ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 72159— 2025

Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов

УЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНЫХ РУСЕЛ И БЕРЕГОВ ВОДОЕМОВ В ЗОНЕ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Институт по проектированию магистральных трубопроводов» (АО «Гипротрубопровод») и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственный гидрологический институт» (ФГБУ «ГГИ»)

2 ВНЕСЕН Подкомитетом ПК 7 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов» Технического комитета по стандартизации ТК 023 «Нефтяная и газовая промышленность»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 июня 2025 г. № 587-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Сокращения 6
5 Общие положения 6
6 Описание и основные характеристики типов руслового процесса и речных пойм 8
7 Способы и методы прокладки трубопроводов через реки в зависимости от типа руслового процесса речного русла 9
8 Методика выбора участков пересечения рек магистральными нефтепроводами и створов подводных переходов магистральных трубопроводов через реки 9
8.1 Траншейный способ 9
8.2 Бестраншейные методы строительства переходов 11
9 Оценка характеристик транспорта наносов и деформаций русел и пойм рек при разных способах и методах прокладки трубопроводов 13
9.1 Расчеты подвижности руслового аллювиального материала, характеристик русловых микроформ и расхода донных наносов 13
9.2 Прогнозирование скорости перемещения затопляемых мезоформ речного русла или их фрагментов 17
9.3 Прогнозирование плановых деформаций русла 18
10 Методы построения профилей предельного размыва русел равнинных рек при траншейном способе прокладки подводного перехода трубопровода 20
10.1 Общие положения 20
10.2 Расчет циклических деформаций дна, обусловленных формированием и движением гряд (микроформ) 21
10.3 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса 21
10.4 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при ограниченном меандрировании 23
10.5 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при свободном и незавершенном меандрировании 24
10.6 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при русловой и пойменной многорукавности 26
10.7 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва русел рек при доминировании ограничивающего фактора руслового процесса 26
10.8 Учет инженерно-геологического строения долины реки при построении прогнозируемого профиля предельного размыва русла для всех типов руслового процесса 27
11 Метод построения профиля предельного размыва русел горно-предгорных рек при траншейном способе прокладки перехода магистрального нефтепровода 27
12 Методы построения профиля предельного размыва русел равнинных и горно-предгорных рек при прокладке перехода магистральных нефтепроводов бестраншейными методами 29
12.1 Общие положения 29
12.2 Этапы построения профиля предельного размыва русла 30
12.3 Определение ориентировочных значений параметров ППР русла 30
12.4 Определение значений параметров профиля предельного размыва русла для морфологически однородного участка реки и для конкретного створа перехода 31
13 Оценка заносимости подводных траншей на этапе ее разработки при строительстве подводных переходов 34
13.1 Проектно-технологические задачи 34
13.2 Расчетные методы определения заносимости траншей 34
13.3 Натурные методы определения заносимости траншей 35
13.4 Примеры решения проектно-технологических задач по учету заносимости подводной траншеи 39

14 Учет деформаций берегов при проектировании подводных переходов магистральных трубопроводов через водоемы (озера и водохранилища) 42
14.1 Общие положения 42
14.2 Выбор участка и створа подводного перехода. 42
14.3 Прогноз переформирований берега 43
14.4 Установление профиля устойчивой береговой отмели и определение предельного смещения линии берега. 45
14.5 Определение размера смещения линии берега на заданный срок 47
14.6 Обратимые высотные деформации в приурезовой зоне береговой отмели 48
14.7 Высотные деформации центральной и внешней частей береговой отмели. 49
14.8 Построение профиля предельных деформаций 50
15 Рекомендации по методам защиты МН в пределах подводного перехода 51
Приложение А (обязательное) Классификация инженерных сооружений и мероприятий по характеру их взаимодействия с русловым процессом 54
Приложение Б (обязательное) Классификация типов руслового процесса 57
Приложение В (рекомендуемое) Методика расчета параметров зон распространения технологической мутности и заиления дна при земляных работах на подводных переходах через реки, в том числе при строительстве протяженных магистральных трубопроводов. 65
Приложение Г (рекомендуемое) Учет деформаций речных русел на подводных переходах трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов и деформаций, обусловленных ледовыми явлениями в зимний период. 80
Библиография 83

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов

УЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ РЕЧНЫХ РУСЕЛ И БЕРЕГОВ ВОДОЕМОВ В ЗОНЕ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Trunk pipeline transport of oil and oil products. Accounting for deformations of river courses and water beans in the zone of underwater crossings of main pipelines

Дата введения — 2025—10—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт применяют при определении расчетных характеристик деформаций речных русел и берегов водоемов суши при проектировании подводных переходов.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на подводные переходы магистральных трубопроводов для транспортировки нефти и нефтепродуктов.

1.3 Настоящий стандарт разработан в целях обеспечения требований Технического регламента [1].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 19179 Гидрология суши. Термины и определения

ГОСТ 25100 Грунты. Классификация

ГОСТ 32804 (EN 13251:2000) Материалы геосинтетические для фундаментов, опор и земляных работ. Общие технические требования

ГОСТ Р 51858 Нефть. Общие технические условия

ГОСТ Р 59287 Изделия из панелей для габионных конструкций. Технические условия

СП 36.13330.2012 «СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы»

СП 38.13330 «СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)»

СП 47.13330.2016 «СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»

СП 104.13330 «СНиП 2.06.15-85 Инженерная защита территории от затопления и подтопления»

СП 116.13330 «СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»

СП 446.1325800 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ

СП 482.1325800.2020 Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ

СП 529.1325800 Определение основных расчетных гидрологических характеристик

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил) в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию

Издание официальное

этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

водная преграда: Водоток или водоем, пересекаемый линейной частью магистрального трубопровода.

Примечания

1 В соответствии с ГОСТ 19179 водотоки подразделяются на постоянные, течение воды в которых наблюдается в течение всего года или большей его части, и временные, течение воды в которых наблюдается в меньшую часть года, — перемерзающие и/или пересыхающие.

2 Водные преграды являются одним из видов естественных или искусственных препятствий.

[ГОСТ 35070—2024, пункт 3.5]

3.2

гидравлическая крупность: Скорость равномерного падения твердых частиц в неподвижной воде.

[ГОСТ 19179—73, статья 157]

3.3 **гидроморфологическое обследование подводного перехода:** Оценка морфологического состояния речного русла в пределах технического коридора подводного перехода[1)].

3.4 **гидроморфологический анализ:** Комплекс приемов изучения результатов инженерно-гидрометеорологических изысканий и иных материалов, характеризующих морфологическое строение дна долины, поймы и речного русла с целью выявления форм и закономерностей проявления русловых процессов.

3.5 **гривы:** Невысокие узкие линейно вытянутые возвышенности на речной пойме различного происхождения.

3.6

грунт: Любая горная порода, почва и техногенные минеральные образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамичные системы и как часть геологической среды, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью.

[ГОСТ 25100—2020, пункт 3.3]

3.7 **гряды:** Малоинерционные, волнообразные донные структуры массового распространения в русле, соизмеримые с глубиной потока.

3.8 **плановые деформации русла:** Изменение размеров и положения в пространстве речного русла и отдельных русловых образований, связанные с переотложением наносов.

3.9 **вертикальные деформации русла:** Изменение высотных отметок речного дна, происходящее в результате движения донных наносов в различных внутрирусловых формах.

3.10

зажор: Скопления шуги с включением мелкобитого льда в русле реки, вызывающие стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды.

[ГОСТ 19179—73, статья 137]

3.11 **заносимость:** Процесс накопления наносов в акватории или ее части.

Примечание — Применительно к руслу реки понятие «заносимость» (или «обмеление») используется с учетом морфологии его дна, например: заносимость плеса, заносимость траншеи.

[1)] Проводят в рамках периодических регламентных технических обследований переходов.

3.12

излучина реки: Участок извилистого речного русла между двумя смежными точками перегиба его осевой линии.

[ГОСТ 19179—73, статья 170]

3.13

магистральный трубопровод (для транспортировки нефти и нефтепродуктов): Единый производственно-технологический комплекс, предназначенный для транспортировки подготовленной нефти и нефтепродуктов от пунктов приема до пунктов сдачи потребителям или перевалки их на автомобильный, железнодорожный или водный виды транспорта, состоящий из конструктивно и технологически взаимосвязанных объектов, включая сооружения и здания, используемые для целей обслуживания и управления объектами магистрального трубопровода.

Примечание — Под подготовленной нефтью понимается природная смесь углеводородов и растворенных в них неуглеводородных компонентов, находящихся в жидком состоянии, соответствующая требованиям ГОСТ Р 51858.

[ГОСТ Р 57512—2017, статья 2]

3.14 **макроформа:** Крупное речное морфологическое образование, включающее в себя пойменный массив и огибающее его русло и определяющее тип руслового процесса на участке.

3.15

меандрирование: Закономерные плановые деформации речных излучин, возникающие в результате взаимодействия русла с речным потоком.

[ГОСТ 19179—73, статья 172]

Примечание — Различают ограниченное, свободное и незавершенное меандрирование.

3.16 **мезоформа:** Крупное грядообразное скопление речных донных наносов в руслах рек, соизмеримое с шириной русла и определяющее его морфологическое строение.

3.17 **меженное русло горной реки:** Наиболее пониженная часть паводочного русла горной реки, по которой осуществляется сток воды в межпаводочные периоды при среднемноголетнем горизонте летне-осенней межени.

3.18 **микроформы:** Мелкие, малоинерционные, массовые песчаные или гравийно-галечные образования — гряды на дне рек, соизмеримые с глубиной потока, определяющие шероховатость русла и выражающие расход донных наносов.

3.19 **морфологически однородный участок речного русла:** Протяженный участок речного русла, в пределах которого тип крупных русловых форм и характер руслового процесса не претерпевают существенных изменений.

3.20 **наилок:** Слой отложения речных, как правило, мелких наносов.

3.21 **паводочное русло горной реки:** Часть долины горной реки, систематически затапливаемая среднемноголетними паводками и лишенная растительности, в пределах которой ежегодно во время паводков поддерживается процесс переотложения речных наносов[1)].

3.22

перекат: Характерная для равнинных рек форма донного рельефа, сформированная отложениями наносов, обычно в виде широкой груды, пересекающей русло под углом к общему направлению течения, вызывающая отклонение его от одного берега к другому.

[ГОСТ 19179—73, статья 168]

3.23

переход (магистрального трубопровода) через малый водоток [водоем]: Участок магистрального трубопровода, проложенный через водную преграду шириной менее 25 м при глубине менее 1,5 м или шириной менее 10 м независимо от глубины.

Примечание — Ширина и глубина водной преграды определяются в створе перехода по горизонту воды летне-осенней межени. Глубина принимается по наибольшей величине.

[ГОСТ 35070—2024, пункт 3.48]

[1)] По этому признаку границы паводочного русла однозначно опознаются на аэро- или космических снимках.

3.24

плес: Глубоководный участок реки, находящийся обычно между перекатами.
[ГОСТ 19179—73, статья 169]

3.25

побочень: Гребневая часть крупной гряды, пересекающей русло, обычно затопляемая в половодье и обсыхающая в прибреговой части в межень.
[ГОСТ 19179—73, статья 174]

3.26

подводный переход (магистрального трубопровода): Участок магистрального трубопровода, проложенный с заглублением в дно пересекаемой водной преграды шириной по зеркалу воды в межень 10 м и более и глубиной 1,5 м и более или шириной по зеркалу воды в межень 25 м и более независимо от глубины.
[ГОСТ Р 57512—2017, статья 33]

3.27

пойма: Часть дна речной долины, сложенная наносами и периодически заливаемая в половодье и паводки.
[ГОСТ 19179—73, статья 161]

3.28 **пойма горной реки:** Часть дна долины, сложенная речным аллювием, закрепленная многолетней растительностью, незначительно возвышающаяся над паводочным руслом реки и периодически затапливаемая высокими водами.

3.29 **пояс руслоформирования многорукавных русел:** Часть дна долины, заключенная между линиями, касательными к зонам максимальных деформаций на противоположных берегах крайних проток многорукавного русла.

3.30 **пояс руслоформирования для меандрирующих русел:** Часть дна долины, заключенная между линиями, касательными к вершинам излучин на каждом из берегов меандрирующего русла.

3.31 **профиль предельного размыва русла:** Прогнозируемая линия, ограничивающая все русловые переформирования в выбранном створе подводного перехода трубопровода в течение всего срока его эксплуатации и построенная на основе проведенных инженерных изысканий, произведенных расчетов и прогнозов всех видов деформаций речного русла и поймы на заданный период времени[1)].

3.32 **профиль предельных деформаций:** Профиль предельных деформаций по створу перехода трубопровода, строящийся при прогнозировании деформаций в створе перехода трубопровода через водоем.

3.33 **река-аналог:** Река, относящаяся к такому же, как и пересекаемая трубопроводом река, гидроморфологическому типу речного русла и к типу руслового процесса, имеющая аналогичные или близкие с пересекаемой рекой морфометрические параметры и расположенная в пределах тех же ландшафтной зоны или района.

3.34

большая река: Река, бассейн которой располагается в нескольких географических зонах и гидрологический режим ее не свойственен для рек каждой географической зоны в отдельности[2)].

Примечание — К категории больших рек относятся равнинные реки, имеющие бассейн площадью более 50 000 км^2.

[ГОСТ 19179—73, статья 25]

3.35 **горная река:** Река, протекающая в слабо разработанной долине с крутыми склонами и трудноразмываемым дном, которая может иметь разный морфологический облик — от каньона до распластанного по ширине долины паводочного русла, характеризующаяся большими уклонами, незначительными глубинами, бурным течением, паводочным режимом стока воды и непостоянным, прерывистым характером транспорта галечно-валунных донных наносов.

[1)] Профиль предельного размыва речного русла показывает наибольший возможный размыв русла за заданный период. Профиль предельного размыва — это линия, за которую русло не выйдет за расчетный период (гарантийная линия).

[2)] При этом сток является транзитным в пределах отдельных географических зон, и его характеристики также часто не соответствуют рекам этих зон.

3.36

малая река: Река, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны[1)].

Примечание — К категории малых рек относятся реки, имеющие бассейн площадью не более 2000 км^2.

[ГОСТ 19179—73, статья 27]

3.37 **полугорная река:** Река, по морфологическим характеристикам долины и русла и гидравлическим характеристикам потока занимающая промежуточное положение между горной и равнинной рекой[2)].

3.38 **равнинная река:** Река, протекающая в относительно неглубокой долине, с пологими склонами, в собственных или унаследованных аллювиальных несвязных грунтах, в русле, иногда однорукавном, извилистом, с закономерным чередованием плесов и перекатов, иногда разветвленном на рукава, характеризующаяся небольшими уклонами, медленным течением и непрерывным транспортом донных наносов в течение всего года.

3.39

средняя река: Река, бассейн которой располагается в одной географической зоне[3)], и гидрологический режим ее свойственен для рек этой зоны.

Примечание — К категории средних рек относятся равнинные реки, имеющие бассейн площадью от 2000 до 50 000 км^2.

[ГОСТ 19179—73, статья 26]

3.40

русло реки: Выработанное речным потоком ложе, по которому осуществляется сток без затопления поймы.

[ГОСТ 19179—73, статья 160]

3.41

русловой процесс: Постоянно происходящие изменения морфологического строения русла водотока и поймы, обусловленные действием текущей воды.

[ГОСТ 19179—73, статья 162]

3.42

русловые деформации: Изменения размеров и положения в пространстве речного русла и отдельных русловых образований, связанные с переотложением наносов.

[ГОСТ 19179—73, статья 165]

3.43 **сооружение:** Результат строительства, представляющий собой объемную плоскостную или линейную строительную систему, имеющую наземную, надземную и (или) подземную части, состоящие из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих строительных конструкций, и предназначенную для выполнения производственных процессов различного вида, хранения продукции, временного пребывания людей, перемещения людей и грузов.

3.44 **створ перехода трубопровода:** Плановое положение и вертикальная плоскость, соответствующие проектной оси подводного перехода в пределах его границ, которые обозначены специальными знаками на обоих берегах, определяющими размещение подводного перехода.

3.45 **степень развитости излучины:** Соотношение длины излучины по средней линии русла реки в меженный период и шага излучины — расстояния между точками перегиба излучины по прямой линии.

3.46 **тальвег:** Линия наиболее низких отметок дна в поперечных сечениях русла реки.

3.47

тип руслового процесса: Определенная схема деформации русла и поймы реки, возникающая в результате определенного сочетания особенностей водного режима, стока наносов, ограничивающих деформацию условий и отражающая форму транспорта наносов.

[ГОСТ 19179—73, статья 163]

[1)] Четкой границы между средними и малыми реками, а также между малыми реками и ручьями не существует. Применительно к проектированию подводных переходов трубопроводов к категории малых рек могут быть отнесены реки шириной от 10 до 25 м при максимальной глубине более 1,5 м, пересечение которых относится к категории «подводный переход».

[2)] Участки полугорных рек наблюдаются при выходе водотока из горной зоны на равнину.

[3)] При этом сток реки формируется в условно однородных физико-географических условиях и все виды ее питания имеют характерное соотношение, свойственное данному физико-географическому району.

3.48

транспортирование нефти [нефтепродуктов]: Совокупность взаимосвязанных технологических операций по приему нефти/нефтепродуктов в пункте отправления, перекачке по магистральному трубопроводу, сдаче в пункте назначения или на перевалку (налив).

[ГОСТ 34563—2019, пункт 3.63]

3.49

трасса трубопровода: Положение оси трубопровода, определяемое на местности ее проекцией на горизонтальную и вертикальную плоскости.

[ГОСТ 34182—2017, пункт 3.59]

3.50

трубопровод (для транспортировки нефти и нефтепродуктов): Сооружение из цилиндрических труб, соединительных деталей и установленной на них трубопроводной арматуры, предназначенное для транспортировки нефти и нефтепродуктов.

[ГОСТ 35070—2024, пункт 3.77]

3.51 **фракции:** Границы частиц речных наносов, имеющих близкие размеры (гранулометрические фракции).

3.52

шуга: Всплывший на поверхность или занесенный в глубь потока внутриводный лед в виде комьев, ковров, венков и подледных скоплений.

[ГОСТ 19179—73, статья 135]

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВЛС — воздушное лазерное сканирование;
ГНБЩ — горизонтально направленное бурение щитом;
ГПМ — горная пойменная многорукавность;
ДБ — долинное блуждание;
ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли;
ИГИ — инженерно-геологические изыскания;
ИГДИ — инженерно-геодезические изыскания;
ИГМИ — инженерно-гидрометеорологические изыскания;
ИГЭ — инженерно-геологический элемент;
ЛГ — ленточно-грядовый тип руслового процесса;
МН — магистральный нефтепровод;
МТ — магистральный трубопровод;
НЗМ — незавершенное меандрирование;
ННБ — наклонно-направленное бурение;
НСМ — нерудные строительные материалы;
ОМ — ограниченное меандрирование;
ПБ — побочневый тип руслового процесса;
ПМ — пойменная многорукавность;
ПП — подводный переход;
ППР — профиль предельного размыва;
РМ — русловая многорукавность;
СМ — свободное меандрирование.

5 Общие положения

5.1 Прокладка МТ на участках ПП через водные объекты должна быть выполнена траншейным или бестраншейным способами: методами ННБ, микротоннелирования, тоннелирования с использованием щитовой проходки, «труба в трубе», надземной прокладкой (см. СП 36.13330).

5.2 Согласно классификации речных инженерных сооружений и мероприятий по характеру их взаимодействия с русловым процессом ПП трубопроводов через реки относятся к типу пассивных

сооружений (см. приложение А), не способных влиять на характеристики руслового процесса, а подверженных их влиянию. Поэтому при проектировании новых ПП МТ или их реконструкции необходимо укладывать (переукладывать) трубопровод в пределах ПП вне областей процессов руслоформирования как в плановом отношении, так и в вертикальном.

Для обеспечения надежной эксплуатации ПП трубопроводов через водные преграды при всех способах и методах их пересечения и на всех стадиях проектирования ПП (подготовки документов территориального планирования, архитектурно-строительного проектирования, строительства и реконструкции ПП) необходимо выполнять оценку характеристик руслового процесса на участке проектирования, деформаций русла водотока, деформаций дна и берегов водоемов и их прогнозирование на весь расчетный период эксплуатации ПП.

5.3 В соответствии с СП 47.13330.2016 (7.1.5) изучение процессов русловых и пойменных деформаций на реках, деформаций дна и берегов водоемов выполняется в составе ИГМИ для строительства и реконструкции переходов через водные преграды.

5.4 Прогноз плановых и вертикальных деформаций и построение профиля предельного размыва русла реки в створе перехода осуществляют на основе собранных ретроспективных материалов по переходу, материалов ИГМИ и материалов инженерно-гидрографических работ, выполняемых в составе ИГДИ.

5.5 При оценке и прогнозировании плановых и вертикальных деформаций следует учитывать материалы ИГИ на участке ПП, характеризующие инженерно-геологическое строение дна долины, поймы и русла или акватории водоема.

5.6 Для оценки фактических плановых и вертикальных деформаций на участке перехода трубопровода следует пользоваться имеющимися картографическими и топографическими материалами, данными ДЗЗ — аэрофотосъемками или космическими снимками низкого разрешения (30 м), а для установления типа руслового процесса — аэрофотоснимками или космическими снимками высокого разрешения (1—2,5 м) разных лет съемки. Для установления количественных значений плановых деформаций берегов следует пользоваться землеустроительными планами, лоцманскими картами разных лет издания, материалами гидрометрических измерений, выполняемых на гидрологических постах и станциях Росгидромета, русловыми и береговыми съемками речных бассейновых управлений пути, материалами ранее выполненных изысканий различных организаций, а также данными регулярных регламентных обследований параллельных ниток трубопроводов, проводимых в период их эксплуатации.

При необходимости детального прогноза руслового процесса для рек с активными и сложно прогнозируемыми русловыми процессами на втором этапе инженерных изысканий (для архитектурно-строительного проектирования) при подготовке проектной документации объектов капитального строительства можно проводить работы по научному сопровождению разработки проекта перехода в части развития русловых процессов по специальным программам в соответствии с СП 482.1325800.2020 (5.10.9.3, 7.1.7, 7.1.9 и 7.1.11) и СП 47.13330.2016 (7.3.2.1 и 7.3.2.2).

5.7 В сложных условиях развития плановых и вертикальных деформаций, количественная оценка которых может быть затруднена при использовании стандартных методов, следует предусматривать работы по математическому или лабораторному физическому моделированию русловых процессов. Выполнение таких работ необходимо осуществлять по отдельному заданию и программе с привлечением организаций, обладающих либо экспериментальной базой и гидравлической лабораторией, либо лицензированными математическими гидродинамическими моделями.

5.8 При назначении створа ПП или при оценке состояния существующего створа необходимо оценить влияние на ПП других существующих, строящихся, проектируемых или планируемых гидротехнических сооружений (при наличии сведений о проектировании и планировании), в том числе и ПП нефте- и нефтепродуктопроводов, расположенных как выше, так и ниже створа пересечения.

При оценке формы влияния этих гидротехнических сооружений и мероприятий на характер плановых и вертикальных деформаций на участке перехода следует руководствоваться приложением А.

Особую опасность для устойчивости дна и берегов в створе ПП представляют дноуглубительные работы для улучшения судоходных условий, разработка в русле и на пойме или в пределах акватории водоема карьеров нерудных строительных материалов, а также ремонтно-защитные строительные мероприятия на нитках трубопроводов, расположенных вблизи рассматриваемого створа.

5.9 Основным результатом прогноза плановых и вертикальных деформаций речного русла в створе перехода является ППР русла в створе перехода, а результатом прогноза плановых и высотных деформаций дна и берегов водоемов — профиль предельных деформаций, учет которых при проектировании перехода обеспечивает надежность на весь срок его эксплуатации.

Прогнозирование плановых и вертикальных деформаций русла для определения поперечного ППР русла следует выполнять на основании установленной динамики: речных макроформ (пойменных массивов речных излучин, речных проток, островов), русловых мезоформ (ленточных гряд, побочней, осередков-гряд) и русловых микроформ (грядовых форм движения донных наносов).

Прогнозирование плановых и вертикальных деформаций дна и берегов водоемов для установления профиля предельных деформаций следует выполнять на основе изучения тенденций и интенсивности абразии берегов и вертикальных деформаций дна с учетом вдольберегового транспорта донных наносов на акватории водоемов.

Прогнозирование плановых и вертикальных деформаций русла и построение поперечного ППР русла следует выполнять с учетом гидроморфологических типов речных русел и типов руслового процесса, характеристика которых приведена в приложении Б.

Кроме того, при анализе тенденций развития процессов руслоформирования на участке проектируемого перехода трубопровода следует проводить анализ возможного влияния реализованных ранее на соседних нитках трубопроводов защитных мероприятий. Этот анализ должен быть выполнен на основе материалов инженерно-гидрографических работ (актуальной русловой съемки), в которую следует включать технические коридоры всех соседних ниток трубопроводов, и материалов их регулярных регламентных обследований. При особой загруженности участка проектируемого перехода защитными мероприятиями на соседних нитках рекомендуется предусматривать работы по математическому или лабораторному физическому моделированию русловых процессов. Выполнение таких работ необходимо осуществлять по отдельному заданию и программе с привлечением организаций, обладающих либо экспериментальной базой и гидравлической лабораторией, либо лицензированными математическими гидродинамическими моделями.

