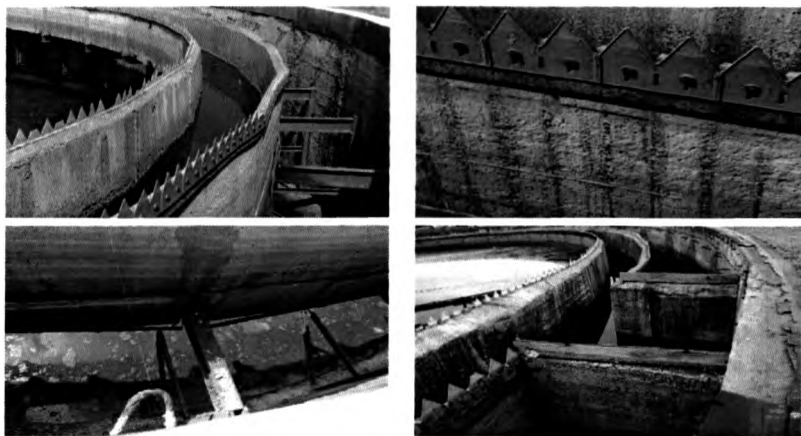


стальными сварными сетками из стали класса Вр-1 и АII. Гребень зубчатого водослива выполнен из треугольных пластмассовых элементов.



**Рис. 4.14. Общий вид и конструктивное решение водосборных лотков отстойников № 1 и № 2**

Опираие сборных железобетонных лотков выполнено на стальные опорные треугольные консоли, выполненные из стальных горячекатаных швеллеров и двутавров. Крепление опорных стальных консолей выполнено к закладным деталям стеновых панелей при помощи сварки (рис. 4.15).



**Рис. 4.15. Общий вид и конструктивное решение водосборных лотков отстойников № 3–6**

### *Лотки и водоотводящие каналы*

Лотки (водоотводящие каналы) выполнены «П-образными» железобетонными монолитными (рис. 4.16). Ширина и поперечное сечение лотков различны (в соответствии с принятыми проектными решениями и особенностями изготовления лотков (низким качеством бетонных работ по устройству лотков)).



*Рис. 4.16. Общий вид и конструктивное решение лотков*

Фактическая прочность бетона стен лотков – от 18,8 до 20,4 МПа при коэффициенте вариации  $V = 12,6\text{--}13,5\%$ .

Аналогичный подход к выполнению работ по обследованию осуществлялся ко всем представленным исследуемым объектам. Естественно, программы выполнения работ подлежали корректировке и детализации в зависимости от целей.

Все выборочно представленные в данной работе объекты имеют достаточный срок эксплуатации – порядка 49 лет и более. Важно, что проделанная работа позволила определить фактическое техническое состояние как отдельных элементов, так и сооружений в целом.

### 4.3. Анализ результатов обследования

Полученные результаты детальных обследований позволяют заключить, что дефекты, выявленные в процессе эксплуатации конструкций сооружений и установок, возникают, как правило, в связи с недостатком надзора на всех этапах создания и эксплуатации зданий и сооружений инженерно-техническими службами всех уровней. При этом ранее существовала возможность возникновения конфликта интересов и незаинтересованности исполнителей при возведении данных зданий, а также имело место отсутствие достаточной квалификации как рабочих, так и инженерно-технических работников, осуществляющих выполнение строительно-монтажных работ, а главное – неспособность выполнения анализа и предвидения последствий некачественно выполненных работ.

В настоящее время внедрение в практику строительства инновационных технологий, строительных материалов, конструкций, изделий, переход на комплексное проектирование, внедрение системы новых ТНПА, систем управления проектами и систем менеджмента качества позволяет во многом оперативно исключать дефекты и давать оценку техническому состоянию зданий.

Совокупная оценка технического состояния конструкций очистных сооружений (приведенных ранее) представлялась комплексно и основывалась на требованиях соответствующих нормативно-правовых документов. В частности, устанавливается:

- оценка технического состояния строительных конструкций или инженерных систем, а также эксплуатационных качеств объекта по отдельным группам показателей эксплуатационных качеств;
- степень ответственности конструкции объекта (ответственности элемента или его участка, в котором обнаружен дефект);
- влияние дефектов на несущие свойства строительных конструкций или инженерных систем объекта;
- степень распространения дефектов (по количеству (степени распространения) дефектов в элементе или на рассматриваемом участке элемента);
- категория технического состояния конструкции объекта (ее отдельного участка) в зависимости от класса дефектов, степени их распространения, а также от степени ответственности участка или элемента конструкции, или системы, где обнаружены установленные дефекты;
- классификация дефектов по группам показателей, не связанных непосредственно с несущей способностью конструкций (трещиностойкость, деформативность, тепловая защита, звукоизоляция, антикоррозионная защита, состояние воздушной среды и т. д.), или для ненесущих

элементов зданий (полы, отделка, инженерные системы и т. д.), выполненная согласно требованиям соответствующих документов или требованиям ТНПА на конкретные элементы зданий или с учетом рекомендаций производителей;

- степень риска, а также уровень негативных последствий;
- физический износ конструкций объекта (в %).

Факторы влияния (определяющие уровень их дефектности (степень поврежденности) и подлежащие анализу) объекта (строительных конструкций) подразделяются на следующие классы:

А – начальное качество элемента.

В – качество проектирования.

С – качество выполнения работ при возведении конструкций.

Д – параметры внутренней окружающей среды.

Е – параметры наружной окружающей среды.

Ф – условия использования.

Г – уровень технического обслуживания.

Существует пять уровней негативных последствий и соответствующих уровней ущерба:

- уровень последствий 0 – ущерб отсутствует;
- уровень последствий 1 – незначительный ущерб;
- уровень последствий 2 – средний ущерб;
- уровень последствий 3 – серьезный ущерб;
- уровень последствий 4 – катастрофический ущерб.

Степень риска определяется в соответствии с идентификацией видов и уровней последствий, которые использовались как основание для оценки риска, и обозначается как низкий, средний, высокий и чрезвычайно высокий.

На основании выявленных дефектов и повреждений дается общая оценка техническому состоянию конструкций либо конструктивным элементам сооружений по классификации соответствующих нормативных документов.

После выявления технического состояния оцениваются возможные последствия, их уровень возможного нанесения ущерба с точки зрения снижения безопасности, нарушений охраны здоровья, с точки зрения эстетических характеристик, с точки зрения увеличения затрат (экономических, технических).

После всего комплекса проделанных работ по техническому обследованию готовят рекомендации.

Рекомендации разрабатывают на основании анализа результатов обследования, поверочных расчетов и других возможных процедур.

Рекомендации для служб надзора по эксплуатации зданий и сооружений, как правило, содержат перечень необходимых мероприятий

по ремонту и реконструкции для обеспечения требований безопасности и эксплуатационной пригодности строительных конструкций, конструктивных элементов.

Приведем выборочно некоторые примеры анализа.

Совокупная оценка технического состояния вторичных радиальных отстойников № 1–6 в г. Бресте приведена в таблице 4.5.

Таблица 4.5

**Степень распространения дефектов и их влияние на конструкции лотков**

Обозначение конструкций	Степень ответственности конструкций	Влияние дефектов на несущие свойства конструкций	Степень распространения дефектов	Физический износ конструкций, %
Железобетонные лотки вторичных радиальных отстойников № 1 и № 2	1	Малозначительное (класс 3, группа А, $\Delta < 10\%$ )	Массовые	10–30
		Малозначительное (класс 3, группа Б, $\Delta < 10\%$ )	–	
Железобетонные лотки вторичных радиальных отстойников № 3–6	1	Малозначительное (класс 3, группа А, $\Delta < 10\%$ )	Массовые	31–50
		Значительное (класс 2, группа А, $\Delta < 40\%$ )	Единичные	
		Малозначительное (класс 3, группа Б, $\Delta < 10\%$ )	–	

Железобетонные стены вторичных радиальных отстойников № 1 и № 2, а также № 3–6 соответствуют 1-му классу ответственности конструкций. Влияние дефектов на несущую способность конструкций для отстойников № 1, № 2 малозначительные, распространение дефектов – массовое. При этом физический износ конструкций по нормируемым оценкам достигает 10–30 %. Класс 3, группа А ( $\Delta < 10\%$ ), класс 3, группа Б ( $\Delta < 10\%$ ). Для отстойников № 3–6 влияние дефектов на несущие свойства конструкций малозначительные и значительные. Класс 2 и 3, группы А и Б. Физический износ – от 31 до 50 %. Степень распространения дефектов – от единичных до массовых.

На основании выявленных дефектов и повреждений общее техническое состояние вторичных радиальных отстойников № 1 и № 2 следует классифицировать по II категории (удовлетворительное).

На основании выявленных дефектов и повреждений общее техническое состояние вторичных радиальных канализационных отстойников

№ 3–6 следует классифицировать по *III категории* (не вполне удовлетворительное).

Совокупная оценка технического состояния железобетонных вторичных радиальных отстойников № 1–6 представлена в таблице 4.6.

Таблица 4.6

**Степень распространения дефектов и их влияние на конструкции вторичных радиальных отстойников**

Обозначение конструкций	Степень ответственности конструкций	Влияние дефектов на несущие свойства конструкций	Степень распространения дефектов	Физический износ конструкций, %
Железобетонные днища вторичных радиальных отстойников № 1 и № 2	1	Малозначительное (класс 3, группа А, $\Delta < 10\%$ )	Массовые	10–30
		Малозначительное (класс 3, группа Б, $\Delta < 10\%$ )	–	
Железобетонные днища вторичных радиальных отстойников № 3–6	1	Малозначительное (класс 3, группа А, $\Delta < 10\%$ )	Массовые	10–30
		Малозначительное (класс 3, группа Б, $\Delta < 10\%$ )	–	

На основании выявленных дефектов и повреждений общее техническое состояние железобетонных лотков вторичных радиальных отстойников № 1 и № 2 следует классифицировать по *II категории* (удовлетворительное).

На основании выявленных дефектов и повреждений общее техническое состояние железобетонных лотков вторичных радиальных канализационных отстойников № 3–6 следует классифицировать по *III категории* (не вполне удовлетворительное).

Степень распространения дефектов – массовая.

Техническое состояние строительных конструкций комплекса очистных сооружений г. Пружаны приведено в таблице 4.7.

Таблица 4.7

**Техническое состояние строительных конструкций очистных сооружений г. Пружаны**

Конструктивный элемент	Категория согласно СНБ 1.04.01-04 [35]	Требования к устранению дефектов
Присменная камера	<i>IV</i> – неудовлетворительное	Требуется капитальный ремонт
Горизонтальные песколовки	<i>III</i> – не вполне удовлетворительное	Дефекты устраняются в ходе ремонта

Окончание табл. 4.7

Конструктивный элемент	Категория согласно СНБ 1.04.01-04 [35]	Требования к устранению дефектов
Первичные отстойники	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты устраняются в ходе ремонта
Осветители-перегниватели	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты устраняются в ходе ремонта
Аэротенки двухкоридорные	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты устраняются в ходе ремонта
Вторичные отстойники	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты устраняются в ходе ремонта
Железобетонные лотки (водоотводящие каналы)	IV – неудовлетворительное	Требуется капитальный ремонт

Техническое состояние строительных конструкций здания насосной станции обработки осадка на территории очистных сооружений канализации в г. Барановичи, классифицированное согласно требованиям ТКП 45-1.04-208-2010, представлено в таблице 4.8.

Таблица 4.8

**Техническое состояние строительных конструкций здания обработки осадка в г. Барановичи**

Конструктивный элемент	Категория согласно ТКП 45-1.04-208-2010 [40] <sup>2</sup>	Требования к устранению дефектов и повреждений
Сборные железобетонные ребристые плиты покрытия (П1 и П2)	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты и повреждения устраняются в ходе ремонта. <i>Эксплуатация конструкций при фактических (действующих) воздействиях и нагрузках возможна (не ограничивается в пределах несущей способности плит):</i> выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению (снижению) несущей способности, работоспособности и эксплуатационных характеристик конструкций. <i>Несущая способность конструкций (плит) с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений ограничено обеспечивается</i>
Сборные железобетонные стропильные балки покрытия	II – удовлетворительное	Рекомендуется выполнить очистку поверхности бетона балок. Дефекты и повреждения устраняются в ходе ремонта. Эксплуатация конструкций при фактических (действующих) воздействиях и нагрузках возможна (не ограничивается в пределах несущей способности конструкций): выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению (снижению) несущей способности, работоспособности и эксплуатационных

<sup>2</sup> Нормативные документы соответствуют времени их действия в период выполнения работ.

Продолжение табл. 4.8

Конструктивный элемент	Категория согласно ТКП 45-1.04-208-2010 [40]	Требования к устранению дефектов и повреждений
		характеристик конструкций. <i>Несущая способность конструкций с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается</i>
Сборные железобетонные колонны (К1)	II – удовлетворительное	Требуются выполнить очистку поверхности бетона колонн. Дефекты и повреждения устраняются в ходе ремонта. Эксплуатация конструкций при фактических (действующих) воздействиях и нагрузках возможна (не ограничивается в пределах несущей способности конструкций): выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к нарушению (снижению) несущей способности, работоспособности и эксплуатационных характеристик конструкций. <i>Несущая способность конструкций с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается</i>
Наружное стеновое ограждение	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты и повреждения устраняются в ходе ремонта (рекомендуется выполнить капитальный ремонт стен). <i>Эксплуатация стен при фактических (действующих) нагрузках и воздействиях (установленных на момент осмотра) ограничено возможно при условии: выполнения контроля за их состоянием; выполнения защитных мероприятий; осуществления контроля за параметрами процесса эксплуатации (выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к существенному нарушению работоспособности, несущей способности и эксплуатационных характеристик стен (установленные дефекты и повреждения привели к некоторому снижению несущей способности конструкций, опасность внезапного разрушения конструкций отсутствует)). Несущая способность стен с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений ограничено обеспечивается</i>
Внутренние кирпичные стены	II – удовлетворительное	Дефекты и повреждения устраняются в ходе текущего ремонта. <i>Эксплуатация конструкций (стен) при фактических (действующих) воздействиях и нагрузках возможна (не ограничивается в пределах несущей способности конструкций): выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к существенному нарушению (снижению) несущей способности, работоспособности и эксплуатационных характеристик конструкций. Несущая способность конструкций (стен) с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается</i>



Окончание табл. 4.8

Конструктивный элемент	Категория согласно ТКП 45-1.04-208-2010 [40]	Требования к устранению дефектов и повреждений
Железобетонные прогоны и перемычки	II – удовлетворительное	Дефекты и повреждения устраняются в ходе текущего ремонта. <i>Эксплуатация конструкций при фактических (действующих) воздействиях и нагрузках возможна (не ограничивается в пределах несущей способности конструкций): выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к существенному нарушению (снижению) несущей способности, работоспособности и эксплуатационных характеристик конструкций. Несущая способность конструкций (прогонов и перемычек) с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений обеспечивается</i>
Перегородки	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты и повреждения устраняются в ходе ремонта (рекомендуется выполнить капитальный ремонт перегородок). <i>Эксплуатация перегородок при фактических (действующих) нагрузках и воздействиях, установленных на момент осмотра, ограничено возможна при условии: выполнения контроля за их состоянием; выполнения защитных мероприятий; осуществления контроля за параметрами процесса эксплуатации (выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к существенному нарушению работоспособности и эксплуатационных характеристик перегородок)</i>
Кровля	III – не вполне удовлетворительное	Дефекты и повреждения устраняются в ходе ремонта (рекомендуется выполнить капитальный ремонт кровли). <i>Эксплуатация кровли при фактических (действующих) нагрузках и воздействиях, установленных на момент осмотра, ограничено возможна при условии: выполнения контроля за их состоянием; выполнения защитных мероприятий; осуществления контроля за параметрами процесса эксплуатации (выявленные дефекты и повреждения в данных конкретных условиях эксплуатации не приводят к критическому нарушению работоспособности и эксплуатационных характеристик конструкции кровли)</i>
Отмостка, прилегающая территория	Не вполне удовлетворительное	Требуется выполнить ремонт отмостки, планировку прилегающей территории

Техническое состояние и категория технического состояния строительных конструкций определены в соответствии с действующими нормативами:

*I* – исправное (хорошее) состояние – малозначительные дефекты устраняются в процессе технического обслуживания здания.

*II* – неисправное (удовлетворительное) состояние – дефекты устраняются в процессе технического обслуживания и текущего ремонта здания.

*III* – ограниченно работоспособное (не вполне удовлетворительное) состояние – опасность обрушения отсутствует. Необходимо соблюдение всех эксплуатационных требований. Возможны ограничения на некоторые параметры эксплуатации здания. Требуется ремонт здания.

*IV* – неработоспособное (неудовлетворительное) состояние – необходимо срочное ограничение нагрузок. Требуется капитальный ремонт, усиление или замена элементов или конструкций (уточняется расчетом).

*V* – предельное (предаварийное) состояние – требуются вывод людей из опасной зоны, срочная разгрузка конструкций и (или) устройство временных креплений с последующей разборкой и заменой конструкций.

На основании анализа результатов обследования, проверочных расчетов делаются выводы о пригодности к нормальной эксплуатации тех или иных конструкций, систем и даются рекомендации по дальнейшей эксплуатации рассматриваемых объектов.

Рекомендации должны охватывать самый широкий спектр возможных действий – от капитального ремонта до усиления либо демонтажа тех или иных элементов вплоть до замены на новые, в том числе и технологии.

Проводимые действия предусматривают:

- всестороннее рассмотрение и определение ориентировочного масштаба возможных экологических и, как следствие, социально-экономических и иных последствий планируемых действий;
- определение видов воздействия на системы водохозяйственной деятельности и возможное прогнозирование состояния в результате реализации мероприятий по детальному обследованию и реализации проектных решений;
- поиск оптимальных, альтернативных проектных решений, которые способны предотвратить или минимизировать возможное значительное последующее вредное воздействие на окружающую среду.

Реализация задачи по анализу исходных данных последующих проектных решений, по произведению оценок реализованных проектных

решений с точки зрения их эксплуатационной пригодности и, как следствие, экологической безопасности в рамках соблюдения основных нормативных требований экологического, строительного и иного законодательства, а также на основе выбранных объектов позволяет иметь реальную картину существующего состояния исследуемых водохозяйственных систем.

Таким образом, своевременные работы по реконструкции систем водохозяйственной деятельности должны минимизировать и исключить факты нарушений природоохранного законодательства, исключить нарушение всех технологических процессов и, что важно, предотвратить аварийные ситуации, влекущие за собой нанесение ущерба окружающей среде.

Решение этих частных экологических задач и детальное рассмотрение системных проблем позволит в масштабах республики создать экспериментальную статистическую базу данных для общетеоретического осмысления и математической обработки, что в конечном итоге позволит дать оценку и оптимизировать надежность водохозяйственных систем.

## Глава 5

# ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ И ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ РИСКОВ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ<sup>1</sup>

---

### 5.1. Организация процесса управления рисками эксплуатации проектов по строительству и эксплуатации объектов водоснабжения и водоотведения<sup>2</sup>

Наиболее эффективным средством непрерывного обеспечения безопасности системы питьевого водоснабжения является использование метода всеобъемлющей оценки рисков и управления рисками, который охватывает все этапы водоснабжения – от водозабора до потребления воды. Разработка и реализация процессов управления рисками для каждой системы питьевого водоснабжения должна включать следующие этапы:

- создание специальной группы и выбор методики разработки системы управления рисками;
- выявление опасных факторов и опасных событий, которые могут влиять на безопасность системы водоснабжения;
- оценка рисков, создаваемых каждым опасным фактором и опасным событием;
- определение мер контроля или защитных барьеров для каждого значительного риска;
- регулярный анализ опасных факторов, рисков и мер контроля;
- ведение учетной документации для обеспечения прозрачности и обоснования конечных результатов, проверка эффективности программы.

Создание квалифицированной целевой группы является важной предпосылкой для мобилизации технического опыта и знаний, необходимых для разработки программы управления рисками (ПУР). Этот этап предполагает создание группы людей из числа работников

---

<sup>1</sup> Глава написана совместно с кандидатом технических наук доцентом Ан. А. Волчек.

<sup>2</sup> Раздел написан кандидатом технических наук доцентом Е. И. Кисель.

предприятия водоснабжения и представителей заинтересованных сторон, общая обязанность которых заключалась бы в том, чтобы разобратся в работе системы водоснабжения и выявить опасные факторы, угрожающие качеству и безопасности объекта недвижимости по всей цепочке водоснабжения. Группа должна будет отвечать за разработку, реализацию и поддержание ПУР как постоянно работающего документа (таблица 5.1).

Таблица 5.1

## Этапы создания рабочей группы

Этап создания целевой группы	Особенности	Основные сбои
Привлечение руководства, анализ ресурсов	С целью определения важности программы	Поиск квалифицированных работников. Организация рабочей нагрузки группы по разработке ПУР таким образом, чтобы ее можно было выполнять, не сменяя существующей организационной структуры и роли работников.
Установление качественного и количественного состава группы	Включение в группу оперативного персонала вселит в работников чувство личной ответственности. Члены группы должны коллективно обладать умениями и навыками выявления опасных факторов и понимать, как можно контролировать связанные с ними риски. Группа должна иметь полномочия, позволяющие ей осуществлять рекомендации, вытекающие из ПУР	Выявление и привлечение внешних заинтересованных сторон. Обеспечение слаженности работы группы и ее сохранение.
Назначение руководителя группы	Следует назначить руководителя группы, который будет управлять проектом и задавать направление деятельности. Этот человек должен иметь авторитет и обладать организационными способностями и умением работать с людьми; эти качества руководителя позволят успешно осуществить проект	Обеспечение полноценного общения между группой и остальными работниками предприятия водоснабжения и другими партнерами.
Закрепление обязанностей между членами группы	Рекомендуется составить таблицу с указанием функций	

Для каждого этапа проверенной и подтвержденной схемы последовательности технологических операций группа по разработке ПУР должна проанализировать, что может стать источником возникновения опасных факторов и опасных событий. Выявление опасных факторов требует и посещения объектов на местах, и проведения кабинетных исследований. Визуальное изучение таких аспектов, как территория, прилегающая к точкам водозабора, и элементы водоочистки, может

выявить опасные факторы, которые было бы невозможно заметить только сидя в кабинете. Выявление опасных факторов требует оценки данных и событий прошлых лет, а также прогнозной информации. Риск, связанный с каждым из опасных факторов, можно описать путем определения вероятности возникновения опасного фактора (например, «несомненное», «вероятное», «маловероятное» возникновение) и оценки тяжести последствий в случае, если опасность все же возникнет (например, «незначительные», «серьезные», «катастрофические»). Важнейшим соображением здесь являются потенциальные последствия для здоровья населения, состояние экосистемы, возможности продолжения процесса эксплуатации. Цель должна заключаться в том, чтобы различать существенные и менее существенные риски.

Основные сбои:

- вероятность того, что новые опасные факторы и опасные события могут быть упущены из виду;
- неопределенность в оценке рисков, обусловленная отсутствием данных, знаний о мероприятиях, происходящих в цепочке водоснабжения, и об их относительном влиянии на риск, обусловленный опасным фактором или опасным событием;
- точное определение вероятности и последствий с достаточной степенью детализации для того, чтобы избежать субъективности оценок и обеспечить их последовательность.