Заблаговременность прогноза плановых и вертикальных деформаций на участке ПП определяют сроком его эксплуатации и устанавливают в задании на инженерные изыскания.

5.10 При проектировании ПП МТ на стадии разработки проекта организации строительства рекомендуется выполнить расчетную оценку параметров зон распространения технологической мутности при производстве земляных работ в руслах рек, учитывающую сроки строительства перехода, виды используемой землеройной техники, ее производительность, предусмотренную проектом технологию производства работ, параметры траншеи и гидрометрические характеристики водного потока в период строительства. Необходимые для этой оценки расчеты следует проводить в соответствии с методикой, представленной в приложении В.

5.11 Особенности деформаций речных русел на подводных переходах трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов в зимний период приведены в приложении Г.

6 Описание и основные характеристики типов руслового процесса и речных пойм

6.1 Прогнозирование плановых и вертикальных деформаций речных русел и пойм и построение ППР русел в створах переходов следует осуществлять с учетом положений гидроморфологической теории руслового процесса, гидроморфологической типизации речных русел и классификации типов руслового процесса, разработанных в рамках этой теории и изложенных в приложении Б.

6.2 При анализе деформаций речных русел следует учитывать, что деформации речных русел могут быть циклическими обратимыми и однонаправленными необратимыми. Циклические обратимые деформации связаны с движением донных руслоформирующих наносов в виде дискретных форм трех структурных уровней: микро-, мезо- и макроформ. Однонаправленные необратимые деформации обусловлены влиянием ограничивающих условий — инженерно-геологического строения речной долины, инженерных и гидротехнических сооружений и мероприятий в руслах и на поймах рек.

6.3 По степени влияния ограничивающих факторов руслового процесса на гидравлические условия прохождения речного потока в разные фазы водного режима речные русла следует разделять на три гидроморфологических типа:

- орографические меженные русла (I тип);
- орографические паводочные русла (II тип);
- русла, сформировавшиеся в собственных аллювиальных отложениях (III тип).

Детальное описание этих гидроморфологических типов речных русел приведено в таблице Б.1.

6.4 При установлении типа руслового процесса и схемы многолетних деформаций речного русла и поймы следует использовать классификационные описания девяти типов руслового процесса равнинных и горных рек и схем их многолетних циклических деформаций, приведенные в таблице Б.2.

7 Способы и методы прокладки трубопроводов через реки в зависимости от типа руслового процесса

7.1 Для обеспечения надежной эксплуатации ПП трубопроводов выбор способа, метода и места пересечения рек должен быть определен кроме технико-экономических и экологических показателей еще и гидроморфологическими параметрами водотока и характером (свойствами) процессов его руслоформирования (русловых процессов).

7.2 Способы и методы пересечения водного объекта должны соотноситься с типом и размером реки следующим образом:

- надземный (воздушный) способ допускается при пересечении горных рек в местах сужения долин и ущелий, скалистого дна, а также малых рек в районах распространения многолетнемерзлых грунтов;
- траншейный (подводный) способ рекомендуется при пересечении равнинных рек всех типов руслового процесса, а также аллювиальных участков рек горно-предгорной зоны и средних рек в районах распространения многолетнемерзлых грунтов;
- методы ННБ, ГНБЩ, микротоннелирования и тоннелирования с использованием щитовой проходки рекомендуется применять при пересечении рек, характеризующихся незначительными горизонтальными и значительными вертикальными деформациями, а также рек, характеризующихся значительными скоростями течений и большим удельным расходом донных наносов, т. е. в условиях, исключающих возможность сохранения проектных параметров траншеи до укладки трубопровода. Приоритеты при выборе метода строительства перехода устанавливают в зависимости от инженерно-геологического строения дна долины и от технических возможностей проходческого оборудования.

7.3 Строительство ПП методами ННБ, ГНБЩ, микротоннелирования и тоннелирования с использованием щитовой проходки при благоприятном инженерно-геологическом строении дна долины рекомендуется осуществлять:

- при ограниченном свободном пространстве в коридоре, где проложено несколько трубопроводов и невозможно обеспечить надежную эксплуатацию существующих трубопроводов при создании новой траншеи;
- строительстве ПП ниже от мостов и других активных сооружений I и II категорий, оказывающих существенное общее или локальное воздействие на процессы движения донных наносов и на процессы руслоформирования на участке проектируемого перехода, характеристики которых приведены в приложении А;
- пересечении водной преграды с интенсивным судоходством и связанными с ним регуляционными и дноуглубительными работами на судовом ходу;
- пересечении рек с пойменной и русловой многорукавностями с активными русловыми деформациями в пределах пояса руслоформирования;
- пересечении рек с пойменной и русловой многорукавностями, при котором допускается использование комбинированного метода строительства перехода: траншейного и бестраншейного (подземного) на различных участках поперечного сечения многорукавного русла.

8 Методика выбора участков пересечения рек магистральными нефтепроводами и створов подводных переходов магистральных трубопроводов через реки

8.1 Траншейный способ

8.1.1 При выборе вариантов расположения створов ПП трубопровода через реки следует руководствоваться положениями СП 36.13330.2012 (10.2.2, 10.2.5 — 10.2.8) и СП 482.1325800.2020 (6.3.11 и 6.3.12) и осуществлять выбор положения створов переходов с учетом следующих общих гидроморфологических правил:

- назначать переход на плесовых прямолинейных и слабоизогнутых участках рек с минимальной шириной затапливаемой поймы;
- пересекать реку под углом, близким к перпендикуляру к динамической оси потока;
- пересекать широкие поймы на участке с минимальным числом пойменных проток и стариц, не допуская крутых поворотов трассы;
- по возможности избегать пересечений трассы с участками многорукавных русел и излучин, имеющих спрямляющие протоки;
- избегать расположения створов ПП в вершинах излучин;
- избегать расположения створов переходов на перекатах;

- избегать расположения створов на участках, сложенных скальными грунтами;

- при пересечении водных преград, дно которых сложено скальными грунтами, величину заглубления трубопровода необходимо принять равной не менее 0,5 м, считая от верха забалластированного трубопровода до дна водотока, или заглубить трубу в скалу на глубину $h_т = D_т + 0,5$ м, где $D_т$ — диаметр трубопровода, м;

- располагать ПП в зоне наименьшего влияния сооружений I и II категорий (см. приложение А);

- на участках реки, канала или водохранилища, примыкающих к гидротехническому сооружению ниже по его течению, размещать ПП за пределами зоны активного однонаправленного размыва русла в удалении от подходных каналов к шлюзам.

В особо стесненных условиях, когда возможность учета общих гидроморфологических правил размещения створа ПП ограничена требованиями нормативно-технических документов или нормативно-правовых актов земельного, водного, лесного, санитарного, экологического или иного законодательства, створ ПП трубопровода допускается выбирать с учетом требований этих документов, но при этом проектом должны быть предусмотрены дополнительные мероприятия, обеспечивающие надежность подводного перехода МТ при эксплуатации.

8.1.2 Выбор участка и створов ПП следует осуществлять в несколько этапов.

На первом этапе при определении направления МТ следует выбрать предварительный вариант расположения ПП на основании имеющихся картографических, аэрофотосъемочных, топографо-геодезических планов участков масштаба 1:25 000 — 1:50 000 (в зависимости от ширины русла) и современных и ретроспективных космических снимков низкого разрешения (30 м), а также литературных источников и сведений о гидрометеорологических, гидроморфологических условиях по СП 482.1325800 и инженерно-геологических условиях территории по СП 446.1325800 в районе проектируемого ПП.

8.1.3 Для дополнения собранных материалов в соответствии с СП 482.1325800.2020 (6.3.13) проводят следующие виды рекогносцировочных обследований:

- аэровизуальное или наземное (при необходимости) рекогносцировочное обследование водотоков в пределах трассы МТ;

- наземное рекогносцировочное обследование выделенных наиболее крупных и сложных переходов с шириной зеркала воды русла в межень 75 м и более;

- наземное рекогносцировочное обследование участков трассы, прокладываемых вдоль водных объектов, с предварительной оценкой возможности затопления водным объектом линейного сооружения.

В качестве картографической основы при рекогносцировочном обследовании следует использовать крупномасштабные карты или планы масштаба 1:10 000 — 1:25 000 и современные материалы ДЗЗ среднего разрешения. При отсутствии таких карт (планов) или материалов ДЗЗ необходимо составить схематический план участка реки.

Рекогносцировочное обследование следует проводить при низком уровне воды в реке на участке, охватывающем две-три средние русловые формы (ленточные гряды или побочни) или три речные излучины (пересекаемую и две смежные), длину которого устанавливают в соответствии с СП 482.1325800.2020 (7.1.8).

В ходе обследования на план (схему) участка наносят границы подмываемых участков берега реки, местоположение мезоформ речного русла (побочней, осередков), кос, пляжей, гребней перекатов и островов, устанавливают характер строения берегов, крупность донных отложений, наличие растительности на берегах и русловых формах и определяют места возможного образования зажоров и заторов льда.

8.1.4 С целью получения дополнительных сведений о режиме русловых деформаций в многолетнем разрезе (темпы размыва берегов, смещение плесов и перекатов, перемещение излучин, прорыв петель, отторжение побочней, развитие спрямляющих проток и рукавов) в период рекогносцировочного обследования следует проводить опрос местных жителей, а также речников, рыбаков, перевозчиков паромов и др.

8.1.5 В дополнение к положениям 8.1.1 и с учетом требований СП 482.1325800.2020 (6.3.12) при выборе окончательного створа перехода необходимо руководствоваться следующими рекомендациями и назначать створ:

- на участках русел с ленточно-грядовым, побочневым и осередковым типами — на плесовых участках, в нижней части ленточных гряд, побочней и осередков;

- при ограниченном и СМ (для пологих излучин) — на плесовых участках ниже вершины излучины;

- СМ (для хорошо развитых излучин с углом разворота более 120° или степенью развитости более 1,7) — вблизи точек перегиба излучины (между плесом и перекатом);

- незавершенном меандрировании с развивающейся спрямляющей протокой — на отмирающей излучине без пересечения спрямляющей протоки;

- русловой многорукавности — в местах наиболее глубоких плесов, низовых участков сползающих островов.

8.1.6 Не следует располагать ПП в местах возможного образования навалов, заторов и зажоров льда, а также интенсивного разрушения берегов в результате эрозии и склоновых процессов.

8.1.7 Точное местоположение створа ПП на выбранном участке перехода реки устанавливают после выполнения русловой съемки.

8.2 Бестраншейные методы строительства переходов

8.2.1 К бестраншейным методам строительства подводных переходов МН относят:

- метод наклонно-направленного бурения;
- метод горизонтально направленного бурения щитом;
- метод микротоннелирования;
- метод тоннелирования с использованием щитовой проходки.

Кроме указанных в 7.3 и 8.1.1 положений по выбору участка расположения створа перехода, которые необходимо соблюдать также и при строительстве ПП бестраншейными методами, следует также учитывать положения настоящего подраздела.

8.2.2 С целью учета деформации берегов рек при применении указанных методов для расположения створов переходов следует выбирать участки с наибольшим проявлением искусственных или естественных факторов, ограничивающих горизонтальное (плановое) перемещение русла.

8.2.3 При выборе местоположения створа ПП следует учитывать данные о ширине пояса современного руслоформирования при типах руслового процесса, наблюдаемых на пересекаемых реках, которые получены на основе обработки имеющихся топографических карт или космических снимков.

8.2.4 При невозможности выбора участка реки с типом руслового процесса, для которого характерен узкий пояс руслоформирования (побочневый тип руслового процесса или ограниченное меандрирование), и при неизбежности пересечения реки на участке с широким поясом руслоформирования следует планировать проведение на первом этапе ИГМИ дополнительных гидрологических изысканий по специальной программе для разработки точного прогноза развития русла реки, ее проток и пойменных массивов на расчетный срок эксплуатации ПП МТ.

В таких случаях створ ПП, положение точек входа и выхода туннеля устанавливают только после проведения третьего этапа расчетов, т. е. после разработки прогноза развития русловых процессов на участке.

8.2.5 Пересечение больших и средних рек бестраншейными методами целесообразно выполнять выше по течению в непосредственной близости от мостовых переходов, искусственно стабилизирующих горизонтальные деформации русла. Преимуществами такого сближения створов являются уменьшение длины перехода и объема изысканий, стабилизация планового положения берегов, возможность отказа от осуществления берегозащитных мероприятий, упрощение транспортных проблем.

8.2.6 При отсутствии возможности использования искусственных ограничивающих факторов следует отдавать предпочтение тем вариантам ПП, где наиболее выражены естественные ограничивающие факторы.

К таким участкам относят:

- места сужений речных долин, имеющих, как правило, четкообразное строение;
- узкие долины типа ложбин ледникового выпахивания, склоны которых сложены крупнообломочными, скальными, глинистыми грунтами;
- реки с односторонними поймами, русло которых прижато к одному, как правило, высокому склону надпойменной террасы или долины. Поймы могут быть как современными, так и унаследованными, т. е. сформированными не в результате плановых деформаций современного русла;
- относительно прямолинейные русла рек с унаследованными односторонними или двусторонними поймами;
- участки рек с руслом, врезанным в крупнообломочные или глинистые грунты;
- участки рек, где ширина современного пояса меандрирования составляет менее 50 % ширины поймы.

8.2.7 Не следует располагать ПП в местах возможного образования навалов, заторов и зажоров льда, интенсивного разрушения берегов в результате эрозии и склоновых процессов.

8.2.8 Не следует располагать ПП в зоне активного влияния разработанных подводных карьеров по добыче рудных или нерудных ископаемых.

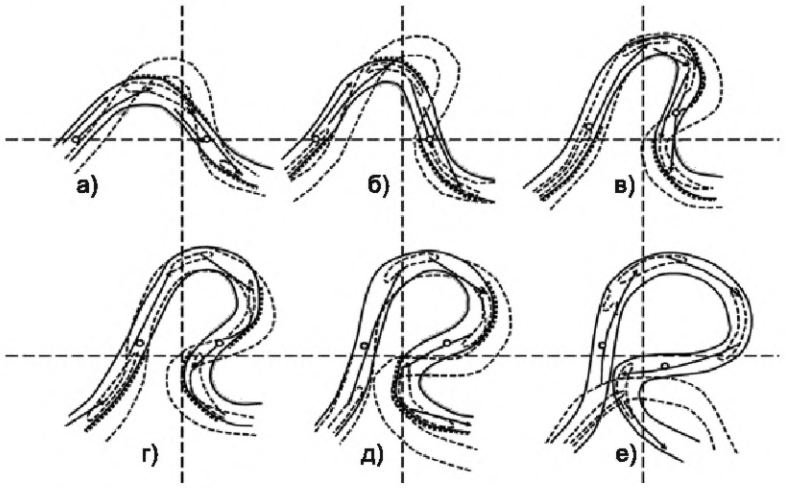
8.2.9 На выбранном с учетом типа руслового процесса участке (в соответствии с 8.2.2—8.2.6) створ ПП следует назначать с учетом установленного типа руслового процесса.

8.2.10 На реках с ленточно-грядовым и побочневым типами руслового процесса створ может проходить через любую часть ленточной гряды, побочня и плеса.

При ограниченном меандрировании створ ПП может пересекать любую часть пойменного массива и плеса при условии расположения точек входа и выхода трубы за пределами пояса меандрирования, т. е. на неразмываемой террасе.

8.2.11 При выборе створа ПП через свободно меандрирующие реки необходимо учитывать, что излучина в своем развитии проходит разные стадии полного генетического цикла (см. рисунок 8.1). Поэтому створ ПП нужно назначать в зависимости от скорости и длительности развития излучины с учетом следующих стадий ее развития:

- при степени развитости излучины до 1,40 излучина сползает вниз по течению, подобно излучине ограниченного меандрирования;
- степени развитости излучины от 1,40 до 1,70 наблюдаются замедление продольного сползания излучины и усиление ее поперечного смещения вместе с ее разворотом вокруг точек перегиба;
- степени развитости излучины от 1,70 до 2,0 преобладает ее поперечное развитие, и она приобретает сегментно крутую и асимметричную форму.



Степень развитости излучины: а) <1,4; б) 1,4÷1,7; в) 1,7÷2,0; г), д), е) >2,0

Рисунок 8.1 — Последовательные положения стадий развития излучины в ходе СМ

При незавершенном меандрировании на ранних стадиях развития меандра на пойме появляется довольно протяженная спрямляющая протока, постепенно превращающаяся в главное русло. В своем развитии протока проходит разные стадии, свойственные различным типам руслового процесса.

8.2.12 При незавершенном меандрировании створ перехода следует располагать в соответствии со стадиями развития главного русла и протока и их продолжительностью:

- на отмирающей излучине главного русла без пересечения спрямляющей протоки;
- на границе между двумя смежными излучинами главного русла;
- в главном русле при консервации спрямляющей протоки.

При этом типе руслового процесса возможно комбинированное пересечение двух русел реки — бестраншейным и траншейным способами.

8.2.13 При пойменной многорукавности в расширениях долин река течет многими рукавами, которые периодически становятся основным руслом.

Назначать створ перехода на таких участках больших и средних рек нецелесообразно из-за большой ширины дна долины, занятых руслом этого типа.

Створ ПП (см. 8.1.3) следует выбирать в суженных частях долин, где главное русло обычно занимает основную часть дна долины.

8.2.14 При наличии прогноза развития каждого из рукавов при пойменной многорукавности на 50-летний период возможно применение комбинированного способа пересечения реки (траншейного и бестраншейного способов).

8.2.15 При русловой, как и при пойменной, многорукавности створ ПП целесообразно располагать в узкой части долины, борта которой часто сложены крупнообломочными или глинистыми грунтами.

9 Оценка характеристик транспорта наносов и деформаций русел и пойм рек при разных способах и методах прокладки трубопроводов

9.1 Расчеты подвижности руслового аллювиального материала, характеристик русловых микроформ и расхода донных наносов

9.1.1 К выбору методов расчета условий подвижности донных отложений, характеристик микроформ-гряд и расхода донных наносов следует подходить дифференцированно, с учетом специфики гидравлических условий и гранулометрического состава донных наносов равнинных и горных рек.

9.1.2 Условия нарушения устойчивости и начала движения частиц на дне водных потоков определяются критическими значениями средней на вертикали скорости потока — неразмывающей скоростью. На равнинных реках неразмывающие скорости мелких и крупных фракций донных отложений имеют близкие значения. На горных реках неразмывающие скорости мелких и крупных фракций сильно различаются. Это следует учитывать при расчете характеристик движения донных наносов.

9.1.3 Расчеты неразмывающих скоростей течений следует проводить для всех точек перелома поперечного сечения русла в створе перехода для уровней воды, соответствующих предполагаемому периоду строительства перехода и для расчетных максимальных уровней воды 10 % обеспеченности.

9.1.4 Неразмывающие скорости потока V_0, м/с, для песчано-гравийного материала рассчитывают по формуле

$$V_0 = 3{,}0H^{0{,}2}(d + 0{,}0014)^{0{,}3}, \tag{9.1}$$

где H — глубина потока на расчетной вертикали;

d — средневзвешенный диаметр донных отложений, определяемый по формуле

$$d = \frac{\sum d_i P_i}{P}, \tag{9.2}$$

где d_i — средний размер i-й фракции донных отложений, м;

P_i — доля i-й фракции в пробе, %;

P — доля, равная 100 %.

9.1.5 Неразмывающие скорости V_0, м/с, галечно-валунного материала рассчитывают по формуле

$$V_0 = 3{,}2\sqrt{d}\left(\frac{H}{d}\right)^{0{,}3}. \tag{9.3}$$

Если при расчете по средневзвешенному диаметру d неразмывающая скорость окажется больше фактической средней на вертикали, нужно в указанные формулы ввести поправочный коэффициент на неоднородность грунта — множитель $\left(\frac{d}{d_{90}}\right)^{0{,}2}$ и выполнить расчет заново. Для галечно-валунного грунта, если неразмывающая скорость снова окажется больше фактической, для оценки подвижности вместо формулы (9.3) следует применить формулу (9.1) с поправочным коэффициентом $\left(\frac{d}{d_{90}}\right)^{0{,}2}$.

Если и после введения поправочного коэффициента неразмывающая скорость превышает фактическую, это может означать, что имеет место неполный транспорт донных наносов (не все фракции донных отложений находятся в движении) или расход донных наносов близок к нулю. В этом случае следует оценить подвижность более мелких фракций донных отложений. Оценку следует произвести двумя способами и для дальнейших расчетов выбрать результат, показывающий наибольшую подвижность донных отложений.

9.1.5.1 Первый способ

Следует выполнить оценку подвижности отдельных мелких фракций донных отложений, чей средний размер d_i меньше средневзвешенного диаметра всей смеси донных отложений d. Оценку подвижности для всех фракций следует выполнять по формуле (9.1). Далее следует оценить суммарную долю подвижных фракций донных отложений $P_{\text{подв}}$ относительно всего состава смеси. Оценку выполняют по формуле

$$P_{\text{подв}} = \sum P_{i\text{подв}}, \tag{9.4}$$

где $P_{i\text{подв}}$ — процентное содержание каждой фракции донных отложений, для которой неразмывающая скорость меньше фактической средней на вертикали.

Если оказывается, что для наименьшей фракции донных отложений неразмывающая скорость превышает фактическую, то донные отложения следует считать неподвижными, $P_{\text{подв}} = 0$. В этом случае второй способ оценки подвижности применять не нужно.

9.1.5.2 Второй способ

Следует исключить наиболее крупную фракцию донных отложений и рассчитать средневзвешенный диаметр заново. В этом случае вместо P в знаменателе формулы (9.2) должна стоять разность $(P - P_{i\,\max})$, где $P_{i\,\max}$ — процентное содержание исключенной фракции донных отложений. Далее следует рассчитать неразмывающую скорость для данного диаметра по формуле (9.1). Если неразмывающая скорость меньше фактической средней на вертикали, то затем рассчитывают суммарную долю подвижных фракций донных отложений $P_{\text{подв}}$ по формуле

$$P_{\text{подв}} = P - P_{i\,\max}. \quad (9.5)$$

Если неразмывающая скорость больше фактической, то проводят оценку средневзвешенного диаметра повторно, но уже без учета первой и второй по крупности фракций донных отложений. Операцию повторяют до тех пор, пока путем последовательного исключения наиболее крупных фракций не будет найден средневзвешенный диаметр, для которого неразмывающая скорость будет меньше фактической. Долю подвижных фракций донных отложений $P_{\text{подв}}$ рассчитывают по формуле

$$P_{\text{подв}} = P - \sum P_{i\,\max}. \quad (9.6)$$

9.1.6 Значения неразмывающих скоростей потока по формулам (9.1) и (9.3) приведены соответственно в таблицах 9.1 и 9.2. Неразмывающие скорости для галечных и валунных частиц также могут быть определены по данным таблицы 9.3.

Примечание — При необходимости определения неразмывающих скоростей для связного грунта следует пользоваться рекомендациями [2].