Для каждого из выявленных опасных факторов и опасных событий необходимо определить существующие меры контроля. Следует четко отразить отсутствующие меры контроля в документации и предпринять действия по их организации. В процессе эксплуатации важно вести мониторинг эффективности подтвержденных мер контроля по заранее определенным целевым показателям, или «критическим значениям».

Основные сбои в области:

- распределение между работниками обязанностей по выполнению практической работы на местах по выявлению опасных факторов и определению мер контроля;
- выявление наиболее подходящих мер контроля, которые были бы экономически целесообразны и устойчивы;
- существование неопределенности при установлении приоритетности рисков вследствие отсутствия данных или недостаточная осведомленность о действиях.

Большое значение для поддержки управления рисками имеет мониторинг в контрольных точках, который демонстрирует, что мера контроля реально действует и что в случае обнаружения отклонения от заданного параметра могут быть своевременно приняты меры, которые

не позволят поставить под угрозу целевые показатели эксплуатации объекта. Для того чтобы мониторинг был действенным, необходимо определить:

- что будет объектом мониторинга (объект в целом, процесс, период, организационное звено);
- как будет проводиться мониторинг этих объектов;
- когда или с какой частотой будет проводиться мониторинг;
- где будет проводиться мониторинг;
- кто будет проводить мониторинг;
- кто будет проводить анализ;
- кто будет получать результаты мониторинга для принятия соответствующих мер.

Организационные сбои:

- нехватка кадровых ресурсов для проведения мониторинга и анализа;
- увеличение расходов на управление;
- неприятие со стороны персонала, который привык к определенному способу ведения мониторинга;
- отсутствие ресурсов для обеспечения отдела эксплуатации, необходимых для осуществления коррективных действий.

Группа по реализации ПУР периодически рассматривает общий план: оценивает результаты работы, определяет ее новые методы, делает выводы из опыта реализации плана и новых методов работы.

Процесс обзора имеет важнейшее значение для общей реализации и служит основой, на которой могут строиться будущие оценки. После каждой рискованной ситуации, инцидента или предпосылки к рискованной ситуации необходимо оценивать риск, вносить результат этой оценки в план улучшения/модернизации системы. Если ПУР будет обновляться и соответствовать реалиям сегодняшнего дня, то это сохранит уверенность персонала и заинтересованных сторон в правильности выбранных методик и реализуемых действий.

Документооборот для подготовки обзора включает:

- 1) отчет о последнем обзорном совещании;
- 2) отчеты о промежуточных обзорах;
- 3) изменения в составе группы;
- 4) изменения на водосборной площади, в водоочистке, распределении;
- 5) анализ тенденций;
- 6) подтверждение эффективности новых мер контроля;
- 7) изучение результатов проверки;
- 8) отчеты о внутреннем и внешнем аудите;
- 9) анализ связей с заинтересованными сторонами.

Эффективность работы группы будет зависеть от выбора правильной стратегии работы с рисками, которая включает в себя определение границ приемлемости риска, его изменчивости, неповторимости, потенциала рискозащищенности. Именно грамотно выстроенные стратегические цели создают базу (основу) для формирования ПУР, которая будет включать задачи правильной рискологической ориентации.

## **5.2. Оценка риска функционирования водохозяйственных систем и объектов<sup>3</sup>**

Принятие любых технических и экономических решений всегда должно базироваться на оценке риска функционирования систем и объектов. Стандартная совокупность имеющихся мониторинговых данных обычно позволяет определять только точечные параметры критических ситуаций. Но поскольку в практике чаще всего требуется знание не точечных, а интервальных оценок параметров, то возникает необходимость определения доверительных границ, степени и границ максимального риска (риска – ситуации) и их приемлемости. При этом под риском нужно понимать любое нарушение устойчивости системы, которое может проявиться при определенных условиях и иметь негативные последствия для всей системы в целом либо ее структурных составляющих и компонент.

Анализ имеющихся рискологических исследований требует предварительного постулирования, аксиом приемлемости, всеохватности и неповторимости.

Приемлемость определяет границы изменения показателей во времени и закономерности происходящих изменений с точки зрения экологических и социально-экономических последствий, всеохватность – объективность рисков и их обязательность (присутствие) для любого ранга управляемости функционированием систем, а неповторимость – невозможность формирования тождественных полей риска даже для близких ситуаций сходных систем независимо от степени их идентичности.

Наиболее важным в исследованиях приемлемости риска являются границы и тип изменчивости показателей. В целом следует различать детерминированную (с постоянным или меняющимся средним значением), стохастическую, импульсивно-разделяющуюся и циклическую изменчивость.

---

<sup>3</sup> Раздел написан совместно с кандидатом технических наук доцентом Н. В. Лапицкой.



Что касается исследований всеохватности и неповторяемости, то наиболее существенными являются знания параметров рискозащитных систем, определяющие надежность структурных элементов системы и вероятность сохранения работоспособности внутрисистемных связей, при воздействии, поствоздействии и взаимодействии экстремальных факторов. Следует отметить, что и для рискозащищенности важны не сами параметры, а их пороговые (предельно допустимые) значения.

Так как уровень рискозащищенности характеризуется риском возникновения опасных природных и социальных катастроф и явлений, риском перерастания эколого-социальной проблемы в кризисную и катастрофическую и возникновением чрезвычайных ситуаций самого различного уровня, степенью воздействия на окружающую среду и социально-экономические условия при сохранении на макроуровне равновесных состояний систем различной природы, то уровень риска можно описать зависимостью вида

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3, \quad (5.1)$$

где  $R_1$  – вероятность (частота) формирования опасных факторов;  $R_2$  – вероятность формирования определенных уровней действия факторов на различные объекты биосферы;  $R_3$  – вероятность того, что уровни действия сформировавшихся факторов обуславливают долгосрочные последствия и значимые социальные, экономические, экологические, эстетические и другие виды ущербов.

В качестве пороговых уровней рискозащищенности систем целесообразно оперировать предельно допустимым снижением уровня и качества жизни населения, за границами которого возникает опасность проявления неконтролируемых процессов и кризисных ситуаций, и предельно допустимым уровнем снижения затрат на поддержание и воспроизводство природно-экологического потенциала, за пределами которого возникает опасность необратимого разрушения элементов природной среды и нанесения ущерба здоровью нынешнего и особенно будущего поколений.

Следовательно, приемлемый риск – это компромисс между реальным уровнем рисков (социально-экономических, технических и экологических) и возможностями их достижения, что и определяет необходимость выделения двух рисковых категорий, таких как экологический вред (кризисная ситуация) и экологическая гибель (катастрофическая ситуация).

С точки зрения рискозащищенности и приемлемости риска это позволяет все гео- и агроэкосистемы отнести к одному из следующих типов: самоорганизующиеся и саморазвивающиеся как целостность; динамические; с целенаправленным развитием; с определенной стратегией

развития; с детерминированным развитием; спонтанно развивающиеся; гомеостатические; адаптивные.

Что касается разделения области риска, то целесообразно выделение безрисковой области и областей минимального, повышенного, критического, катастрофического и недопустимого рисков.

Все многообразие периодов жизнедеятельности систем и объектов с позиции рискозащищенности можно представить на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Схема периодов жизнедеятельности систем

Для устойчиво стабильного периода величина рисков настолько незначительна, что их целесообразно не учитывать, т. е. для системы характерна полная рискозащищенность. Устойчиво квазистабильному периоду присущи достаточно значительные риски только для отдельных факторов, элементов и процессов, а устойчиво переходному – качественные изменения риска, т. е. поле рисков системы изменяет как свою структуру, так и элементный состав.

Для математического описания любых переходных периодов целесообразно использовать матрицу и коридор рисков.

Матрица рисков имеет вид

	$\Pi_1$	$\Pi_2$	...	$\Pi_j$	...	$\Pi_n$
$t_1$	$R_{11}$	$R_{21}$	...	$R_{j1}$	...	
$t_2$	$R_{12}$	$R_{22}$	...	$R_{j2}$	...	$R_{n2}$
...	...	...	...	...	...	...
$t_j$	$R_{1j}$	$R_{2j}$	...	$R_{jj}$	...	$R_{nj}$
...	...	...	...	...	...	...
$t_k$	$R_{1k}$	$R_{2k}$	...	$R_{jk}$	...	$R_{nk}$

(5.2)

где  $\Pi_{1,n}$  – факторы жизнедеятельности системы;  $t_{1,k}$  – расчетные моменты времени;  $R_{1,nk}$  – величина риска.

Коридор риска, определяющий возможный диапазон изменения риска, при котором система функционирует в устойчиво стабильном или устойчиво квазистабильном режиме, может быть описана в виде

$$R_i^{j\min} < R_i^j < R_i^{j\max}, \quad (5.3)$$

где  $R_{ij}^{\min, \max}$  – соответственно минимально и максимально допустимые значения приемлемого риска.

Матрицы и коридор риска позволяют описать все уровни структуры устойчивого переходного периода. Для первого уровня, где изменения отражаются только на величине рисков (номенклатура рисков постоянна), имеем:

$$\begin{cases} i \in I \text{ при } I = \text{const}, \\ R_i^{\min} \leq R_i^j \leq R_i^{\max}. \end{cases} \quad (5.4)$$

Второй уровень характерен для случая, когда изменения отражаются и на величине рисков, и на их номенклатуре:

$$\begin{cases} i \in I \text{ при } I = \text{const} (I + \Delta i), \\ R_i^{\min} - \xi_{\min} \leq R_i^j \leq R_i^{\max} + \xi_{\max}, \end{cases} \quad (5.5)$$

где  $\xi_{\min}$  и  $\xi_{\max}$  – величины изменения минимального и максимального рисков в переходный период.

Третий уровень связан с такими изменениями, которые не только меняют систему поэлементно-структурно, но и выводят ее в другую область (поле) риска. В этом случае

$$\begin{cases} i_a \in I_a \rightarrow i_b \in I_b; \\ R_{i_a}^{\min} \leq R_{i_a}^j \leq R_{i_a}^{\max} \rightarrow R_{i_b}^{\min} \leq R_{i_b}^j \leq R_{i_b}^{\max}, \end{cases} \quad (5.6)$$

где  $i_a$  и  $i_b$  – соответственно элемент  $[a, b]$  множества  $[I_a, I_b]$ ;  $R_{i_a}^j \leq R_{i_b}^j$  – соответственно риски системы по показателям  $i_a$ ,  $i_b$  в моменты  $I_a$  и  $I_b$ ;

$R_{i_a}^{\min}$  и  $R_{i_a}^{\max}$  – риски, соответствующие нижней и верхней границе,

когда система находится в состоянии  $[a]$ ;  $R_{i_b}^{\min}$  и  $R_{i_b}^{\max}$  – риски, соответствующие нижней и верхней границе, когда система находится в состоянии  $[b]$ . При этом состояние  $[b]$  определяет устойчивое, а  $[a]$  – слабоустойчивое поле рисков.

Для неустойчивого переходного периода характерно наличие различных подсистем с переходными процессами, которые не связаны между собой и разнонаправлены.

Что касается устойчивого квазипереходного периода, то для него характерно наличие закономерной смены системоциклов, а неустойчиво квазипереходного – случайная смена системоциклов, что достаточно полно можно описать случайной выборкой из любого множества (набора) альтернатив.

Для неустойчиво стабильных и неустойчиво квазистабильных периодов характерно наличие перенасыщенной стабильности всей системы или отдельных подсистем, т. е. система или ее подсистемы готовы к переходу в новое (другое стабильное) состояние, но период перехода строго недетерминирован.

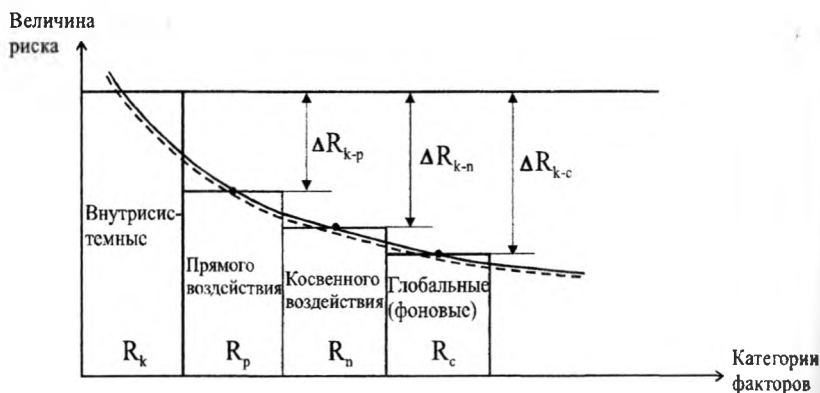
Следует отметить, что периоды жизнедеятельности систем, связанные с неустойчивостью, являются кризисными и обладают большой неопределенностью и высокими рисками.

Что касается множества факторов, влияющих на величину риска, то их целесообразно классифицировать по четырем категориям направленности воздействия (глобальные (фоновые), прямого воздействия, косвенного воздействия и внутрисистемные) и четырем категориям возможности реализации (природные, техногенные, постэкологические и социальные).

Самая неопределенная категория – это факторы косвенного воздействия, которые очень часто способны трансформироваться в факторы прямого воздействия и даже в глобальные факторы.

Каждая из категорий факторов специфически влияет на риск функционирования систем, формируя общую величину риска –  $R_{\text{общ}} = f(R_k, R_n, R_p, R_c)$ , где  $R_i$  – величины рисков, которые формируются соответствующими категориями факторов.

Общую модель изменения величины риска функционирования систем в квазистабильный период, который наиболее характерен для практики, можно представить в виде  $R_k > R_n > R_p > R_c$  (рис. 5.2).



**Рис. 5.2. Модель изменения величины риска как функция категории факторов в квазистабильный (наиболее желательный) период функционирования систем**

Зная динамику источников риска, можно достаточно легко и достоверно прогнозировать степень критичности (катеорию ситуации и уровень уязвимости) оптимального функционирования системы.

В таблице 5.2 приведены наиболее типичные модели рискозащитности (приемлемости риска) для системы объектов.

Таблица 5.2

## Типичные модели рискозащитности (приемлемости риска) для систем

Сформировавшаяся модель динамики рисков	Особенности условий функционирования систем	Категория ситуации и уровень уязвимости систем	
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_n > R_n^i$	Факторы прямого воздействия переходят критическую границу и изменяют условия функционирования	КРИТИЧЕСКАЯ	Низкий
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_p > R_p^i$	Факторы косвенного воздействия переходят критическую границу, частично переходя в прямые, и изменяют условия функционирования		Минимальный
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_c > R_c^i$	Факторы фонового воздействия переходят критическую границу, частично переходя в более низкие категории, и изменяют условия функционирования		Повышенный
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_n > R_n^i$ $R_p > R_p^i$	Факторы прямого и косвенного воздействия переходят критическую границу, становятся трудноразличимыми и изменяют условия функционирования		Средний
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_p > R_p^i$ $R_c > R_c^i$	Факторы косвенного и фонового воздействия переходят критическую границу, становятся трудноразличимыми и изменяют условия функционирования		Сильный
$R_k > R_n > R_p > R_c$ $R_n > R_n^i$ $R_p > R_p^i$ $R_c > R_c^i$	Факторы прямого, косвенного и фонового воздействия переходят критическую границу, становятся трудноразличимыми и изменяют условия функционирования		Недопустимый
$R_k > R_p > R_c$ $R_k > R_n$	Факторы прямого воздействия становятся более значимыми, чем внутрисистемные		КАТАСТРОФИЧЕСКАЯ
$R_k > R_n > R_p$ $R_k > R_c$	Факторы прямого и косвенного воздействия становятся более значимыми, чем внутрисистемные	Средний	
$R_k > R_n > R_p > R_c$	Факторы прямого, косвенного и фонового воздействия становятся более значимыми, чем внутрисистемные	Повышенный	

Примечание.  $R^i$  – граничное значение рисков  $i$ -го воздействия.

Прогнозируя для конкретной системы ее состояние и особенности функционирования в определенный период, недостаточно знать только категорию ситуации и уровень уязвимости (например, ситуация критическая, уровень уязвимости – минимальный). Не менее важно знать принципы оценки рисков функционирования, качественный и количественный анализ рисков исходя из функциональной неопределенности геоландшафтных систем и проблемы их минимизации.

Анализ исследований в области создания общей структуры принципов оценки надежности (рисков) структурно- и связевосложных систем, достоверность знаний о компонентах которой очень малая, показывает, что любая структура должна удовлетворять принципам относительной полноты и непересекаемости, а оценка (анализ и синтез) рисков соответственно, должна базироваться на трехуровневой системе принципов: первый – методологический (определяет концептуальные положения), второй – методический (связан со спецификой систем, надсистем, подсистем и конкретикой условий), третий – операциональный (связан с однозначностью и достоверностью информационных потоков).

Анализ концептуальных основ оптимизации решений экологических проблем позволил сформировать следующие значимые методологические принципы: объективности, корректности, ограниченности, системности, взаимозависимости, позитивности и однотипности [5].

Объективность риска означает, что при оценке необходимо обеспечить достоверность отражения структуры и характеристик системы, при этом нужно, по мере возможности, учесть качественные и количественные параметры переходных процессов, а также степень недостоверности и неопределенности, объективно присущую будущему.

Корректность рисков означает, что при оценке должны выполняться такие формальные требования, как аддитивность, транзитивность, непропорциональность и интервальная монотонность, т. е.

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2; R_{\text{общ}}^i < R_{\text{общ}}^{i+1} < R_{\text{общ}}^{i+2}; R_i \notin R_{\text{общ}}^i,$$

где  $R_i$  – общие и частные риски.

Ограниченность рисков означает, что их формирование во многом зависит от наличия ресурсов однократного или многократного пользования (природные, социальные, трудовые, финансовые и информационные), а системность (комплексность) – что в своей совокупности они должны образовывать замкнутую систему иерархического типа: эмерджентные ↔ неэмерджентные риски.

Взаимозависимость рисков означает, что формирование (возникновение) одних рисков непосредственно или через сложные опосредованные связи приводит к формированию других (например,

экологических и социальных – к экономическим рискам), а однотипность – что независимо от типа риска все они имеют противоречивую экономическую или внеэкономическую оценку, но обязательно – прямую.

Позитивность рисков означает, что интегральный показатель риска не должен быть больше уровня приемлемости, т. е. риски не должны приводить к катастрофической ситуации.

Основные методические принципы – равновосприимчивость, динамичность, согласованность и диссонансируемость – исходят из предположений, что любое действие вносит в систему и, соответственно, в окружающую среду что-то специфическое, при этом даже при несинхронности отдельных проявлений реально однозначная характеристика предполагаемой динамики процессов.

Операциональные принципы определяют моделируемость и симплифицируемость рисков, т. е. возможность описания любой рискованной ситуации моделью с относительно простым информационно-вычислительным методом оценки риска.

Совокупность всех этих принципов позволяет любую рискологическую проблему рассматривать и трактовать как абстрактную систему, познание которой требует анализа со структурным или функциональным подходом и синтеза с эмерджентным или синергетическим подходом. На рис. 5.3 и 5.4 приведены специфические особенности анализа и синтеза абстрактной системы рискологической ориентации [8].

Функциональный подход к анализу риска обуславливает возможности реализации одного из трех принципиальных вариантов, приведенных ниже.

*I вариант* – риск представляют как неизвестное – «черный ящик», поведение которого полностью зависит от входных воздействий (факторов  $X_i$ ) и внутреннего состояния системы, т. е.  $X_i \in Y_i$ , что позволяет определить номенклатуру факторов ( $X_i$ ), параметров  $Y_i$  и функциональную связь между ними –  $Y = \varphi(X_1, X_2, \dots, X_n)$ , где  $Y$  – целевой параметр (риск).

*II вариант* – риск представляют как фактор (одно из входных воздействий ( $X_p$ )), который наряду с другими факторами определяет состояние и поведение системы, что позволяет определить значимость влияния риска на состояние объекта и взаимосвязь фактора ( $X_p$ ) с параметрами ( $Y_i$ ).

*III вариант* – риск представляют как параметр (одну из выходных реакций  $Y_p$ ), который наряду с другими определяет функционирование системы, что позволяет определить значимость риска для функционирования системы и взаимосвязь факторов ( $X_i$ ) с параметром ( $Y_p$ ).

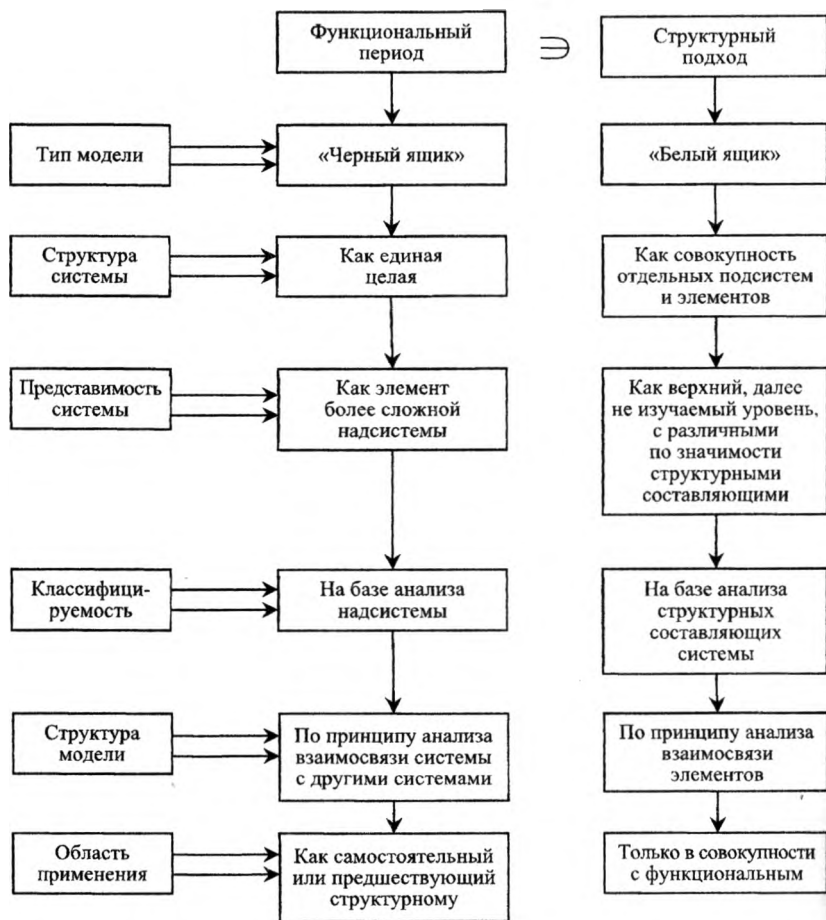


Рис. 5.3. Особенности анализа абстрактной системы рискологической ориентации

Для анализа структурных составляющих абстрактной системы на разных уровнях целесообразно использовать структурный подход, который также может быть реализован по одному из трех вариантов.

*I вариант* – риск структурируют на уровне с не изменяющимися свойствами, что обеспечивает постоянство свойств структурных составляющих при переходе с низких уровней на более высокие ( $E_0 = E_1 = E_2$ , где  $E_0, E_1, E_2$  – соответственно свойства на уровне  $(j + 1)$  и  $j$ ).



*II вариант* – риск структурируют на уровни с аддитивно изменяющимися свойствами, что обеспечивает аддитивную зависимость свойств структурных составляющих низкого и высокого уровней ( $E_0 = E_1 + E_2$ ).

*III вариант* – риск структурируют на уровни, связанные взаимоднозначной зависимостью ( $E_0 = f(E_1, E_2)$ ).

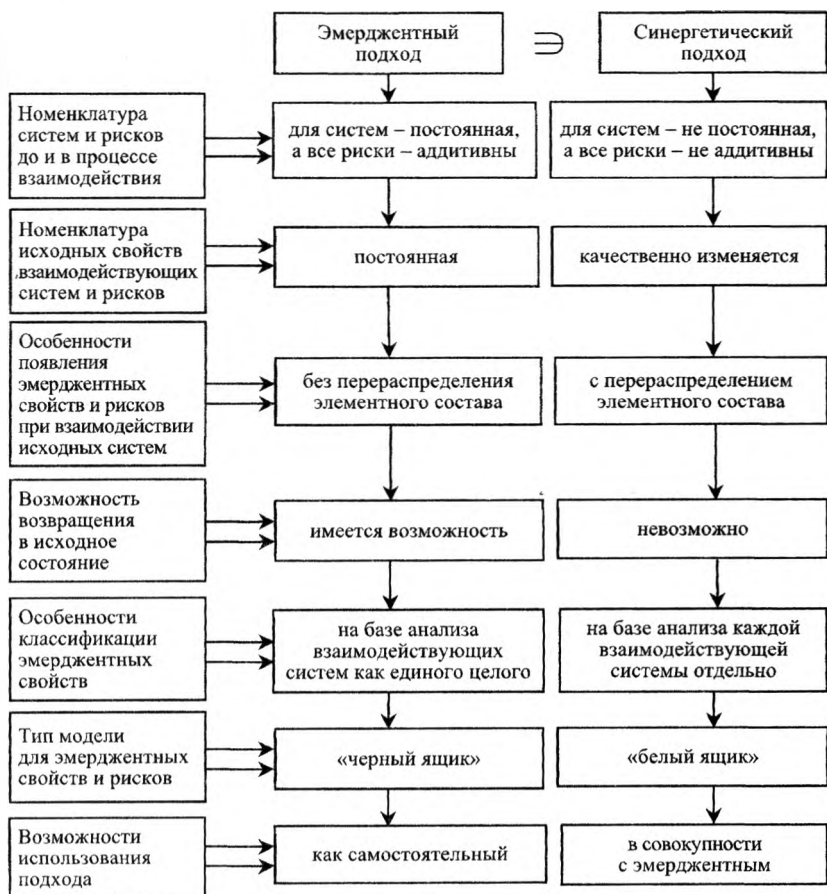


Рис. 5.4. Особенности синтеза абстрактной системы рискологической ориентации

Что касается синтеза абстрактных систем, т. е. образования новых эмерджентных или не эмерджентных свойств в процессе взаимодействия

систем (элементов), то он также может быть реализован по одному из трех вариантов.

*I вариант* – взаимодействие (объединение) систем (элементов) приводит как минимум к образованию у одного свойства нового качества, т. е. свойство  $E_k$  системы  $C_0$  имеет новое качество (другие характеристики) по сравнению со свойствами  $E_1$  и  $E_2$  составляющих ее систем (элементов).

*II вариант* – взаимодействие (объединение) систем (элементов) приводит как минимум к образованию нового свойства, принадлежащего тому же сингулярному классу систем, что и изучаемая система (объект), т. е. свойство  $E_k$  системы  $C_0$  не имеет аналогов у составляющих ее систем (элементов)  $C_1$  и  $C_2$ , но оно принадлежит тому же сингулярному классу.

*III вариант* – взаимодействие (объединение) систем (элементов) приводит как минимум к образованию одного нового свойства, принадлежащего другому сингулярному классу, чем изучаемая система (объект), т. е. свойство  $E_k$  системы  $C_0$  не имеет аналогов у составляющих ее систем (элементов)  $C_1$  и  $C_2$  и принадлежит другому сингулярному классу.

Все эти варианты четко определены следующими свойствами эмерджентных систем:

- эмерджентные свойства не сводимы к свойствам элементов, составляющих систему, так как они существуют только при взаимодействии элементов (систем);
- эмерджентных свойств у системы всегда меньше, чем неэмерджентных;
- появление хотя бы одного эмерджентного свойства у совокупности взаимодействующих элементов трансформирует это образование в систему;
- не всякое взаимодействие элементов приводит к образованию у их совокупности эмерджентных свойств.

Следовательно, если взаимодействие приводит к изменению свойств структурных составляющих, то синтез абстрактных систем необходимо осуществлять на синергетическом подходе по аналогичным вариантам. Однако независимо от подхода все методы анализа риска и неопределенности можно подразделить на группы (рис. 5.5).

Анализ жизнеспособности систем [19; 20; 33; 34; 22] в зависимости от периода ее функционирования требует также выделять стратегический (в квазистабильный период) и тактический (в переходный период) риски. При этом учет рисков в функционировании может быть слабым, только отдельных рискологических проблем и в интегральной форме, что и определяет кратко-, средне- и долгосрочную перспективы функционирования.

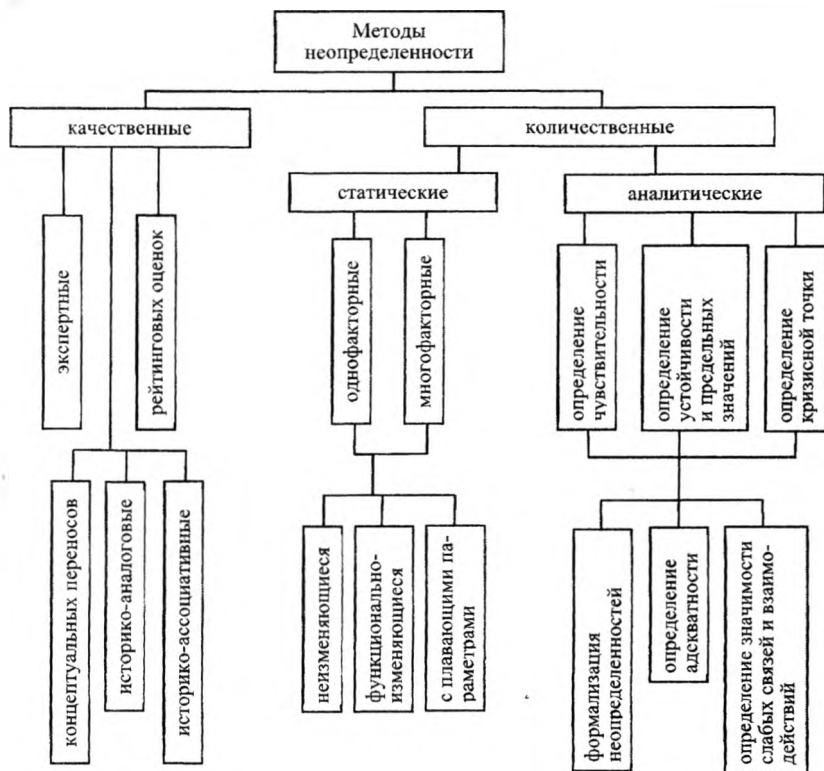


Рис. 5.5. Группирование методов анализа риска и неопределенности

Отсюда принципиальная схема оценки риска и неопределенности будет иметь вид, как на рис. 5.6.

Следует отметить, что для практики бесспорно важнее является проблема не оценки риска и неопределенности функционирования, а выявление рискозащищенности систем как параметра, характеризующего вероятность сохранения работоспособности внутрисистемных связей и адаптационную способность структурных составляющих и компонент системы к формируемой «враждебной» среде, т. е. экстремальным внешним и внутренним воздействиям.

Достаточно интересным решением этих проблем является подход исследователей НПО «Трибофатика» [12].



Рис. 5.6. Принципиальная схема оценки риска и неопределенности функционирования систем

Приняв риск как ожидание неблагоприятных событий (ситуаций),

$$0 < \rho(A, B) = \rho = P(A_i)/P(B_i) \leq \infty, \quad (5.7)$$

при условии, что имеет место закон единства и борьбы противоположностей в форме

$$P(A_i) + P(B_i) = \text{const} = 1, \quad (5.8)$$

так что ни  $P(A_i)$ , ни  $P(B_i)$  не «исчезают», а переходят друг в друга, они получили

$$P(A_i) \Leftrightarrow P(B_i). \quad (5.9)$$

Согласованная взаимозависимость (5.7) риска и вероятностей  $P(A)$  и  $Q(B)$  при соблюдении закона (5.8) и выполнении переходов (5.9) представлена на рис. 5.7 в виде оперативной характеристики рисков.

Критическим считается риск  $\rho_k = 1$ , соответствующий равновесию неблагоприятных и благоприятных событий ( $\rho(A) = \rho(B) = 0,5$ ).

Изменение риска во времени контролируется диалектической функцией

$$\delta(a, b, t) = \exp[-\gamma(b_1, b_2, \dots, t) + \beta(a_1, a_2, \dots, t)], \quad (5.10)$$

так что (5.7) с учетом (5.10) принимает вид

$$\rho(A, B, t) = \rho(A, B)\delta(a, b, t). \quad (5.11)$$

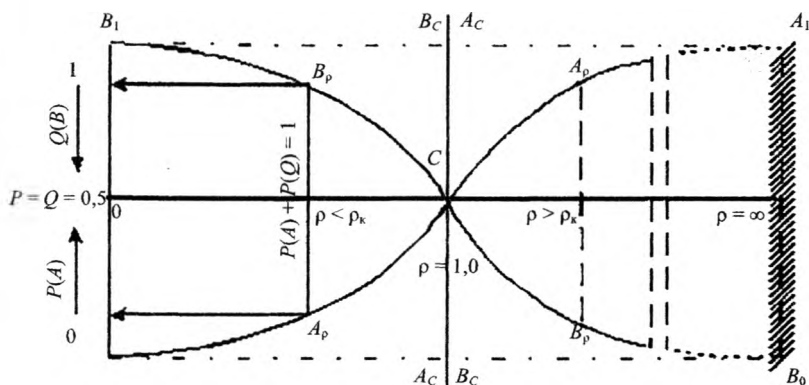


Рис. 5.7. Оперативная характеристика риска

В формуле (5.11) интервал изменения численных значений риска остается прежним, но на любом отрезке времени риск в соответствии с (5.10) может либо уменьшаться (когда  $|\gamma| \gg \beta$ ), либо увеличиваться (когда  $\beta \gg |\gamma|$ ), либо оставаться неизменным во времени (когда  $|\gamma| = \beta$ ), потому что диалектическая функция (5.10) тогда будет соответственно  $\delta < 1$ ,  $\delta > 1$ ,  $\delta = 1$ . При определенных соотношениях между параметром смуты  $\beta$  и параметром благоденствия  $\gamma$  прогнозируется наступление форс-мажорных обстоятельств – и риск катастрофически быстро увеличивается в соответствии с резко нарастающим значением диалектической функции.

Классификационная схема рисков представлена в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Классификационная схема рисков

Классификация рисков	$\rho$	$P(A_i)$	$Q(B_i)$
Нулевой	0	0	1
Ограниченный	$0 < \rho < 1$	$0 < P(A_i) < 0,5$	$0 < Q(B_i) < 0,5$
Критический	$1 = \rho_k$	0,5	0,5
Закритический	$1 < \rho < \infty$	$0,5 < P(A_i) < 1$	$0 < Q(B_i) < 0,5$

Что касается состояния технических объектов и ситуаций безопасности, то целесообразно использование классификации, представленной в таблице 5.4.

Таблица 5.4

## Классификация состояния технических объектов и ситуаций безопасности

Состояние объекта по поврежденности		Функция поврежденности	Параметр деградации	Показатель безопасности	Ситуация по безопасности
A	Неповрежденное	0	0	1	Абсолютная безопасность
B	Поврежденное	$0 < \omega_{\Sigma} < 1$	$0 < D_r < \frac{1}{e}$	$1 > R_p > 0$	Ограниченная безопасность
C	Предельное (критическое)	$1 = \omega_c$	$\frac{1}{e} = D_c$	0	Нулевая безопасность (аварии)
D	Запредельное (закритическое)	$1 < \omega_{\Sigma} < \infty$	$\frac{1}{e} < D_r < 1$	$0 > R_p > (1 - \infty)$	Отрицательная безопасность (катастрофы)
E	Разложится	$\infty$	1	$(1 - \infty) \approx -\infty$	Абсолютная опасность (катаклизмы)

### 5.3. Концепция приемлемого риска

Центральным в проблеме безопасности является вопрос выбора между концепцией «абсолютной» безопасности и концепцией «приемлемого» риска.

Вначале принимали более гуманистическую (на первый взгляд) концепцию «абсолютной» безопасности, которая служит основой для определения соответствующих стандартов в ядерной энергетике и в других отраслях техники.

Вредность концепции нулевого риска заключается в том, что ошибочно считается практически возможным исключить любую опасность для населения и среды, если не пожалеть сил и средств для создания инженерных систем безопасности и серьезных организационных мер, обеспечивающих высокий уровень дисциплины.

Однако даже использование самых эффективных систем безопасности и самых современных методов контроля за технологическими процессами не обеспечивает и в принципе не может обеспечить абсолютную надежность работы, исключающую аварийные ситуации. Нулевая вероятность аварии достигается лишь в системах, лишенных запасенной энергии, химически и биологически активных компонентов. На остальных же объектах аварии возможны, их не исключают даже самые дорогостоящие инженерные меры. Концепция «абсолютной» безопасности стала неадекватна внутренним законам природы, которые имеют вероятностный характер.

В свою очередь концепция приемлемого риска тоже имеет много противников. Они считают ее аморальной, так как эта концепция дает конструктору право заранее планировать аварии с вероятностью ниже приемлемой. Но куда аморальнее вводить себя и других в заблуждение упованиями на недостижимую «абсолютную» безопасность.

Вероятностный анализ риска, используемый за рубежом десятки лет, позволил принять множество новых мер для повышения безопасности эксплуатации атомных станций и других потенциально опасных производств. Концепция приемлемого риска позволяет более разумно (с открытыми глазами) концентрировать и распределять средства не только на предотвращение аварий, но и на заблаговременную подготовку к действиям в экстремальных условиях.

Согласившись с концепцией приемлемого риска и необходимостью расчета вероятности опасности технической системы, следует выбрать подходящий математический аппарат. Таким аппаратом, как правило, являются теория вероятностей, математическая статистика и математическая логика. Представляется весьма перспективным развитие логико-вероятностной теории (ЛВ) безопасности сложных систем.

Под ЛВ-теорией безопасности понимаются основные знания по расчетам риска возникновения аварий и катастроф сложных систем, базирующиеся на логическом представлении развития опасных состояний и математических методах вычисления истинности функций алгебры логики. ЛВ-методы исследования безопасности позволяют объективно выявить наиболее опасные места и инициирующие условия; они формируют иное мировоззрение разработчиков и побуждают специалистов концентрировать усилия на решении первостепенных задач.

В идеале риск должен быть равен нулю или стремиться к нему. В этом суть известного принципа ALARA, согласно которому независимо от достигнутого уровня безопасности требуется дальнейшее повышение данного уровня, если это осуществимо. Однако, как показывает опыт, всегда может произойти что-то непредвиденное, что вызовет проявление опасности, т. е. нельзя полностью ликвидировать опасность аварии и достичь, таким образом, нулевого риска. Понимание этого факта привело к появлению принципа ALARA, в соответствии с которым требуется достижение такого уровня безопасности, которое можно обеспечить с учетом социальных и экономических соображений, в том числе и с учетом последствий возможных аварий.

Определение допустимого уровня риска, стандартов безопасности является универсальной проблемой. Естественным кажется установление единого допустимого уровня риска для различных видов хозяйственной деятельности.

С экономической точки зрения возможно требование соизмеримости дополнительных затрат, направленных на эквивалентное снижение риска в различных областях. Анализ уровней риска и сопоставление затрат при осуществлении различных программ безопасности показывают, что реальные уровни риска, которые считаются традиционно приемлемыми, существенно отличаются в различных отраслях.

Высокая степень неопределенности при анализе риска обусловлена тем, что большинство существующих оценок уровня риска имеет вероятностный характер, а во многих случаях отсутствуют данные, по которым можно проводить анализ.

С методологической точки зрения проблема анализа риска является одним из направлений теории принятия решений – выбор одного из нескольких возможных вариантов решений. Выбор обязательно должен осуществляться с учетом многих и обычно противоречивых критериев (экологических, технических, социальных, экономических и др.) оценки таких вариантов. Поэтому многокритериальные методы принятия решений могут рассматриваться как средство анализа риска.

В качестве возможных подходов к определению допустимого уровня риска выделяют:

- экспертные суждения;
- согласно стандартам при известном уровне риска;
- многокритериальный анализ.

Под *анализом риска* будем понимать исследования, направленные на выявление и количественное определение видов риска при осуществлении различных хозяйственных проектов.

Анализ риска выполняется в несколько этапов.

*Первый этап – идентификация*, которая состоит в выявлении причин возникновения ЧС (опасностей):

- описание  $C = \{C_1, \dots, C_r\}$ ,  $r \in \mathbb{N}$ , – множества причин, которые могут вызвать проявление опасности;

- описание множества поражающих факторов –  $F = \{F_j\}$ , где  $F_j = \{F_{j,1}, \dots, F_{j,l_j}\}$ ,  $l_j \in \mathbb{N}$ ,  $j = \overline{1, r}$ , соответствующих каждому элементу множества  $C = \{C_1, \dots, C_r\}$ ,  $r \in \mathbb{N}$ , – установление механизма воздействия.

*Второй этап – оценка риска*, которая состоит в его количественном измерении, т. е. определении возможных последствий реализации опасностей. Целью оценки риска является определение величины риска и выработка решений, направленных на его снижение.

*Третий этап – прогноз риска* – это его оценка на определенный момент времени в будущем с учетом тенденций изменения условий проявления риска.



В практике проведения работ в области анализа риска чаще всего пользуются определениями индивидуального и социального риска.

Под **индивидуальным риском** понимают частоту поражения объекта в результате проявления опасности в силу определенных причин в определенной точке пространства.

**Социальный риск** – зависимость частоты возникновения событий, вызывающих поражение определенного числа объектов, от этого числа объектов.

Рассмотрим вероятности подхода в определении индивидуального риска. Введем в рассмотрение события, характеризующие проявление опасности.

Элементы  $C_j, j = \overline{1, r}$ , множества  $C$  будем называть *элементарными событиями*. Заметим, что события  $C_j, j = \overline{1, r}$ , образуют полную группу событий:

$C_j \cap C_i = \emptyset, i \neq j, i, j = \overline{1, r}$ , – т. е. причиной возникновения ЧС может быть только одна из причин множества  $C$ ;

$\bigcup_{j=1}^r C_j = \Omega$ , т. е. ЧС может возникнуть только по одной из причин

$C_j \in C, j = \overline{1, r}$ , где  $\Omega$  – пространство элементарных событий.

Обозначим через  $x^0$  событие, состоящее в поражении объекта наблюдения  $O$  в результате ЧС.

Вероятность события  $x^0$ , определяющая индивидуальный риск, может быть рассчитана по формуле полной вероятности

$$P(x^0) = \sum_{j=1}^r P(x^0 / C_j) P(C_j), \quad (5.12)$$

где  $P(x^0 / C_j)$  – вероятность события  $x^0$  при условии, что ЧС возникла по причине  $C_j, j = \overline{1, r}$ ,  $P(C_j), j = \overline{1, r}$ , – вероятность проявления  $j$ -й причины, причем  $P(\bigcup_{j=1}^r C_j) = 1$ .

На практике представляет интерес вероятность  $P(C_j / x^0)$  того, что  $C_j, j = \overline{1, r}$ , явилось причиной возникновения произошедшей ЧС  $x^0$ , которую определяют исходя из формулы Байеса:

$$P(C_j / x^0) = \frac{P(x^0 / C_j)P(C_j)}{\sum_{j=1}^r P(x^0 / C_j)P(C_j)}, \quad (5.13)$$

где  $j = \overline{1, r}$ .

Каждой причине  $C_j \in C$ ,  $i = \overline{1, r}$ , соответствует свой набор поражающих факторов  $F_j = \{F_{j,1}, \dots, F_{j,l_j}\}$ ,  $l_j \in N$ ,  $j = \overline{1, r}$ , посредством которых опасность воздействует на объект наблюдения  $O$ .

Из определения множества поражающих факторов  $F_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , вытекает, что  $F_j = \bigcup_{k=1}^{l_j} F_{j,k}$ , и они образуют полную группу событий, т. е.

$$F_j \cap F_k = \emptyset, \quad j \neq k, \quad \bigcup_{j=1}^r F_j = \Omega.$$

Для каждой причины  $C_j \in C$ ,  $j = \overline{1, r}$ , поражающие факторы  $F_{j,k}$ ,  $k = \overline{1, l_j}$ , несовместны, т. е.

$$F_{j,k} \cap F_{j,m} = \emptyset, \quad k \neq m, \quad k, m = \overline{1, l_j}, \quad j = \overline{1, r}, \quad \bigcup_{j=1}^{l_j} \bigcup_{k=1}^{l_j} F_{j,k} = \Omega.$$

При возникновении ЧС по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , объект наблюдения  $O$  подвергается воздействию поражающих факторов.

Вероятность поражения объекта наблюдения  $O$  при возникновении ЧС по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , может быть определена как

$$P(C_j^0 / C_j) = P(F_j^0 / C_j) = \sum_{k=1}^{l_j} P(F_{j,k}^0 / C_j), \quad (5.14)$$

где  $P(F_{j,k}^0 / C_j)$  – вероятность поражения объекта наблюдения  $O$  фактором  $F_{j,k}^0$ ,  $k = \overline{1, l_j}$ , при условии возникновения ЧС по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ .

Подставляя (5.14) в (5.12), получаем вероятность события, состоящего в поражении объекта наблюдения  $O$  в результате ЧС:

$$P(x^0) = \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{l_j} P(F_{j,k}^0 / C_j)P(C_j). \quad (5.15)$$

Зависимость (5.15) используется в методиках оценки риска.

Результаты анализа индивидуального риска отображаются на карте (в ситуационном плане) в виде замкнутых линий равных значений.

Построение линий равного значения индивидуального риска (изолиний индивидуального риска) можно осуществлять по формуле (5.15).

Далее проанализируем вероятностный подход в определении социального риска.

Индивидуальный риск является риском поражения одного объекта. В таком случае поражение области  $O^N$ ,  $N \in Z_+$ , – это поражение  $N$  объектов наблюдения. Представляет практический интерес определение вероятности  $P(x^{O^N})$  – поражения области  $O^N$ ,  $N \in Z_+$ .