Таблица 9.1 — Значения средних на вертикалях неразмывающих скоростей потока V_0, м/с, в зависимости от глубины потока H, м, для песчаных и гравийных частиц

Глубина потока H, м	Диаметр частиц d, мм														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2	4	6	8	10
0,5	0,37	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,48	0,54	0,60	0,64	0,68
1,0	0,43	0,44	0,44	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,49	0,49	0,55	0,63	0,69	0,74	0,78
1,5	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51	0,51	0,52	0,53	0,54	0,59	0,68	0,75	0,80	0,85
2,0	0,49	0,50	0,51	0,52	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,63	0,72	0,80	0,85	0,90
2,5	0,51	0,52	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,66	0,75	0,83	0,89	0,94
3,0	0,53	0,54	0,56	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,68	0,78	0,86	0,92	0,98
3,5	0,55	0,56	0,57	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,70	0,80	0,89	0,95	1,01
4,0	0,56	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,71	0,82	0,91	0,98	1,04
4,5	0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,72	0,84	0,93	1,00	1,06
5,0	0,59	0,60	0,62	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,76	0,86	0,96	1,02	1,08
6,0	0,61	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,78	0,89	0,99	1,06	1,12
7,0	0,63	0,64	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,81	0,92	1,02	1,10	1,16
8,0	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,83	0,95	1,05	1,12	1,19
9,0	0,66	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,76	0,77	0,85	0,97	1,08	1,14	1,22
10,0	0,68	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,87	0,99	1,10	1,18	1,25
11,0	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,88	1,02	1,12	1,20	1,27

Окончание таблицы 9.1

Глубина потока *H*, м	Диаметр частиц *d*, мм														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2	4	6	8	10
12,0	0,70	0,72	0,73	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,90	1,03	1,14	1,22	1,29
13,0	0,72	0,73	0,74	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,91	1,05	1,16	1,24	1,31
14,0	0,73	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84	0,93	1,07	1,18	1,26	1,34
15,0	0,74	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,94	1,08	1,19	1,28	1,36
16,0	0,74	0,76	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,95	1,10	1,20	1,29	1,37
17,0	0,75	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86	0,87	0,96	1,11	1,22	1,30	1,38
18,0	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,97	1,12	1,23	1,32	1,40
19,0	0,77	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88	0,89	0,98	1,13	1,24	1,34	1,42
20,0	0,78	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,90	1,00	1,14	1,26	1,35	1,43

Таблица 9.2 — Значения средних на вертикалях неразмывающих скоростей потока V_0, м/с, в зависимости от глубины потока *H*, м, для галечных и валунных частиц по формуле (9.3)

Глубина потока *H*, м	Диаметр частиц *d*, мм													
	15	20	30	40	50	70	100	150	200	250	300	400	500	600
0,5	1,12	1,19	1,29	1,37	1,43	1,53	1,64	1,78	—	—	—	—	—	—
1,0	1,38	1,46	1,59	1,68	1,76	1,88	2,02	2,19	2,32	2,43	2,52	—	—	—
1,5	1,56	1,65	1,79	1,90	1,99	2,12	2,28	2,47	2,62	2,74	2,84	3,01	3,15	—
2,0	1,70	1,80	1,95	2,07	2,16	2,31	2,49	2,70	2,86	2,99	3,10	3,28	3,43	3,56
2,5	1,82	1,93	2,09	2,21	2,31	2,47	2,66	2,88	3,05	3,19	3,31	3,51	3,67	3,80
3,0	1,92	2,03	2,21	2,34	2,44	2,61	2,81	3,04	3,22	3,37	3,50	3,70	3,87	4,02
4,0	2,09	2,22	2,41	2,55	2,66	2,85	3,06	3,32	3,52	3,68	3,81	4,04	4,22	4,38

Таблица 9.3 — Значения средних на вертикалях неразмывающих скоростей потока V_0, м/с, в зависимости от глубины потока *H*, м, для галечных и валунных частиц

Глубина потока *H*, м	Диаметр частиц *d*, мм													
	15	20	30	40	50	70	100	150	200	250	300	400	500	600
0,5	1,12	1,23	1,41	1,52	1,62	1,75	1,88	1,97	2,00	2,00	—	—	—	—
1,0	1,25	1,40	1,60	1,76	1,88	2,07	2,30	2,50	2,67	2,74	2,78	2,80	2,80	—
1,5	1,34	1,47	1,71	1,88	2,03	2,25	2,52	2,83	3,02	3,14	3,27	3,34	3,43	3,47
2,0	1,38	1,54	1,79	1,98	2,22	2,37	2,66	3,00	3,26	3,42	3,54	3,74	3,90	3,92
2,5	1,42	1,58	1,85	2,10	2,33	2,47	2,80	3,17	3,41	3,63	3,70	4,00	4,21	4,28
3,0	1,46	1,62	1,90	2,12	2,38	2,65	2,87	3,28	3,58	3,80	4,00	4,22	4,45	4,60
4,0	1,51	1,68	1,95	2,19	2,40	2,71	3,22	3,43	3,80	4,06	4,25	4,56	4,86	5,00

9.1.7 Для определения обратимых знакопеременных деформаций дна (сезонных деформаций) и расхода донных наносов необходимо определить геометрические размеры и динамические характеристики русловых микроформ (гряд). Гряды образуются при скоростях потока, превышающих неразмывающие скорости, и при значениях гладкости потока $\frac{H}{d_{90}} > 15$ или $\frac{H}{d} > 30$.

9.1.8 Длину гряд $l_г$, м, при установившемся режиме движения воды определяют по следующей зависимости:

$$l_г = H\sqrt[3]{\frac{C^2}{g}}, \quad (9.7)$$

где C — коэффициент Шези на вертикали, м^{0,5}/с;

g = 9,81 — ускорение свободного падения, м/с^2.

При отсутствии данных о гидравлических характеристиках потока длина гряд $l_г$, м, установившегося профиля может быть принята в среднем равной:

$$l_г = 6,5H. \quad (9.8)$$

9.1.9 Высоту микроформ-гряд $h_г$, м, определяющих расход донных наносов и амплитуду знакопеременных колебаний дна при установившемся режиме их перемещения, рекомендуется рассчитывать по формулам:

а) для глубин H > 1 м в равнинных реках:

$$h_г = 0,2 + 0,1H; \quad (9.9)$$

б) для крупных равнинных рек, сложенных из песчано-гравийного материала при значениях числа Фруда Fr < 0,2, где $Fr = \frac{V}{\sqrt{gH}}$:

$$h_г = 0,11H, \quad (9.10)$$

где V — средняя скорость потока на расчетной вертикали, м/с;

в) для малых и средних равнинных рек, сложенных из песчано-гравийного материала при значениях числа Фруда 0,2 ≤ Fr ≤ 0,5:

$$h_г = 0,13H; \quad (9.11)$$

г) для малых и средних горных и предгорных рек, сложенных из гравийно-галечно-валунного материала, при значениях числа Фруда Fr ≥ 0,3 и гладкости потока $\frac{H}{d_{90}} > 15$ или $\frac{H}{d} > 30$:

$$h_г = 0,18H. \quad (9.12)$$

9.1.10 Скорость смещения гряд установившегося профиля $C_г$, м/с, определяют по формуле

$$C_г = 0,019VFr^{2,9}. \quad (9.13)$$

9.1.11 В общем случае при движении донных наносов любой крупности в грядовой форме (при $\frac{H}{d_{90}} > 15$ или $\frac{H}{d} > 30$) в руслах равнинных, горных и предгорных рек удельный расход донных наносов $q_т$ в объемном выражении (в рыхлом теле, т. е. с порами) определяют по формуле

$$q_т = 0,6h_г C_г, \quad (9.14)$$

где $q_т$, м^3/(с · м), или

$$q_т = 31\left(\frac{V^4}{\sqrt{H}}\right)\frac{h_г}{H}, \quad (9.15)$$

где $q_т$, м^3/(сут · м).

Высоту гряд $h_г$, м, в формулах (9.14) и (9.15) измеряют или рассчитывают по зависимостям (9.9) — (9.12).

Для горных и предгорных рек кроме формул (9.14), (9.15) также рекомендуется рассчитывать $q_т$ по формуле

$$q_т = 5,58\frac{V^4}{\sqrt{H}}, \quad (9.16)$$

где $q_т$, м^3/(сут · м).

9.1.12 При безгрядовом движении донных наносов в руслах горных и предгорных рек, имеющем место при $\frac{H}{d_{90}} < 15$ или $\frac{H}{d} < 30$, удельный расход донных наносов $q_т$ в рыхлом теле рекомендуется рассчитывать по формулам:

$$q_т = 0{,}0015VFr^{2{,}9}, \quad (9.17)$$

где $q_т$, м^3/(с · м), или

$$q_т = 4{,}03\frac{V^4}{\sqrt{H}}, \quad (9.18)$$

где $q_т$, м^3/(сут · м).

9.1.13 Расход донных наносов по формулам (9.14) — (9.18) следует рассчитывать с учетом степени подвижности донных отложений, установленной согласно 9.1.2—9.1.6. Если имеет место неполная подвижность донных отложений, то расход донных наносов по формулам (9.14) — (9.18) следует умножать на коэффициент $\frac{P_{подв}}{P}$.

9.2 Прогнозирование скорости перемещения затопляемых мезоформ речного русла или их фрагментов

9.2.1 Для определения суммарного значения смещения затопляемых мезоформ речного русла (ленточных гряд, побочней и ленточных гряд с осередками) или их фрагментов, пересекающих створ перехода за период эксплуатации трубопровода, необходимо выполнить расчет скорости их перемещения (при наличии требуемых исходных данных, указанных в 9.2.3) либо установить эту скорость по совмещению ретроспективных топографических карт, планов и лоций (при их наличии) или космических снимков среднего или высокого разрешения за разные годы съемки.

9.2.2 Суммарное значение смещения затопляемых мезоформ речного русла (ленточных гряд, побочней и ленточных гряд с осередками) необходимо для расчета длины участка совмещения поперечных сечений русла, расположенного выше по течению от створа перехода, при построении ППР русла при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса.

9.2.3 Для производства расчетов необходимо наличие следующих исходных материалов:

- расчетной кривой зависимости между расходами и уровнями воды в створе перехода;
- среднемноголетнего распределения расходов воды в створе перехода;
- измеренных или расчетных данных о среднемноголетних суточных уровнях воды в створе перехода;
- топографической карты или плана русловой съемки участка, охватывающего две смежные русловые мезоформы;
- графиков связи средних по сечению скоростей течений и средних по сечению глубин потока в створе перехода, полученных непосредственными измерениями скоростей потока или расчетным путем;
- данных о крупности и составе донных наносов.

9.2.4 Для расчета средней скорости перемещения затопляемых в паводок мезоформ $C_Δ$, м/сут, речного русла используют следующую зависимость:

$$C_Δ = 950V_г(h_г/Δ)Fr^3, \quad (9.19)$$

где $V_г$ — средняя по сечению скорость потока в створе перехода, м/с;

$h_г/Δ$ — относительная высота микроформ;

$h_г$ — средняя по сечению высота микроформ, определяемая по формулам (9.9) — (9.12) по средним по сечению данным о глубинах потока и скоростях течений, м;

$Δ$ — высота мезоформ, определяемая по топографической карте крупного масштаба или русловой съемке как разность между отметками гребня (вершины) мезоформы и его подвалья, расположенного вниз по течению вдоль того же берега, м;

Fr — среднее по сечению значение числа Фруда в створе перехода, определяемое по формуле

$$Fr = \frac{V_г}{\sqrt{gH}}. \quad (9.20)$$

9.2.5 Расстояние $L_Δ$, м, пройденное мезоформой вдоль геометрической оси речного русла за прогнозируемый период времени $T_{пр}$, следует рассчитывать по следующей зависимости:

$$L_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n} C_{\Delta i} \delta T_i, \quad (9.21)$$

где $C_{\Delta i}$ — скорость перемещения мезоформы, определяемая по формуле (9.19) для каждого установленного диапазона глубин;

δT_i — интервалы времени, соответствующие различным характерным диапазонам наполнения русла или стадиям затопления мезоформ, сут.

9.2.6 Расчет L_{Δ}, м, по (9.19) проводят в нижеприведенном порядке.

Для заданной крупности донных наносов, используя формулы (9.1), (9.3), данные, приведенные в таблицах 9.1—9.3, и русловую съемку, определяют критическую глубину $H_к$ и соответствующее ей значение уровня воды, при котором $V > V_0$, т. е. начинается движение донных наносов.

На основании данных наблюдений за все предыдущие годы составляют таблицу либо строят эмпирическую кривую обеспеченности суточных уровней воды для значений $H \geq H_к$. Эти данные группируют в частные интервалы с равными или неравными градациями. Частоту повторяемости уровня воды p_i^* в каждом интервале за период наблюдений рассчитывают по формуле

$$p_i^* = m_i / N, \quad (9.22)$$

где m_i — количество суток повторяемости уровня в данном интервале;

N — общее количество суток за период наблюдений, $N = 365n$, где n — число лет наблюдений.

Интервалы времени δT_i, отвечающие тем же стадиям наполнения русла за прогнозируемый период, определяют по следующей зависимости:

$$\delta T_i = N_{пр} p_i^*, \quad (9.23)$$

где $N_{пр}$ — общее количество суток прогнозируемого периода.

Для каждого установленного диапазона глубин определяют среднюю для диапазона глубину потока и по графику связи средних по сечению скоростей течений и средних по сечению глубин потока в створе перехода устанавливают средние для данного диапазона глубин по сечению скорости потока и значения числа Фруда.

Скорость смещения мезоформы $C_{\Delta i}$ для каждого установленного диапазона глубин рассчитывают по формуле (9.19).

9.3 Прогнозирование плановых деформаций русла

9.3.1 Прогноз плановых деформаций русла на заданный срок составляют на основании экстраполяции значений смещения берегов русла, определяемых совмещением русловых съемок, крупномасштабных цифровых инженерно-топографических планов, топографических карт и планов русла масштаба 1:25 000 и крупнее, данных ДЗЗ [ВЛС, аэрофотосъемок или космических снимков высокого разрешения (от 1 до 2,5 м)], выполненных с интервалом не менее 5—7 лет. Достоверность прогноза существенно возрастает при наличии трех разновременных съемок, в том числе одной на момент проектно-изыскательских работ на переходе, и при увеличении интервала времени между совмещаемыми съемками, планами и данными ДЗЗ высокого разрешения.

9.3.2 Совмещение планов и данных ДЗЗ высокого разрешения выполняется по не изменяющим своего положения деталям местности (орографическим элементам рельефа, инженерным объектам, дорогам и т. д.).

9.3.3 Характер и размеры установленных при совмещении съемок участков плановых деформаций следует сопоставлять с фактическими деформациями, установленными в ходе рекогносцировочного морфологического обследования участка русла по следующим признакам:

- участкам размыва должны соответствовать четко выраженная бровка берега, крутой береговой откос, лишенный растительности, со следами недавних обрушений;
- участкам намыва должны соответствовать сглаженные бровки берега, пологое очертание берегового откоса;
- должны быть опознаны на каждом из совмещенных планов наиболее характерные морфологические элементы, такие как вершины и точки перегиба линий бровок вогнутого и выпуклого берегов, гребни и подвалья мезоформ и т. п.

Экстраполируя смещение характерных точек русла по направлению и по числовому значению, получают положение русла на прогнозируемый срок. При этом необходимо принимать во внимание обстоятельства,

способные изменить характер русловых деформаций, в частности: приближение излучины к коренному склону долины или останцу, образование спрямляющих проток на смежных излучинах и др.

9.3.4 Прогноз следует считать корректным, когда:

- для совмещения использовались русловые съемки и крупномасштабные цифровые инженерно-топографические планы, карты масштаба 1:25 000 и крупнее и трансформированные материалы ДЗЗ [ВЛС, аэрофотоснимки или космические снимки высокого разрешения (от 1 до 2,5 м)];
- прогнозируемый период и интервалы времени между используемыми при совмещении последовательными русловыми съемками более продолжительные, чем периоды многолетних колебаний водности.

9.3.5 Не рекомендуется использование космических снимков низкого и среднего разрешения для совмещения планового положения русла и установления численных значений скоростей плановых деформаций берегов ввиду их недостаточной точности.

При этом космические снимки низкого и среднего разрешения могут быть использованы при сопоставлении разновременных съемок русла, если применять их не для получения количественных показателей динамики (намыва, размыва) береговой линии, а для установления типа руслового процесса на участке перехода, общей тенденции планового развития русла и стадий развития излучин, указанных в 8.2.11.

9.3.6 На реках третьего гидроморфологического типа (см. таблицу Б.1) при свободном и незавершенном меандрировании при отсутствии съемок предшествующих плановых положений пересекаемой излучины, но при наличии в материалах изысканий современной съемки ее русла прогноз плановых деформаций этой излучины в ее любом створе составляют исходя из нижеприведенных принятых положений.

Смещение береговой линии $L_б$ в произвольном створе данной излучины пропорционально наибольшей глубине $H_{макс}$ в расчетном поперечнике коэффициенту скорости развития излучины k, зависящему от степени ее развитости (от угла разворота излучины α_0), и максимально возможной для излучин на рассматриваемом морфологически однородном участке русла скорости плановых деформаций излучин $C_{макс,п}$, м/год.

Максимально возможную для рассматриваемого морфологически однородного участка русла скорость плановых деформаций излучин $C_{макс}$ устанавливают по излучинам, для которых имеются надежные совмещения их планового положения или надежные данные о скоростях их развития, выполненные или установленные в соответствии с 9.3.1, которые расположены либо в пределах рассматриваемого морфологически однородного участка русла, либо на реке-аналоге.

При наличии надежных данных о скоростях планового развития излучин, расположенных в пределах рассматриваемого морфологически однородного участка русла, расчет максимально возможной для участка русла скорости плановых деформаций излучин $C_{макс.п}$ следует выполнять по формуле

$$C_{макс.п} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (C_{макс\ i} / k_i)}{n_и}, \quad (9.24)$$

где $C_{макс\ i}$ — наибольшая скорость смещения берегов в пределах каждой излучины на морфологически однородном участке, для которой имеются данные совмещения русловых съемок;

k_i — коэффициент скорости развития i-й излучины (см. таблицу 9.4);

$n_и$ — число тех излучин, по которым имеются данные совмещений.

Коэффициент скорости развития излучины k определяют по таблице 9.4.

Таблица 9.4 — Связь коэффициента скорости развития излучины k и угла разворота излучины α_0

α_0, °	10	20	30	40	55	70	85	100	125	170	215	240	260
k	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7

При наличии расчетного значения максимально возможной для рассматриваемого морфологически однородного участка русла скорости плановых деформаций излучин $C_{макс.п}$ максимальную возможную скорость размыва вогнутого берега в вершине излучины, пересекаемой трассой МН, рассчитывают по формуле

$$C_{макс.п} = k_п C_{макс}, \quad (9.25)$$

где $k_п$ — коэффициент скорости развития излучины, пересекаемой трассой МН, определяемый по таблице 9.4.

При наличии расчетного значения максимально возможной для излучины, пересекаемой трассой МТ, скорости размыва вогнутого берега в вершине излучины $C_{макс.п}$ смещение береговой линии $L_б$ в выбранном створе излучины вычисляют по формуле

$$L_б = C_{макс.п} T_{пр} (H_{макс} - H) / (H_{пл} - H), \quad (9.26)$$

где $T_{пр}$ — период прогноза (проектный срок эксплуатации сооружений);

$H_{макс}$ — наибольшая глубина в расчетном поперечнике;

$H_{пл}$ — наибольшая глубина плеса в пределах всей излучины;

H — средняя глубина двух смежных перекатов (глубины должны быть приведены к одному уровню).

9.3.7 При полном отсутствии данных по смещению берегов в пределах исследуемого морфологически однородного участка для установления скорости размыва вогнутого берега излучины следует использовать материалы по другим излучинам, расположенным на реках-аналогах. В качестве реки-аналога следует выбирать реку с тем же типом руслового процесса, с аналогичными или близкими морфометрическими параметрами, расположенную в пределах тех же ландшафтной зоны или района. При этом могут быть использованы (при их наличии) базы данных о скоростях плановых деформаций речных русел с разными гидроморфологическими типами речных русел и типами руслового процесса, зарегистрированные в Федеральной службе по интеллектуальной собственности и имеющие соответствующие свидетельства о регистрации.

9.3.8 При использовании материалов по рекам-аналогам (излучинам-аналогам) следует учитывать зависимость скорости размыва вогнутого берега излучины от степени ее развитости (см. таблицу 9.4 и 8.2.11).

10 Методы построения профилей предельного размыва русел равнинных рек при траншейном способе прокладки подводного перехода трубопровода

10.1 Общие положения

10.1.1 Построение ППР русла на период эксплуатации трубопровода в поперечном течении реки в створе перехода следует выполнять на основе учета многолетней динамики общего морфологического строения русла реки, которую определяют динамикой средних русловых форм (ленточных гряд, побочней и осередков) или маркоформ речного русла (излучин и пойменных массивов) и которую устанавливают на основе ретроспективных топографических материалов, космических снимков, материалов ИГМИ, ИГДИ и ИГИ.

10.1.2 Расчеты и прогноз плановых и высотных деформаций дна речного русла с оценкой их точности, а также с учетом конструктивных решений перехода проводят в составе первого этапа ИГМИ при архитектурно-строительном проектировании для подготовки проектной документации объектов капитального строительства по СП 482.1325800.2020 (7.1.11, 7.1.12 и 7.1.13).

10.1.3 Прогнозирование плановых деформаций берегов речного русла, учитываемых при построении ППР русла, проводят в соответствии с рекомендациями 9.3.

10.1.4 Основой для определения глубинных деформаций дна при разных типах руслового процесса наряду со съемками предыдущих лет должны служить русловые съемки участка перехода, выполненные при изысканиях.

10.1.5 При отсутствии измерений параметров гряд (микроформ) в ходе ИГМИ минимальные отметки ППР $Z_{min\ ППР}$ рассчитывают по формуле

$$Z_{min\ ППР} = Z_{min\ д} - h_г - \delta, \quad (10.1)$$

где $Z_{min\ д}$ — минимальная отметка дна в каждой точке перелома дна в поперечном сечении русла реки в расчетном створе ПП, обусловленная динамикой средних русловых форм (ленточных гряд, побочней и осередков) или речных излучин, определяемая на участке обследования с учетом данных прошлых лет, сезонных деформаций перекатов, воздействия защитных инженерных мероприятий на соседних ПП МТ и возможной дальнейшей динамикой морфологического строения речного русла в соответствии с 10.4—10.8;

$h_г$ — высота гряд при максимальных уровнях воды 10 %-ной обеспеченности, определяющая возможные сезонные (циклические) деформации дна и рассчитываемая в соответствии с 9.1.9;

δ — погрешность промеров глубин при русловой съемке принимается 0,1 м — при глубинах до 10 м; 0,2 м — при глубинах от 10 до 20 м; 0,5 м — при глубинах свыше 20 м.

При наличии измерений параметров гряд в ходе проведения ИГМИ минимальные отметки ППР рассчитывают по формуле

$$Z_{\text{min ППР}} = Z_{\text{min д}} - h_г - \Delta_г - \delta, \quad (10.2)$$

где $h_г$ — фактическая высота донных гряд, установленная в ходе проведения ИГМИ в соответствии с СП 482.1325800.2020 (5.10.9.3);

$\Delta_г$ — дополнительные деформации дна, обусловленные увеличением высоты донных гряд (микроформ) при прохождении половодий или паводков при максимальных уровнях воды 10 %-ной обеспеченности и рассчитываемые в соответствии с 10.2.

10.2 Расчет циклических деформаций дна, обусловленных формированием и движением гряд (микроформ)

При расчетах минимальных отметок ППР следует учитывать, что максимально возможные деформации дна, обусловленные формированием и движением русловых микроформ (гряд), определяются высотой этих микроформ при прохождении паводков редкой повторяемости.

Поэтому при расчетах минимальных отметок ППР по формуле (10.1) величину этих циклических деформаций, равных $h_г$ и происходящих только во время паводков и половодий, следует определять расчетным путем по формулам (9.9) — (9.12).

При расчетах минимальных отметок ППР по формуле (10.2) величину дополнительных циклических деформаций дна, равных $\Delta_г$ и обусловленных увеличением высоты гряд (микроформ) при прохождении половодий или паводков редкой повторяемости, следует рассчитывать по формуле

$$\Delta_г = 0{,}1k_г(H_{10\,\%} - H), \quad (10.3)$$

где $k_г$ — коэффициент, учитывающий возможные отклонения фактической высоты гряд от расчетных значений, принимаемый равным 1,3;

$H_{10\,\%}$ — глубина на расчетной вертикали при расчетном максимальном уровне воды 10 %-ной обеспеченности;

H — глубина на этой же вертикали на момент русловой съемки.

Величину этих дополнительных деформаций дна, обусловленных переформированием русловых микроформ (гряд) при прохождении паводков при максимальных уровнях воды 10 %-ной обеспеченности, определяют по всему ППР русла реки в точках перегиба профиля дна в створе перехода трубопровода, установленного в соответствии с 10.3—10.8.

10.3 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса

10.3.1 При ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса линию вертикальных деформаций в створах переходов трубопроводов строят в следующем порядке:

- на основании совмещения планов разных лет съемки, поперечных профилей или расчетным путем определяют вероятность и темпы смещения русловых мезоформ, плесовых лощин, перекатов и длину участка совмещения $L_{\text{совм}}$;
- совмещают на одном чертеже поперечные профили русла для участка, расположенного выше створа перехода МТ. Поперечники следует совмещать по осевой (средней геометрической) линии русла;
- по наинизшим отметкам совмещенных профилей проводят огибающую линию вертикальных деформаций (размывов), обусловленных предполагаемым смещением мезоформ и плесовых лощин с вышерасположенного участка реки в створ перехода за многолетний период;
- на основании материалов изысканий или расчетным путем определяют значение дополнительных циклических деформаций, обусловленных движением донных наносов в форме гряд при прохождении половодий при максимальных уровнях воды 10 %-ной обеспеченности;
- строят прогнозируемый профиль суммарных (многолетних и дополнительных циклических) размывов русла.

10.3.2 Прогнозируемый ППР русла при побочневом, осередковом и ленточно-грядовом типах руслового процесса необходимо строить с учетом скорости смещения мезоформ и длины участка совмещения, определяемой по формуле (10.4), и по схемам, приведенным на рисунках 10.1 и 10.2.