Заметим, что событие  $x^{O^N}$  можно представить в следующем виде:

$$x^{O^N} = \bigcup_{i=1}^N x^{O_i},$$

где  $x^{O_i}$ ,  $i = \overline{1, N}$ , состоит в поражении  $i$ -го объекта из области  $O^N$ , причем  $x^{O_i} \cap x^{O_k} = \emptyset$ ,  $i \neq k$ ,  $i, k = \overline{1, N}$ . Так как события  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , образуют полную группу событий, то по формуле полной вероятности можно записать

$$P(x^{O^N}) = \sum_{j=1}^r P(x^{O^N} / C_j) P(C_j), \quad (5.16)$$

где  $P(x^{O^N} / C_j)$  – вероятность поражения области  $O^N$ ,  $N \in Z_+$ , при возникновении ЧС по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ .

Пусть событие  $(x^{O_i} / C_j)$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, r}$ , состоит в поражении  $i$ -го объекта из области  $O^N$ ,  $i = \overline{1, N}$ , при условии возникновения ЧС по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ .

Так как  $(x^{O_i} / C_j) \cap (x^{O_k} / C_j) = \emptyset$ ,  $i \neq k$ ,  $i, k = \overline{1, N}$ ,  $j = \overline{1, r}$ , то очевидно, что  $P(x^{O^N} / C_j)$  может быть получена из равенства

$$P(x^{O^N} / C_j) = P\left(\bigcup_{i=1}^N x^{O_i} / C_j\right) = \sum_{i=1}^N P(x^{O_i} / C_j). \quad (5.17)$$

Подставляя (5.17) в (5.16), получим следующее соотношение:

$$P(x^{O^N}) = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^N P(x^{O_i} / C_j) P(C_j). \quad (5.18)$$

Используя (5.15), окончательно получим:

$$P(x^{O^N}) = \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^N \sum_{l_j}^{I_j} P(F_{j,k}^{O^N} / C_j) P(C_j). \quad (5.19)$$

Если предположить, что выполнено условие

$$P(x^{O^1} / C_j) = P(x^{O^2} / C_j) = \dots = P(x^{O^N} / C_j), \quad (5.20)$$

то соотношение (5.19) будет иметь вид

$$P(x^{O^N}) = \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^{I_j} NP(F_{j,k}^{O^N} / C_j) P(C_j), \quad (5.21)$$

что соответствует используемой на текущий момент методике определения социального риска.

Заметим, что соотношение (5.19) позволяет определить социальный риск, не требуя выполнения ограничений (5.21), и может быть использовано в методиках оценки риска.

Накапливаемые статистические данные позволяют перейти к общему случаю, т. е. сделать определение вероятностей более адекватным.

Результаты анализа социального риска изображаются в виде графиков (так называемых  $F/N$ -диаграмм). Социальный риск характеризует масштаб возможных ЧС и может быть определен для заданного  $N$  по формуле (5.20).

### **Статистики, используемые в анализе риска**

При анализе риска используют его двойное представление:

- в виде вероятности наступления ЧС в области  $O^N$ ,  $N \in Z_+$ ;
- в виде математического ожидания размера ущерба, наносимого ЧС, произошедшими в области  $O^N$ ,  $N \in Z_+$ , за период времени  $T$ .

В дальнейшем при построении статистических оценок будем использовать понятия о случайных процессах, представляющих ЧС с учетом нерегулярностей в наблюдениях за ними.

Обозначим  $Y_{j,k}^N(t)$  зарегистрированный в момент времени  $t \in Z_+$  размер прямого ущерба, нанесенного ЧС, произошедшими в области  $O^N$ ,  $N \in Z_+$ , по причине  $C_j$  посредством воздействия фактора  $F_{j,k}$ ,  $k = \overline{1, I_j}$ ,  $j = \overline{1, r}$ .

Тогда будет иметь место следующее равенство:

$$Y_j^N(t) = \sum_{k=1}^{I_j} Y_{j,k}^N(t), \quad (5.22)$$

где  $l_j \in N$ ,  $j = \overline{1, r}$ ,  $t \in Z_+$ .

Пусть  $d_{j,k}^N(t)$  – зарегистрированное в момент времени  $t \in Z_+$  количество ЧС, произошедших в области  $O^N$ ,  $N \in Z_+$ , по причине  $C_j$  посредством воздействия фактора  $F_{j,k}$ ,  $k = \overline{1, l_j}$ ,  $j = \overline{1, r}$ .

Тогда имеем следующее равенство:

$$d_j^N(t) = \sum_{k=1}^{l_j} d_{j,k}^N(t), \quad (5.23)$$

где  $j = \overline{1, r}$ ,  $t \in Z_+$ .

Для оценки вероятности того, что причиной, вызвавшей произошедшие в области  $O^N$  за промежуток времени  $T$  ЧС, явилась причина  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , будем использовать статистику  $v_j^N(T)$ , задаваемую соотношением

$$v_j^N(T) = \bar{P}(C_j / \mathcal{C}O^N) = \frac{\bar{m}_j^{d^N}(T)}{\bar{m}^{d^N}(T)}, \quad (5.24)$$

$$\bar{m}_j^{d^N}(T) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} d_j^N(t) - \quad (5.25)$$

среднее количество ЧС, произошедших по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , в области  $O^N$  за промежуток времени  $T$ ;

$$\bar{m}^{d^N}(T) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} d^N(t) - \quad (5.26)$$

среднее количество ЧС, произошедших в области  $O^N$  за промежуток времени  $T$ .

Заметим, что  $\sum_{j=1}^r v_j^N(T) = 1$ .

Для оценки вероятности того, что поражающим фактором для объекта  $X_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ , при проявлении причины  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , окажется фактор  $F_{j,k}$ , будем использовать статистику  $v_{j,k}^N(T)$ , задаваемую равенством

$$v_{j,k}^N(T) = \bar{P}(F_{j,k}^O / C_j) = \frac{\bar{m}_{j,k}^{d^N}(T)}{\bar{m}_j^{d^N}(T)}, \quad (5.27)$$

где

$$\bar{m}_{j,k}^{d^N}(T) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} d_{j,k}^N(t) - \quad (5.28)$$

среднее количество ЧС, произошедших по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , посредством воздействия фактора  $F_{j,k}$ ,  $k = \overline{1, l_j}$ ,  $j = \overline{1, r}$ , в области  $O^N$  за промежутки времени  $T$ .

Заметим, что  $\sum_{k=1}^{l_j} v_{j,k}^N(T) = 1$ ,  $l_j \in \mathbb{N}$ ,  $j = \overline{1, r}$ .

Для анализа размера ущерба от ЧС будем использовать статистики, которые являются оценками математических ожиданий соответствующих размеров ущерба и определяются следующими соотношениями:

$$\bar{m}^{Y^N}(T) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} Y^N(t) \quad (5.29)$$

средний размер ущерба, нанесенного ЧС, произошедшими в области  $O^N$  за промежутки времени  $T$ ;

$$\bar{m}_j^{Y^N}(T) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} Y_j^N(t) \quad (5.30)$$

средний размер ущерба, нанесенного ЧС, произошедшими по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , в области  $O^N$  за промежутки времени  $T$ ;

$$\bar{m}_{j,k}^{Y^N}(T) = \frac{1}{T} \sum_{t=0}^{T-1} Y_{j,k}^N(t) \quad (5.31)$$

средний размер ущерба, нанесенного ЧС, произошедшими по причине  $C_j$ ,  $j = \overline{1, r}$ , посредством воздействия фактора  $F_{j,k}$ ,  $k = \overline{1, l_j}$ ,  $j = \overline{1, r}$ , в области  $O^N$  за промежутки времени  $T$ .

Размер ущерба от ЧС имеет стоимостное выражение значения, поэтому наряду с абсолютными статистиками целесообразно использование относительных статистик, которые могут выступать в роли показателей структуры размера ущерба ЧС и выражаются в долях или процентах.

Для анализа рисков ЧС представляют интерес статистики структуры.

*Доля величины ущерба от ЧС по  $j$ -й причине –*

$$\bar{\mu}_j^N(T) = \frac{\bar{m}_j^{Y^N}(T)}{\bar{m}^{Y^N}(T)}, \quad (5.32)$$

где  $j = \overline{1, r}$  характеризует удельный вес размера ущерба от ЧС по  $j$ -й причине в суммарном размере ущерба от ЧС, произошедших в области  $O^N$  за промежуток времени  $T$ .

*Средняя величина ущерба по  $j$ -й причине –*

$$\bar{Y}_j^N(T) = \frac{\bar{m}_j^{y^N}(T)}{\bar{m}^{d^N}(T)}, \quad (5.33)$$

где  $j = \overline{1, r}$  определяет среднюю величину размера ущерба от ЧС, произошедших по  $j$ -й причине в области  $O^N$  за промежуток времени  $T$ .

Заметим, что статистика, задаваемая (5.33), является оценкой  $m_j^x(t)$ ,

т. е. имеет место равенство  $\bar{m}_j^x(t) = \bar{Y}_j^N(T)$ ,  $j = \overline{1, r}$ ,  $t \in Z$ .

Теоретически доказана целесообразность использования при анализе рисков ЧС в качестве оценок математического ожидания исходного процесса, представляющего размер ущерба от ЧС именно величины, которая позволяет учитывать нерегулярности в наблюдениях за исходным процессом.

*Средняя величина ущерба*

$$\bar{Y}^N(T) = \frac{\bar{m}^{y^N}(T)}{\bar{m}^{d^N}(T)} \quad (5.34)$$

характеризует среднюю величину размера ущерба от всех ЧС, произошедших в области  $O^N$  за промежуток времени  $T$ .

*Доля средней величины ущерба от ЧС по  $j$ -й причине –*

$$\bar{\mu}_j^N(T) = \frac{\bar{Y}_j^N(T)}{\bar{Y}^N(T)}, \quad (5.35)$$

где  $j = \overline{1, r}$  позволяет определить удельный вес средней величины размера ущерба от ЧС, произошедших по  $j$ -й причине в средней величине суммарного размера ущерба от ЧС, произошедших в области  $O^N$  за промежуток времени  $T$ .

## Глава 6

# ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗОВ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ<sup>1</sup>

---

### 6.1. Особенности прогноза вероятности возникновения техногенных аварий

Классификацию прогнозов чрезвычайных событий целесообразно базировать на основе прогноза, определяющего период упреждения катастрофического развития ЧС и доверительных интервалов [24; 29; 30].

*По времени упреждения* прогнозы могут быть:

- оперативными – период упреждения – от нескольких часов, дней до одного месяца. Позволяют избежать человеческих жертв, аварий, вывезти ценности при ожидаемом катастрофическом проявлении процесса;
- краткосрочными – период упреждения – от одного месяца до одного года. Позволяют при необходимости переселить людей или осуществить защитные мероприятия;
- среднесрочными (заблаговременными) – период упреждения – от одного года до пяти лет. Соизмеримы со временем возведения инженерных сооружений. При необходимости имеется возможность осуществить защитные мероприятия;
- долгосрочными – период упреждения – от пяти до пятнадцати лет. Соизмеримы со сроком стабилизации осадок инженерных сооружений;
- дальнесрочными – период упреждения – свыше пятнадцати лет. Соизмеримы с длительностью существования и эксплуатации инженерных сооружений.

*По доверительным интервалам:*

- нормативными – с их помощью определяют пути и сроки достижения возможных состояний объекта прогнозирования в будущем, принимаемых в качестве цели;

---

<sup>1</sup> Глава написана совместно с кандидатом технических наук доцентом Ан. А. Волчек.



- интервальными – их результаты представлены в виде доверительного интервала характеристики объекта прогнозирования для заданной вероятности осуществления прогноза;

- точечными – их результаты представлены в виде единственного значения характеристики объекта прогнозирования без указания доверительного интервала.

Разработку прогнозов можно осуществлять на принципах:

- системности прогнозирования – взаимоувязанность и соподчиненность прогнозов объекта прогнозирования, прогнозного фона и их элементов;

- согласованности прогнозирования – согласование прогнозов различной природы и различного периода упреждения;

- вариантности прогнозирования – разработка вариантов прогноза исходя из вариантов прогностического фона;

- перманентности прогнозирования – необходимость постоянной корректировки прогнозов по мере поступления новых данных об объекте прогнозирования;

- верифицируемости прогнозирования – определение достоверности, точности и обоснованности прогнозов.

Решение проблемы прогноза вероятности возникновения техногенных аварий целесообразно базировать на основе аппаратов характеристических и производящих функций.

Вероятность события, заключающегося в том, что  $r = n$ , обозначим  $p_n = P(r = n)$ . Предположим, что случайные величины  $X_1, X_2, \dots, X_r, \dots$  независимы, одинаково распределены, независимы от случайной величины  $n$  и имеют математические ожидания –  $E[n] = \bar{n}$  и  $E[x_i] = m_x$ .

Функция распределения  $F(x) = P(Z_n < x)$  суммы случайного числа  $n$  случайных величин  $X$  на основании мультипликативного свойства определится характеристической функцией

$$\varphi(t) = \sum_{n=0(1)}^{\infty} p_n \varphi_0^n(t), \quad (6.1)$$

где  $\varphi(t)$  – характеристическая функция случайной величины.

Плотность распределения величины через формулу обращения определится зависимостью

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{itx} \sum_{n=0}^{\infty} p_n \varphi_0^n(t) dt. \quad (6.2)$$

Конечность выражения

$$\sum_{n=0(1)}^{\infty} p_n \varphi_0^n(t) \leq \sum_{n=0(1)}^{\infty} p_n \varphi^n(0) < \infty, \quad (6.3)$$

мультипликативные свойства характеристической функции и принцип единственности позволяют иметь

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-itx} \varphi^n(t) dt = \sum_{n=0}^{\infty} p_n f_n(x), \quad (6.4)$$

где  $f_n(x)$  – плотность распределения суммы  $n$  случайных величин  $X_1$ .

При  $n = 0$

$$f(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{p_n}{1-p_0} f_n(x). \quad (6.5)$$

Отсюда, зная, что интервалы времени, в течение которых система (объект) находится в работоспособном (безаварийном) состоянии, является величиной случайной, распределение которой равно  $p_n (n = 0, 1, 2, \dots)$ , эмпирическая характеристическая функция распределения совокупности случайных величин  $T_k (k = 1, \dots, m)$  примет вид

$$\varphi(t) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m e^{itT_k}. \quad (6.6)$$

Характеристическая функция для распределения суммы интервалов времени пребывания объекта в безаварийном состоянии  $T_{б.а.}$  определяется следующим образом:

$$\bar{\varphi}(t) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n \left( \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m e^{itT_k} \right)^n. \quad (6.7)$$

Дифференцируя характеристическую функцию по  $t$ , находим первый и второй моменты случайной величины:

$$\begin{cases} E[T_k^2] = \sum_{n=0}^{\infty} p_n (n^2 - n) (E[T_k])^2 + \sum_{n=1}^{\infty} p_n n E[T_k^2], \\ E[T_k^2] = (E[n^2] - E[n]) (E[T_k])^2 + E[n] E[T_k^2]. \end{cases} \quad (6.8)$$

Отсюда

$$\sigma_k^2 = E[T_k^2] - [E[T_k]]^2. \quad (6.9)$$

В случае пуассоновского числа интервалов времени пребывания объекта в безаварийном состоянии  $T_{б.а.}$

$$p_n = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}, \quad (6.10)$$

$$E[T_{\text{б.а.}}] = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} n E[T_k^2]. \quad (6.11)$$

После очевидных преобразований находим

$$E[T_{\text{б.а.}}] = E[n] E[T_k]. \quad (6.12)$$

Аналогично

$$\begin{aligned} E[T_{\text{б.а.}}^2] &= \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!} (n^2 - n) (E[T_k^2])^2 + E[n] E[T_k^2] = \\ &= \lambda^2 (E[T_k])^2 + E[T_k^2] \lambda, \end{aligned} \quad (6.13)$$

определив математическое ожидание  $T_{\text{б.а.}}$  и дисперсию интервалов времени пребывания объекта системы в безаварийном состоянии за прогнозируемый период эксплуатации  $\sigma_{\text{б.а.}}^2$ , легко решится любая задача оценки риска аварии (катастрофы) и ряд других экологических проблем.

Не менее существенна и проблема прогноза вероятности переходов систем (объектов) не только по количественным параметрам, но и качественным характеристикам, т. е. определения вероятности  $P_{ij}$  того, что система (объект), находящаяся в данный момент в состоянии  $i$ , после очередного перехода окажется в состоянии  $j$ .

Переходные вероятности  $P_y$  в совокупности составляют квадратную матрицу  $\Pi = \|\|P_y\|\|$ , ( $i, j = 1, 2, \dots$ ):

$$\Pi = \|\|P_y\|\| = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1j} & \dots & P_{1k} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2j} & \dots & P_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{i1} & P_{i2} & \dots & P_{ij} & \dots & P_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k1} & P_{k2} & \dots & P_{kj} & \dots & P_{kk} \end{pmatrix}. \quad (6.14)$$

Очевидно, что  $0 \leq P_{ij} \leq 1$ .

В том случае, когда некоторые из переходных вероятностей  $P_{ij}$  равны нулю, через один шаг переход системы из  $i$ -го состояния в  $j$ -е невозможен.

Так как система обязательно должна попасть в некоторое и только одно состояние после очередного перехода, то

$$\sum_{j=1}^k P_{ij} = 1 (i = 1, \dots, k), \quad (6.15)$$

т. е. сумма элементов каждой строки матрицы перехода равна единице.

Для однородной (по времени) марковской цепи вероятности перехода от шага к шагу не меняются и однозначно заданы матрицей  $\Pi = \|\Pi_{ij}\|$ . В неоднородной марковской цепи вероятности перехода  $P_{ij}$  меняются от шага к шагу.

По формуле полной вероятности для простых цепей Маркова

$$P_i(k) = \sum_{j=1}^n P_j(k-1) P_{ij}^{(k)} \quad (i = 1, \dots, n), \quad (6.16)$$

где  $P_{ij}^{(k)} = P(S_j^{(k)} / S_i^{(k-1)})$  – условная вероятность перехода системы из состояния  $S_i$  в состояние  $S_j$  на каждом шаге.

В случае, когда отсутствует количественная информация о значениях  $P_{ij}$  матрицы  $\Pi$ , целесообразно при ее формировании использовать оценки Фишборна и их модификации.

Рассмотрим это на примере. Система (объект)  $S$  в каждый момент времени может находиться в одном из  $K$  возможных состояний  $S_1, S_2, \dots, S_k$  со следующим порядком предпочтения:  $S_1 > S_2 > \dots > S_k$ . Это отношение означает, что нахождение системы  $S$  в первом состоянии после очередного шага наиболее вероятно, чем во втором и т. д. Другой информации о вероятности нахождения системы в каждом из состояний не имеется (информационная ситуация характеризуется неопределенностью).

Воспользуемся информационным подходом, при котором вводится в рассмотрение так называемая функция неопределенности вида

$$H = [\Pi_1(0)]^k [\Pi_2(0)]^{k-1} \dots [\Pi_k(0)]^1 = \prod_{j=1}^k [\Pi_j(0)]^{k-j+1}. \quad (6.17)$$

Эта функция (мера неопределенности) называется функцией неопределенности второго рода и обладает тем свойством, что ее максимум для простого отношения порядка ( $S_1 > S_2 > \dots > S_k$ ) достигается на так называемых оценках Фишборна:

$$\Pi_i(0) = \frac{2(k-i+1)}{k(k+1)}, \quad i = 1, \dots, k. \quad (6.18)$$

Действительно, решая задачу на условный экстремум

$$\sum_{i=1}^k \Pi_i(0) = 1, \quad (6.19)$$

при мере неопределенности

$$H = \left[ \prod_{i=1}^k \Pi_i(0) \right]^{k+1-i} \rightarrow \max_{\Pi_i(0)} \quad (6.20)$$

имеем

$$\hat{P}_i(0) = \frac{2(k-i+1)}{k(k+1)}. \quad (6.21)$$

В случае, когда совокупности возможных состояний системы  $S$  нельзя поставить в соответствие простое отношение порядка  $S_1 > S_2 > \dots > S_k$ , а имеет место упорядоченная по степени предпочтения система состояний общего вида

$$(S_{i-1} > S_i(S_{i+1}, \dots, S_{i+m_i}) > S_{i+m_i+1}(S_{i+m_i+2}, \dots)), \quad (6.22)$$

где  $m_i$  — степень кратности по возможности состоянию системы  $S_i, S_{i+1}, \dots, S_{i+m_i}$ .

Такая символическая запись означает, что состояние  $S_i, S_{i+1}, \dots, S_{i+m_i}$  при ранжировании всех возможных состояний системы имеет одинаковый ранг важности и больший, чем ранг состояния  $S_{i+m_i+1}$ , и т. д., чем  $S_{i-1}$ , и т. д.

Для такого случая количественная оценка вероятности перехода из одного состояния в другое состояние, определяемое на основе принципа максимума неопределенности, имеет вид

$$P_i = \frac{k-i+1}{S}, \quad (6.23)$$

где

$$S = \sum_{i=1}^l m_i(k-i+1), \quad l = k - \sum_{i=1}^k (m_i - 1). \quad (6.24)$$

Метод и последовательность решения задачи аналогичны рассмотренным выше задачам оптимизации меры неопределенности  $H(p)$  при ограничениях, соответствующих исходной информации.

Вторая особенность применения дискретных марковских цепей при решении задач динамики экосистем заключается в том, что число переходов системы из одного состояния в другое часто является величиной случайной (недетерминированной).

Вероятность состояния такой системы (объекта) можно определить следующим образом.

Пусть система  $S$  находится в начальном состоянии, вектор начальных вероятностей которого определяется вектор-строкой  $\Pi(0)$ . И пусть далее система осуществляет случайное число  $r$  переходов, закон распределения  $p_k = P(r=k)$ ,  $k=0,1,\dots$  (случай бесконечного числа переходов не исключается).

Очевидно, что при случайном  $r$  осредненная вектор-строка будет определяться следующим образом:

$$E[\bar{\Pi}(k)] = \Pi(0) \sum_{k=0}^{\infty} P_k \Pi^k, \quad (6.25)$$

где  $E$  – символ математического ожидания.

Учитывая, что  $\Pi$  – квадратная матрица, а  $k$  – натуральное число, то

$$\Pi^k = \underbrace{\Pi_1 \Pi_2 \Pi_3 \dots \Pi_k}_{k \text{ раз}}, \quad (6.26)$$

$$E[\Pi(k)] = \Pi(0) [p_0 E_0 + p_0 \Pi + p_1 \Pi + p_2 \Pi^2 + \dots], \quad (6.27)$$

где  $E_0$  – единичная матрица.

При Пуассоновом законе распределения числа переходов системы (объекта)

$$P_k = \frac{v^k e^{-v}}{k!}, \quad (6.28)$$

где  $v$  – среднее число переходов, имеем

$$E[\Pi(k)] = \Pi(0) \sum_{k=0}^{\infty} \frac{v^k e^{-v}}{k!} \Pi^k. \quad (6.29)$$

При этом вместо переходных вероятностей  $P_{ij}$  матрицы можно использовать плотность вероятности перехода  $\lambda_{ij}$ .

$$\lambda_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{ij}(\Delta t)}{\Delta t}, \quad (6.30)$$

где  $P_{ij}(\Delta t)$  – вероятность того, что система, находящаяся в момент  $t$  в состоянии  $S_i$ , за время  $\Delta t$  перейдет из него в состояние  $S_j$ .

## 6.2. Особенности прогнозов экологической надежности систем и объектов

Риск и безопасность – это взаимосвязанные понятия. Чем выше риск, тем меньше безопасность, и наоборот. Чтобы увеличить безопасность, необходимо снизить риск.

Методология анализа и управления риском должна учитывать широкий спектр экономических, социальных, технологических, экологических и других факторов. В настоящее время база знаний по этим факторам неполная, что всегда ведет к неопределенностям. Значительные неопределенности имеются также в идентификации опасностей и оценке соответствующих рисков. Например, неопределенность в оценке риска от аварий на промышленных объектах, по мнению различных групп

экспертов, составляет один порядок величины при оценке ущерба и два порядка – при оценке вероятности. Еще большие неопределенности возникают на уровне системного анализа социально-экономической системы.

В качестве ключевых направлений и задач в развитии методологии прогнозирования риска есть предложения по:

- созданию баз данных и знаний в области надежности оборудования, описания и численного моделирования процессов гидродинамики тепло- и массопереноса, воздействия вредных веществ на организм человека и экосистемы и т. д.;
- совершенствованию методов математического и имитационного моделирования в исследованиях процессов, сопровождающих аварии и определяющих их последствия;
- исследованию роли человеческого фактора с целью оценки его вклада в общий риск любой функционирующей технически сложной системы;
- разработке критериев, характеризующих риск крупных аварий и их социальные, экономические и экологические последствия;
- комплексной оценке и прогнозированию риск-ситуаций с учетом природных катастроф и катаклизмов.

Проведенный анализ наиболее известных в практике методов прогнозирования процессов и состояний систем (объектов) показал, что по существу все они сводятся к четырем основным методам: экстраполяции, экспертных оценок, морфологического расчленения и моделирования.

**Метод экстраполяции** основывается на переносе развития событий, происходивших в недалеком прошлом, на будущее (экстраполяции динамических рядов). Сюда также могут быть отнесены метод прогнозирования по параметрам, метод огибающих кривых и различные модификации, возникающие в связи с особенностями полиномов, применяемых при экстраполяции (спрямление кривых). Однако эти методы неприменимы при использовании источников информации, не содержащих числовых параметров.

**Метод экспертных оценок** основан на выяснении мнения экспертов по тем или иным вопросам, относящимся к проблеме прогнозирования. Его разновидностями являются метод мозговых атак, метод ассоциаций, метод «проб и ошибок», метод сценария событий, метод щелей, метод сенектических оценок Гардона и др. Широкое распространение получила модификация, называемая методом Делфи, в которой предложен интересный способ обработки результатов опроса, базирующийся на корректировании «оппозиционных мнений» экспертов.

**Метод морфологического расчленения** основан на расчленении проблемы на «цели» прогнозирования, каждой из которых присваивают определенный «вес». Расчленение проводят до тех пор, пока не станет возможным конкретное решение задач, вытекающих из целей прогнозирования. По этому же принципу (расчленения) построены система ПАТТЕРН, метод горизонтальных и вертикальных матричных решений, метод Цвиги и др. Слабым звеном в методе морфологического расчленения является определение веса целей.

**Метод моделирования** основан на целесообразном абстрагировании при исследовании процесса развития события в будущем. Различают следующие разновидности этого метода: логические, информационные и математические модели, аналогии и т. д. Математическое моделирование является наиболее общим и вместе с тем достаточно строгим методом прогнозирования.

Рассмотрим детально основные теоретические аспекты прогнозирования экологической надежности систем (объектов).

Экологическая надежность определяет способность системы выполнять характерные ей функции экологического аспекта с сохранением основных параметров при антропогенных воздействиях на нее.

Основные параметры надежности по исследованиям [5; 22; 45] должны определяться соотношением в системе (объекте) самовосстанавливающихся и невосстанавливающихся элементов (цепей), их структурно-функциональной связанностью (последовательное, параллельное, наложенное, с последствием и др.), степенью их управляемости, продолжительностью эксплуатационных циклов и наличием слабых «звеньев» (степенью контролируемости и прогнозируемости).

С математической точки зрения параметрическая функция экологической надежности есть вероятность того, что за время функционирования системы  $T$  параметры ее состояния и состояния объекта (среды) не выйдут за допустимые пределы, являющиеся координатами поверхности предельных экологических состояний системы (объекта) и среды.

Если базировать экологическую надежность на обобщенных сопротивляемости (живучести)  $R$  и нагрузке  $P$ , то вероятность экологической надежности системы можно выразить соотношением

$$P_i = P(R - R) > 0, \text{ при } P_i + Q = 1, \quad (6.31)$$

где  $Q$  – вероятный риск.

Соответственно, непараметрическая функция будет иметь вид

$$F(t) = n' \cdot (1 - \bar{h}_t), \quad (6.32)$$

где  $\bar{h}_t$  – оценка функции максимального правдоподобия;  $t$  – время функционирования системы;  $n$  – число независимых нецензурируемых (неконтролируемых) и цензурируемых систем.



В общем экологическая надежность должна аспектироваться относительно функций эколого-социальных последствий ( $F_1$ ) и экологической безопасности ( $F_2$ ), определяющих параметры и степень экологических нарушений среды обитания ( $\Pi_1$ ) и изменения социально-экономических условий проживания ( $\Pi_2$ ).

Количественное определение этих параметров предлагается осуществлять через самые различные критерии: среднюю продолжительность жизни населения как в целом, так и по возрастным и социальным группам; уровни обеспеченности комфортности и т. д. Но независимо от системы определяющих критериев понятие «отказ» для систем всегда будет случайным событием, вызывающим разного рода эколого-социальные и экономические последствия, как материально осязаемые, так и ценностно-неосязаемые.

Так как параметры экологической надежности – всегда случайные величины, то их количественную оценку необходимо определять с позиций теории вероятности и выбросов (флуктуации) случайных функций.

Однако специфичность отказов (социально-экономические последствия для общества и экологические – для агроценозов и биосистем) требует разработки новых методов статистического анализа данных, так как они формируют специфическую группу – данные типа времени жизни. Наиболее целесообразно использовать суммарные статистики на базе теории векторов с анализом покомпонентных воздействий и внутренних и внешних свойств систем, которые позволяют учесть накопленную меру воздействий ( $K_j$ ) и их сдвиг во времени ( $\tau_j$ ).

Необходимо также отметить, что структурная сложность и неоднородность природных объектов позволяют создать только формализованные методы прогноза и оценки их состояний, ибо, в принципе, любое изменение абиотических параметров вызывает изменения всех систем.

При этом степень допустимости (недопустимости) изменений их состояния имеет всегда внеэкономическую компоненту, связанную с уникальностью, т. е. оценка изменений состояния природных объектов, а соответственно, и антропогенизирующих систем должна проводиться на основе теории полезности, включающей как «материально осязаемые», так и «неосязаемые полезности».

Отсюда функция экологической надежности ( $P_C$ ) должна охватывать три области: собственно систему ( $P_1$ ), ее элементы ( $P_2$ ) и процессы ( $P_3$ ), т. е.  $P_C = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$ . При этом, если не наступает катастрофического разрушения системы,  $P_1$  определяет вероятность ее функционирования в пределах допустимого,  $P_2$  – вероятность того, что основные элементы системы в течение определенного периода не выйдут за пределы допустимого, а  $P_3$  – вероятность того, что технология

природопользования не вызовет катастрофических изменений основных элементов системы и среды.

Анализ единичных графиков функции экологической надежности [ $P_c(t)$ ], функции интенсивности нарушения элементов природной среды [ $\lambda(t)$ ] и функции «резервной» надежности [ $f(t)$ ], определяющей длительность периода до неблагоприятных изменений (рис. 6.1), показывает, что интенсивность отказов в период формирования критического уровня экологической надежности должна определяться уровнем начальной надежности и изменчивостью во времени внутренних процессов системы и внешних факторов. Итак, необходим достоверный учет созидательных антропогенных факторов (последствий условных значений ошибок и упущений) и непредвиденных геоклиматических и георегиональных факторов. Выбор же начальной «резервной» надежности является при этом чисто экономической задачей, так как она определяет в итоге стоимость создания экологически надежных систем.

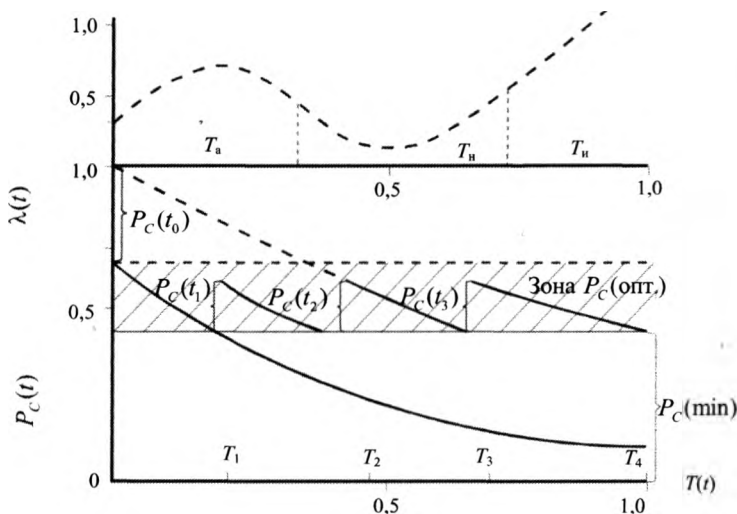


Рис. 6.1. Временные графики изменения экологической надежности [ $P_c(t)$ ] и интенсивности нарушений [ $\lambda(t)$ ]:  $T_n$  – начальный период воздействия (период эксплуатации системы);  $T_n$  – период оптимального функционирования;  $T_n$  – период формирования критического уровня экологической надежности;  $P_c(t)$  – экологическая надежность при начальном «резервировании»;  $P_c(t_1)$  – повышение надежности при поэтапной реализации природовосстановительных и природоохранных мероприятий;  $P_c^{min}$  – минимально допустимая экологическая надежность

Также очевидно, что оптимальный уровень экологической надежности можно обеспечивать двумя направлениями: начальным резервированием и поэтапной реализацией природоохранных и природовосстановительных мероприятий.

С эколого-социальной точки зрения определение оптимального компромисса между приведенными затратами и экологической надежностью требует установления функции экологического ущерба вида

$$Y_i(S) = Y(a_1, a_2, \dots, a_n; b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (6.33)$$

где  $a_i$  – параметры, определяющие состояние системы воздействий, влияющих на вероятность появления экологических изменений;  $b_i$  – детерминированные величины, определяющие конструктивно-технологические и эколого-экономические характеристики.

Прогнозирование поведения любых гео-, био- и экосистем требует выделения и анализа четырех возможных и несовместимых состояний:  $S_0$  – нормального функционирования;  $S_1$  – некоторой допустимой перегрузки;  $S_2$  – потери способности к самовосстановлению;  $S_3$  – критического состояния.

По принципу формирования возможных реальных состояний системы ее поведение можно описать функцией  $S_i = \sum_{j=1}^a \sum_{n=1}^m S_j^{r'}$ ,

где  $i$  – состояние группы элементов типа  $r = 1, 2, \dots, m$ , находящихся под воздействием  $t = 1, 2, \dots, n$ -факторов, для которых характерно семь прямых ( $S_0 \leftrightarrow S_1$ ) и три контингентных ( $S_0 \leftrightarrow S_2 \cdot S_3$ ) риска.

Общий закон вероятности разрушения системы или отдельных ее элементов, исходя из предельных состояний и способности к самовосстановлению и нормальному воспроизводству, имеет вид

$$Q = F_0(T_{CP}) = \int_0^{1/\beta_2} \varphi_1(S) \cdot \left[ \int_0^{\beta_1/\beta_2} \varphi_2(r) dr \right] dS, \quad (6.34)$$

где  $\beta_1/\beta_2$  – суперпозиция функций;  $\beta_1 = f(r, S)$  и  $\beta_2 = \lambda(r, S)$ ;  $r$  – характеристика устойчивости системы к преобразованию;  $S$  – резерв экологической надежности;  $T_{CP}$  – период функционирования;  $F_0$  – функция экологической надежности;  $\varphi_1(S)$  – плотность вероятности действующих антропогенных воздействий;  $\varphi_2(r)$  – плотность вероятности критических (разрушающих) воздействий;  $f$  и  $\gamma$  – соответственно функции «резервной» надежности и интенсивности нарушений.

Проведенный анализ показывает, что функция экологической надежности вполне определима номенклатурой следующих критериев

(признаков-свойств):  $k_1$  – степень обратимости и взаимодействия природных и производственных процессов;  $k_2$  – степень пригодности и качество выполнения социально-экологических функций;  $k_3$  – направленность и интенсивность развития основных компонент;  $k_4$  – величина критического воздействия (нагрузки) на отдельные компоненты;  $k_5$  – реакция на систему мероприятий по предупреждению и (или) устранению негативных последствий;  $k_6$  – степень воспроизводства природных (биосферных) ресурсов;  $k_7$  – степень удовлетворения общественных потребностей в качестве природной среды;  $k_8$  – показатель репродукционной продуктивности;  $k_9$  – степень окультуренности ландшафтов;  $k_{10}$  – степень изъятия биосферных ресурсов;  $k_{11}$  – величина удельных капиталовложений;  $k_{12}$  – степень совершенства технологических процессов (геохимической локально-региональной активности территории).

Численное определение этих критериев описано в [5; 22; 29].

Дополнением к функции экологической надежности ( $F_0$ ) является функция эстетичности ( $P_0$ ), определяющая психолого-эстетические качества системы и среды ( $k_p^1$  – коэффициент натуральности облика;  $k_p^2$  – степени антропогенности элементов среды;  $k_p^3$  – степени композиционной значимости визуальных пространств;  $k_p^4$  – степени разнообразия территории по структуре и компонентам).

Оптимальность диапазонов критериев экологической надежности ( $F_0$ ) и психолого-эстетических качеств системы и среды ( $P_0$ ) должна обеспечивать их биосферную совместимость.

Оценку критерия эстетичности большинство исследователей предлагают производить относительно наихудшего ландшафта, который более определим, так как по отношению к понятию «наилучший» всегда существует превосходная степень и тем более имеется неопределенность для чего- или кого-либо (человека, флоры, фауны, рекреационных целей).

### **6.3. Особенности прогноза оптимизации сроков реализации мероприятий по поддержанию экобезопасности**

Не менее актуальна и проблема оптимальных сроков реализации мероприятий, позволяющих перевести систему (объект) в желаемое состояние. Так как любые антропогенные системы (объекты) являются

многоподсистемными, с непрерывным временем и непрерывными состояниями, то в основу определения оптимальных периодов должна быть положена теория восстановления с использованием функции предельного распределения возраста:

$$\Psi(y) = \frac{1}{E(t)} \cdot \int_0^y \exp\left(-\int_0^x \lambda(x) dx\right) dt, \quad (6.35)$$

где  $E(t)$  – математическое ожидание времени функционирования системы до критического уровня эконадежности и  $E(t) = \int_0^{\infty} \tau \cdot f(\tau) d\tau$ ,

$\tau$  – время оптимального функционирования основных подсистем;  $\lambda(T)$  – средняя интенсивность формирования предкритических состояний системы.

Считая, что эконадежность системы в равной степени определяется эконадежностью всех  $m$  компонент, то вероятность достижения ею критического уровня в промежутке от  $T$  до  $T + \Delta t$  равна  $\gamma = \lambda \cdot \Delta_t + O(\Delta_t)$ , где  $\lambda$  – постоянная величина, не зависящая от времени и числа компонент, определяющих требуемую эконадежность;  $O(\Delta_t)$  – величина, имеющая порядок малости более высокий, чем  $\Delta_t$ .

Тогда, приняв, что система достигает критического уровня эконадежности, если число определяющих компонент достигает  $K$ , можно описать соответствующие переходы состояний экосистемы следующим образом:  $E_0 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow \dots \rightarrow E_{K-1} \rightarrow E_K \rightarrow E_n$ , где  $E_0$  – начальное состояние системы;  $E_K$  – состояние системы при критическом уровне эконадежности;  $E_n$  – состояние системы с критическими уровнями эконадежности  $0 < n < K$  компонент.

Переход системы из состояния  $E_0$  в состояние  $E_n$  за время  $[0, T + \Delta_t]$  может осуществляться одним из двух взаимно исключающих друг друга способов:

- за время  $[0, T]$  имеет место переход  $E_0 \rightarrow E_n$ , а за время  $[T, T + \Delta_t]$  не было формирования компонент с критическими уровнями с вероятностью совместности этих событий:

$$P_n(T) \cdot [1 - (m - n) \cdot (\lambda \cdot \Delta_t + O(\Delta_t))];$$

- за время  $[0, T]$  имеет место переход  $E_0 \rightarrow E_{n-1}$ , а за время  $[T, T + \Delta t] - E_{n-1} \rightarrow E_n$  с вероятностью совместности этих событий:

$$P_{n-1}(T) \cdot (m - n + 1) \cdot (\lambda \cdot \Delta_t + O(\Delta_t)).$$

Таким образом,

$$P_n(T + \Delta_t) = P_n(T) \cdot [1 - (m - n) \cdot (\lambda \cdot \Delta_t + O(\Delta_t))] + \\ + P_{n-1}(T) \cdot (m - n + 1) \cdot (\lambda \cdot \Delta_t + O(\Delta_t)), \quad (6.36)$$

и, соответственно,

$$\frac{dP_n(T)}{dT} = -(m - n) \cdot \lambda \cdot P_n(T) + (m - n + 1) \cdot \lambda \cdot P_{n-1}(T). \quad (6.37)$$

С каждым из состояний  $E_n$  связано число определяющих компонент  $(m - n)$ , что позволяет отыскать математическое ожидание числа компонент с некритическим состоянием:

$$A_K = \frac{K}{\sum_{i=0}^{K-1} \left[ \left( \frac{1}{m-i} \right) + \frac{\lambda}{\ell} \right]}. \quad (6.38)$$

Если  $A_K > A_{K+\nu}$ , то это значит, что, реализуя природоохранно-восстановительные мероприятия при  $K$  критических компонент, мы значительно увеличим период оптимального функционирования системы по сравнению с реализацией этих же мероприятий в период формирования  $(K + \nu)$  критических компонент.

А так как  $A_K > A_{K+1}$ , то  $A_K > A_{K+\nu}$ , что и определяет число компонент, обуславливающих достижения системой критического уровня эконадежности.

Отсюда период реализации природоохранно-восстановительных мероприятий будет оптимальным при достижении критического уровня одной компонентой системы, когда  $\frac{1}{m \cdot (m-1)} \geq \frac{\lambda}{\ell}$ , и двух компонент,

если  $\frac{1}{m \cdot (m-1)} < \frac{\lambda}{\ell} \leq \frac{3 \cdot m - 1}{m \cdot (m-1) \cdot (m-2)}$ , и т. д.

Заметим, что  $\frac{\lambda}{\ell} = \frac{E(\theta)}{E(\tau)}$ , где  $E(\theta)$  – математическое ожидание

времени  $\tau$  оптимального функционирования систем с компонентой, не достигшей критического уровня, а  $E(\theta)$  – математическое ожидание времени  $\theta$ , необходимого для восстановления эконадежной системы.

Исходя из среднестатистических значений для водохозяйственных систем, имеем:  $E(\tau) = 15$  лет,  $E(\theta) = 3$  года и  $m = 12$ . Тогда для  $m = 1$  расчетное соотношение  $1/132$ , для  $m = 2 - 1/40$ , для  $m = 3 - 1/25$ , для  $m = 4 - 1/8$ , для  $m = 5 - 1/4$  и для  $m = 6 - 1/2$ .

Так как  $\lambda / \ell = 1 / 5$ , то оптимизационный период для повышения эконадежности системы будет при достижении критического состояния

любыми четырьмя компонентами, так как  $\frac{1}{B} < \frac{\lambda}{\ell} = \frac{1}{5} < \frac{1}{4}$ .

На практике чаще всего осуществляют покомпонентное восстановление эконадежности системы, что определяет необходимость исследований особенностей перехода систем не только в соседние (слабоизмененные) состояния ( $a_i \rightarrow a_{i+1}$ ), но и в сильноизмененные (деградированные) ( $a_i \rightarrow a_{i-k}$ ).

#### 6.4. Особенности оценки изменения уровня экологической надежности объектов и систем

Так как состояние среды по основным группам параметров может характеризоваться как «быстро меняющаяся среда» и «прогнозируемо-изменяющаяся среда», то оценка изменения уровня экологической надежности может быть проведена с использованием кривых роста надежности.

Наиболее простой является экспоненциальная модель роста экологической надежности вида

$$P_n = 1 - A' \cdot \exp(-B' \cdot (n-1)), \quad (6.39)$$

где  $P_n$  – вероятность оптимального функционирования геосистем после реализации мероприятий, устраняющих критическое состояние определяющей компоненты;  $A'$  и  $B'$  – расчетные параметры.

В общем случае эта модель представима в виде

$$P_N = P_{\infty} - \eta' / N, \quad (6.40)$$

где  $P_N$  – вероятность оптимального функционирования геосистемы на  $N$  этапе восстановления экологической надежности;  $P_{\infty}$  – расчетный уровень экологической надежности, достижимый при  $N \rightarrow \infty$ ;  $\eta'$  – расчетный параметр.

Для определения  $P_{\infty}$  и  $\eta'$  можно воспользоваться методом максимального правдоподобия или методом наименьших квадратов, т. е. расчетные оценки имеют вид:

- для максимального правдоподобия –

$$\left. \begin{aligned} \hat{\eta} &= \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_i \cdot \left[ \sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \cdot N - \frac{N+1}{2} \cdot \sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \right]}{\frac{(N+1)}{2} \cdot C_1 - N}; \\ \hat{P}_\infty &= \frac{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N n_i \cdot \left[ \frac{C_1}{N} \sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \cdot N - \sum_{i=1}^N (n_i - d_i) \right]}{\frac{(N+1)}{2} \cdot C_1 - N}, \end{aligned} \right\} \quad (6.41)$$

где  $C_1 \approx \log(N+0,5) + 0,577 = \sum_{i=1}^N \frac{1}{i}$ ;

• для наименьших квадратов –

$$\left. \begin{aligned} \hat{\eta} &= \frac{C_1 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{n_i - d_i}{n_i} - N \cdot \sum_{i=1}^N \frac{n_i - d_i}{N \cdot n_i}}{N \cdot C_2 - C_1^2}; \\ \hat{P}_\infty &= \frac{C_2 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{n_i - d_i}{n_i} - C_1 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{n_i - d_i}{N \cdot n_i}}{N \cdot C_2 - C_1^2}, \end{aligned} \right\} \quad (6.42)$$

где  $C_2 \approx \frac{\pi}{6} - \frac{1}{N+0,5} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{i^2}$ ;  $N$  – число этапов восстановления экологической надежности;  $d_i$  – количество расчетных компонент.

При поэтапном восстановлении экологической надежности модель роста будет иметь вид

$$\hat{P}_n = 1 - \hat{q}_N - \hat{q}_0, \quad (6.43)$$

где  $\hat{q}_0 = \frac{\sum_{i=1}^N d_{C_i}}{\sum_{i=1}^N (d_{C_i} + d_{y_i} + n_i)}$ ;  $\hat{q}_N = \left(1 - \hat{q}_0\right) \cdot \max_{S \geq t} \min_{r \leq t} \frac{d_{y_r} + \dots + d_{y_S}}{d_{y_r} + n_2 + \dots + d_{y_S} + n_S}$ ;

$d_{C_i}$  – количество компонент с характерным снижением экологической надежности по неопределенной причине;  $d_{y_j}$  – количество компонент



с восстановленным уровнем экологической надежности;  $n_i$  – количество экосистем, уровень экологической надежности которых не достиг критического.