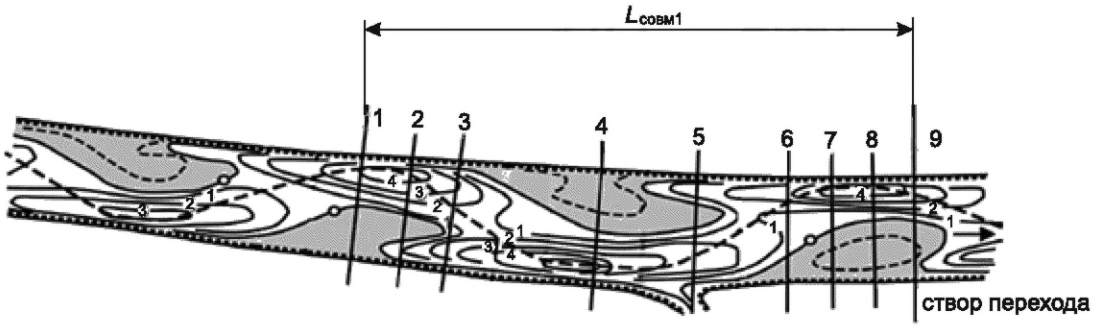
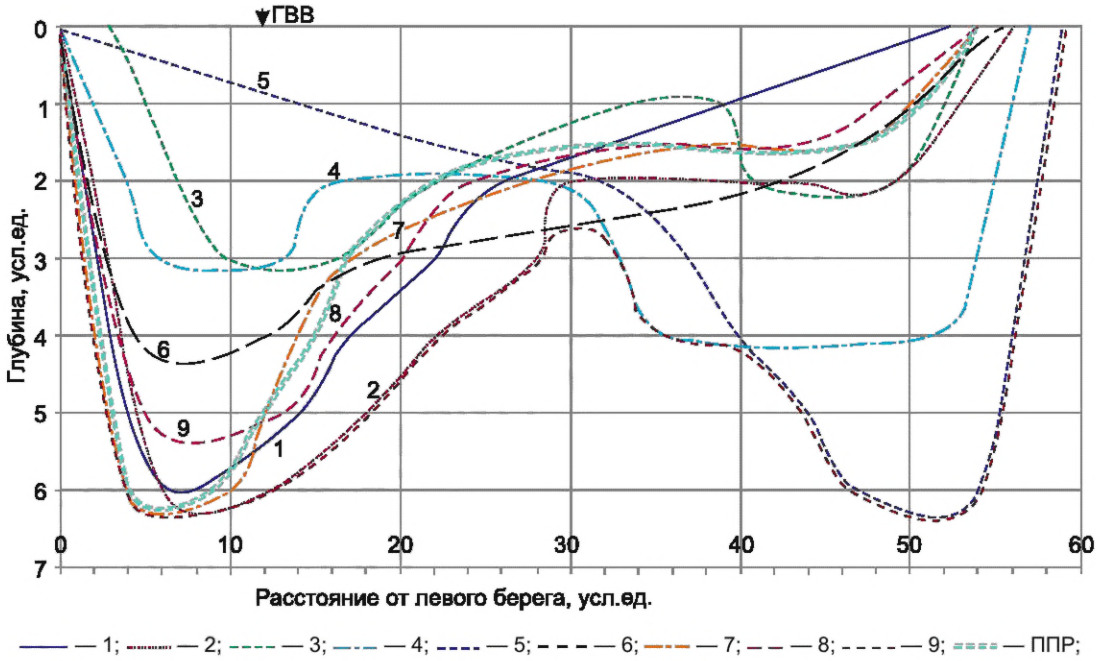


Рисунок 10.1 — Схема расположения совмещаемых поперечников при побочневом типе руслового процесса



ГВВ — уровень воды, соответствующий уровню бровок русла (профили по створам и прогнозируемые ППР русла без учета сезонных деформаций); 1—9 — поперечники, обозначенные на рисунке 10.1

Рисунок 10.2 — Схема построения ППР русла реки с побочневым типом

10.3.3 Длину $L_{совм}$, м, участка русла с ленточно-грядовым, побочневым или осередковым типами, в пределах которого выполняется совмещение поперечных профилей при использовании среднемноголетних значений скорости движения мезоформ, следует рассчитывать по формуле

$$L_{совм} = k_з C_{пр} T_{пр}, \quad (10.4)$$

где $k_з$ — коэффициент запаса, зависящий от достоверности определения среднемноголетней скорости $C_{пр}$, принимаемый для интервала совмещения более 10 лет равным 1,2, а для интервала менее 10 лет, а также для значений $C_{пр}$, полученных расчетом или по объекту-аналогу, равным 2;

$C_{пр}$ — среднемноголетняя скорость смещения характерных точек русловых мезоформ или других фрагментов руслового рельефа (гребень переката, подвалье плеса и т. д.), определяемая на основании совмещения разновременных русловых съемок, цифровых инженерно-топографических планов, крупномасштабных топографических карт, ВЛС или разновременных аэрофотоснимков или космических снимков среднего разрешения по реке-аналогу, м/год;

$T_{пр}$ — расчетный срок прогнозирования, включающий время проектирования и строительства, год.

При расчете длины участка совмещения поперечных сечений с использованием формулы (9.23) следует учитывать периоды неподвижности и активного движения мезоформ в течение одного года, определяемые в соответствии с рекомендациями, изложенными в 9.2.

10.3.4 Поперечные сечения русла, необходимые для их совмещения, строят в створах, расположенных в пределах установленного участка совмещения, проведенных через характерные элементы рельефа дна, расположенные в пределах участка (см. рисунок 10.1).

Если в результате расчета длины участка совмещения по формуле (10.4) будет установлено, что этот участок включает в себя весь побочень (мезоформу) целиком, створы построения поперечных сечений следует проводить в соответствии с рисунком 10.1 для участка с $L_{совм1}$ (створы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9), на котором створ перехода совпадает с поперечником 9.

Если в результате расчета длины участка совмещения по формуле (10.4) будет установлено, что этот участок включает в себя только часть побочня (мезоформы), то створы построения поперечных сечений следует проводить только в пределах участка совмещения с обязательным включением в их состав створа, проходящего через минимальную отметку бокового плеса.

10.3.5 По наинизшим отметкам совмещенных профилей, назначенных в соответствии с 10.3.4, проводят огибающую линию вертикальных деформаций (размывов), обусловленных ожидаемым смещением мезоформ и плесовых лощин с вышерасположенного участка реки в створ перехода за многолетний период.

Совмещенные поперечные профили русла для участков, расположенных выше створов переходов для участка длиной $L_{совм1}$ и $L_{совм2}$, и проведенные по наинизшим отметкам совмещенных профилей огибающие приведены на рисунке 10.2.

Представленная на рисунке 10.2 огибающая по наинизшим отметкам совмещенных поперечных профилей для участка длиной $L_{совм1}$ отражает вертикальные деформации в створе перехода за многолетний период эксплуатации перехода без учета дополнительных циклических (сезонных) колебаний отметок дна.

10.3.6 Размыв бровок каждого из обоих берегов $L_б$, м, при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса принимается равным:

$$L_б = (B_{макс} - B_{ств}) / 2, \quad (10.5)$$

где $B_{макс}$ — максимальная ширина русла между бровками берегов на участке длиной $L_{совм}$, определяемом в соответствии с 10.3.3;

$B_{ств}$ — ширина русла между пойменными бровками берегов в проектном створе.

Отступление бровок каждого из обоих берегов $L_б$ принимают равным не менее 10 % от ширины русла в пойменных бровках, соответствующей уровню воды при прохождении среднемноголетнего максимального расхода воды.

10.4 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при ограниченном меандрировании

10.4.1 Минимальные отметки ППР при ОМ определяют по аналогии с побочневым типом руслового процесса, т. е. по совмещенным поперечникам. Но при этом при ОМ поперечники должны включать русло и пойму, т. е. весь пояс руслоформирования. Поперечники следует совмещать по средней линии пояса руслоформирования (пояса меандрирования).

10.4.2 Длину участка совмещения поперечников при ОМ рассчитывают по формуле

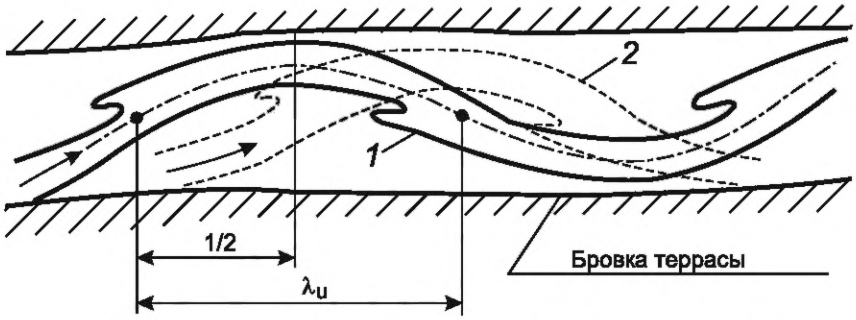
$$L_{совм} = CT_{пр}, \quad (10.6)$$

где C — скорость сползания излучин, м/год;

$T_{пр}$ — расчетный срок прогнозирования, включающий время проектирования и строительства, год.

Скорость сползания излучины C, которое происходит по схеме, приведеной на рисунке 10.3, определяют при совмещении крупномасштабных карт или космических снимков за разные годы съемки.

10.4.3 Для малых рек шириной от 10 до 25 м и максимальной глубиной более 1,5 м совмещения поперечных профилей русла и построения огибающей линии глубинных деформаций не требуется. Вместо этого определяют линию наименьших отметок дна на участке русла, длина которого установлена по формуле (10.6). При этом следует учесть, что при ОМ плесы и перекаты в пределах излучин морфологически привязаны к плановым очертаниям излучин и сползают вниз по течению вместе со всем меженным руслом реки. Плановые деформации и плановое смещение меженного русла при этом устанавливают путем совмещения крупномасштабных топографических карт, цифровых инженерно-топографических планов, материалов ВЛС, космических или аэрофотоснимков разных лет съемки.



1 — начальное положение бровок русла; *2* — положение бровок русла через время *t* между съемками; $\lambda_и$ — шаг излучины (расстояние между точками перегиба геометрической оси речного русла на излучине)

Рисунок 10.3 — Схема планового смещения излучины при ОМ

10.5 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при свободном и незавершенном меандрировании

10.5.1 Для рек со свободным и незавершенным меандрированием ППР русел рек в створах переходов строят без совмещения поперечных сечений в створах переходов, расположенных выше по течению. Это связано с тем, что при всех видах меандрирования внутрирусловые плесы и перекаты являются неотъемлемой частью морфологического строения всей излучины и формируемого ею пойменного массива и не имеют самостоятельного движения вниз по течению реки. Динамика этих плесов и перекатов определяется общим развитием всей излучины и должна прогнозироваться в рамках прогноза ее общего развития.

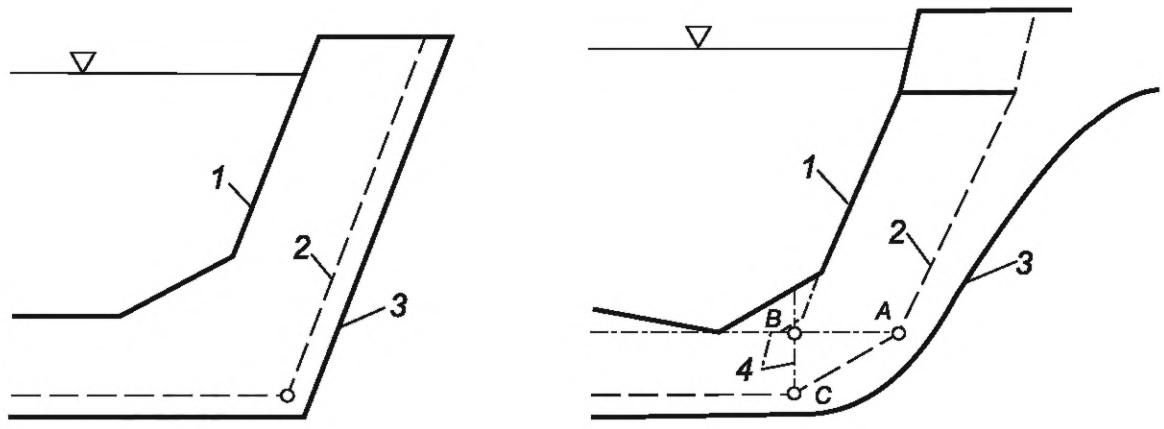
10.5.2 При отсутствии сползания излучины вниз по течению реки за минимальную отметку ППР русла реки в створе перехода принимают минимальную отметку фактического профиля реки в створе перехода с учетом деформаций дна, обусловленных движением гряд при уровнях воды 10 %-ной обеспеченности.

При наличии сползания излучин вниз по течению на разных стадиях их развития минимальное значение ППР принимают с учетом наползания отметок дна, расположенных выше по течению от створа перехода, со скоростью сползания излучины, определенной в соответствии с рекомендациями пункта 10.5.4 и с учетом деформаций дна, обусловленных движением гряд при уровнях воды 10 %-ной обеспеченности.

10.5.3 Построение ППР вогнутого берега при свободном и незавершенном меандрировании, приведенное на рисунке 10.4, выполняют в следующем порядке:

- на поперечном профиле русла в створе перехода проводят линию, параллельную существующей линии берега и подводного берегового склона, смещенную относительно нее в направлении размыва на расчетную величину $L_б$, установленную в соответствии с рекомендациями 9.3;
- на уровне, соответствующем минимальной отметке прогнозируемого вертикального размыва, проводят горизонтальную линию;
- сопряжение прогнозируемых линий глубинного и берегового размывов выполняют с учетом трассировки МТ. При трассировке МТ по радиусу искусственного гнутья линии продолжают до их взаимного пересечения [см. рисунок 10.4 а)]. При трассировке МТ по радиусу естественного упругого изгиба [рисунок 10.4 б)] линию размыва (отступления) берега *2* проводят до пересечения с горизонтальной линией *4*, проходящей через наинизшую отметку существующего дна (точка *А*). Линию глубинного размыва *1* проводят до вертикали, проходящей через точку *В* на пересечении указанной горизонтальной линии *4* с продолжением линии существующего берегового склона (точка *С*). Крайние точки *С* и *А* линии глубинного размыва и отступления берега соединяют прямой линией.

Изложенную методику построения ППР русла в пределах речных излучин следует применять для излучин, деформации которых выражаются не в сползании излучин, а в их поперечном развитии и вращении вокруг точек перегиба (см. рисунок 8.1). В таких случаях развитие излучин происходит без углубления плесов вогнутого берега реки, т. е. при неизменной наинизшей отметке дна в плесе.



а) При трассировке трубопровода с кривой искусственного гнутья

б) При трассировке трубопровода по радиусу упругого изгиба

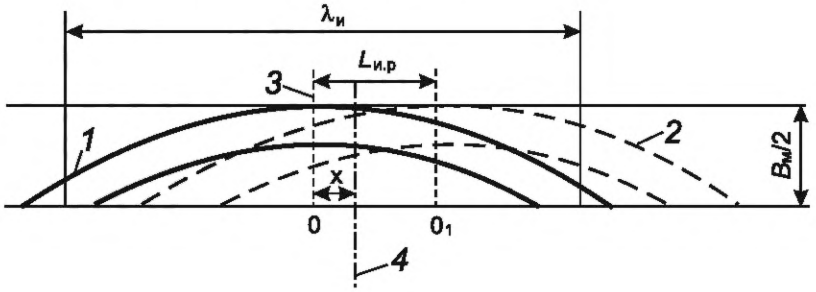
1 — линия естественного дна; *2* — линия прогнозируемого размыва русла; *3* — дно траншеи; *4* — вспомогательные кривые построения ППР размыва

Рисунок 10.4 — Схема построения ППР размыва русла на вогнутых берегах меандрирующих излучин

10.5.4 Отступление бровки размываемого берега за прогнозируемый период $L_б$ при ограниченном и свободном меандрировании (для излучин с углом разворота менее 50°) следует определять графическим или аналитическим способом. При графическом способе (см. рисунок 10.5) совмещают по общим ориентирам разновременные съемки излучины, измеряют смещение излучины $L_и$ за период между съемками t и рассчитывают фактическую скорость сползания излучины по формуле

$$C_и = L_и/t, \tag{10.7}$$

далее смещают план участка более поздней съемки относительно первоначального положения излучины на расчетное смещение излучины $L_{и.р} = C_и T_{пр}$, где $T_{пр}$ — продолжительность прогнозируемого периода.



1 — положение излучины в начальный момент 0; *2* — положение излучины в конце периода 0_1; *3* — ось симметрии излучины в первоначальном положении; *4* — проектный створ; $B_м$ — ширина пояса меандрирования; $\lambda_и$ — шаг излучины; $L_{и.р}$ — расчетное смещение излучины; χ — расстояние от вершины излучины до створа перехода

Рисунок 10.5 — Схема смещения излучины при ОМ и слаборазвитых излучин при СМ

При аналитическом способе следует использовать данные о скорости сползания излучины $C_и$ по участку (или реке-аналогу). Смещение излучины за прогнозируемый период $T_{пр}$ следует рассчитывать по формуле

$$L_{и.р} = \alpha C_и T_{пр}, \tag{10.8}$$

где α — коэффициент запаса, равный 1,5, если аналогом является участок данной реки, и равный 2,0, если аналог — это участок другой реки.

Поперечное смещение бровки берега (поперечный размыв выпуклого берега) в створе перехода $T_б$ за прогнозируемый период $T_{пр}$ определяют в соответствии со схемой (см. рисунок 10.5). С помощью графиков (см. рисунки 10.6 и 10.7) получают величину относительного размыва выпуклого берега

в зависимости от параметров, $L_{и.р}/\lambda_и$, $\chi/\lambda_и$, где $L_{и.р}$ — расчетное смещение излучины, $\lambda_и$ — шаг излучины (расстояние между точками перегиба средней линии русла), χ — расстояние от вершины излучины до створа перехода.

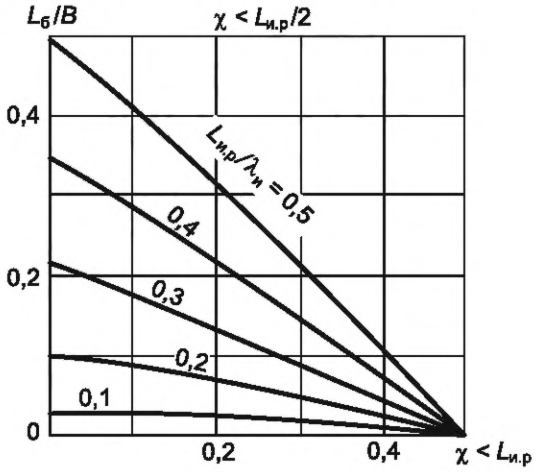
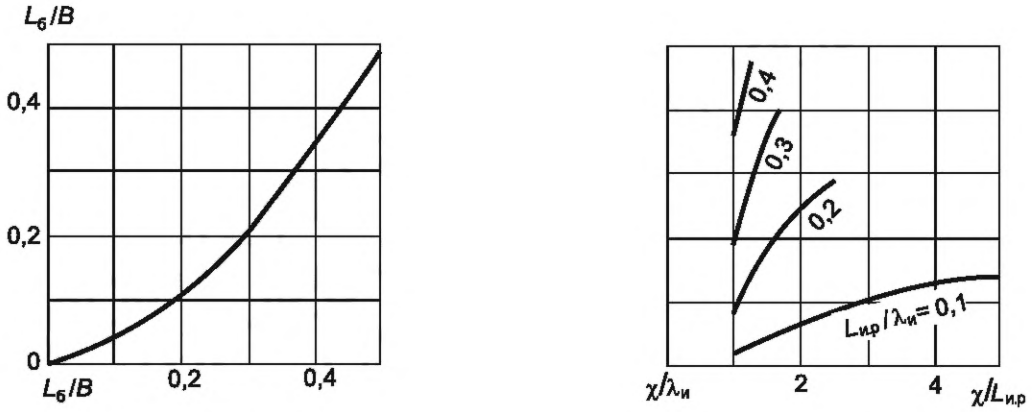


Рисунок 10.6 — Графики относительного поперечного размыва выпуклого берега в зависимости от расстояния проектного створа до вершины излучины при различных темпах смещения излучины



а) $L_{и.р}/2 < \chi < L_{и.р}$ б) $L_{и.р} < \chi$

Рисунок 10.7 — Графики относительного поперечного размыва вогнутого берега

Для определения $L_б$ необходимо значения $L_б/B$, полученные по графикам на рисунках 10.6 и 10.7, умножить на ширину пояса меандрирования $B_м$ (расстояние по перпендикуляру между касательными к вершинам смежных излучин). При расположении створа перехода ниже по течению от вершины излучины на расстоянии, меньшем половины расчетного смещения излучины $L_{и.р}$, следует учитывать размыв обоих берегов, а при большем расстоянии — только размыв вогнутого берега.

10.6 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва при русловой и пойменной многорукавности

При русловой и пойменной многорукавности с устойчивыми островами ППР строят отдельно для каждого рукава русла по одному из методов, указанных в 10.3—10.5.

10.7 Построение прогнозируемого профиля предельного размыва русел рек при доминировании ограничивающего фактора руслового процесса

Для русел рек первого гидроморфологического типа, описанных в приложении Б, в которых движение донных наносов в форме средних русловых форм (мезоформ) отсутствует, а положение плесов и перекатов привязано к стабильной форме орографического русла, ППР русла строят с учетом только

максимальных сезонных деформаций дна, обусловленных движением микроформ (гряд) с высотой, соответствующей максимальным уровням воды 10 %-ной обеспеченности. Высоту этих гряд рассчитывают в соответствии с рекомендациями по 9.1.9.

При этом расчет значения минимальных отметок ППР $Z_{min\ ППР}$ русла проводят по формулам (10.1) или (10.2), в которых значение минимальной отметки дна в каждой точке поперечного русла реки в расчетном створе ПП $Z_{min\ д}$ устанавливают с учетом многолетней стабильности морфологического строения русел рек первого морфологического типа.

10.8 Учет инженерно-геологического строения долины реки при построении прогнозируемого профиля предельного размыва русла для всех типов руслового процесса

Построенный в проектном створе перехода прогнозируемый ППР, учитывающий все возможные указанные выше деформации русла, совмещают с инженерно-геологическим разрезом русла в проектном створе, на котором должны быть отмечены выявленные при ИГИ границы распространения грунтов, в том числе крупнообломочных, скальных и глинистых грунтов, а также мерзлых грунтов. Оценку степени размываемости (неразмываемости) ИГЭ, вскрытых под речным руслом в ходе проведения ИГИ, следует проводить на основе расчетов и сравнения значений, прогнозируемых средних на вертикалях скоростей течений речного потока и неразмывающих скоростей течений (средних на вертикалях) для данных ИГЭ при гидравлических условиях, соответствующих уровням воды 10 %-ной обеспеченности.

Если выходы крупнообломочных грунтов (базального слоя), скальных и глинистых грунтов, а также мерзлых грунтов в проектном створе расположены выше отметок прогнозируемого профиля многолетних и сезонных деформаций дна, окончательный ППР следует проводить по границе этих грунтов.

11 Метод построения профиля предельного размыва русел горно-предгорных рек при траншейном способе прокладки перехода магистрального нефтепровода

11.1 Русловой процесс на реках горно-предгорной зоны, русла которых сложены из крупного аллювия, характеризуется рядом специфических особенностей:

- значительным влиянием ограничивающего фактора;
- прерывистым в течение года и в многолетнем разрезе транспортом донных наносов и, соответственно, прерывистостью активности речного русла;
- неразвитостью и нестабильностью речных пойм;
- условиями образования русловых микро- и мезоформ при значениях относительной гладкости потока $H / d \geq 30$;
- предельно большим расходом донных наносов и высокими темпами деформаций во время паводков.

Как следствие, на участках рек с горной ПМ и ДБ (наиболее часто встречающимися типами руслового процесса в расширениях горных долин и при выходе водотока из горной зоны в предгорную) во время высоких паводков происходит полная переработка руслового и пойменного рельефа в зоне блуждания потока с равной вероятностью появления наибольших глубин в любой точке блуждания русла.

В результате при переходе через водную преграду, на которой наблюдается русловой процесс по типу ДБ или горной ПМ, ППР характеризуется двумя основными параметрами: его длиной $L_{ППР}$ и $Z_{ППР}$ — прогнозной наименьшей отметкой дна в сечении русла по створу перехода водной преграды за расчетный срок службы МТ.

Длина ППР $L_{ППР}$ определена либо шириной паводочного русла реки при ДБ $B_{пав}$, либо шириной пояса руслоформирования $B_{п.р}$ при горной ПМ.

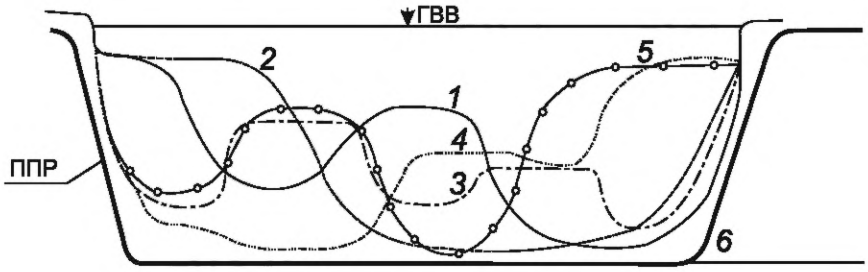
11.2 При ДБ ширина пояса руслоформирования или длина ППР, характерная для морфологически однородного участка, может быть определена по формуле

$$L_{ППР} = (1{,}2 \div 1{,}3)B_{пав}, \quad (11.1)$$

где $B_{пав}$ — средняя ширина паводочного русла реки в бровках на морфологически однородном участке, расположенном от створа перехода МН вверх по течению. Длину этого участка определяют по формуле (10.4).

11.3 Значение $Z_{ППР}$ при ДБ определяют по совмещенным поперечным профилям паводочного русла реки, которые должны освещать всю амплитуду колебаний отметок дна на морфологически однородном участке от створа перехода вверх по течению (см. 10.3.2—10.3.6). Минимальную отметку ППР при ДБ

устанавливают с учетом того, что появление максимальной глубины паводочного русла, как и при осередковом типе руслового процесса, равновероятно по всему поперечному сечению. Пример проведения ППР паводочного русла при побочневом и осередковом типах руслового процесса показан на рисунке 11.1.



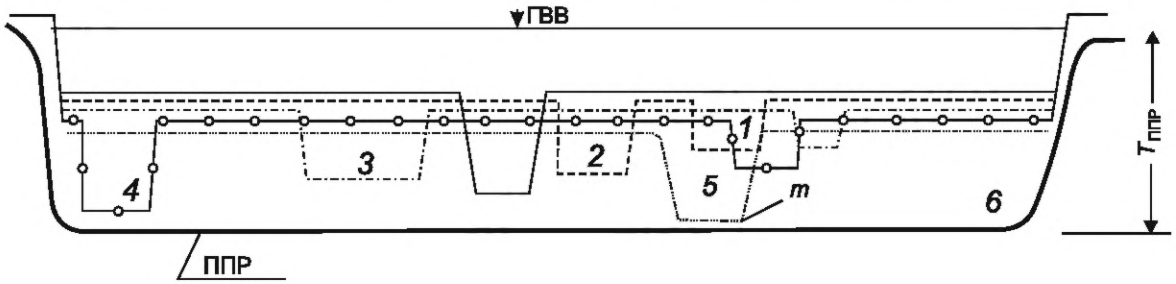
ГВВ — уровень пойменных бровок русла; *1—5* — поперечные профили паводочного русла реки, освещающие всю амплитуду колебаний отметок дна на морфологически однородном участке выше по течению от створа перехода; *6* — ППР

Рисунок 11.1 — Схема построения ППР русла при побочнево-осередковом типе руслового процесса на горной реке

11.4 Для участков рек с горной ПМ ширина пояса руслоформирования $B_{п.р}$ является шириной зоны между линиями, касательными к участкам максимальных деформаций крайних проток у противоположных бортов долины с учетом возможного развития излучин в этих протоках. Створ перехода трубопровода при горной ПМ следует назначать в местах с наименьшей шириной пояса руслоформирования, т. е. в местах сужения долины. При выборе сужений долины для расположения створа перехода трубопровода определение ширины пояса руслоформирования не требуется. В таком случае ширина пояса руслоформирования в створе перехода соответствует ширине паводочного русла на участке сужения долины, которую легко определяют по аэрофотопланам и крупномасштабным картам.

11.5 Значение минимальной отметки ППР русла при горной ПМ $Z_{ППР}$ определяют по совмещенным поперечникам пояса руслоформирования на участке сужения долины. Как правило, она соответствует глубине плеса на излучине с максимальной степенью развитости, обнаруженной на всем участке совмещения поперечников. В соответствии с законами развития речных русел при горной ПМ появление такого плеса с минимальной отметкой дна равновероятно во всем поперечном сечении пояса руслоформирования в створе перехода за период его эксплуатации. Это обстоятельство и определяет схему проведения ППР при горной МП, которая приведена на рисунке 11.2.

11.6 При построении ППР русла для горных и полугорных рек с ленточно-грядовым, побочневым и осередковым типами руслового процесса, а также при ДБ и горной ПМ учет сезонных деформаций речного русла, обусловленных движением гряд, не требуется. Это обусловлено тем, что при данных типах руслового процесса на горных реках движение донных наносов на поверхности средних русловых форм при прохождении паводков с обеспеченностью ниже 50 % происходит в бесструктурной форме, т. е. без формирования микроформ-гряд, с динамикой которых и связаны сезонные деформации.



m — максимальная глубина плеса с максимальной степенью развитости на участке выше створа перехода; $T_{ППР}$ — максимальная глубина ППР русла при уровне воды 10 %-ной обеспеченности; *1 — 5* — поперечные профили паводочного русла реки, освещающие всю амплитуду колебаний отметок дна на морфологически однородном участке выше по течению от створа перехода; *6* — ППР

Рисунок 11.2 — Схема построения ППР русла реки на участках рек с горной ПМ

11.7 В узких однорукавных орографических руслах горных и полугорных рек, в которых движение руслоформирующих наносов при прохождении паводков происходит без формирования средних русловых форм (ленточных гряд и побочней), транспорт донных наносов при прохождении паводков может

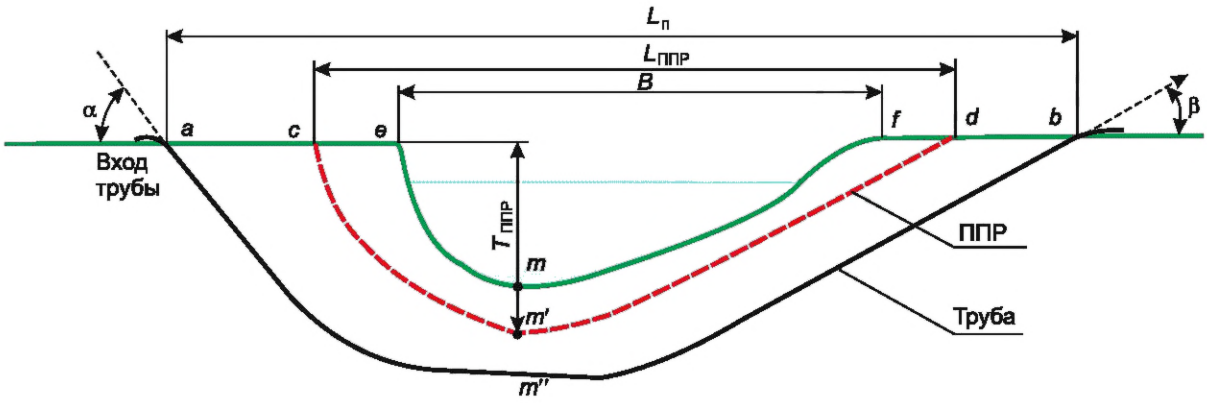
проходить в бесструктурной форме или в форме гряд (микроформ). В связи с этим при построении ППР русла следует учесть максимально возможные циклические (сезонные) деформации речного русла, обусловленные движением гряд путем расчета высоты этих гряд по формуле (9.12) для уровней воды, соответствующих расходам воды 10 %-ной обеспеченности.

12 Методы построения профиля предельного размыва русел равнинных и горно-предгорных рек при прокладке перехода магистральных нефтепроводов бестраншейными методами

12.1 Общие положения

12.1.1 Наибольшую угрозу МН при пересечении реки бестраншейными методами представляют деформации берегов русла в направлении к точкам входа *a* и выхода *b* трубы и размывы дна в направлении к верхней образующей туннеля (скважины) *m″* (см. рисунок 12.1).

12.1.2 В связи с длительным сроком эксплуатации ПП, построенных бестраншейными методами, ширина ППР русел малых рек может совпадать с шириной пояса многолетнего руслоформирования (меандрирования). Границы пояса многолетнего руслоформирования (меандрирования) этих рек могут быть установлены по морфологическим признакам и следам прежнего положения русла реки на современной (неунаследованной) пойме.



$L_п$ — длина перехода; $L_{ППР}$ — длина ППР; *B* — ширина реки в бровках; $T_{ППР}$ — максимальная глубина ППР; α — угол входа трубы; β — угол выхода трубы; *m*, *m′*, *m″* — отметки точек максимальных глубин соответственно: на момент съемки, предельного размыва русла и верхней образующей скважины в точке его максимального заглубления; *a* и *b* — точки входа и выхода трубы; *c*, *d*, *e*, *f* — бровки существующего и прогнозируемого русла

Рисунок 12.1 — Параметры ППР в створе перехода трубопровода при пересечении реки методом ННБ

12.1.3 Положение трубопровода в туннеле (скважине), выполненном бестраншейными методами, будет устойчивым по условиям размыва русла в течение расчетного времени эксплуатации перехода $t_э$, если длина ППР будет меньше, чем длина перехода, т. е. $L_{ППР} < L_п$, а максимальная глубина ППР будет меньше, чем максимальная глубина перехода (глубина положения верха трубопровода).

12.1.4 Расстояние от бровок существующего *ae, fb* или прогнозируемого *ac, db* берегов до точек входа и выхода трубы и толщина грунта между существующим *mm″* и прогнозируемым *m′m″* дном реки и верхней образующей туннеля (см. рисунок 12.1) определены следующими факторами:

- типом руслового процесса (схемой деформаций) участка реки;
- интенсивностью русловых деформаций;
- инженерно-геологическим строением дна долины;
- технологическими требованиями производства работ.

12.1.5 Схему и количественные значения деформаций дна и берегов реки, положение границ пояса руслоформирования или границ пояса меандрирования, а также оптимальное положение створа перехода определяют типом речного русла и типом руслового процесса на участке перехода, опознавательные признаки которых приведены в разделе 6 и в приложении Б.

12.1.6 Интенсивность деформаций определяют гидрологическим режимом реки, влиянием на него сооружений и техногенной деятельности на реке, форс-мажорными обстоятельствами и геологическими условиями.

Снижение величины и интенсивности деформаций дна и берегов реки может быть достигнуто либо выбором положения створа перехода на участке с минимальными плановыми и вертикальными деформациями русла, либо путем инженерной стабилизации русла реки на участке расположения створа перехода.

Инженерно-геологическое строение дна долины может оказать существенное влияние на величину расстояний, указанных на рисунке 12.1.

12.1.7 Расстояния *ac* и *db* (см. рисунок 12.1) определяют с учетом условий производства работ при бурении туннеля, протаскивании трубы и технологии использования бурового раствора.

12.1.8 Прогнозу и расчету ППР русла в створе перехода трубопровода должна предшествовать оценка общих тенденций естественного и антропогенного изменения участка реки на расстоянии длиной в несколько макроформ или русловых мезоформ в зависимости от типа руслового процесса, указанных в приложении Г, а также детальный анализ морфологического строения поймы и следов процессов руслофорирования на ней.

12.1.9 Антропогенные изменения, вызванные влиянием гидротехнических сооружений на русловой режим участка перехода трубопровода, следует учитывать в соответствии с принципами взаимодействия руслового процесса и активных и пассивных сооружений (см. приложение А).

При оценке влияния активных и пассивных сооружений на характер и интенсивность русловых деформаций в створах переходов трубопроводов следует учитывать, что:

- зона влияния на русловой процесс сооружений I категории простирается по реке выше и ниже их местоположения, захватывая участки реки, состоящие из нескольких макроформ;
- зона влияния на русловой процесс сооружений II категории ограничивается одной макроформой или несколькими мезоформами;
- возведение в реке пассивных сооружений не приводит к изменению русловых макроформ и мезоформ, а вызывает лишь перестройки русловых микроформ в непосредственной близости от сооружения или в его пределах.

12.2 Этапы построения профиля предельного размыва русла

12.2.1 Основными расчетными параметрами ППР при пересечении реки бестраншейными методами являются его максимальная длина $L_{ППР}$ и максимальная глубина $T_{ППР}$ (см. рисунок 12.1).

12.2.2 Определение количественных значений этих параметров проводят в три этапа.

На первом этапе — определение ориентировочных значений, используемых при назначении положения трассы трубопровода и при выборе участков рек для их пересечения трубопроводом.

На втором этапе — определение количественных значений $L_{ППР}$ и $T_{ППР}$, характерных для морфологически однородного участка реки, пересекаемого трассой.

На третьем этапе — определение значений параметров для конкретного створа перехода, т. е. разработка прогноза деформаций речного русла в створе перехода на весь установленный в задании ИГМИ расчетный срок прогнозирования плановых и вертикальных деформаций речного русла, и построение ППР русла реки в створе перехода.

12.3 Определение ориентировочных значений параметров ППР русла

12.3.1 На данном этапе определения значений основных параметров ППР величина $L_{ППР}$ должна приниматься равной максимальной ширине пояса современного руслоформирования ($B_{max\ п.р}$).

12.3.2 Ширина пояса современного руслоформирования $B_{п.р}$ — это расстояние между линиями, касательными к зонам максимальных деформаций на противоположных берегах реки.

Для меандрирующих рек пояс современного руслоформирования равен поясу современного меандрирования $B_м = B_{п.р}$ — расстоянию между касательными линиями, проведенными через вершины противоположно направленных смежных излучин, находящихся в завершающей стадии развития.

Для рек с ПМ пояс современного руслоформирования является зоной между линиями, касательными к зонам максимальных деформаций крайних проток у противоположных бортов долины с учетом возможного развития излучин в этих протоках.

12.3.3 Для каждого типа руслового процесса установлена связь между шириной пояса руслоформирования $B_{п.р}$ и шириной русла реки между пойменными бровками B. Значения $B_{п.р}$ и B, осредненные по многим генетически однородным участкам (типам руслового процесса) многих рек, приведены в таблице 12.1.

Отклонение $B_{п.р}$ от среднего значения приведено в таблице 12.1 в виде среднеквадратичного отклонения σ_B, которое, как известно, сохраняет размерность ряда наблюдений.

12.3.4 Поскольку длине ППР на данном этапе расчетов следует придавать максимальные значения, то $L_{ППР}$ должна быть установлена как средняя ширина пояса руслоформирования для данного типа руслового процесса плюс среднеквадратичное отклонение в соответствии с данными, приведенными в таблице 12.1.

Таблица 12.1 — Значения относительной ширины пояса современного руслоформирования $B_{п.р} / B$ при разных типах руслового процесса

Тип руслового процесса	Средняя относительная ширина пояса руслоформирования $B_{п.р} / B$	Среднеквадратичное отклонение σ_B
Свободное меандрирование	8,86	2,53
Незавершенное меандрирование	5,67	1,35
Пойменная многорукавность	5,58	1,85
Ограниченное меандрирование	3,41	0,71
Побочневый тип	1,18	0,24
Русловая многорукавность	1,01	0,05

12.3.5 Поскольку длине ППР на данном этапе расчетов следует придавать максимальные значения, то $L_{ППР}$ должна быть установлена как средняя ширина пояса руслоформирования для данного типа руслового процесса плюс среднеквадратическое отклонение в соответствии с данными, приведенными в таблице 12.1.

12.3.6 Определенные по таблице 12.1 значения $L_{ППР}$ следует использовать при назначении новой трассы трубопровода и при определении приоритетов различных участков рек (с разным типом руслового процесса) при выборе участка и створа перехода и при определении метода строительства перехода (траншейного, воздушного, методами ННБ, ГНБЩ, микротоннелирования или комбинированного).

12.3.7 При невозможности выбора участка реки с типом руслового процесса, для которого характерен узкий пояс руслоформирования (ПБ или ОМ), и при неизбежности пересечения реки на участке с широким поясом руслоформирования следует планировать проведение детальных предпроектных ИГМИ для разработки точного прогноза развития русла реки, ее проток и пойменных массивов на расчетный срок эксплуатации перехода.

В таких случаях створ перехода трубопровода $L_{ППР}$, точки входа и выхода туннеля устанавливают только после проведения третьего этапа расчетов, т. е. после разработки указанного прогноза.

12.3.8 Для уменьшения значения $L_{ППР}$ на участках рек с широкой зоной руслоформирования следует предусматривать проведение инженерных мероприятий по стабилизации русла реки или по сужению пояса руслоформирования. К этим мероприятиям относят локальное берегоукрепление, обвалование поймы, укрепление спрямлений излучин и др.

При проектировании этих мероприятий также должны быть проведены предварительные оценки и расчеты второго и третьего этапов.

12.4 Определение значений параметров профиля предельного размыва русла для морфологически однородного участка реки и для конкретного створа перехода

12.4.1 На втором и третьем этапах определения количественных значений основных параметров ППР русла $L_{ППР}$ и $T_{ППР}$ построение ППР русла следует выполнять с учетом типа руслового процесса на основании ретроспективных топографических материалов и материалов ДЗЗ, а также материалов ИГМИ, ИГДИ и ИГИ.

12.4.2 Ретроспективные топографические и картографические материалы и материалы ДЗЗ, необходимые для производства оценок, расчетов и прогнозов плановых и высотных деформаций дна и берегов водных объектов, а также для установления динамики их пойменных массивов, следует собирать в пределах всего морфологически однородного участка реки, на котором намечен створ перехода трубопровода.

12.4.3 Методы и приемы определения количественных значений основных параметров ППР $L_{ППР}$ и $T_{ППР}$, характерных для морфологически однородного участка, а также методы и способы построения ППР русла в створе перехода трубопровода определяют типом руслового процесса на участке.

12.4.4 При ПБ и РМ плановые деформации русел рек носят знакопеременный характер и имеют незначительную амплитуду. Поэтому ширина пояса $B_{п.р}$ руслоформирования или длина ППР $L_{ППР}$, характерная для морфологически однородного участка, при данных типах руслового процесса может быть определена по формуле

$$B_{п.р} = L_{ППР} = (1{,}2 \div 1{,}3)B, \quad (12.1)$$

где B — средняя для морфологически однородного участка ширина русла реки в пойменных бровках.

12.4.5 Ширину пояса современного руслоформирования или длину ППР русла для конкретного створа перехода при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса рассчитывают также по формуле (12.1), только значение B определяют как среднюю ширину русла реки в пойменных бровках, на участке, расположенном вверх по течению от створа перехода. Длину этого участка L определяют по формуле

$$L = CT_{пр}, \quad (12.2)$$

где C — скорость смещения мезоформ (ленточных гряд, побочней и осередков), определяемая по совмещенным русловым съемкам, или крупномасштабным картам, или лоциям за разные годы, м/год;

$T_{пр}$ — расчетный срок прогнозирования, включающий время проектирования и строительства, год.

12.4.6 При расчете длины участка осреднения ширины пояса руслоформирования и участка совмещения поперечных сечений при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса с использованием положений по 9.3.1 следует учитывать периоды неподвижности и активного движения мезоформ в течение одного года, определяемые в соответствии с рекомендациями, изложенными в 9.2.

12.4.7 Значения $B_{п.р}$ для морфологически однородного участка и для створа перехода при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса должны иметь близкие значения. В случае существенных расхождений этих значений следует провести дополнительный анализ по определению причин подобного различия.

12.4.8 Параметр $T_{ППР}$ при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса определяют по совмещенным поперечным профилям русла реки в пределах пойменных бровок. Поперечники следует совмещать по осевой (средней геометрической) линии русла. Совмещаемые поперечники должны равномерно освещать всю амплитуду колебаний отметок дна на участке от створа перехода трубопровода вверх по течению. Длину этого участка определяют по формуле (12.2).

12.4.9 Построение ППР русла для створа перехода при ленточно-грядовом, побочневом и осередковом типах руслового процесса следует проводить в соответствии с 10.3.

12.4.10 Максимальную глубину ППР русла при ПМ $T_{ППР}$ определяют по совмещенным поперечникам пояса руслоформирования на участке перехода. Как правило, она соответствует глубине плеса на излучине максимальной степени развитости на участке, и ее появление за период эксплуатации перехода трубопровода равновероятно во всем поперечном сечении пояса руслоформирования в створе перехода.

Построение ППР на участках с ПМ проводят по схеме, приведенной на рисунке 11.2.

12.4.11 Для учета возможных сезонных деформаций речного русла, обусловленных динамикой микроформ при движении донных наносов в паводок при данных типах руслового процесса значение $T_{ППР}$, определенное по совмещенным поперечным сечениям, следует увеличить на расчетную высоту гряд при уровне воды, соответствующем высоте бровок пойменного берега, т. е. при $T_{ППР}$. Расчет высоты гряд при глубине $T_{ППР}$ следует проводить по формулам (9.9) — (9.12).

12.4.12 Ширину пояса руслоформирования в створе перехода при побочневом и осередковом типах руслового процесса, соответствующую ширине паводочного русла на участке сужения долины, определяют по аэро- и космическим фотопланам и крупномасштабным картам.

12.4.13 При РМ и ПМ створ перехода следует назначать в местах сужения долины. В связи с этим при данных типах процесса определение ширины пояса руслоформирования для морфологически однородного участка не требуется.

12.4.14 Ширину пояса руслоформирования в створе перехода при РМ и ПМ определяют по крупномасштабным топографическим картам, цифровым инженерно-топографическим планам, материалам ВЛС, космическим снимкам или аэрофотоснимкам как расстояние между крайними пойменными бровками крайних рукавов многорукавного русла вне зависимости от водности этих рукавов в момент съемки с учетом прогноза возможного развития этих рукавов по одной из схем меандрирования или с учетом возможного сползания вниз по течению руслового острова, расположенного выше по течению от створа перехода.

12.4.15 Частные отклонения от общих принципов построения ППР русла при РМ и ПМ и определение возможности использования комбинированного метода пересечения русла (траншейного, воздушного и подземными бестраншейными способами) устанавливают только на основании детального исследования и прогноза динамики всех рукавов, русловых островов и пойменных массивов на участке перехода.

12.4.16 Ширину пояса руслоформирования и, следовательно, длину профиля предельного размыва при ОМ как для морфологически однородного участка, так и для створа перехода трубопровода определяют по топографическим картам, цифровым инженерно-топографическим планам, материалам ВЛС, космическим снимкам или аэрофотоснимкам как ширину поймы между незатопляемыми террасами.

12.4.17 Максимальную глубину ППР при ОМ определяют аналогично ПБ, т. е. по совмещенным поперечникам. Причем при ОМ поперечники должны включать русло и пойму, т. е. весь пояс руслоформирования. Совмещать поперечники следует по средней линии пояса руслоформирования (пояса меандрирования).

12.4.18 Длину участка совмещения поперечников при ОМ определяют в соответствии с рекомендациями, изложенными в 10.4.2.

12.4.19 Когда период сползания излучин (время смещения излучины на полный ее шаг) меньше расчетного срока прогнозирования, включающего время проектирования и строительства $T_{пр}$, длина ППР может быть уменьшена за счет проведения створа перехода через точку перегиба излучин и приближения точки входа скважины к пойменной бровке со стороны выпуклого пойменного массива. В этих случаях точное место входа скважины должно быть определено только на основании детального прогноза развития и сползания конкретной пересекаемой излучины.

12.4.20 На морфологически однородном участке равнинной реки со СМ при пересечении реки трубопроводом бестраншейными методами местоположение створа перехода трубопровода и значения параметров ППР ($L_{ППР}$ — длина ППР, $T_{ППР}$ — максимальная глубина ППР) на основании имеющихся топографических и картографических материалов, а также материалов инженерных изысканий рекомендуется устанавливать в следующем порядке:

- определяют ширину пояса меандрирования $B_м$ морфологически однородного участка, охватывающего шесть — восемь излучин;
- устанавливают максимальную глубину в плесе на выбранном морфологически однородном участке при уровне затопления бровок пойменных берегов, которую при проектировании подземного перехода трубопровода бестраншейными методами принимают как $T_{ППР}$ — максимальную глубину ППР с учетом сезонных деформаций дна, обусловленных грядовым движением донных наносов согласно 12.4.11;
- на основании совмещения планов участка русла разных лет съемок, в том числе одной на момент проектирования перехода трубопровода, выявляют характер развития и взаимодействия излучин;
- определяют среднюю и наибольшую скорость планового смещения вогнутого берега каждой излучины в пределах морфологически однородного участка;
- на основании выявленных закономерностей развития всех излучин на исследуемом участке прогнозируют плановое положение русла на этом участке на расчетный срок эксплуатации перехода трубопровода;
- для перехода трубопровода выбирают подучасток, охватывающий три смежные излучины, с наименьшими плановыми деформациями для всего морфологически однородного участка. С учетом положения русла на прогнозируемый срок для рассматриваемого подучастка устанавливают длину ППР $L_{ППР}$. В этом случае $L_{ППР}$ будет значительно меньше ширины пояса меандрирования $B_м$ для всего морфологически однородного участка реки, которая может составлять 11B;
- разрабатывают рекомендации и предложения (в случае необходимости) по стабилизации русла на участке перехода;
- на участках равнинных рек со СМ наименьшие плановые деформации русел наблюдаются, как правило, у мостовых переходов вследствие стабилизации русел этим инженерным сооружением, а также в пределах излучин, прижатых к одному из склонов долины. Поэтому данные подучастки следует рассматривать как приоритетные для расположения створа перехода трубопровода.

12.4.21 Уровень риска эксплуатации перехода трубопровода, пересекающего участок реки со СМ, достаточно высок в силу значительных плановых деформаций русла и большой ширины пояса меандрирования на рассматриваемом участке реки. В связи с этим для разработки проекта и строительства перехода трубопровода методом ННБ, равно как и прокладки линейной части трубопровода, на участке реки со СМ необходимо выполнение детального анализа имеющихся картографических, геологиче-

ских материалов, а также проведение детального рекогносцировочного обследования речного участка (наземное, аэровизуальное или с использованием космических снимков высокого разрешения) по программе, установленной СП 482.1325800.2020 (5.6.1 и 5.6.2).

12.4.22 Надежный прогноз смещения берега наиболее сложен как на слишком короткий, так и на слишком отдаленный срок. Недопустимо коротким считается срок, который короче полного среднемноголетнего цикла колебаний водности на данной реке. Чрезмерно продолжительный срок сопоставим с полным периодом развития излучины (от слабой извилистости до состояния петли), в течение которого возможно воздействие на исследуемый процесс труднопредсказуемых факторов, переводящих деформации берегов в область случайных явлений и затрудняющих прогнозирование даже их направленности.

12.4.23 На участке равнинной реки с НМ створ перехода трубопровода может быть расположен как в основном русле, так и в спрямляющем протоке. При выборе места створа перехода необходимо учитывать, что основное русло и спрямляющий проток проходят в своем развитии разные стадии, свойственные разным типам руслового процесса: ленточно-грядовому, побочневому и меандрированию.

Незавершенное меандрирование является разновидностью СМ. Поэтому выбор створа перехода трубопровода на участке реки с НМ и определение ППР в створе этого перехода осуществляют в таком же порядке, как и при СМ.

При изучении режима плановых деформаций излучины НМ, в границах которой предполагается строительство перехода, особое внимание следует уделить процессу развития спрямляющего протока в пределах данной излучины, так как спрямляющий проток со временем может превратиться в главное русло, что свойственно данному типу руслового процесса.