Учитывая, что каждая из данных моделей роста экологической надежности имеет свои ограничения для систем с априорным распределением вероятностей неизвестных параметров, практический интерес представляют методы расчета экологической надежности, учитывающие лишь ее основные закономерности. Это метод экспоненциального сглаживания, метод учета возрастающего характера и метод максимального правдоподобия.

Для *метода экспоненциального сглаживания* текущая переменная вероятность оптимального функционирования геосистемы может быть описана следующим рекуррентным соотношением:

$$\hat{p}_i = \hat{p}_{i-1} + v \cdot (y_i - \hat{p}_{i-1}), \quad (6.44)$$

где  $v$  – постоянная сглаживания;  $y_i$  – текущее значение величины.

При возможности учета не только текущего значения  $y_i$  сглаженной величины, но и ряда предыдущих, соотношение примет вид

$$\hat{p}_i = v \cdot \sum_{k=0}^{i-1} (1-v)^k \cdot y_{i-k} \cdot (1-v)^i \cdot y_0; \quad (6.45)$$

$$0 \leq v = 2 / (N+1) \leq 1.$$

При  $v = 0$  значение  $p$  стабильно и нет необходимости использовать новую информацию о процессе изменения экологической надежности, а  $v = 1$  означает, что прошлая информация о процессе недостоверна и за оценку  $\hat{p}_i$  следует принять текущее наблюдение (состояние)  $y_i$ .

Для метода учета возрастающего характера расчетное соотношение схоже с моделью роста надежности  $p_i = 1 - q_0 - q_i$ , т. е.

$$\hat{p}_i = 1 - \hat{q}_0 - \hat{q}_i, \quad (6.46)$$

где  $\hat{q}_0 = \sum_{i=1}^N d_{c_i} / \sum_{i=1}^N n_i$ ;  $\hat{q}_i = (1 - \hat{q}_0) \cdot d_{y_i} / (d_{y_i} + t_i)$ ;  $t_i$  – число компонент с экологической надежностью, не достигших критического уровня.

## 6.5. Особенности оценки вероятности оптимального функционирования систем

Оптимальность функционирования достаточно полно определима параметрами экологической надежности и экологической устойчивости систем. В общем случае вероятность оптимального функционирования геосистем ( $\hat{p}$ ) может быть определена только точечной оценкой, так как каждая из  $n$  геосистем функционирует в специфических условиях и достигает критического уровня по строго нефиксированному влиянию подсистем и сочетанию компонент, т. е.  $\hat{p} = 1 - d/n$ , где  $n$  – число рецензированных геосистем,  $d$  – число геосистем, достигающих критического уровня за расчетный период.

Однако такая оценочная функция является несмещенной, состоятельной и эффективной только при  $n \rightarrow \infty$ , т. е. большом количестве рецензированных объектов. При анализе вероятности оптимального функционирования конкретных геосистем ( $n \rightarrow \min$ ) необходимо использовать доверительные границы для  $p$  как корни  $\bar{p}$  и  $\underline{p}$  уравнений

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^{d-1} C_n^i \cdot \bar{p}^{n-i} \cdot (1-\bar{p})^i = \gamma_1, \\ \sum_{i=0}^d C_n^i \cdot \underline{p}^{n-i} \cdot (1-\underline{p})^i = 1-\gamma_2, \end{cases} \quad (6.47)$$

где  $\gamma_1 + \gamma_2 - 1 = \gamma$ .

При этом  $Вер\{\underline{p} < p < \bar{p}\} \geq \gamma$ , где  $\gamma$  – заданная доверительная вероятность.

Корни  $\bar{p}$  и  $\underline{p}$  являются квантилями стандартного  $\beta$ -распределения и

$$\bar{p} = f_1(n, d, \gamma_2); \quad \underline{p} = f_2(n, d, \gamma_2). \quad (6.48)$$

Так как взаимосвязь компонент может быть с прямым или косвенным поствоздействием, то интервальную оценку параметров эконенадежности и экоустойчивости нужно осуществлять либо по преобладающему типу взаимосвязи (прямые – косвенные), либо по максимальному риску.

При прямом поствзаимодействии компонент нижняя граница  $\underline{p}$  доверительного интервала экологической надежности системы

$\left[ p = \prod_{i=1}^N p_i \right]$  определится как корень уравнения

$$\tilde{p}_N = \sup p_N = 1 - \gamma, \quad \prod_{i=1}^N p_i = p, \quad (6.49)$$

где  $\gamma$  – расчетная доверительная вероятность;  $p_i$  – вероятность невыхода компоненты за критический уровень;  $N$  – общее число рецензированных компонент.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_N = \sum_{k_1=p}^{[x_1]} b(n_1, p_1, k_1) x_1 \dots x_N \sum_{k_N=0}^{[x_N]} b(n_N, p_N, k_N), \\ b(n_i, p_i, k_i) = C_{n_i}^{k_i} \cdot p_i^{n_i - k_i} \cdot q_i^{k_i}, \\ q_i = 1 - p_i; \\ [x_i] = \left[ n_i \left( 1 - p / \prod_{j=1}^{i-1} \left( 1 - \frac{k_j}{n_j} \right) \right) \right], \\ [x_2] = \left[ n_2 \cdot \hat{q} \right], \\ \hat{p} = \prod_{i=1}^N \left( 1 - \frac{d_i}{n_i} \right) = 1 - \hat{q}. \end{array} \right. \quad (6.50)$$

Так как

$$1 - \gamma = \mathfrak{I}_p(n - x, x + 1) = \frac{B_p(n - x, x + 1)}{B_1(n - x, x + 1)}, \quad (6.51)$$

где  $\mathfrak{I}_p(n - x, x + 1)$  – нормированная неполная  $\beta$ -функция,  $B_p(n - x, x + 1)$  –  $\beta$ -функция Эйлера, то при стандартном требуемом значении односторонней утвердительной вероятности  $\gamma = 0,9$  приближенное значение нижней границы для  $\underline{p}$  при  $N = 12$  будет равно  $0,6926 \leq \underline{p} \leq 0,7319$ .

При косвенном взаимодействии компонент нижняя граница  $\underline{p}$  доверительного интервала экологической надежности геосистемы  $\underline{p} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - n_i)$  определится из соотношения

$$\underline{p} = 1 - (1 - f_2(n, d, \gamma))^m, \quad (6.52)$$

где  $d = \sum_{i=1}^m d_i$ ;  $f_2(n, d, \gamma)$  – корень уравнения

$1 - \gamma = \sum_{k=0}^d C_n^k \cdot p_0^{n-k} = B_1(n, d, p_0)$ , разрешаемого относительно  $p_0$  с табулированной функцией.

Тогда при стандартном требуемом значении доверительной вероятности  $\gamma = 0,9$  нижняя доверительная граница  $\underline{p}$  вероятности оптимального функционирования геосистемы будет равна  $\underline{p} = 0,986$ .

Следует отметить, что независимо от условий функционирования структуры, уровня и ранга геосистемы математическая модель, учитывающая запас по уровню экологической надежности каждой из компонент, представима в виде

$$p = p_0 \left( 1 - \sum_{i=1}^N q_i \cdot \eta_i + \sum_{i>j} q_{ij} \cdot \eta_{ij} + \dots + (-1)^{N-1} \cdot q_{1,2,\dots,N} \right), \quad (6.53)$$

где  $p_0$  – вероятность оптимального функционирования геосистемы при условии отсутствия снижения экологической надежности компонент до критического уровня;  $q_i$  – вероятность достижения критического уровня экологической надежности любой из  $i$ -й компоненты;  $\eta_i$  – весовой коэффициент для  $i$ -й компоненты, определяющий его функциональную значимость (избыточность);  $\eta_{ij}, q_{ij}, \dots, \eta_{1,2,\dots,N}, q_{1,2,\dots,N}$  – весовые коэффициенты компонент и вероятности возникновения парных, тройных и т. д. наложенных процессов снижения экологической надежности компонент;  $\eta_i = 1 - p_i / p_0$ ;  $p_i$  – вероятность оптимального функционирования геосистемы при достижении критического уровня экологической надежности  $i$ -й компонентой.

Тогда при независимости процессов достижения компонентами критических уровней экологической надежности при  $p_0 \approx 1$  имеем

$$p = \prod_{i=1}^N (1 - q_i \cdot \eta_i), \quad (6.54)$$

где  $q_i = d_i / n_i$ .

## 6.6. Особенности оптимизации экологической надежности систем

Анализ материалов обследования технического состояния и функционирования систем позволяет отметить, что основными причинами их неудовлетворительного функционирования и, соответственно, низкой экологической надежности являются: проектные ошибки (18,9%), низкое качество строительства (21,2%), неудовлетворительная эксплуатация (38,6%) и совокупность всех причин (21,3%). При этом 26% из них проявляются уже в период адаптации, 29% – в период

оптимального функционирования и 45 % – в период массового проявления отказов и формирования критического уровня экологической надежности.

Как показано в работах [8; 45], одним из критериев (свойств-признаков) функции экологической надежности является величина удельных капитальных вложений.

Так как экологическая надежность может формироваться начальным резервированием либо ее поэтапным (при реконструкции) повышением через реализацию соответствующих природоохранно-восстановительных мероприятий, то с точки зрения системного анализа наиболее перспективным является решение данной задачи методом динамического программирования.

Исследования, проведенные с использованием функциональных уравнений Беллмана, позволили выявить расчетные сроки реконструкции водохозяйственных систем, обеспечивающих получение максимального эффекта (в годах): первая реконструкция – на 18 году, вторая – на 33 году, третья – на 48 году, четвертая – на 67 году, пятая – на 83 году.

Как видим, оптимальный межреконструкционный срок службы системы составляет 15–18 лет при максимальном сроке эксплуатации до 30–33 лет. Для этих расчетных интервалов и будем оптимизировать экологическую надежность и капитальные вложения.

Так как функция экологической надежности любой системы и степени антропогенезации определяема тремя областями  $(P_i^3)_{i=1}$ , четырьмя состояниями функционирования  $(S_j^4)_{j=1}$ , десятью факторными рисками  $(\bar{S}_{0-10})$  и множеством реальных состояний основных групп элементов, то для ее оптимизации может быть использована зависимость вида

$$C_{\text{общ}}^{\text{опт}} = A_0 + \mathcal{E}_t \cdot \sum_{i=0}^t \left[ (1 + \alpha)^i \right]^{-1}, \quad (6.55)$$

учитывающая как начальные капитальные вложения, так и затраты на обеспечение требуемой эконадежности основной группы элементов и системы в целом. Здесь  $A_0$  – единовременные капитальные затраты;  $\mathcal{E}_1$  – текущие годовые расходы по поддержанию работоспособности системы с требуемой степенью экологической надежности;  $\left[ (1 + \alpha)^i \right]^{-1}$  – коэффициент отдаления затрат;  $\alpha$  – нормативный коэффициент эффективности;  $t$  – период сравнения.

Тогда экономический эффект от повышения уровня эконадежности независимо от способа ее реализации может быть определен зависимостью вида

$$\mathcal{E}_0 = k_y \cdot E_n \cdot t \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) - (C_2 - C_1), \quad (6.56)$$

где  $\lambda_1$  – предел увеличения стоимости системы при увеличении расчетного периода и повышении уровня экологической надежности в  $t$  раз;  $\lambda_2$  – показатель этапности реализации природоохранно-восстановительных мероприятий за срок службы системы  $T_0$ ;  $E_n$  – нормативный коэффициент приведения затрат;  $k_y$  – удельные капитальные вложения;  $C_1$  и  $C_2$  – соответственно повариантные стоимости основных групп элементов системы, обуславливающих ее экологическую надежность в целом.

Период оптимальной экологической надежности определяется периодом оптимального функционирования ( $T_k$ ).

Графики зависимости удельного экономического эффекта от повышения расчетного периода и уровня экологической надежности системы приведены на рис. 6.2.

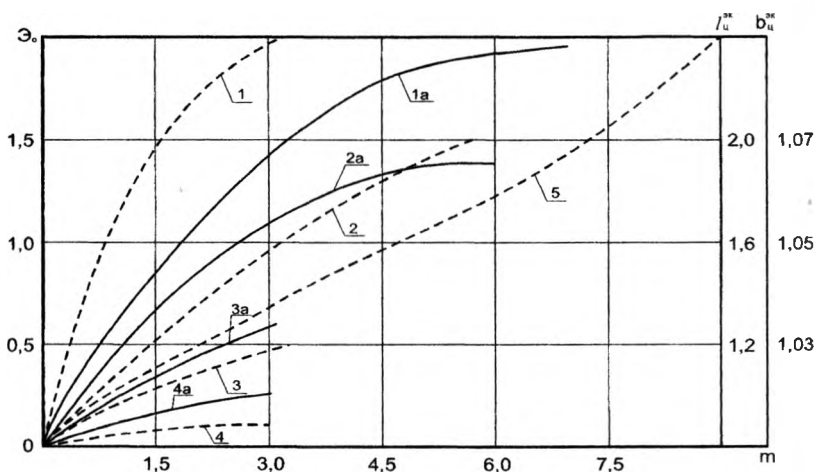


Рис. 6.2. Графики зависимости экономического эффекта от повышения экологической надежности при  $(C_1 - C_2) = 0$  (1а, 2а, 3а, 4а) и экономически допустимого увеличения приведенных затрат на него при  $E = 0,08$  (1, 2, 3, 4) и увеличения приведенных затрат на обеспечение оптимальной эконадежности при увеличении расчетного периода и уровня (5): 1 – при  $T = 5$  и  $T_0 = 30$ ; 2 – при  $T = 10$  и  $T_0 = 30$ ; 3 – при  $T = 15$  и  $T_0 = 30$ ; 4 – при  $T = 30$  и  $T_0 = 30$  лет

Анализ графика показывает, что повышение расчетного периода и уровня экологической надежности наиболее целесообразно до периода формирования критического уровня экологической надежности ( $T_k$ ) при оптимизации по минимально допустимому уровню эконадежности и в конце начального (адаптационного) периода эксплуатации при оптимизации по начальному резервированию.

Тогда степень экономически целесообразного увеличения стоимости системы или основных групп ее элементов определится соотношением

$$\ell_{\text{и}}^{\text{жк}} = \frac{L_1}{L_2} + \frac{\mathcal{E}_0}{C_0}, \text{ а степень увеличения приведенных затрат на повышение}$$

расчетного периода или уровня эконадежности ( $b_{\text{и}}^{\text{жк}}$ ) и соответствующий им экономический эффект ( $\mathcal{E}_0^*$ ) – соотношениями  $b_{\text{и}}^{\text{жк}} = C/C_0$

и  $\mathcal{E}_0^* = \ell_{\text{и}}^{\text{жк}} - b_{\text{и}}^{\text{жк}}$ , где  $C_0$  – затраты на повышение расчетного периода и уровня эконадежности, приведенные к сроку реализации природоохранно-восстановительных работ;  $L_1$  и  $L_2$  – соответственно показатели допустимых затрат на строительство и повышение уровня эконадежности основной группы элементов от сроков  $T_1$  и  $T_2$  до срока функционирования системы  $T_c$ .

Соответственно, допустимые сроки на повышение расчетного периода и уровня эконадежности на стадиях строительства определяются показателем  $Y_m = L_1/L_2$ , а на стадии эксплуатации –  $k_2 = k_1 \cdot Y_m$ , где  $k_1$  – суммарные затраты на базовый вариант системы.

Оптимальная степень повышения расчетного периода и уровня эконадежности группы элементов системы на стадии строительства определится зависимостью

$$m_{\text{опт}} = \ln \left[ \sqrt{L_1} / (\sqrt{L_2} - 1, 1^{T_c} - 1) \right] \cdot (0,0953T_1)^{-1}, \quad (6.57)$$

где  $T_1$  – продолжительность периода адаптации системы к сформировавшемуся экологическому состоянию среды.

Соответственно, период оптимального функционирования ( $T_{\text{опт}}$ ) и показатель технического совершенства системы ( $\alpha_k$ ) определяются соотношениями

$$\left. \begin{aligned} T_{\text{опт}} &= \left[ \ln \left( \sqrt{L_1} / \sqrt{L_2} + (1+E)^{-T_c} - 1 \right) \cdot \left[ \ln(1+E) \right]^{-1} \right] \\ \alpha_k &= \left[ (1+E)^{T_2} - 1 \right] \cdot \left[ (1+E)^{T_2} - (1+E)^{T_2-T_c} \right]^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (6.58)$$

Графическое представление этих характеристик и дает обобщенную диаграмму эконадежности и качества систем (рис. 6.3).

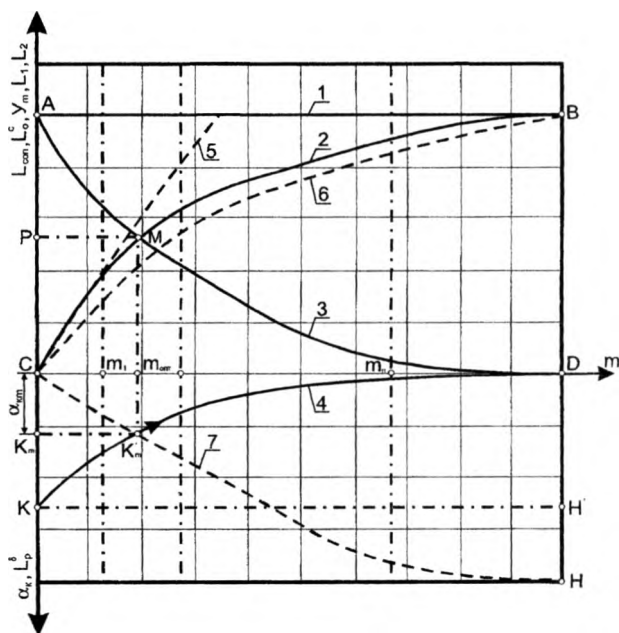


Рис. 6.3. Обобщенная диаграмма уровня эконадежности и технического совершенства системы: 1 —  $L_1 = f_1(T, T_c)$ ; 2 —  $Y_m = f_2(m, T)$ ; 3 —  $L_2 = f_3(m, T)$ ; 4 —  $\alpha_k = f_4(m, T)$ ; 5 —  $L_c = f_5(m, T)$ ; 6 —  $L_c^a = f_6(m, T)$ ; 7 —  $L_p^b = f_7(m, T)$

Анализ основных характеристик (1, 2, 3, 4) позволяет отметить, что при повышении расчетного периода и уровня эконадежности в период эксплуатации кривая 2 приближается к прямой 1, при этом  $m_{кр} \cdot T = T_c$ , т. е. при равенстве периода эконадежного функционирования всей системы и основных групп элементов ( $T = T_c$ ) допустимая степень увеличения затрат ( $m_{пр}$ ) достигнет предельного уровня в точке В, где  $Y_m = L_1$ .

Повышение расчетного периода и уровня эконадежности можно обеспечить и за счет повышения совершенства основных групп элементов, но при этом повышение расчетного периода и уровня эконадежности в  $m$  раз обуславливает возрастание уровня технического совершенства, который асимптотически приближается к своему предельному значению



в точке Д ( $\alpha_k = 1$ ). А это означает, что показатель затрат на природоохранно-восстановительные мероприятия в процессе функционирования системы уменьшается по мере увеличения периода оптимального функционирования. При небольшом расчетном периоде эконадежного функционирования затраты на повышение расчетного периода и уровня эконадежности незначительны (в точке А  $L_1 = L_2$ ).

Точка Р характеризует равенство показателей затрат на повышение эконадежности в процессе функционирования и обеспечения ее расчетного периода начальным резервированием.

Точка М пересечения линий 2 и 3, характеризующая оптимальность ( $Y_m = L_2$ ) периода функционирования с заданной степенью (уровнем) эконадежности, определяет, соответственно, и пределы экономической целесообразности повышения уровня эконадежности начальным резервированием (если повышение расчетного периода эконадежности основной группы элементов менее чем в  $m_{\text{опт}}$  раз), и пределы поэтапной реализации природоохранно-восстановительных мероприятий при других условиях.

Исходя из этого определение достигнутого показателя совершенства системы для любой степени (расчетного периода и уровня) можно производить графически, проектируя точку  $m_{\text{опт}}$  на кривую 4 ( $K_m'$ ), а затем на ось ординат ( $K_m$ ).

Анализ дополнительных зависимостей (5, 6, 7) позволяет отметить, что повышение степени эконадежности определяет возрастание сопутствующих капитальных вложений ( $L_c$ ), затрат в сопряженной области ( $L_c^0$ ) и уменьшения затрат на эксплуатационные службы ( $L_p^{\delta}$ ).

Эти показатели определяются соотношениями

$$L_c = (L_1 - 1) / (L_2 - 1), \quad L_c^0 = L_1 / L_2 \quad \text{и} \quad L_p^{\delta} = Y_m \cdot (L_2 - 1) / (L_2 - 1). \quad (6.59)$$

Проводя через определенные значения  $m_i$  вертикальные линии, можно установить значения приведенных выше показателей и тем самым более полно и достоверно оценить эффективность мероприятий по повышению расчетного периода и уровня эконадежности.

## Глава 7

# РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ НЕГАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИЯ<sup>1</sup>

---

### 7.1. Особенности разработки прогнозных моделей загрязнения среды

Основной компонент отрицательного воздействия антропогенной активности – загрязнение всех областей окружающей среды: воздуха, воды и почвы. Поскольку все три геосферы в процессе эволюции установили тесные взаимосвязи, то при разрушительном воздействии на одну из них опасности разрушения подвергаются и другие. Поэтому, например, сжигание конечного продукта очистки канализационных вод нельзя считать решением задачи борьбы с загрязнением, так как такая технология лишь переносит антропогенную нагрузку с воды на атмосферу.

Ограниченность в средствах и уникальность экологических систем исключают возможность активного эксперимента, поэтому важное значение для прогнозирования и оценки состояния природной среды приобретают построение и использование соответствующих математических моделей.

Модели, используемые для указанной цели, можно классифицировать в зависимости от изучаемого пространственного (и связанного с ним временного интервала осреднения) масштаба антропогенного влияния на локальные, региональные и глобальные.

*Локальные модели* распространения загрязняющих веществ используются в случаях, когда изучаемые масштабы распространения загрязнений составляют несколько километров. Обычно они применяются с целью определения «зон влияния» отдельных источников загрязнения. Типичные величины концентраций загрязняющих веществ достаточно велики и представляют опасность, в частности, для здоровья человека.

---

<sup>1</sup> Глава написана совместно с кандидатом технических наук доцентом Ан. А. Волчек.

**Региональные модели** используются, когда изучаемый масштаб загрязнения составляет величину от нескольких десятков до сотен километров. Характерные временные осреднения – от месяца до года.

**Глобальные модели** оперируют масштабами от нескольких тысяч километров до масштабов всей планеты, типичное временное осреднение – несколько лет [8; 22].

Проанализируем особенности моделирования загрязнения в регионе.