В результате значительных планово-высотных деформаций русла на участке реки с НМ уровень риска при эксплуатации перехода на этом участке, как и на участке реки со СМ, относительно высокий. В этой связи проектным работам должен предшествовать детальный анализ на основе проведения детальных полевых изысканий.

12.4.24 В ряде случаев строительство перехода через реки со свободным и незавершенным меандрированием, а также с ПМ может быть осуществлено комбинированным способом, а именно — траншейным способом и одним из бестраншейных методов в зависимости от особенностей процессов руслоформирования на отдельных участках поперечного сечения русла и поймы и технических возможностей.

12.4.25 При всех типах руслового процесса на участке перехода построенный ППР совмещают с инженерно-геологическим разрезом русла в проектном створе, на котором должны быть отмечены выявленные при ИГИ границы распространения грунтов, в том числе крупнообломочных, скальных и глинистых грунтов, а также мерзлых грунтов.

Окончательный ППР дна в створе перехода с выходом крупнообломочных грунтов, скальных, мерзлых и глинистых грунтов на отметках выше прогнозируемого ППР следует проводить по верхней границе этих грунтов.

13 Оценка заносимости подводных траншей на этапе ее разработки при строительстве подводных переходов

13.1 Проектно-технологические задачи

Отложение донных наносов в траншее при скоростях течения потока, превышающих неразмывающие, необходимо учитывать для решения следующих проектных задач:

- определение запаса на заносимость Δb_3 к ширине проектной траншеи по низу;
- определение объема наносов, поступающих в траншею за время ее разработки.

13.2 Расчетные методы определения заносимости траншей

13.2.1 Для расчетов удельных расходов донных наносов в створе перехода и заносимости подводной траншеи донными наносами, перемещающимися в период строительства, необходимо располагать следующими исходными данными:

- поперечными профилями дна реки и траншеи в створе перехода;
- данными о гранулометрическом составе проб донных отложений, отобранных одновременно с измерениями скоростей течений на тех же промерных вертикалях;
- результатами измерения (или расчета) средних на вертикалях скоростей течения потока в створе перехода, расположенного вблизи створа перехода, при расчетном уровне воды в период строительства, предусмотренный в проекте организации строительства перехода.

13.2.2 Если подводные земляные работы выполняют при уровнях воды и скоростях течения, существенно отличающихся от указанных в проекте, то следует выполнить повторные расчеты заносимости траншей на стадии корректировки проекта организации строительства.

13.2.3 Расчеты заносимости траншеи следует выполнять на основании измеренных или рассчитанных по формулам Шези и Маннинга данных о параметрах потока в расчетных точках (глубинах потока, средних на вертикалях скоростях течений), соответствующих уровню воды в период производства строительных работ, и данных о гранулометрическом составе донных отложений.

13.2.4 Расчеты заносимости траншеи следует проводить только в тех отсеках русла в створе подводной траншеи, в которых средние на вертикалях скорости течения в период разработки траншеи превышают неразмывающие скорости течений для данной средней крупности донных отложений согласно 9.1.2—9.1.6.

13.2.5 Значения удельных расходов донных наносов $q_т$, $q_{т.макс}$, $q_{тi}$ [см. формулы (13.1) — (13.3)] следует рассчитывать по формулам, приведенным в 9.1.11, 9.1.12, с учетом положений 9.1.13.

13.2.6 Значение расчетного удельного запаса на заносимость траншеи $\Delta b_з$, м, следует определять для наиболее неблагоприятного участка траншеи, на котором удельный расход наносов имеет максимальное значение, а глубина траншеи — минимальное значение. Запас на заносимость траншеи $\Delta b_з$ определяют по формуле

$$\Delta b_з = \frac{q_т t_т}{h_т} = C_{в.от} t_т, \tag{13.1}$$

где $q_т$ — удельный расход донных наносов в расчетном сечении траншеи, м^3/(сут · м);

$t_т$ — время поступления наносов в расчетное сечение траншеи, сут;

$h_т$ — глубина траншеи в расчетном поперечном сечении, м;

$C_{в.от}$ — скорость смещения верхового откоса траншеи в процессе отложения наносов, м/сут.

13.2.7 Смещение верхового откоса траншеи $L_{в.от}$, м, определяют для наиболее неблагоприятного сечения по формуле

$$L_{в.от} = \frac{\alpha q_{т.макс} t_у}{h_т}, \tag{13.2}$$

где $\alpha = 2$ — коэффициент, учитывающий возможное увеличение интенсивности отложения наносов в траншее по сравнению с осредненным вследствие пульсации расхода донных наносов и погрешностей методов его измерения и расчета;

$q_{т.макс}$ — максимальное по фронту траншеи значение удельного расхода донных наносов для вертикали с наибольшей скоростью, м^3/(сут · м);

$t_у$ — расчетное время укладки трубопровода, сут;

$h_т$ — глубина траншеи в расчетном сечении, м.

Погрешности определения расчетных параметров по формуле (13.2) не должны превышать следующих значений: для глубины траншеи — $0{,}1h_m$, для времени укладки — $0{,}2t_y$, для расчетного расхода донных наносов в траншее — $0{,}8q_m$.

13.2.8 Суммарный объем наносов $Q_т$, м^3, откладывающихся в траншее по всей ширине русла в единицу времени, определяют по формуле

$$Q_т = \sum_{i=1}^{n} l_i q_{тi}, \tag{13.3}$$

где l_i — длина частных морфологически однородных участков русла вдоль фронта траншеи;

$q_{тi}$ — удельный расход донных на этих участках траншеи.

13.3 Натурные методы определения заносимости траншей

Для уточнения результатов расчетов заносимости подводных траншей в ответственных случаях следует применять следующие натурные методы измерения расхода наносов:

- метод измерения по характеристикам гряд;
- объемный метод (измерение фактического объема наносов, отложившихся в траншее).

В последнем случае перед разработкой проектной траншеи следует предусмотреть устройство опытной поперечной прорези на участке русла с максимальной расчетной интенсивностью заносимости.

13.3.1 Измерение заносимости траншеи по характеристикам донных гряд

13.3.1.1 Осредненный удельный расход наносов $q_т$, м^3/(сут·м), перемещающихся в форме гряд, определяют по формуле

$$q_т = \overline{m}_г \overline{h}_г \overline{C}_г, \quad (13.4)$$

где $\overline{m}_г$ — средний по продольнику коэффициент полноты (формы) гряд;

$\overline{h}_г$ — средняя по створу измерения высота гряд, м;

$\overline{C}_г$ — средняя по створу измерения скорость перемещения гряд, м/сут.

Примечание — Методика измерений изложена в руководящем документе [3]. Измерения следует выполнять с учетом современных средств измерений, используя повторные промеры дна реки эхолотом по постоянным створам вдоль течения реки (по продольникам).

13.3.1.2 Для определения геометрических параметров гряд (высоты, длины, коэффициента полноты гряды) необходимо выделить точки подвалий и гребней гряд. Выделение точек подвалий и гребней гряд бывает субъективным и затруднительным из-за сглаженных очертаний и наличия случайных возмущений рельефа дна.

Для обработки материала рекомендуется использовать следующие приемы:

а) полученный измерениями глубин профиль дна переводят в систему высотных отметок над условным горизонтом;

б) по первичному материалу промера линейно аппроксимируются участки монотонного подъема и понижения дна, что преобразует измеренный профиль в ломаную линию в координатах X_i; Z_i: ось абсцисс X — расстояние от постоянного начала вверх по течению; ось ординат Z — высотные отметки поверхности дна (см. рисунок 13.1).

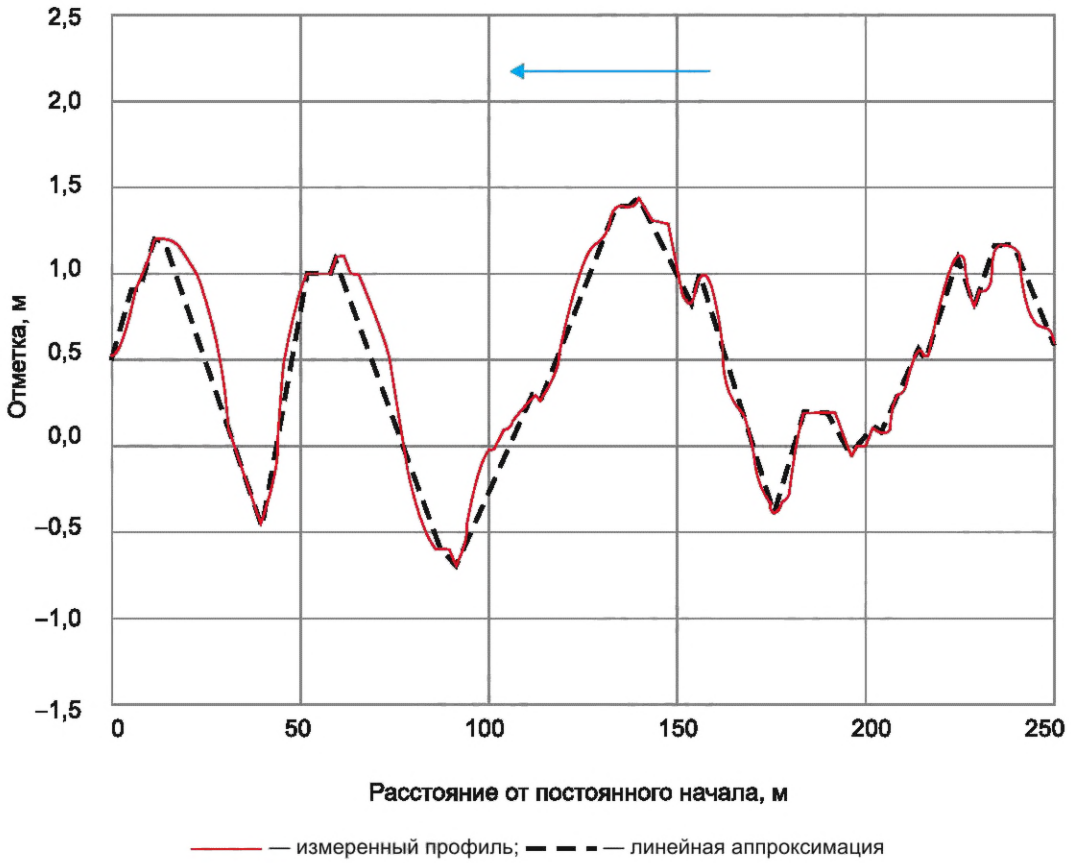
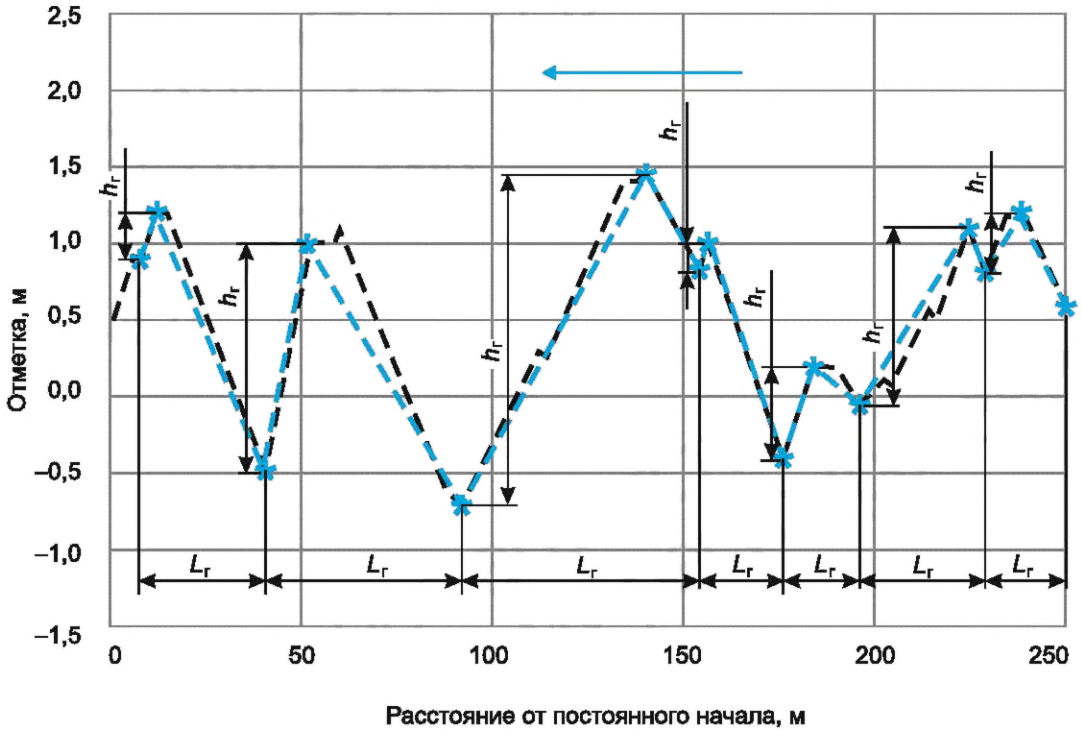


Рисунок 13.1 — Измеренный профиль дна и его линейная аппроксимация

в) для устранения нерепрезентативных точек экстремумов применяют фильтрацию. Мерой оценки значимости и фильтром полученных выступов служит величина σ_z, кратная среднему квадратичному отклонению значений отметок дна на приведенном профиле, определяемому методом последовательных разностей по формуле

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1}(Z_i - Z_{i+1})^2}{2(n-1)}}. \qquad (13.5)$$

Величина σ_z не включает в себя общий тренд и очертания крупных форм дна, а показывает только случайный разброс смежных точек на промерном профиле. Все пики на профиле дна размером менее выбранного значения фильтра (например, σ_z, $1{,}5\sigma_z$ или $2\sigma_z$) следует игнорировать. В результате получают пилообразный сглаженный профиль дна, по которому определяют высоту и длину гряд (см. рисунок 13.2).



— линейная аппроксимация; — * — профиль, сглаженный фильтром 2,5 σ; $h_г$ — высота гряды; $L_г$ — длина гряды

Рисунок 13.2 — Сглаживание профиля и определение длины и высоты гряд

г) средний коэффициент формы гряд $\overline{m}_г$ для профиля вычисляют по формуле

$$\overline{m}_г = \frac{S_г}{S_{сл}}, \qquad (13.6)$$

где $S_г$ — площадь гряд на профиле между линией подвалий и фактической линией дна;

$S_{сл}$ — площадь активного слоя дна между линиями подвалий и гребней гряд (см. рисунок 13.3).

Оценку смещения донных гряд целесообразно проводить через определение среднего смещения очертаний продольного створа измерений. Для этого промеры каждой серии измерений приводят к табличным функциям с постоянным шагом расстояний (шаг дискретности продольной по створу координаты не должен превышать 5 % средней длины гряды). Для табличных функций двух последовательных промеров по одному и тому же продольному створу рассчитывают корреляционную функцию $R(\Delta l, \tau)$ по формуле

$$R(\Delta l, \tau) = \frac{\sum_{0}^{L-\Delta l}(x - \overline{x})(y_{\Delta l} - \overline{y})}{\sqrt{\sum_{0}^{L-\Delta l}(x - \overline{x})^2 \sum_{0}^{L-\Delta l}(y_{\Delta l} - \overline{y})^2}}, \qquad (13.7)$$

где y — значения отметок дна в фиксированных от постоянного начала точках по результатам первой серии эхолотирования;

x — значения отметок дна в фиксированных от постоянного начала точках по результатам повторной серии эхолотирования через промежуток времени t (при промерах ходом против течения);

L — длина продольного профиля;

$y_{\Delta l}$ — отметки по данным первого промера со смещением Δl от постоянного начала при вычислении значений корреляционной функции.

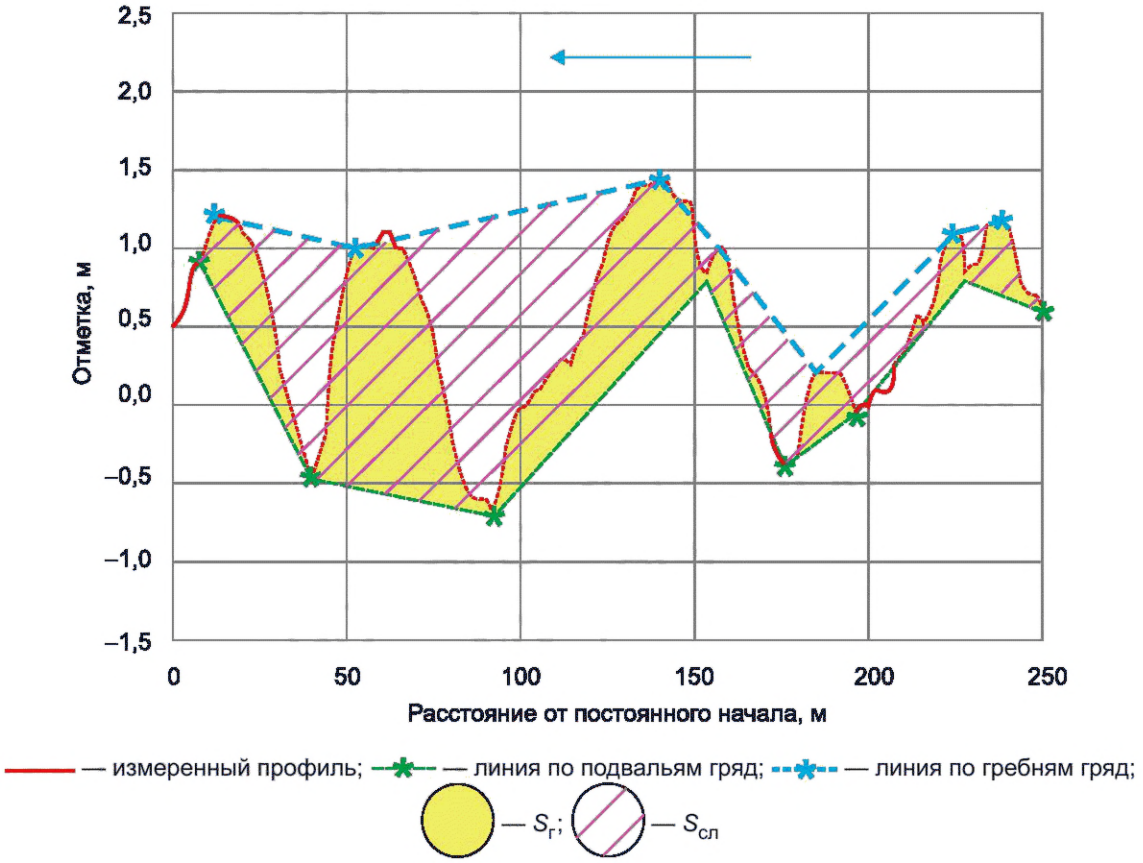


Рисунок 13.3 — Схема расчета среднего коэффициента формы гряд $\overline{m}_г$

Значение Δl определяют по первому максимуму корреляционной функции, что соответствует среднему смещению гряд по профилю створа измерений.

13.3.1.3 Среднюю скорость перемещения гряд $C_г$, м/сут, определяют исходя из выражения

$$\overline{C}_г = \frac{\Delta L_г}{T_п}, \tag{13.8}$$

где $\Delta L_г$ — среднее смещение очертаний профиля за время $T_п$;

$T_п$ — время между первым и последующим промерами, сут.

13.3.1.4 Для опознавания гряд следует проводить не менее трех серий промеров по одному и тому же створу, принимая интервал времени между второй и третьей сериями в два раза меньше интервала между первой и второй сериями. Время между первой и второй сериями промеров $T_{п1\text{-}2}$ следует принять на основе предварительного расчета, равного половине периода движения гряд $\tau_г$ и вычисляемого по формуле

$$T_{п1–2} = \frac{\tau_г}{2} = \frac{l_г}{2C_г}, \tag{13.9}$$

где $C_г$ определяют по формуле (9.13).

13.3.2 Измерение заносимости траншеи объемным методом в период строительства

13.3.2.1 Удельный расход наносов $q_т$, м^3/(сут · м), откладывающихся в опытной поперечной прорези или траншее, определяют путем сопоставления поперечных профилей прорези (траншеи) на различные даты промеров по формуле

$$q_т = \frac{\Delta L_{в.от} h_т}{T_п}, \quad (13.10)$$

где $\Delta L_{в.от}$ — смещение характерной точки верхового откоса траншеи (бровки или средней точки откоса траншеи) за время между промерами, м;

$h_т$ — глубина траншеи, м;

$T_п$ — время между промерами, сут.

13.3.2.2 Промеры следует выполнять по строго фиксированным поперечникам траншеи либо по произвольным близко расположенным (через 10—15 м) поперечникам.

При обработке и совмещении батиграмм разновременных промеров по фиксированным поперечным створам траншеи необходимо установить идентичность этих створов.

13.3.2.3 Временной интервал между промерами по поперечникам устанавливают в зависимости от интенсивности транспорта донных наносов (расчетной величины максимального в створе перехода удельного расхода донных наносов) и от геометрических параметров опытной поперечной прорези. При этом повторный промер по поперечникам должен быть сделан до занесения опытной поперечной прорези на половину ее объема (половину ее поперечного сечения). Ориентировочный расчет значения максимального в створе перехода удельного расхода донных наносов и заносимости опытной поперечной траншеи должен быть предварительно выполнен в соответствии с 13.2.

13.3.2.4 Смещение верхового откоса траншеи определяют по смещению линии его бровки в направлении нормали к продольной оси траншеи.

Среднее смещение верхового откоса траншеи между двумя соседними точками на линии определяют как среднее арифметическое из соответствующих смещений в этих точках, измеренных по нормали к оси траншеи.

Смещение верхового откоса траншеи определяют после приведения сравниваемых батиграмм к общему масштабу.

13.3.2.5 Среднюю удельную интенсивность отложения наносов $q_{т(l)}$, м^3/(сут·м), на участке траншеи длиной l определяют исходя из выражения

$$\overline{q}_{т(l)} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta L_{в.от\ i} \left(\frac{h_{т1} + h_{т2}}{2} \right)_i}{nt}, \quad (13.11)$$

где $\Delta L_{в.от\ i}$ — смещение верхового откоса в точке i за время t, м;

$h_{т1}$, $h_{т2}$ — соответственно глубина траншеи в i-й точке при первой и последней сериях промеров, м;

n — число точек на участке длиной l.

13.3.2.6 При оценке возможности выпадения взвешенных наносов в траншее следует учитывать ее размеры и характер вторичных течений в ней.

Заиления траншеи взвешенными наносами не происходит, если средняя ширина траншеи вдоль потока близка к длине водоворотной зоны.

Если средняя ширина траншеи вдоль потока существенно больше длины водоворотной зоны, часть попадающих в траншею взвешенных наносов оседает в ней.

Длина водоворотной зоны в траншеях с относительной глубиной $\frac{h_т}{H} > 2$ составляет примерно $3h_т$, а в траншеях с относительной глубиной $\frac{h_т}{H} < 2$ она может достигать от 6 до $8h_т$.

Если средняя ширина траншеи существенно превышает длину водоворотной зоны, объем занесения траншеи взвешенными наносами составляет от 3 % до 10 % от общего объема занесения.

13.4 Примеры решения проектно-технологических задач по учету заносимости подводной траншеи

13.4.1 Пример 1 — Расчет (см. таблицу 13.1) и график (см. рисунок 13.4) пространственной корреляционной функции для последовательных промеров по створу измерения гряд в 8:30 и 16:30 30 сентября

На рисунке 13.5 приведено сопоставление последовательных профилей дна по створу измерения гряд.

Таблица 13.1 — Расчет пространственной корреляционной функции для последовательных промеров по створу измерения гряд в 8:30 и 16:30 30 сентября

Расстояние от постоянного начала, м	Отметки дна по профилю 30.09.18 16:30	Отметки дна по профилю 30.09.18 8:34	Сдвиг Δl м между членами рядов выборок при расчете корреляционной функции	Коэффициент корреляции
39,0	–0,302	1,410	0	0,46
40,0	–0,348	1,315	1	0,50
41,0	–0,407	1,210	2	0,54
42,0	–0,599	1,186	3	0,59
43,0	–0,740	0,957	4	0,63
44,0	–0,880	0,595	5	0,67
45,0	–0,933	0,511	6	0,70
46,0	–0,978	0,429	7	0,74
47,0	–1,065	0,093	8	0,78
48,0	–1,090	–0,090	9	0,81
49,0	–1,071	–0,090	10	0,84
50,0	–1,037	–0,090	11	0,86
51,0	–1,003	–0,128	12	0,88
52,0	–0,192	–0,267	13	0,90
53,0	0,523	–0,427	14	0,915
54,0	0,980	–0,521	15	0,922
55,0	1,311	–0,618	16	0,923
56,0	1,515	–0,719	17	0,918
57,0	1,718	–0,821	18	0,91
58,0	1,865	–0,945	19	0,89
59,0	1,936	–1,105	20	0,87
60,0	1,983	–1,183	21	0,84
61,0	2,010	–1,136	22	0,81
62,0	2,010	–1,090	23	0,78

13.4.2 Пример 2 — Расчет запаса ширины траншеи на заносимость

Следует определить значение расчетного запаса ширины подводной траншеи на заносимость при следующих исходных данных:

- средняя (на вертикали) скорость течения на стрежне потока V = 0,7 м/с;
- глубина H = 5 м;
- средняя крупность донных наносов d = 0,7 мм;
- расчетное время занесения траншеи после ее разработки t = 22 сут;
- глубина траншеи $h_т$ = 45 м.

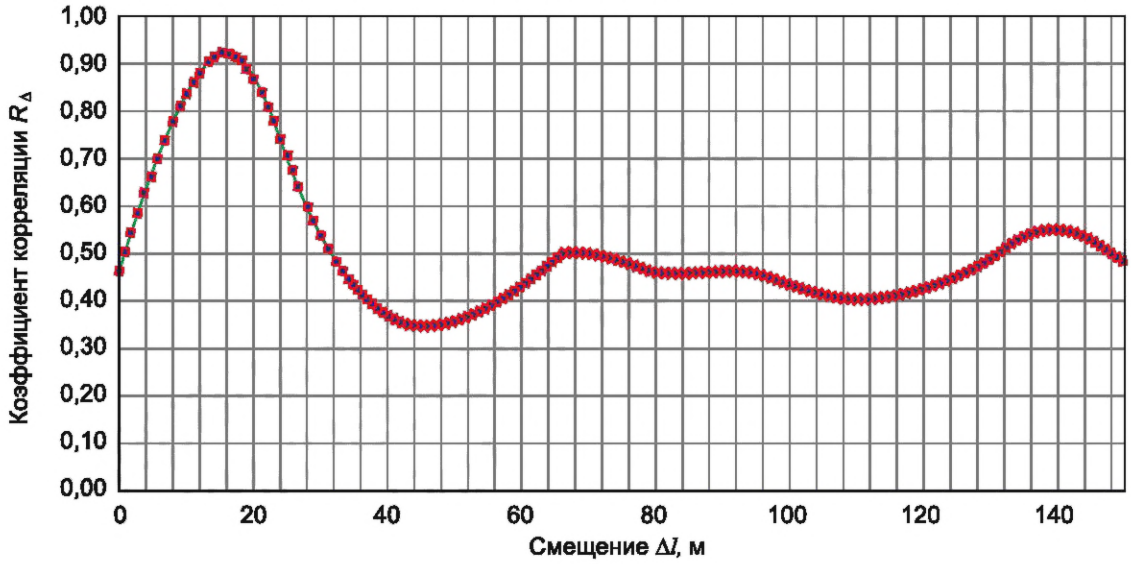


Рисунок 13.4 — График корреляционной функции по данным промеров в 8:30 и 16:30 30 сентября по створу измерения гряд

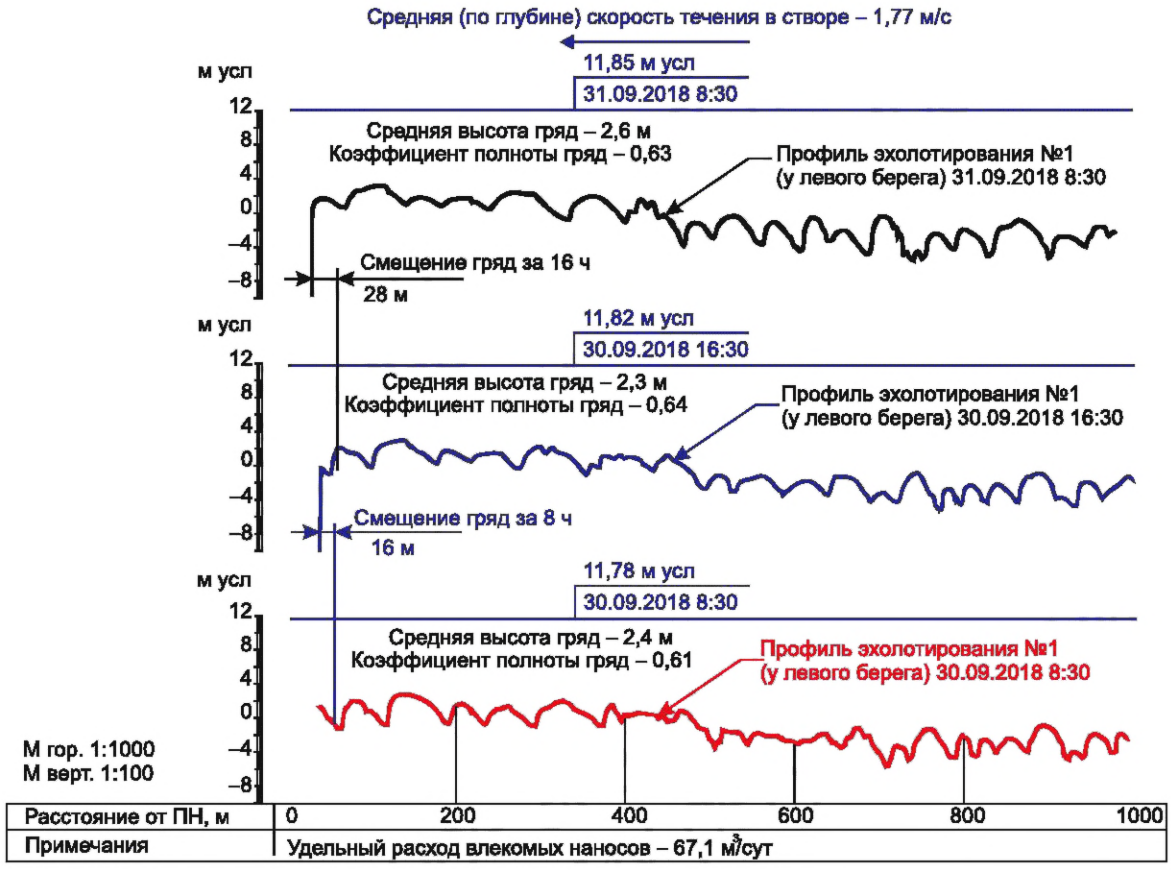


Рисунок 13.5 — Сопоставление последовательных профилей дна по створу измерения гряд

Расчет:

а) определяют число Фруда

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gH}} = \frac{0,7}{\sqrt{9,81 \cdot 5}} = 0,10;$$

б) определяют удельную интенсивность отложения наносов в траншее $q_т$ по формуле (9.14). Высоту донных гряд $h_г$, м, рассчитывают по формуле (9.10), а скорость перемещения гряд $C_г$ — по формуле (9.13):

$h_г = 0,11 \cdot 5 = 0,55$ м,

$C_г = 0,019 \cdot 0,7 \cdot (0,1)^{2,9} = 0,000017$ м/с,

$q_т = 0,6 \cdot 0,55 \cdot 0,000017 = 0,0000056$ м^3/(сут · м) = 0,48 м^3/(сут · м);

в) определяют запас ширины траншеи на заносимость $\Delta b_з$ по формуле (13.1):

$$\Delta b_з = \frac{0,48 \cdot 22}{45} = 2,11 \text{ м}.$$

14 Учет деформаций берегов при проектировании подводных переходов магистральных трубопроводов через водоемы (озера и водохранилища)

14.1 Общие положения

14.1.1 ИГМИ для строительства и реконструкции объектов МТ с целью учета деформаций дна и берегов водоемов и водохранилищ следует проводить в соответствии с СП 47.13330, СП 482.1325800, СП 529.1325800.

14.1.2 В соответствии с СП 482.1325800.2020 (5.1) для характеристики процессов деформаций ложа водоемов в состав основных видов ИГМИ при разработке проектной документации по переходам МТ через водные объекты включено изучение абразии берегов озер и водохранилищ, в рамках которого необходимо выполнить следующие виды работ:

- предварительную оценку тенденций и интенсивности деформаций дна и берегов водоемов и водохранилищ;
- оценку интенсивности процессов формирования и развития береговой эрозии;
- проведение полевых ИГМИ на участке перехода;
- выполнение полевых специальных гидрографических работ на водоемах;
- определение расчетных гидравлических характеристик течений и ветровых волн;
- разработку прогноза развития плановых и вертикальных деформаций дна и берегов водоема на участке перехода и построение ППР дна и берегов в створе ПП на весь срок его эксплуатации, определенный в задании на проектирование.

14.1.3 Состав и объем изысканий, необходимых для обеспечения прогноза переформирований берегов водоема и высотных обратимых деформаций береговых отмелей, а также для оценки заносимости подводных траншей наносами должны быть определены с учетом размеров водоема, изученности его гидрометеорологического режима, инженерно-геологического строения берегов и стадий их развития, степени интенсивности динамических явлений в береговых зонах и на открытой акватории, возможности использования материалов проектирования или опыта строительства и эксплуатации близлежащих к проектируемой трассе существующих подводных МН.

Детальность и полноту прогноза динамических явлений в береговых зонах участка водоема на заданный срок службы подводного МН уточняют последовательно при проведении ИГМИ на каждом из этапов инженерных изысканий для архитектурно-строительного проектирования при подготовке проектной документации.

14.2 Выбор участка и створа подводного перехода

14.2.1 Участок и створ ПП МТ через водоем выбирают с учетом общего направления трассы МТ и размеров водной преграды, морфологии и инженерно-геологического строения берегов и дна водоема, гидрометеорологического режима водоема и динамики береговой зоны, глубин и рельефа дна.

14.2.2 Створы переходов следует размещать на участках водоемов, которые характеризуются:

- как можно меньшей шириной водоема при среднем уровне;
- плавностью подводного и надводного рельефа;
- отсутствием оползневых, просадочных и суффозионных явлений на береговых склонах;
- возможно меньшими деформациями надводного и подводного склонов берега;
- возможно меньшими вдольбереговыми перемещениями наносов;
- преобладанием на трассе перехода грунтов, доступных для разработки траншей и прорезей без предварительного рыхления взрывами;

- наличием глубин, доступных для разработки подводной траншеи имеющимися у строительной организации техническими средствами;

- наличием удобных подъездов к водоему и удобных площадок для производства монтажных работ недалеко от берега;

- наличием на берегах мест для размещения информационных знаков ограждения, четко видимых с акватории водоема;

- достаточной удаленностью створа перехода от существующих гидротехнических сооружений и зданий различного назначения.

При выборе участка и створа перехода следует учитывать также обеспечение допустимых меньших нарушений хозяйственного использования водоема и его береговой зоны как в процессе строительства перехода, так и в период его эксплуатации.

14.2.3 Если береговые склоны водоема имеют большую крутизну (20° — 70° и более) и высоту порядка нескольких десятков или даже сотен метров, а на трассе ПП имеются залив, балка или овраг, то створ ПП МН целесообразно назначать по направлению от устья залива вдоль одного из его берегов, по тальвегу балки или оврага, а далее от водоема — по одному из склонов (оврага или балки) до его бровки. В пределах склона оврага или балки при этом предусматривают противоэрозионную защиту МН.

14.2.4 Предварительный выбор участка перехода МН через водоем на этапе обоснования инвестиций осуществляют на основании следующих материалов:

карты или детальной схемы участка перехода (масштаб 1:10 000 — 1:50 000 в зависимости от ширины водной преграды и протяженности участка вдоль оси водоема), на которой указаны границы распространения горных пород в обнажениях уступа берега, типы береговых отмелей, степень переформирования и высота берегового уступа;

поперечных профилей водоема по предварительно намеченным створам переходов трубопроводов, на которых показано инженерно-геологическое строение дна водоема (при наличии топографических и геологических съемок предыдущих лет);

поперечных профилей створов берега, на которых показано инженерно-геологическое строение, установленное по обнажениям грунтов на уступах, и приближенные отметки возможных предельных уровней воды.

Окончательное решение о размещении створа МТ принимают на основании рассмотрения материалов полевых изысканий и расчетов с учетом положений 14.2.2.

14.3 Прогноз переформирований берега

14.3.1 Общие положения

В основе прогноза переформирования берегов водохранилищ, сложенных несвязными грунтами, лежит нижеприведенная схема процесса.

Под действием ветрового волнения первоначальный подтопленный береговой склон теряет устойчивость и разрушается. Из материала разрушения формируется пологая, постепенно увеличивающаяся в ширину береговая отмель, в границах которой происходит частичное рассеяние волновой энергии. Переформирование берега завершается, когда отмель достигает предельной ширины B_o, достаточной для поглощения всей волновой энергии, способной разрушать береговой откос (см. рисунок 14.1).

14.3.2 При разработке прогноза береговых переформирований необходимо использовать следующие данные:

- профиль берегового склона в расчетном створе и сведения о его инженерно-геологическом строении;

- сведения о расположении расчетного створа на плане водохранилища;

- профили дна водохранилища, ориентированные по четырем наветренным румбам и проходящие через расчетную точку береговой зоны;

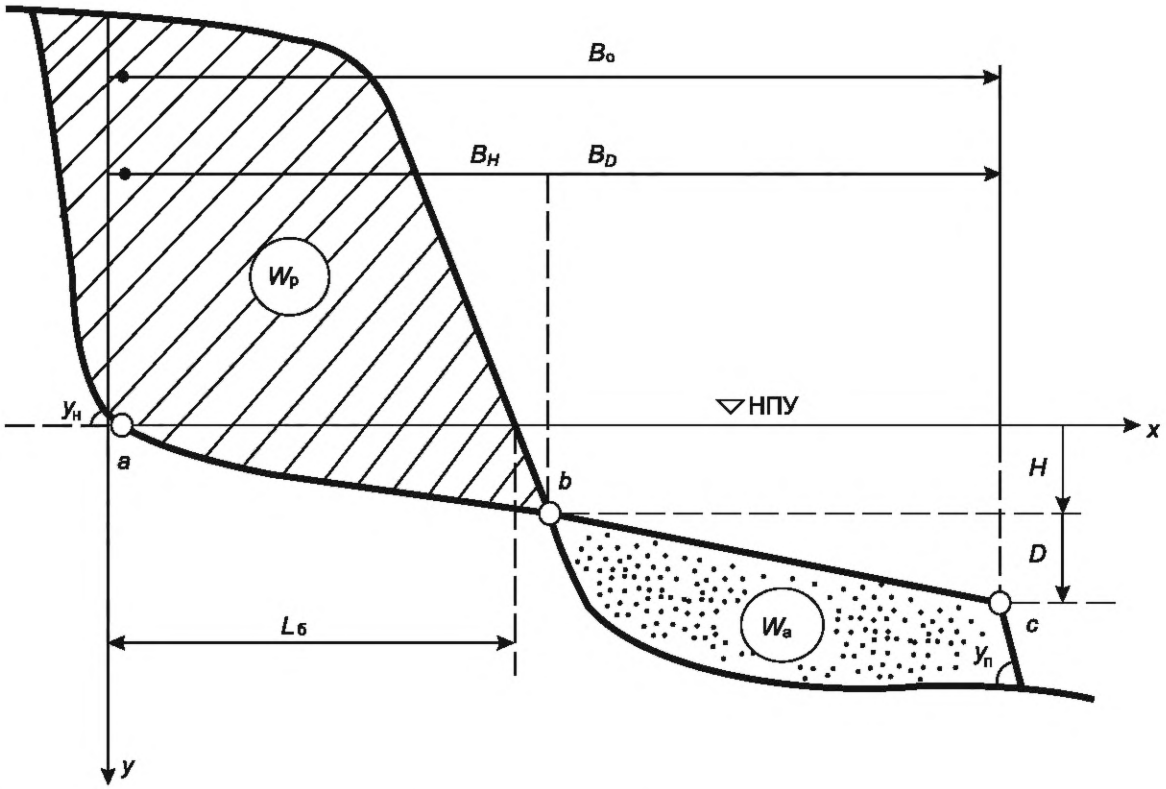
- сведения о ветровом режиме рассматриваемого района водохранилища;

- сведения о режиме уровней воды в водохранилище за безледоставный период;

- сведения об инженерно-геологическом строении берега.

14.3.3 Определение расчетных характеристик ветра и волнения

В качестве исходных материалов для определения расчетных характеристик ветра на участке перехода МН через водоем следует использовать данные о повторяемости p_W ветров различных градаций скорости W по восьми румбам для каждого месяца безледоставного периода, содержащиеся в актуальных официальных справочниках Росгидромета или получаемые из Росгидромета по запросам. Сведения о ветрах собирают по ближайшей к участку перехода метеостанции с учетом класса ее открытости. Следует выбирать наименее защищенные метеостанции.



НПУ — нормальный подпорный уровень; $W_р$ — объем разрушения; $W_а$ — объем аккумуляции; *ab* — криволинейная часть профиля береговой отмели шириной B_H; *bc* — прямолинейная часть профиля отмели шириной B_D; $B_о$ — ширина береговой отмели; *H* — глубина размывающего действия волны при нормальном подпорном уровне; *D* — сработка уровня воды водохранилища; $y_н$ — угол наклона надводного склона берега; $y_п$ — угол наклона внешнего склона береговой отмели; $L_б$ — значения смещения линии берега

Рисунок 14.1 — Схема конечной стадии переформирования берега и его основные элементы

Из полученных сведений о повторяемости ветра p_W за каждый месяц следует использовать данные по четырем наветренным румбам, которые необходимо рассчитать на сезонные повторяемости $p_{W\,с}$, относящиеся ко всему безледоставному периоду продолжительностью *m* полных или неполных (первый и последний) месяцев, по формуле

$$p_{Wc} = \left(\sum^{m} p_W N_m\right) / \left(\sum^{m} N_m\right), \qquad (14.1)$$

где N_m — продолжительность соответствующего полного или неполного месяца.

Для перехода от ветрового режима водохранилища к волновому режиму участка перехода МН для этого участка следует построить волновые характеристики по четырем наветренным румбам, выражающие в графической форме связь между скоростью ветра *W* и высотой волны *h* на подходе к зоне прибрежного мелководья.

Расчеты волновых характеристик на водохранилищах следует выполнять при расчетном уровне воды, равном НПУ, используя методы, рекомендуемые для волн на конечной глубине СП 38.13330, с учетом особенностей, которые могут возникнуть на водохранилищах при резких колебаниях глубин по линии разгона волн. Расчеты волновых характеристик на озерах следует выполнять при среднемноголетнем уровне воды за безледоставный период.

По волновым характеристикам береговой зоны в створе перехода и по сведениям о сезонной повторяемости ветра следует определить обеспеченности высот волн *P* по каждому наветренному румбу, относя таким образом сезонные повторяемости скоростей ветра к соответствующим высотам волн.

Получив для волн h_i повторяемость $p_{i\rho}$ раздельно по четырем наветренным румбам ρ, следует определить среднюю годовую (точнее, среднюю за безледоставный период) мощность этих волн R_i, суммированную по румбам и отнесенную к единице протяженности береговой линии.

Мощность волн R_i рассчитывают по формуле

$$R_i = 7{,}95N\sum^{\rho} h_i^{2,5} p_{i\rho} \cos\alpha_\rho, \tag{14.2}$$

где N — суммарная продолжительность безледоставного периода, ч ($N = \sum^{m} N_m$);

$p_{i\rho}$ — повторяемость волн h_i румба ρ, %;

α_ρ — угол, образованный лучом волны при соответствующем румбе ветра и нормалью к береговой линии, град.

Суммарная средняя годовая мощность всего диапазона высот волн R равна:

$$R = 7{,}95N\sum^{i}\sum^{\rho} h_i^{2,5} p_{i\rho} \cos\alpha_\rho. \tag{14.3}$$

В промежуточных расчетах для их упрощения рекомендуется использовать относительные выражения среднегодовой мощности:

$$r_i = \sum^{\rho} h_i^{2,5} p_{i\rho} \cos\alpha_\rho, \tag{14.4}$$

$$r = \sum^{i}\sum^{\rho} h_i^{2,5} p_{i\rho} \cos\alpha_\rho. \tag{14.5}$$

В качестве расчетной высоты волны h_o принимают высоту, соответствующую поступлению к береговой отмели основной части от 96 % до 98 % волновой энергии. h_o снимают с интегральной кривой относительной мощности волн, пример построения которой приведен на рисунке 14.2.

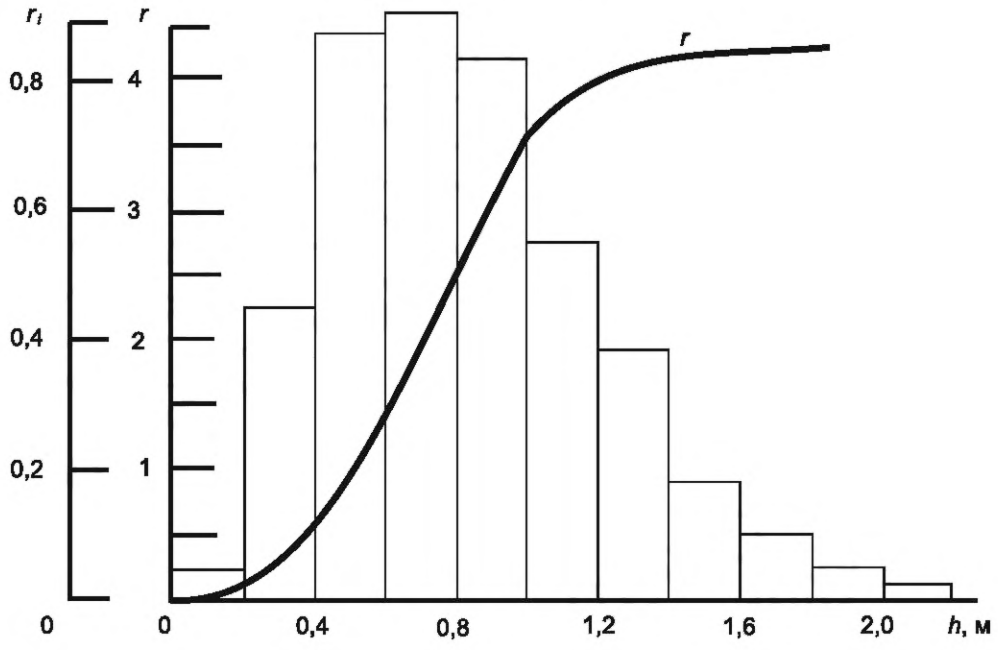


Рисунок 14.2 — Распределение относительной мощности по высоте волны r_i и интегральная кривая относительной мощности r

14.4 Установление профиля устойчивой береговой отмели и определение предельного смещения линии берега

14.4.1 Профиль устойчивой береговой отмели состоит из верхнего криволинейного участка, простирающегося от уреза воды до глубины H, равной глубине размывающего действия расчетной волны h_o, и прямолинейного участка, простирающегося от глубины H до глубины $H+D$ (см. рисунок 14.1), где D — сработка уровня водохранилища за безледоставный период, определяемая по данным о режиме работы водохранилища.

При совмещении оси x с расчетным уровнем воды (обычно принимаемым равным нормальному подпорному уровню), начала координат — с точкой уреза при этом уровне, и при направлении оси y вертикально вниз линию профиля криволинейного участка следует построить по уравнению

$$x = ky^2 + (1/m_п)y. \quad (14.6)$$

Протяженность криволинейного участка B_H и прямолинейного участка B_D следует рассчитывать по уравнениям:

$$B_H = kH^2 + (1 / m_п)H; \quad (14.7)$$

$$B_D = D[2kH + (1 / m_п)]. \quad (14.8)$$

Полную ширину устойчивой береговой отмели $B_о$ принимают равной $B_о = B_н + B_D$.

Коэффициент k в уравнениях (14.6) — (14.8) рассчитывают по формуле

$$k = (m_п - m_о)/(20m_пm_о), \quad (14.9)$$

где $m_п$ — уклон пляжа, уклон линии профиля в точке уреза;

$m_о$ — уклон отмели, уклон линии профиля на условной глубине.

Значения $m_п$ и $m_о$ следует определять исходя из фракционного состава грунтов разрушаемого берегового склона. Фракции крупностью менее 0,05 мм следует исключать из рассмотрения. По среднему диаметру из 30 % наименее крупных из оставшихся фракций следует определять уклон отмели $m_о$; по среднему диаметру из 10 % наиболее крупных фракций — уклон пляжа $m_п$. Уклоны $m_п$ и $m_о$ для грунтов различной крупности приведены в таблице 14.1.

Таблица 14.1 — Уклоны $m_п$ и $m_о$ для грунтов различной крупности

Грунт	Диаметр фракций d, мм	Уклон пляжа $m_п$	Уклон отмели $m_о$
Мелкий песок	0,10—0,25	0,03	0,005
Средний песок	0,25—0,50	0,07	0,01
Крупный песок	0,50—1,00	0,14	0,02
Мелкий гравий	1,00—2,00	0,19	0,03
Средний гравий	2,00—5,00	0,21	0,05
Крупный гравий	5,00—10,00	0,25	0,08
Мелкий галечник	10—20	0,30	0,10
Средний галечник	20—50	0,36	0,15
Крупный галечник	50—100	0,40	0,20

Глубину размывающего действия волны H в формулах (14.7) и (14.8) следует определять по графикам (см. рисунок 14.3) в зависимости от высоты расчетной волны $h_о$ и крупности донных наносов на внешнем крае береговой отмели.

Уклон подводного берегового склона tg $y_п$ (см. рисунок 14.1) рекомендуется принимать равным 0,5. Уклон надводного берегового склона tg $y_п$ должен быть более пологим, чем уклон берега в естественном состоянии. В предварительных расчетах рекомендуется принимать tg $y_н$ (см. рисунок 14.1) при несвязных грунтах равным 0,5, а при наличии прослоек из связных и крупнообломочных грунтов — 1,0.

14.4.2 Положение профиля устойчивой отмели относительно начального берегового склона

Положение профиля устойчивой отмели относительно начального берегового склона следует определять путем графического совмещения этих профилей (см. рисунок 14.1), выполненного с соблюдением следующего условия:

$$W_а / W_р = א, \quad (14.10)$$

где $W_а$ — объем аккумуляции;

$W_р$ — объем разрушения начального берегового склона;

א — коэффициент аккумуляции, равный относительному содержанию в материале разрушения фракций $d \geq 0,05$ мм.