Изменение концентрации  $Z_i$  загрязнения, генерируемого  $i$ -м регионом, происходит со скоростью, определяемой интенсивностью производства загрязнения  $Z_{kVG_i}$  и их разложения  $Z_{TV_i}$ :

$$\frac{dZ_i}{dt} = Z_{kVG_i} - Z_{TV_i}. \quad (7.1)$$

Будем считать, что скорость генерации загрязнения в каждом регионе пропорциональна средней плотности населения (коэффициент  $k_{Z_i}$ ) и зависит от объема фондов на душу населения  $V_{RG_i} = V_i/G_i$ :

$$Z_{kVG_i} = k_{Z_i} \cdot G_i \cdot Z_{VG_i}, \quad (7.2)$$

где

$$Z_{VG_i} = Z_{VG}^{\max} \cdot \left(1 - \exp\left(-\hat{G}_{ZG_i} \cdot V_{RG_i}\right)\right). \quad (7.3)$$

Темп разложения загрязнения аддитивно зависит от естественной скорости разложения  $Z_{T_i}$  и от скорости искусственной ассимиляции  $Z_{V_i}$ , которая определяется долей капитала  $U_{ZG_i}$ , направляемой на интенсификацию процессов очистки:

$$Z_{TV_i} = Z_{T_i} + Z_{V_i}. \quad (7.4)$$

Естественная скорость уничтожения природой вредных отходов прямо пропорциональна времени разложения  $T_{Z_i}$ :

$$Z_{T_i} = \frac{Z_i}{T_{Z_i}}. \quad (7.5)$$

Увеличение скорости ассимиляции за счет вкладываемого капитала описывается зависимостью

$$Z_{V_i} = \frac{U_{ZG_i} \cdot V_i}{G_{ZG_i}}, \quad (7.6)$$

где  $G_{ZG_i}$  – стоимость очистки единицы загрязнения.

Процесс генерации загрязнения в целом является более сложным, ибо необходимо детализировать причины возникновения загрязнения и учитывать случайность аварии. Также следует ввести зависимость способности биосферы к самоочищению от объема загрязнения, т. е. установить функциональную зависимость  $T_{Z_i} = T_{Z_i}(Z_i)$ .

Соответственно, для воздуха имеем:

$$\frac{dB}{dt} = \sum (N_{Bj} \cdot Z_j + N_{Aj} \cdot b_{GCl} \cdot G_j) + \rho_B \cdot \frac{dT}{dt} - \frac{B}{T_B} + B_n, \quad (7.7)$$

где  $B$  – показатель замутненности атмосферы, измеряемый весом посторонних примесей в воздухе над единицей площади поверхности земли;  $B_n$  отражает скорость загрязнения атмосферы в результате естественных процессов – выветривания, эрозии и т. п. ( $\sim 0,78 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ ).

Как видно, изменение этого показателя определяется долей  $N_{Bj}$  общего загрязнения  $Z_j$ , попадающего из  $j$ -го региона в атмосферу, количеством отходов, производящих энергию предприятий (коэффициент  $N_{Aj}$ ), содержанием водяных паров в атмосфере  $\sum_{i=0}^m W_{iA}$  и скоростью ее естественного просветления  $T_B^{-1}$ . Скорость естественного просветления атмосферы обратно пропорциональна времени  $T_B$  оседания частиц пыли и дыма. Влияние паров воды на изменение прозрачности атмосферы, очевидно, проявляется через производную  $\frac{1}{(m+1)} \cdot \frac{d}{dt} \sum_{i=0}^m W_{iA}$ , которую можно приближенно представить как функцию  $dT/dt$ :

$$\frac{1}{(m+1)} \cdot \frac{d}{dt} \sum_{i=0}^m W_{iA} = \rho_B \cdot \frac{dT}{dt}. \quad (7.8)$$

При моделировании локальных загрязнений определенное значение могут иметь модели глобальной циркуляции загрязняющих веществ, например, тяжелые металлы.

Во-первых, они позволяют оценить глобальный фон, т. е. концентрации элементов в средах, обусловленных естественными источниками, такими как выветривание почв, лесные пожары и др. Поэтому глобальные модели могут дать представление о порядке величины концентраций ряда загрязняющих веществ (естественно, осредненных за большие промежутки времени, например, за год, поскольку содержание многих веществ в воздухе над акваторией озера и в его воде в целом, по-видимому, пока еще слабо изменилось под влиянием хозяйственной деятельности).

Во-вторых, количественные оценки, характеризующие переход загрязняющих веществ из одной среды в другую, полученные при построении глобальных моделей, в ряде случаев можно использовать в качестве первого приближения и при построении региональных и локальных моделей циркуляции загрязняющих веществ.

В-третьих, глобальные модели можно применять для анализа, обобщения, сопоставления имеющейся весьма разнородной информации

об антропогенном поступлении, содержании, поведении загрязняющих веществ в различных природных средах. Общей для региональных и глобальных моделей является необходимость учета вторичного загрязнения (вследствие миграции и химической трансформации загрязнителя), поскольку здесь типична ситуация, когда опасность антропогенных поступлений определяется не столько загрязнением той среды, куда непосредственно происходит выброс, сколько вторичным загрязнением других сред.

Очевидно, что решение указанной задачи требует учета процессов, имеющих широкий диапазон временных масштабов, и поэтому перспективным является иерархический принцип создания модели, когда она строится на основе простой балансовой системы уравнений, коэффициенты которой рассчитываются по более сложным моделям, учитывающим процессы более коротких временных масштабов. Результаты расчетов такого рода моделей призваны «заменить» обычно недостающую экспериментальную информацию, необходимую при определении коэффициентов. Таким образом, математическая модель распространения загрязняющих веществ в регионе должна представлять некоторую иерархическую систему моделей, позволяющую учесть не только взаимодействие различных природных сред, но и рассчитывать антропогенную составляющую и прогнозировать ее изменения при различных вариантах хозяйственной деятельности, планируемой в регионе.

Особенностью атмосферного переноса загрязняющих веществ в регионе является вынос загрязнителей на акваторию озера в основном по долинам ручьев, рек и береговой зоне, где расположены антропогенные источники. Тогда для оценки выноса количества загрязняющего вещества, переносимого от источника на акваторию, можно воспользоваться формулой

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{1}{2 \cdot \bar{u} \cdot \tau} \cdot \int_0^R \exp\left(-\frac{r}{\bar{u} \cdot \tau}\right) dr = \frac{1}{2} \cdot \exp\left(-\frac{R}{\bar{u} \cdot \tau}\right), \quad (7.9)$$

где  $Q_s$  – количество загрязняющего вещества, выносимого на акваторию озера;  $R$  – расстояние от источника до озера;  $\bar{u}$  – средняя скорость переноса;  $\tau$  – время существования загрязняющего вещества в атмосфере;  $Q$  – мощность источника загрязнения.

Поскольку перенос по долине возможен как по направлению к озеру, так и от него, и эти события могут быть равновероятными, то в формуле (7.9) введен коэффициент  $\frac{1}{2}$ .

Для расчета рассеивания по акватории озера вынесенного загрязнителя используется модель, согласно которой поток загрязняющего вещества вычисляется отдельно для каждого румба (угловой сектор в  $45^\circ$ ).

Для 2-го румба поток загрязняющего вещества на единицу площади и в единицу времени в точке на расстоянии  $r$  от точки выноса вычисляется по формуле

$$q(r) = \frac{8 \cdot f_i \cdot Q_s}{2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot r} \cdot \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right), \quad (7.10)$$

где  $f_i$  – повторяемость направлений переноса данного румба;  $r_0 = \bar{u} \cdot \tau$ . Осредняя вычисленное значение  $q(r)$  по площади и учитывая (7.10), приходим к формуле для расчета средней плотности выпадений:

$$q = \frac{Q}{2} \cdot \exp\left(-\frac{R}{r_0}\right) \cdot \frac{1}{S} \cdot \int_S q(r) dS, \quad (7.11)$$

где  $S$  – площадь, по которой производится осреднение.

Параметром, подлежащим оценке в формуле (7.11), является  $r_0 = \bar{u} \cdot \tau$ . Однако, осредненные по большим пространственным промежуткам, они дают слабое представление о зонах влияния отдельных антропогенных источников. В задачах регионального масштаба учет зон влияния, хотя и в грубой форме, необходим. Здесь часто бывает достаточно оценок таких характеристик зоны влияния, как ее размер и масса загрязняющего вещества в ней.

Для расчета этих характеристик возможен следующий подход. Предполагается заданной форма факела распространения сточных вод. Эта форма обусловлена глубиной выпуска, орографией дна, условиями турбулентного перемешивания. Пусть  $S(r)$  – площадь части сферы радиуса  $r$ , пересекающей зону факела распространения выброса. Тогда поток  $q$  загрязняющего вещества через  $S(r)$  равен

$$q(r) = \bar{c}(r) \cdot \bar{u} \cdot S(r), \quad (7.12)$$

где  $\bar{c}(r)$  – средняя концентрация на расстоянии  $r$ ;  $\bar{u}$  – средняя скорость переноса. Предполагаем, что

$$q(r) = Q \cdot \exp\left(-\frac{r}{\bar{u} \cdot \tau}\right), \quad (7.13)$$

где  $Q$  – масса загрязняющего вещества, сбрасываемая в единицу времени;  $\tau$  – время существования загрязняющего вещества в факеле (оно обусловлено процессами распада вещества и осаждения на дно).

Обозначим  $V_{ст}$  – объем сточных вод, сбрасываемых в единицу времени,  $k$  – кратность их разбавления (отношение концентраций в стоке к концентрации в воде) на расстоянии  $r$ , тогда из (7.12) и (7.13) следует, что

$$k = \frac{\bar{u} \cdot S(r)}{V_{ст}} \cdot \exp\left(\frac{r}{\bar{u} \cdot \tau}\right). \quad (7.14)$$

Зона влияния обычно определяется максимальным, наперед заданным разбавлением. Значение этого разбавления выбирают в зависимости от предельно допустимой концентрации, от чувствительности метода измерения данного загрязнителя, его содержания в воде, обусловленного только естественными источниками, от вариабельности концентраций. Обозначим это значение  $k_0$ , тогда  $R$  – размер зоны влияния – определится из уравнения

$$k_0 = \frac{\bar{u} \cdot S(R)}{V_{\text{ст}}} \cdot \exp\left(\frac{R}{u \cdot \tau}\right). \quad (7.15)$$

В частном случае при глубинном сбросе и большой глубине в районе сброса  $S(r) = \theta r^2$ , где  $\theta$  – угол рассеивания, определяемый условиями турбулентного перемешивания. Последнее условие имеет место для выпуска сточных вод БЦБК. Сопоставление данных расчета  $k_0$  с данными проведенных экспериментов показывает совпадение их при  $\theta \approx 10^{-1}$  и  $\bar{u} \approx 10^{-2}$  м/с. Легко вычисляется и запас вещества  $M$  в зоне влияния:

$$M = \int_{V(R)} \frac{Q}{u \cdot S(r)} \cdot \exp\left(\frac{r}{u \cdot \tau}\right) dr, \quad (7.16)$$

где  $V(R)$  – зона влияния.

Не менее важным является и моделирование динамики антропогенных процессов в реках. Используем для описания динамики загрязнения на участках реки одну из наиболее распространенных математических моделей.

Введем следующие обозначения:  $i$  – номер района;  $n$  – номер периода года ( $n = 1$  – летний период,  $n = 2$  – зимний период);  $S_i$  – площадь поперечного сечения для  $i$ -го района;  $V_i$  – средняя скорость течения;  $Q_i$  – среднегодовой расход воды;  $D_i$  – протяженность  $i$ -го района.

Обозначим через  $\bar{X}_m^t$  – вектор концентрации загрязняющего вещества (фенол и его соединения –  $m = 2$  и нефтепродукты –  $m = 1$ );  $\bar{X}_{m,i}^t$  – концентрация загрязнителя  $m$  в  $i$ -м районе в момент времени  $t$ . Будем считать, что поступающие в какой-либо район загрязнения равномерно распределяются по всему этому району. Общее содержание загрязнителя в момент времени  $t$  равно

$$Z_{m,i}^t = X_{m,i}^t \cdot V_i, \quad (7.17)$$

где  $V_i$  – объем воды в  $i$ -м районе.

Обозначим через  $\bar{F}_m^t$  вектор, характеризующий поступление загрязняющего вещества  $m$  в районы реки в момент времени  $t$ .

При вычислении нужно использовать приведенный вектор сбросов  $\vec{q}_m$ , координаты которого рассчитываются следующим образом:

$$g_{m,i} = \frac{1}{V} \cdot F_{m,i}. \quad (7.18)$$

Введем в рассмотрение коэффициенты распада вещества за счет биохимического окисления  $\beta$  (сут<sup>-1</sup>). Имеем:

$$R_m^n = \exp(-k_n \cdot \beta_m^n), \quad (7.19)$$

где  $\beta_m^n$  – коэффициент распада вещества  $m$  за 1 сут в продолжение периода  $n$ ;  $k_n$  – количество суток в периоде  $n$ ;  $R_m^n$  – коэффициент сохранения вещества  $m$  в период  $n$ .

Обозначив через  $Y_m^t$  концентрацию загрязняющего вещества  $m$  в донных отложениях и предполагая, что  $f(x,y)$  – функция взаимного обмена между  $\bar{X}^t$  и  $\bar{Y}^t$ , будем иметь

$$f_i = k_1 \cdot x_i - k_2 \cdot y_i, \quad (7.20)$$

где  $k_1$  – доля вещества, осаждающегося из 1 м<sup>3</sup> воды на 1 м<sup>2</sup> дна;  $k_2$  – доля вещества, поступающего с 1 м<sup>2</sup> поверхности донных отложений в 1 м<sup>3</sup> поверхностных вод. Можно записать следующие соотношения для концентрации  $\bar{X}^{t+1}$ ,  $\bar{Y}^{t+1}$ :

$$\begin{cases} \bar{X}^{t+1} = (\bar{X}^t \cdot A + \bar{g} - f)R, \\ \bar{Y}^{t+1} = (\bar{Y}^t + \bar{f} - k^* \cdot v_x \cdot y_{\text{дон}}^t) \cdot R_d, \end{cases} \quad (7.21)$$

где  $R_d$  – коэффициент сохранения загрязняющего вещества в донных отложениях,  $R_d = \exp(-k_n \cdot \beta_d)$ . Полагая  $\beta_d = k_4 \cdot \beta$ , будем иметь

$$R_{m,d}^n = \exp(-k_n k_4 \beta) \cdot (R_m^n)^{k_4}. \quad (7.22)$$

Очевидно,  $k_4 \leq 1$ ,  $v_d$  – скорость перемещения частиц грунта в донных отложениях;  $v_x = k_c \cdot v$ , где  $v$  – скорость течения реки. Величина  $v_x$  меньше, чем  $v$ , как минимум на порядок;  $k^* = 1$ ;  $A$  – матрица перетоков, где  $a_{ij}$  – количество воды, перетекающей из  $i$ -го района в  $j$ -й за 1 временной шаг.

Описанная математическая модель позволяет решить задачу прогнозирования качества воды в реке и вычислить концентрацию фенолов и нефтепродуктов для отдельных районов разбиения в течение 10 лет.

Отметим, что современная теория прогнозирования предполагает непрерывный анализ причинно-следственных связей предсказуемых



природных процессов. Большинство исследователей, занимающихся разработкой прогнозных схем изменения природных условий, считают наиболее целесообразным представлять их в виде подсистем – теоретического и информационного обеспечения, выбора концептуальных прогнозных методик, синтеза и анализа их достоверности.

## 7.2. Особенности оптимального локализационного управления чрезвычайными ситуациями

В настоящее время достаточно полно исследованы особенности распространения большинства негативных процессов, обусловленных реализацией как целевых водохозяйственных и других народнохозяйственных мероприятий, так и их последствием и последствиями. Активизирующиеся и активно проявляющиеся в последнее время некоторые негативные изменения в природных системах требуют поиска методов локализационного управления ими [18].

Бесспорно, наиболее простым решением проблемы является случай локализации области распространения негативных процессов с использованием модели одной кривой  $L$ , удовлетворяющей следующим условиям:

- $x(0) = C_0$ ;  $x(t) = \omega(x)$ ;  $\omega(x) \in W(x)$ ;
- $x(\tau) \notin X$  для любого  $\tau \geq 0$ ;
- существует  $\tau > 0$  такое, что  $x(\tau) = C_0$ , при этом кривая  $L$ , определенная вектор-функцией  $x(t)$ ,  $0 < t < m$ , содержит внутри себя  $x_0$  и  $x(t)$  и удовлетворяет заданной ориентации движения процесса;
- для любого  $(x) \in L$  происходит изменение  $v(x, \varphi) = 0$ .

Для заданных условий  $C_0$  – начало локализации,  $\omega(x, \varphi)$  – максимально возможная скорость локализации из заданной точки  $x$  в направлении  $\varphi$ .

Задача оптимального локализационного управления может быть сформулирована в следующем виде: найти  $\min_{L \in \{L\}} F(L)$  при параметрах

$\{x_i\}$ ,  $C_0$ ,  $W(x)$ , где  $F$  – некоторый числовой критерий на множестве локализованных кривых  $\{L\}$ .

Собственно решение этой задачи требует:

- установить существование решения, т. е. вектор-функцию  $x(t)$ , удовлетворяющую вышеуказанным условиям;
- выделить некоторое подмножество, в котором может содержаться большинство оптимальных по заданным функциям решений;
- в выделенном подмножестве найти оптимальное решение.

В качестве исходных целесообразно принять следующие параметры:  $n$  – число локализационных кривых;  $C_0, \dots, C_n$  – начальные точки локализационных кривых;  $\tau_1, \dots, \tau_n$  – начальные моменты локализации;  $W_1(x), \dots, W_n(x)$  – максимально допустимые скорости локализации;  $\{G\}$  – множество ориентированных графов с числом вершин  $n$ . И, бесспорно, решение проблемы локализационного управления требует принятия критерия оптимизации, в качестве которого используют:

$$F_n = \min_{G \in \{L\}} G \text{ – наименьшее число локализационных кривых;}$$

$$F_\tau = \min_{G \in \{L\}} \tau(L) \text{ – наименьшее время локализации;}$$

$$F_s = \min_{L \in \{L\}} S(L) \text{ – наименьшая площадь локализационного процесса.}$$

Наиболее характерным для большинства процессов распространения любых веществ и потенциалов является переход по нормали (рис. 7.1 а), что определяет возможность поиска локализационных кривых с контурами равномерно расширяющейся окружности.

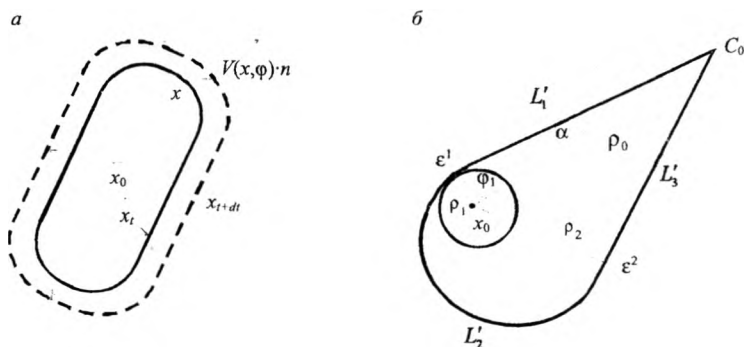


Рис. 7.1. Схема развития контуров кривых распространения негативных процессов (а) и взаимосвязи основных параметров локализационных кривых (б)

Расчетные параметры для данной схемы принимаем в виде

$$\rho = \rho(\varphi); \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2]; t \in [\tau^1, \tau^2]. \quad (7.23)$$

Тогда из условия, что для всех  $t$  все точки функции, соответствующей  $L$ , лежат на контуре процесса распространения  $Z(x, t) = 0$ , имеем:

$$\rho(u) = t \cdot v(u); \frac{\partial z}{\partial t} + v_u(x, u) \cdot |d \operatorname{grad} Z| = 0. \quad (7.24)$$

После преобразований получаем дифференциальное уравнение вида

$$\rho'(u) = \rho(\varphi) \frac{\alpha + \beta \sqrt{\alpha^2 - \beta^2 + 1}}{1 - \beta^2}, \quad (7.25)$$

где  $\alpha = \alpha(\varphi) = \frac{v'(\varphi)}{v(\varphi)}$ ;  $\beta = \beta(\varphi) = \frac{v(\varphi)}{\omega}$ , с решением

$$\rho(\varphi) = \rho(\varphi_1) \exp \left( \int_{\varphi_1}^{\varphi} f(z) \cdot dz \right) = \rho_1 \cdot \ell^{F(\varphi)}. \quad (7.26)$$

Очевидно, что особенности поиска оптимальной локализационной кривой будут связаны с выбором критерия оптимизации.

Для критерия  $F_n$  соответственно имеем, что число  $n$  заранее не фиксировано. Каждый граф из  $\{G\}$  может быть записан в виде схемы следования локализационных кривых:

$$(\delta_1, \dots, \delta_k, \dots) \text{ и } (\delta_1, \dots, \delta_k, \dots, \delta_{n-1}, \dots, \delta_n), \quad (7.27)$$

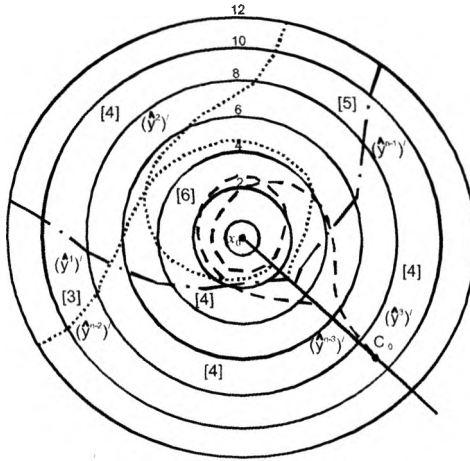
где  $\delta_1 = 1$  соответствует движению по часовой, а  $\delta_i = -1$  – против часовой стрелки. Осуществляя индуктивное построение процесса распространения  $(\hat{y}^S)'$  по определенным значениям ориентации  $\delta_{S+1} = 1$ , получаем множество точек, лежащих на внешней границе локализационной кривой, принадлежащей множеству  $(\hat{y}^S)'$  и удовлетворяющей исходным четырем условиям.

Рассмотрим поиск локализационной кривой для случая равномерно расширяющегося контура проявления негативного процесса. На рис. 7.2 показаны схемы контуров и границы множеств допустимости  $(\hat{y}^S)'$  процессов распространения большинства негативных процессов, а также наименьшее число локализационных кривых для сопряженных зон.

Так как  $(\hat{y}^S)'$  должна включать в себя только те точки, которые могут быть достигнуты при использовании не менее  $S$  локализационных кривых  $(L_1, L_2, L_s)$ , удовлетворяющих расчетной схеме следования, то оптимальное решение будет определяться достижением условия  $c_0 \in (\hat{y}^S)'$ , где  $P$  – число локализационных кривых и

$$P = \min(i(x) + j(x), i(c_0), j(c_0)); \quad (7.28)$$

$$i(c_0) = p_1; j(c_0) = p_2.$$



**Рис. 7.2. Контуры процесса распространения  $x_t = 2, 4, 6$  и границы множеств допустимости  $(\hat{y}^s)'$  и  $(\hat{y}^{n-s})'$  для первой  $(1, 1, \dots)$ , второй  $(-1, -1, \dots)$  и третьей  $(1, 1, \dots, -1, -1)$  схем следования и наименьшее число локализационных кривых [32]**

На рис. 7.3 представлены локализационные кривые по принятым критериям оптимизации  $F_n$ ,  $F_t$  и  $F_s$ . Следует отметить, что число локализационных кривых для всех критериев оптимизации может быть от 4 до 6. Однако это характерно только для типовых схем следования  $(1, 1, 1, \dots)$  и  $(\dots, -1, -1)$ . Для схемы следования  $(1, 1, -1)$  число кривых не превышает 3-х, но для них существует общая обязательная площадь прохождения (на рис. 7.3 заштрихована).

Для поиска локализационной кривой по критерию наименьшего времени локализации ( $F_t$  и фиксировано, схема следования  $(\delta_1, \dots, \delta_k, \dots, \delta_n)$ ) и для всех процессов распространения, введя дополнительные ограничения

$$\left. \begin{aligned} T_s(x) &\leq \tau \text{ для } \delta_s = 1; \\ \hat{T}_s(x) &\leq \tau \text{ для } \delta_s = -1 \end{aligned} \right\} \quad (7.29)$$

целесообразно использовать метод последовательных приближений, положив  $\tau' = \max \tau_i$ . На рис. 7.3 показана локализационная кривая  $F_t$  для случая  $L_i \in \{L\}$   $\tau^2 - \tau^1 < 0,5$ .

Что касается поиска локализационной кривой по критерию наименьшей площади локализуемого процесса ( $F_s$ ), то здесь условия по  $n$  и схеме следования аналогичны, как и для  $F_t$ , но траектория

поиска должна обладать свойством граничности, т. е.  $C_0 \notin \bigcup_{i=1}^{n-1} (y)^i$  при  $C_{n-1} \in (\hat{y}^{n-1})^i$ . На рис. 7.3 показана локализационная кривая по критерию  $F$ , для схемы следования (1, 1, 1).

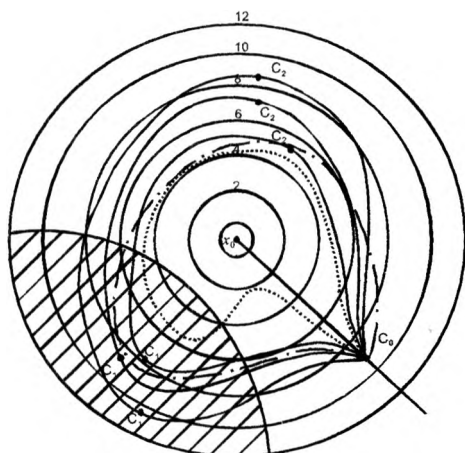


Рис. 7.3. Локализационные кривые по критериям оптимизации  $F_n$  (-),  $F_\tau$  (- -) и  $F_s$  (.....)

Следует отметить, что не для всех процессов может быть принята схема распространения по нормали. Распространение некоторых процессов может быть описано только через элементарные источники, т. е. путем построения огибающей к элементарным множествам (рис. 7.4).

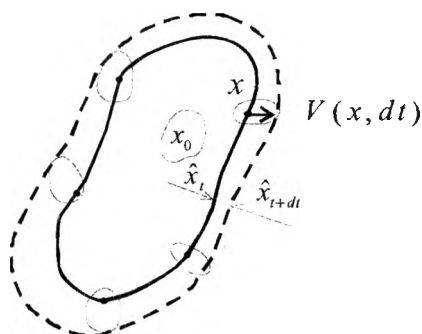


Рис. 7.4. Схемы развития контуров кривых распространения процессов по огибающим к элементарным множествам

Вместе с тем для некоторых процессов локализационная кривая может не удовлетворять условиям замкнутости (рис. 7.5, а), начальная точка может не являться конечной точкой оптимальной локализации иной кривой (рис. 7.5, б) или появляется угловая точка, связанная с взаимопроникновением контуров (рис. 7.5, в).

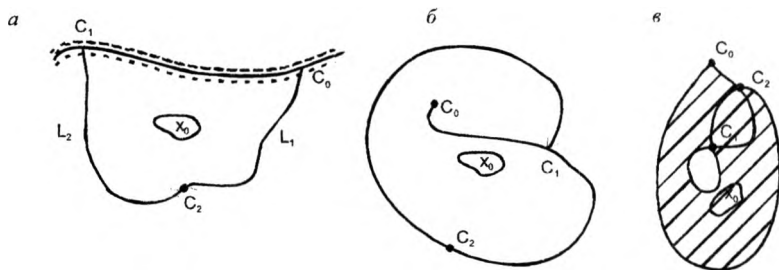


Рис. 7.5. Особые случаи поиска оптимальных локализационных кривых

Преодолеть эти проблемы можно, используя метод перехода между точками, позволяющий для любых двух точек плоскости  $x$  и  $y$  определять время перехода в виде [8]

$$T(x, y) = \min_{L \in \{L(x, y)\}} T_L(x, y), \quad (7.30)$$

где  $\{L(x, y)\}$  – множество гладких кривых, соединяющих точки  $x$  и  $y$ .

Поставив в соответствие каждому  $x$  множество точек

$$v(x, y) = \left\{ y(\rho(x, y) \leq \frac{1}{\tau(x, y)}) \right\}, \quad (7.31)$$

методами динамического программирования определяется траектория локализационной кривой, для которой выполняется равенство

$$T(L, x, y) = T(x, y). \quad (7.32)$$

Рассмотрим задачу локализационного управления процессом распространения загрязнения подземных вод локальным источником загрязнения (очистные сооружения в аварийном состоянии). В качестве критерия оптимизации примем наименьшее время локализации ( $F_\tau$ ). Условия формирования локализационной кривой – контуры равномерно расширяющейся окружности без граничных условий с переходом процесса по нормали.

$$\text{Имеем } \tau^1 = \rho, \quad \sin \varphi = \frac{\omega}{\sqrt{1 + \omega^2}}; \quad \text{tg } \alpha = \frac{1}{\omega}.$$

Для  $\varphi > \varphi_1$   $\rho(\varphi) = a \cdot \ell^{y\varphi}$ , где  $y = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 - 1}}$ ;  $a = \frac{\rho_1}{\ell^{y\varphi_1}}$ .

Критерий оптимизации определяет необходимость выполнения неравенства  $\rho(2\pi) \leq \rho_0$ .

Тогда для  $I(x) = 1$ ,  $\omega = 4$ ,  $\rho_0 = 10$  соответственно имеем:

$$\tau^1 = \rho_1 = 2,4; \varphi_1 = 1,33; \alpha = 0,24; y = 0,258; a = 1,74$$

$$\tau^2 = \rho(\varphi_2) = 7,7; \varphi_2 = 5,76; \rho_2 = 4,9; \tau' \approx 8,9.$$

Расчеты показывают, что для равномерно расширяющегося со скоростью 1 м в сутки источника загрязнения при скорости окружения 4 м в сутки локализовать его в зоне шириной до 10 м удастся только на девятые сутки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Интенсификация хозяйственной деятельности и, соответственно, технологическое усложнение схем функционирования водохозяйственных объектов и систем ЖКХ достигли к настоящему времени такого уровня, что детерминистское описание причинной обусловленности всех процессов оказалось несоответствующим действительности. Всегда имеется элемент случайности, который может привести к возникновению нежелательных ситуаций, в том числе и чрезвычайных.

Поскольку обеспечить абсолютную безопасность населения и территорий от чрезвычайных ситуаций в процессе хозяйственной деятельности нельзя, то следует стремиться к достижению такого уровня риска от этих опасностей, который можно было бы рассматривать как приемлемый. Отсюда решение экологических проблем должно базироваться на:

- альтернативных вариантах их решения (структурная перестройка экономики, изменение экспортной политики, конверсия и др.);
- развитии малоотходных и ресурсосберегающих технологий, технологических изменениях в работе функционирующих объектов;
- прямых природоохранных мероприятиях (строительство очистных сооружений, фильтров, создание природоохранных территорий, рекультивация и т. д.).

Что же касается управления риском, то его можно подразделить на два самостоятельных процесса:

- регулирование риска – процесс надзора и контроля за источником опасности, наблюдение за состоянием окружающей человека среды и ее изменениями под влиянием его деятельности, своевременное выявление тенденций изменения, проверка выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, оздоровлению окружающей среды, соблюдению требований природоохранного законодательства и нормативов качества окружающей среды (этот процесс осуществляется специально уполномоченными государственными органами);
- оптимизация затрат на защиту – процесс снижения риска с целью достижения такого его уровня, который является разумным исходя из практических соображений. Он должен быть основан на общепринятом в любой сфере жизнедеятельности принципе, который применительно к данному случаю требует достижения такого низкого уровня риска, какой достижим с точки зрения экономических и социальных факторов.



Все указанное выше определило актуализацию государственной политики в сторону решения задач по предупреждению чрезвычайных ситуаций, направленных на максимально возможное уменьшение риска их возникновения, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, к основным задачам государственной стратегии относят следующие:

1) сосредоточить внимание государственных структур всех уровней, предпринимателей и общественных организаций на необходимости создания национального партнерства в поддержании безопасного развития нашего общества и государства и обеспечении жизненно важных интересов в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций;

2) консолидировать силы и средства общества и государства для обеспечения жизненно важных интересов в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций;

3) обеспечить государственный контроль за состоянием природной, техногенной и экологической безопасности для своевременного снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций;

4) обеспечить организацию защиты населения и природной среды от чрезвычайных ситуаций и уменьшить их последствия;

5) разработать действенные меры по управлению риском и оценке эффективности принимаемых решений в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций;

6) обеспечить подготовку специалистов в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций;

7) обеспечить образование и воспитание населения в области снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций, а также своевременное информирование о средствах и методах защиты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Альбом схем, определяющих последовательность действий при осуществлении инвестиционного проекта в строительстве, раскрывающих основные стадии этого процесса / Минстройархитектуры Респ. Беларусь, РУП «Белстройцентр» – Минск: РУП «Белстройцентр», 2018. – 50 с.
2. *Баженов, В. В.* Задачи управления локализацией процессов распространения на плоскости / В. В. Баженов // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. – 1980. – № 3. – С. 64–72.
3. *Бланк, И. А.* Управление финансовыми ресурсами / И. А. Бланк. – М.: Изд-во «Омега-Л»: ООО «Эльга», 2011. – 768 с.
4. Брошюра об Инвестиционном фонде НЕФКО / Nordic Environment Finance Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nefco.org/news-media/publications-reports/broshyura/broshyura-ob-investicionnom-fonde-nefko>. – Дата доступа: 01.12.2017.
5. *Бурлибаев, М. Ж.* Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Алматы: Каганат, 2003. – 532 с.
6. Взаимодействие с Европейским банком реконструкции и развития / М-во экономики Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.economy.gov.by/printv/ru/vzaimod\\_s\\_ebrt-ru](https://www.economy.gov.by/printv/ru/vzaimod_s_ebrt-ru). – Дата доступа: 23.03.2019.
7. *Волчек, А. А.* К проблемам моделирования динамики развития и локализации экологических последствий / А. А. Волчек, П. В. Шведовский // Вестн. БГТУ. Сер. 2. – 2002. – № 2(14). – С. 45–46.
8. *Волчек, А. А.* Математические модели в природопользовании / А. А. Волчек, П. В. Шведовский, Л. В. Образцов. – Минск: БГУ, 2002. – 281 с.
9. *Волчек, А. А.* Состояние и перспективы совместной деятельности Западной и Восточной Европы в сфере водной политики по бассейну реки Западный Буг / А. А. Волчек, П. В. Шведовский // Международные аспекты водного законодательства. – М.: Изд. Гос. Думы, 2015. – С. 64–73.
10. *Гончаров, В. И.* Инвестиционное проектирование / В. И. Гончаров. – Минск: Совр. шк., 2010. – 320 с.
11. *Графкина, М. В.* Оценка экологической безопасности очистных сооружений поверхностных сточных вод на этапе рассмотрения проектной документации / М. В. Графкина, Е. В. Тарасова // Вестн. МГСУ. – 2010. – № 1.

12. *Гурман, В. И.* Моделирование процессов в природно-экономических системах / В. И. Гурман. – Новосибирск: Наука, 1982. – 175 с.
13. *Ерашенко, Е. И.* Разновидности товарной продукции малых и средних строительных предприятий / Е. И. Ерашенко // Управление международным маркетингом на малых и средних предприятиях: сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. / БрГТУ; науч. ред. А. И. Рубахов. – Брест, 2000. – Ч. 1. – С. 219–222.
14. *Золотогоров, В. Г.* Инвестиционное проектирование / В. Г. Золотогоров. – Минск: Книжн. дом, 2005. – С. 52; [*Пример, М. И.* Экономическая оценка инвестиций / М. И. Ример, А. Д. Касатов, Н. Н. Матиенко; под общ. ред. М. И. Римера. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2008. – 480 с.]
15. *Ивченко, Б. П.* Информационная экология / Б. П. Ивченко, Л. А. Мартыщенко. – СПб.: Нордметиздат, 1998. – 201 с.
16. *Ивченко, Б. П.* Теоретико-информационные методы анализа и статистической интерпретации результатов экологического мониторинга / Б. П. Ивченко, Л. А. Мартыщенко // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Экология и развитие Северо-запада России». – СПб., 1998. – С. 39–47.
17. *Калинин, М. Ю.* Водные ресурсы как фактор устойчивого развития государств / М. Ю. Калинин // Природопользование. – Минск, 1995. – Вып. 5. – С. 3–8.
18. *Калинин, М. Ю.* Чрезвычайные ситуации и их последствия: мониторинг, оценка, прогноз и предупреждение / М. Ю. Калинин, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Минск: Белсэнс, 2010. – 275 с.
19. *Кокс, Д. Р.* Анализ данных типа времени жизни / Д. Р. Кокс. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 189 с.
20. *Кротов, В. Ф.* Методы и задачи оптимального управления / В. Ф. Кротов, В. И. Гурман. – М.: Наука, 1973. – 309 с.
21. *Ларсон, Э. У.* Управление проектами: учебник: пер. с англ. / Э. У. Ларсон, К. Ф. Грей; [пер. В. В. Дедюхин]. – 5-е изд., перераб. – М.: Изд-во «Дело и Сервис», 2013. – С. 552.
22. *Лукша, В. В.* Особенности математического регулирования скачков в развитии экологических систем и процессов / В. В. Лукша, П. В. Шведовский // Вестн. БГТУ. Сер. 2. – 2001. – № 2(8). – С. 28–31.
23. *Мешенгиссер, Ю. М.* Управление процессом строительства и реконструкции объектов водопроводно-канализационного хозяйства / Ю. М. Мешенгиссер, А. И. Щетинин // Водоснабжение и санитарная техника [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vstmag.ru/ru/archives-all/2010/2010-11/931-upravlenije-processom-stroitelstva>.
24. *Никифоров, И. В.* Последовательное обнаружение изменений свойств временных рядов / И. В. Никифоров. – М.: Наука, 1983. – 198 с.

25. О ЕБРР. Наши инвестиции меняют людей / Европейский банк реконструкции и развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ebrd.com>. – Дата доступа: 01.04.2016.

26. О мерах по совершенствованию строительной деятельности [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 14 янв. 2014 г., № 26: в ред. Указа от 10.12.2018 // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Республики Беларусь. – Минск, 2019.

27. О ратификации Рамочного соглашения между Республикой Беларусь и Северной экологической финансовой корпорацией: Закон Респ. Беларусь, 6 июля 2015 г., № 279-3 / Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – 09.07.2015. – № 2/2277.

28. Об архитектурной, градостроительной и строительной деятельности в Республике Беларусь [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 5 июля 2004 г., № 300-3: в ред. Закона от 18.07.2016 // ЭТАЛОН-ONLINE / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2019.

29. *Пэнтл, Л.* Методы и системы окружающей среды: пер. с англ. / Л. Пэнтл. – М.: Мир, 1979. – 389 с.

30. *Райфа, Г.* Анализ решений. Введение в проблему выбора в условиях неопределенности / Г. Райфа. – М.: Наука, 1970. – 402 с.

31. Расширение для строительной отрасли к третьему изданию Руководства к своду знаний по управлению проектами (Руководства РМВОК). – М.: Олимп-Бизнес, 2015. – 232 с.

32. Регионы Республики Беларусь. Основные социально-экономические показатели городов и районов, 2018: стат. сб. – Минск: Нац. стат. комитет, 2018. – Т. 2. – С. 67.

33. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК). – 6-е изд. – М.: Олимп-Бизнес, 2019. – 792 с.

34. Северная экологическая финансовая корпорация / М-во экономики Респ. Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://economy.gov.by/printv/NEFCO-ru/>. – Дата доступа: 10.07.2018.

35. СНБ 1.04.01-04 Основные требования к техническому состоянию и обслуживанию строительных конструкций и инженерных систем. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2004. – 29 с.

36. *Срывкина, Л. Г.* Информационная поддержка принятия решений при оперативном планировании строительного производства / Л. Г. Срывкина, Е. И. Кисель // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации: сб. ст. междунар. науч. конф., Новополоцк, 5–6 апр. 2018 г. [Электронный ресурс] / Полоц. гос. ун-т; под ред. А. А. Бакатовича, Л. М. Парфеновой. – Новополоцк, 2018. – Режим доступа: [elib.psu.by:8080/handle/1123456789/22236](http://elib.psu.by:8080/handle/1123456789/22236).

37. СТБ 2529-2018. Строительство. Управление инвестиционными проектами. Основные положения. – Введ. 01.12.2018. – Минск: Госстандарт, 2018. – 61 с.
38. СТБ ISO 21500-2015. Руководство по менеджменту проекта. – Введ. 01.03.2016. – Минск: Госстандарт, 2016. – 33 с.
39. ТКП 45-1.02-298-2014. Строительство. Предпроектная (предынвестиционная) документация. Состав, порядок разработки и утверждения. – Введ. 20.07.2014. – Минск: Минстройархитектуры, 2018. – 52 с.
40. ТКП 45-1.04-208-2010(02250). Здания и сооружения. Техническое состояние и обслуживание строительных конструкций и инженерных систем, оценка их пригодности к эксплуатации. Основные требования. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 23 с.
41. ТКП 45-1.04-305-2016. Техническое состояние и техническое обслуживание зданий и сооружений. Основные требования. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2017. – 107 с.
42. Управление проектами / И. И. Мазур [и др.]; под общ. ред. И. И. Мазура, В. Д. Шапиро. – 10-е изд., стер. – М.: Изд-во «Омега-Л», 2014. – 960 с.
43. Финансирование с участием ЕБРР/ Европ. банк реконструкции и развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ebrd.com>. – Дата доступа: 01.09.2016.
44. Финансовый менеджмент: прикладной аспект / А. О. Левкович [и др.]; под ред. А. О. Левковича. – Минск: Элайда, 2008. – 578 с.
45. Шведовский, П. В. Проблемы формирования критических ситуаций приемлемости риска в функционировании техногенных систем / П. В. Шведовский, А. А. Волчек, В. П. Якимук // Доклады II МКПК «Чрезвычайные ситуации: предупреждения и ликвидация». – Минск: БГУ, 2003. – С. 147–149.
46. Fact sheet on the identification of priority investment projects to reduce nutrient pollution from Belarus to the Baltic Sea / Nordic Environment Finance Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nefco.org/news-media/publications-reports/studyassessment/fact-sheet-identification-priority-investment>. – Дата доступа: 20.03.2019.
47. NEFCO in numbers / Nordic Environment Finance Corporation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nefco.org/who-we-are/nefco-numbers>. – Дата доступа: 20.03.2019.
48. Wu, S. An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models / S. Wu, J. Li, G. Huang // Environmental Modeling and Assessment. – 2005. – Vol. 10. – P. 33–42.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>Глава 1. ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ РАЗВИТИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ</b> .....	5
<b>Глава 2. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ЗАПАДНОМ ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ</b> .....	19
2.1. Особенности оценки потребности в инвестициях .....	19
2.2. Программа приоритетных инвестиций .....	26
2.3. Финансирование программы приоритетных инвестиций .....	31
2.4. Интегрированная система менеджмента и ее влияние на эффективность инвестиционно-строительных проектов .....	38
2.4.1. Особенности управления инвестиционными проектами ....	38
2.4.2. Формирование этапов менеджмента окружающей среды ....	43
2.4.3. Определение направлений снижения воздействий строительной деятельности на окружающую среду.....	45
2.4.4. Организационные мероприятия по внедрению стандарта СТБ ISO 14001-2017.....	48
2.4.5. Объекты водоснабжения и водоотведения как пример реализации экологической политики на стадии эксплуатации.....	51
<b>Глава 3. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ЗАПАДНОМ ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ</b> .....	54
3.1. Общие принципы управления инвестиционной программой.....	54
3.2. Процесс закупок и реализации программы .....	58
3.3. Оперативное управление ходом работ по проекту .....	68
<b>Глава 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В ЗАПАДНОМ ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ</b> .....	74
4.1. Классификация водохозяйственных объектов по вероятности возникновения аварийных ситуаций .....	74
4.2. Результаты обследования водохозяйственных объектов .....	76
4.3. Анализ результатов обследования .....	91

---

<b>Глава 5. ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ И ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ РИСКОВ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ</b> .....	100
5.1. Организация процесса управления рисками эксплуатации проектов по строительству и эксплуатации объектов водоснабжения и водоотведения .....	100
5.2. Оценка риска функционирования водохозяйственных систем и объектов .....	104
5.3. Концепция приемлемого риска .....	118
<b>Глава 6. ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗОВ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ И ОБЪЕКТОВ</b> .....	128
6.1. Особенности прогноза вероятности возникновения техногенных аварий .....	128
6.2. Особенности прогнозов экологической надежности систем и объектов .....	134
6.3. Особенности прогноза оптимизации сроков реализации мероприятий по поддержанию экобезопасности .....	140
6.4. Особенности оценки изменения уровня экологической надежности объектов и систем .....	143
6.5. Особенности оценки вероятности оптимального функционирования систем .....	146
6.6. Особенности оптимизации экологической надежности систем ...	148
<b>Глава 7. РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ НЕГАТИВНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ЛОКАЛИЗАЦИЯ</b> .....	154
7.1. Особенности разработки прогнозных моделей загрязнения среды .....	154
7.2. Особенности оптимального локализационного управления чрезвычайными ситуациями .....	161
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	168
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	170

Научное издание

**Волчек Александр Александрович**  
**Образцов Леонид Владимирович**  
**Шведовский Петр Владимирович**

**ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
МОДЕРНИЗАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ОБЪЕКТОВ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА В ЗАПАДНОМ  
ТРАНСГРАНИЧНОМ РЕГИОНЕ БЕЛАРУСИ**

Редактор *Н. В. Боярова*  
Компьютерная верстка *Т. В. Лукашонок*

Подписано в печать 15.01.2020. Формат 60×84/16.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 11,61. Тираж 50 экз. Заказ 2.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
государственное учреждение образования  
«Республиканский институт высшей школы».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/174 от 12.02.2014.  
Ул. Московская, 15, 220007, г. Минск.