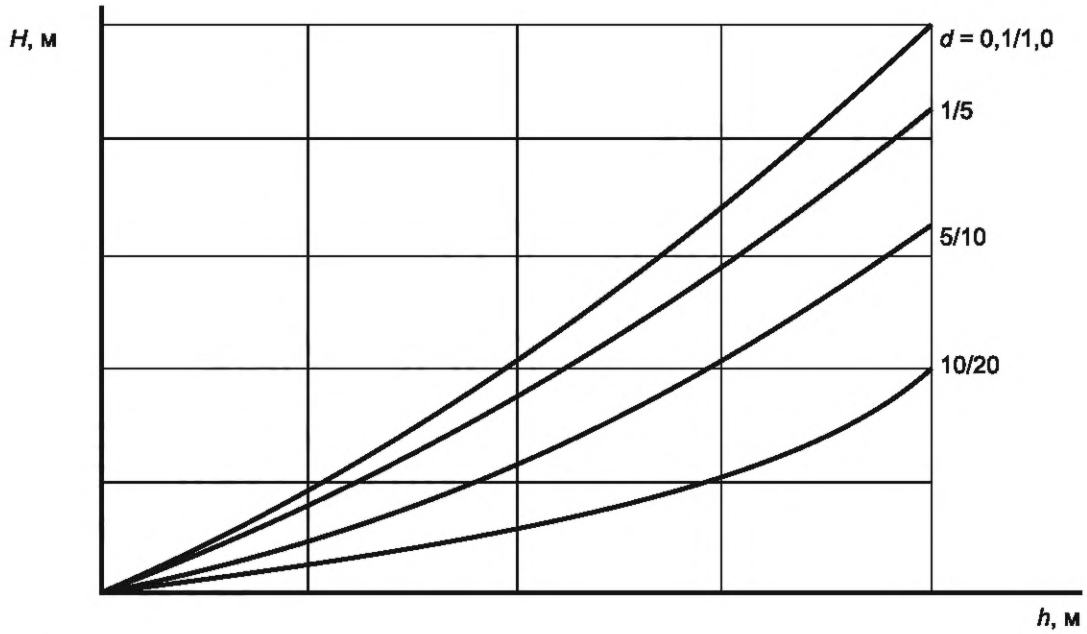


Рисунок 14.3 — Зависимость глубины размывающего действия волны H, м, от высоты волны h, м, при разной крупности донных наносов d, мм

Предельное смещение линии берега $L_б$ следует принимать равным расстоянию между положениями точек уреза на исходном профиле и на профиле, соответствующем положению устойчивой береговой отмели.

14.5 Определение размера смещения линии берега на заданный срок

14.5.1 Расчет развития переформирования берега во времени состоит в определении размера смещения береговой линии $L_{б\,k}$, соответствующего заданному сроку t лет, с одновременным установлением удельных объемов разрушения берегового склона $W_{р\,k}$ и аккумуляции $W_{а\,k}$ и соответствующей ширины береговой отмели B_k, меньшей, чем предельная ширина $B_о$ (см. рисунок 14.1).

14.5.2 Координаты профиля отмели B_k рассчитывают по формулам (14.6) — (14.8), в правую часть которых вводится коэффициент $B_k/B_о$. При нескольких значениях B_k путем графического совмещения находят соответствующие значения $W_{р\,k}$ и $L_{б\,k}$. По полученным частным значениям строят график связи $W_{р\,k}$ и $L_{б\,k}$ с B_k.

14.5.3 Интервал времени Δt, необходимый для того, чтобы ширина береговой отмели увеличилась на значение $\Delta B = B_{k+1} - B_k$, а удельный объем разрушения берегового склона соответственно на $\Delta W = W_{k+1} - W_k$, следует вычислять по формуле

$$\Delta t = (\varepsilon \Delta W / R_k), \tag{14.11}$$

где ε — количество волновой энергии, затрачиваемой на разрушение единицы удельного объема грунта берегового склона, определяемое по таблице 14.2;

R_k — средняя годовая мощность всех волн с учетом потерь энергии на отмели шириной B_k.

Среднюю годовую мощность R_k следует вычислять по формуле

$$R_k = \sum^{i} R_i \left[1 - \left(B_k h_о\right) / \left(B_о h_i\right)\right]. \tag{14.12}$$

Таблица 14.2 — Количество волновой энергии, затрачиваемой на разрушение единицы удельного объема грунта берегового склона, т/м^2

Грунты	Ненарушенное залегание	Нарушенное состояние
Слабые, выветрелые, сильно трещиноватые известняки, песчаники, алевролиты	5000—3000	5000—3000
Плотные глины	5000—3000	1500

Окончание таблицы 14.2

Грунты	Ненарушенное залегание	Нарушенное состояние
Тощие и трещиноватые глины	2000	500—300
Слабо сцементированные пески	2000	200
Сильно уплотненные пески	1000—500	100
Слабо уплотненные пески	200	100
Суглинки	1000—500	200—100
Супеси, лессовидные суглинки	300	100

14.5.4 При промежуточных расчетах в целях их сокращения следует использовать эту величину в относительном выражении:

$$r_k = \sum^{i} r_i \left[1 - \left(B_k h_o\right) / \left(B_o h_i\right)\right]. \quad (14.13)$$

Результатом этого расчета является график зависимости размера смещения береговой линии $L_б$ и ширины отмели B от времени t, с которого и снимают значение смещения линии берега на прогнозируемый период эксплуатации перехода МН через водохранилище, принимаемый равным 30 годам.

14.6 Обратимые высотные деформации в приурезовой зоне береговой отмели

14.6.1 Для получения надежных сведений об обратимых высотных деформациях в приурезовой зоне пляжа и береговой отмели следует использовать данные эпизодических натурных наблюдений. Наблюдениями должны быть охвачены все характерные фазы гидрометеорологического режима водоема и экстремальные условия по режиму уровня воды, ветра, волнения, ледяных образований и другим явлениям. Общая продолжительность эпизодических наблюдений должна составлять не менее двух лет. Значения размыва и намыва дна следует оценивать по сравнению с осредненными отметками поверхности зоны при среднем положении уровня воды в водоеме, а наибольшую деформацию — по разности экстремальных отметок поверхности пляжа и дна береговой отмели.

14.6.2 Длительные эпизодические наблюдения за деформациями пляжа береговой отмели следует проводить только в особо ответственных случаях, например: при сооружении наиболее значимых МН на участках водоема, где высотные обратимые деформации могут составлять от 2 до 3 м и более, а значительные заглубления трубопровода заведомо затруднены по техническим причинам, нежелательны по эксплуатационным условиям или оказываются невыгодными по экономическим показателям.

14.6.3 Приближенные значения высотных деформаций в приурезовой зоне береговой отмели, достигшей стадии относительного динамического равновесия и сложенной преимущественно мелкими крупнообломочными грунтами или песками, в условиях действия волн высотой порядка от 2,0 до 2,5 м допускается определять с учетом средних уклонов береговой отмели, грунтов дна и значений многолетних колебаний уровня за безледоставный период, указанных в таблице 14.3.

14.6.4 Высотные деформации в приурезовой зоне береговой отмели для участков водоема, на которых высота штормовых волн не превышает 1,0—1,2 м, следует уменьшать в полтора — два раза по сравнению с высотными деформациями, приведенными в таблице 14.3.

Таблица 14.3 — Высотные деформации за безледоставный период, м

Уклон дна береговой отмели (средний)	Грунты дна	Многолетние колебания уровня, м				
		<0,25	0,5	1,0	1,5	2,0
0,1—0,2	Разнозернистые пески	1,2	1,5	1,7	2,0	2,5
	Лессовидные суглинки	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4
0,01—0,05	Разнозернистые пески	0,8	1,0	1,3	1,6	1,8
0,02—0,08	Лессовидные суглинки	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0
0,003—0,006	Разнозернистые пески	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8
	Лессовидные суглинки	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5

14.6.5 Для определения значения размыва и намыва дна в приурезовой зоне при построении профиля предельных размывов по створу перехода МН значение деформаций, полученное по таблице 14.3 в соответствии с положениями 14.6.3 или 14.6.4, следует отсчитывать от осредненных отметок дна.

14.7 Высотные деформации центральной и внешней частей береговой отмели

14.7.1 Высотные деформации центральной и внешней частей береговой отмели, как и приурезовой зоны, при любом составе грунтов и всех возможных диапазонах изменения характеристик режима водоема следует определять по данным натурных наблюдений, представленных в виде совмещенных профилей. По совмещенным профилям оконтуривается призма деформаций, как показано на рисунке 14.4.

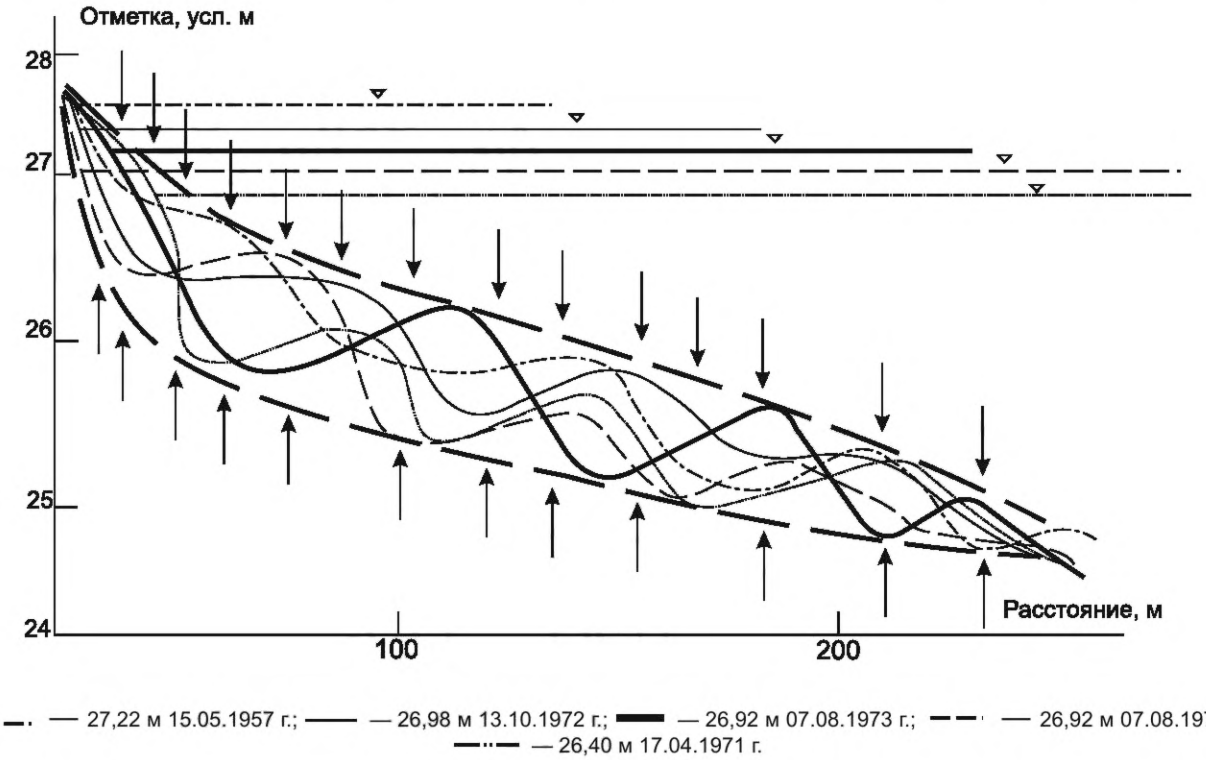
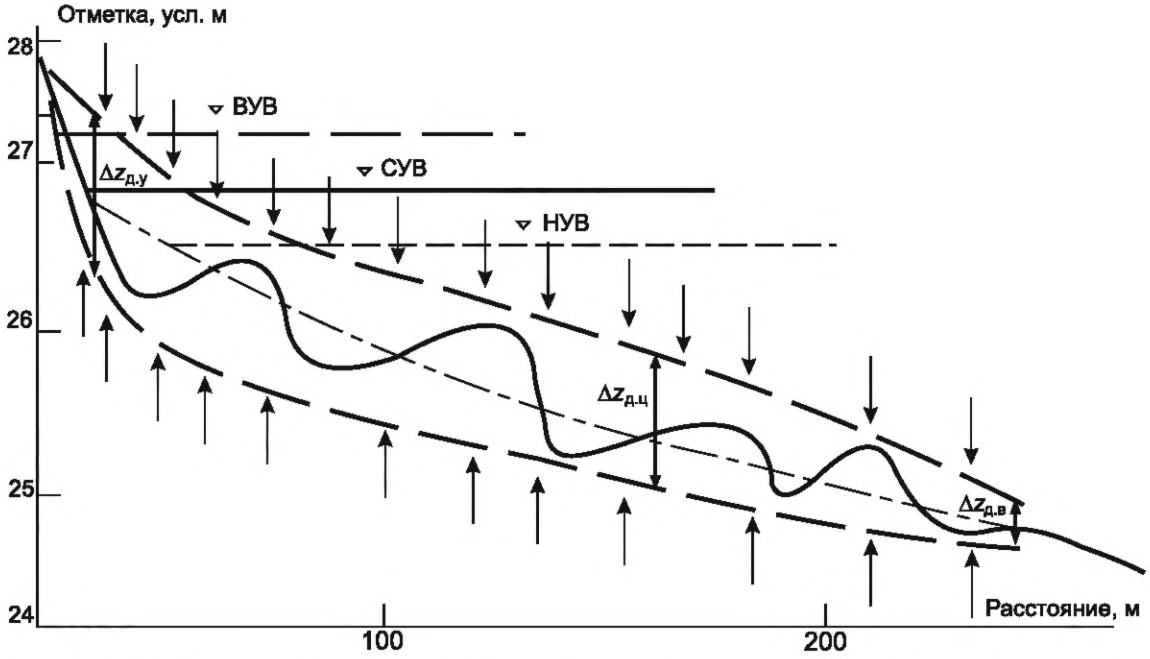


Рисунок 14.4 — Построение контура высотных деформаций дна береговой отмели (вертикальные стрелки) по совмещенным профилям в створе перехода МТ

14.7.2 Приближенные значения высотных деформаций береговой отмели, сложенной преимущественно песками различной крупности, при сезонных (за безледоставный период) колебаниях уровня до 0,5 м допускается принимать равными 0,5 $h_{1\,\%}$ в центральной части отмели и 0,1 $h_{1\,\%}$ — на бровке отмели, где $h_{1\,\%}$ — высота волны 1 %-ной обеспеченности, измеренная на подходе к береговой отмели.

14.7.3 Для получения приближенного контура призмы высотных деформаций дна по всему створу береговой отмели, сложенной преимущественно песками, в условиях сезонных колебаний уровня до 0,5 м необходимо высотные деформации в приурезовой зоне, определенные в соответствии с 14.6.3 или 14.6.4, а также деформации в центральной части и на бровке отмели, принятые по 14.7.2, отложить равными частями вниз и вверх от осредненной линии профиля. Через верхние и нижние точки отложенных отрезков у уреза, в центральной части и на бровке отмели следует провести оконтуривающие линии, как показано на рисунке 14.5.



▬▬ — профиль дна при уровне, близком к среднему уровню вод (СУВ); ▬ ▬ — осредненный профиль дна; ▬ ▲ ▲ ▲ ▬ — контур призмы деформаций; $\Delta z_{д.у}$ — прогнозируемые предельные значения высотных обратимых деформаций у уреза; $\Delta z_{д.у} \approx 0{,}5h_{1\,\%}$ — прогнозируемые предельные значения высотных обратимых деформаций в центральной части отмели; $\Delta z_{д.в} \approx 0{,}1h_{1\,\%}$ — прогнозируемые предельные значения высотных обратимых деформаций у всей отмели; ВУВ — высокий уровень вод; НУВ — низкий уровень вод

Рисунок 14.5 — Построение контура высотных деформаций дна береговой отмели (вертикальные стрелки) по осредненному профилю створа перехода МН по рассчитанным значениям деформаций в различных частях отмели

14.8 Построение профиля предельных деформаций

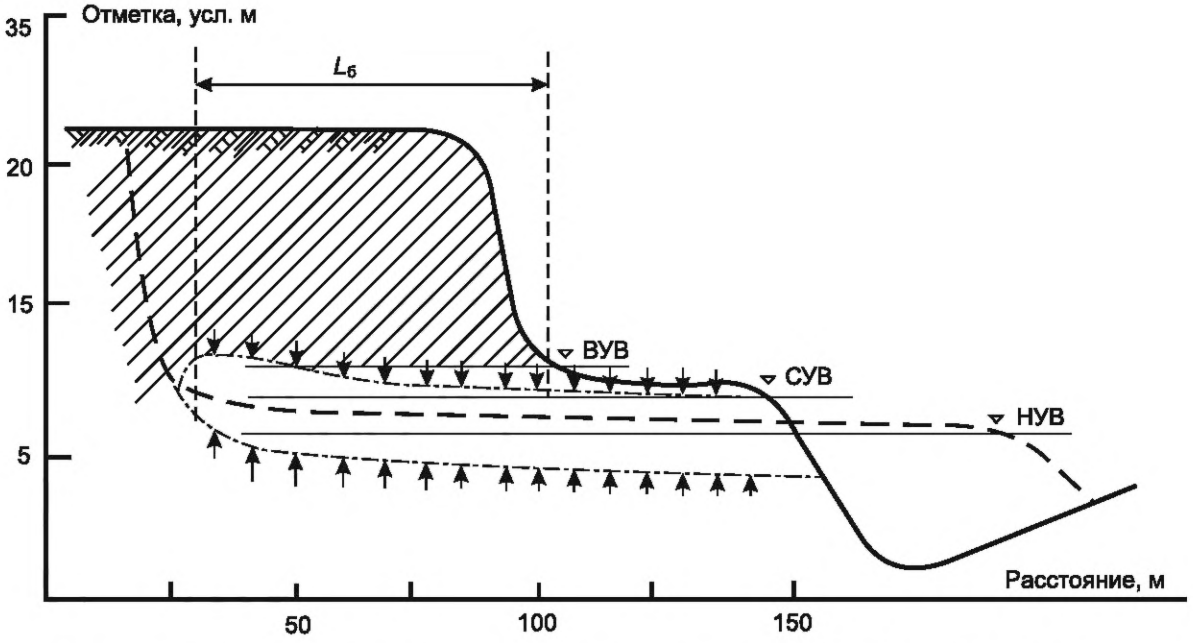
14.8.1 Профиль предельных деформаций по створу перехода МН через водоем строят по данным прогноза переформирований берега, выполненного в соответствии с положениями 14.5 на 25-летний период, а также по данным высотных деформаций береговой отмели, полученным согласно 14.6, 14.7.

14.8.2 В качестве исходной топографической основы для построения профиля предельных деформаций используют профиль, полученный по данным полевых изысканий. На этот профиль на основании результатов расчета наносят прогнозируемое положение бровки и уступа берега, а также значения наибольших высотных деформаций береговой отмели в пределах между прогнозируемым положением уреза и существующим подводным склоном берега, как показано на рисунке 14.6 пунктирной линией. Прогнозируемую призму аккумуляции грунтов, слагающих берег, на профиль не наносят, так как место аккумуляции может быть использовано для размещения материала для подсыпки дна при укладке МН в период его строительства.

Высотные обратимые деформации дна, установленные в соответствии с 14.6, 14.7, откладывают на профиле относительно прогнозируемой линии дна береговой отмели при среднем уровне воды и оконтуривают так, как показано на рисунке 14.6 пунктирной линией со стрелками. Проектирование срезки надводного уступа берега и заглубления дна подводной прорези для укладки трубопровода осуществляют относительно линии прогнозируемого на 25 лет смещения уступа берега и относительно нижнего положения контура высотных обратимых деформаций дна, показанного на рисунке 14.6 штрихпунктирной линией со стрелками.

14.8.3 Мероприятия по стабилизации берега на участке перехода МН через водоем предусматривают в следующих случаях:

- МТ не удается заглубить по техническим причинам в соответствии с прогнозируемыми значениями предельных деформаций береговой зоны;
- сопротивляемость грунтов берега волновым воздействиям существенно уменьшена в результате срезки уступа и сооружения подводной прорези;
- необходимо повышение надежности работы МН или удлинение периода его эксплуатации;
- стоимость работ по заглублению МН до недеформируемых отметок профиля превышает стоимость работ по защите берега от волновых воздействий.



— исходный профиль; — — — прогнозируемый профиль (на 30-летний период); — контур предельных высотных деформаций дна береговой отмели; $L_б$ — прогнозируемое смещение береговой линии (на 30 лет)

Рисунок 14.6 — Профиль предельных плановых и высотных деформаций берега по створу перехода МТ через водоем

15 Рекомендации по методам защиты МН в пределах подводного перехода

15.1 Необходимость и тип берегоукрепления должны определяться в проектной документации исходя из данных инженерных изысканий, учитывающих тип русловых процессов реки, наличие размывов берегов, скорости течения реки и т. п.

Целью крепления берега в пределах технического коридора трассы на ПП является не только защита берега от негативного воздействия речного потока и ледохода, но и защита МН от линейной эрозии берегов в пределах технического коридора трассы, когда деформации берегов обусловлены гидравлическим взаимодействием грунтовых вод в разрыхленной траншее МН и поверхностных вод в речном русле.

Технические решения по выбору типа инженерной защиты принимает проектная организация в зависимости от следующих факторов:

- морфологических характеристик водотоков (предельный уровень размыва водотока, скорость переформирования берегов, уклон водотока, морфологические характеристики пойменных участков);
- гидрологических характеристик (модуль стока и скорость водотока в створе перехода при максимальных расходах дождевых паводков и/или весеннего половодья уровня 1 %-ной обеспеченности, неразмывающие скорости потока для грунтов, скорости и направления потока в меженный и паводковый периоды, расчетные уровни воды 1 %-ной обеспеченности: максимальные в паводок/половодье, минимальные в зимнюю межень, максимальная толщина льда);
- физических свойств грунтов, слагающих береговые склоны (угол внутреннего трения, коэффициент фильтрации грунтов, гранулометрический состав грунтов).

15.2 Проектирование инженерной защиты МТ на участках переходов через водные преграды должно быть выполнено в соответствии с СП 36.13330, СП 116.13330, СП 104.13330, ГОСТ 32804, ГОСТ Р 59287.

15.3 Вид крепления береговой части ПП определяют по скоростям течения реки и по характеру ледохода. Крепление берегов проводят с учетом данных таблицы 15.1 на глубину 1,0 м ниже минимального зимнего уровня. Верхнюю границу крепления берега от размыва устанавливают на основании СП 36.13330.2012 (13.4).

Берегоукрепительные работы должны быть выполнены с применением сухопутных или плавучих средств механизации, транспорта и соответствующей строительной техники.

Таблица 15.1 — Типы берегоукрепления и условия их применения на ПП

Тип крепления берега		Границы работ	Рекомендуемый сезон для устройства защитного покрытия	
Тип защитного покрытия (конструкции)	Подготовка под защитное покрытие		Выше проектного уровня воды	Ниже проектного уровня воды
Подпорные стены	—	Выше и ниже проектного уровня	Любой	Любой, кроме периода ледохода
Покрытие из фасонных блоков (тетропод, дипод)	—	Выше и ниже проектного уровня	Любой	Любой, кроме периода ледохода
Покрытия из железобетонных плит	Отсыпка гравия (щебня)	Выше проектного уровня	Любой	—
Покрытия из гибких бетонных матов	Укладка нерудных строительных материалов выше проектного уровня воды	Выше и ниже проектного уровня	Летне-осенний период	Любой, кроме периода ледохода
Покрытия из матрацно-тюфячных габионов	Укладка НСМ выше проектного уровня воды	Выше и ниже проектного уровня	Летне-осенний период	Любой, кроме периода ледохода
Решетчатые покрытия с заполнением ячеек гравием, щебнем, камнем	Укладка НСМ	Выше проектного уровня	Летне-осенний период	—
Каменная наброска	Отсыпка гравия (щебня), отсыпка слоя щебня по НСМ выше проектного уровня воды	Выше и ниже проектного уровня	Любой	Любой, кроме периода ледохода
Отсыпка щебня и гравия	Укладка НСМ выше проектного уровня воды	Выше и ниже проектного уровня	Любой	Любой, кроме периода ледохода
Закрепление грунта (биорекультивация, биоматы, геоматы)	Без подготовки. При использовании биоматов необходима присыпка почвенно-растительным грунтом	Выше проектного уровня	При плюсовой температуре воздуха	—
Примечание — В данном случае проектный уровень — это среднемноголетний уровень воды в период летне-осенней межени.				

15.4 При засыпке и планировке берегового участка срезка грунта за границами раскрытия траншей должна быть минимальной, сохраняя корневую систему.

15.5 При проектировании крепления размываемых вогнутых берегов излучин при всех типах меандрирования следует учесть неизбежное в этих случаях углубление плесов в пределах полосы крепления берега в 1,2—1,5 раза, для исключения которого необходимо предусматривать в проекте крепления дна в пределах полосы берегоукрепления.

15.6 При необходимости крепления МН в пределах речного русла, заглубление которого не соответствует положениям нормативных документов, следует избегать защиты МН в виде поперечного вала в створе МН, а также использовать различные варианты площадной защиты, которые обеспечат удаление воронки размыва (эрозионного вреза) от низовой бровки защиты вниз по течению (см. рисунок 15.1).

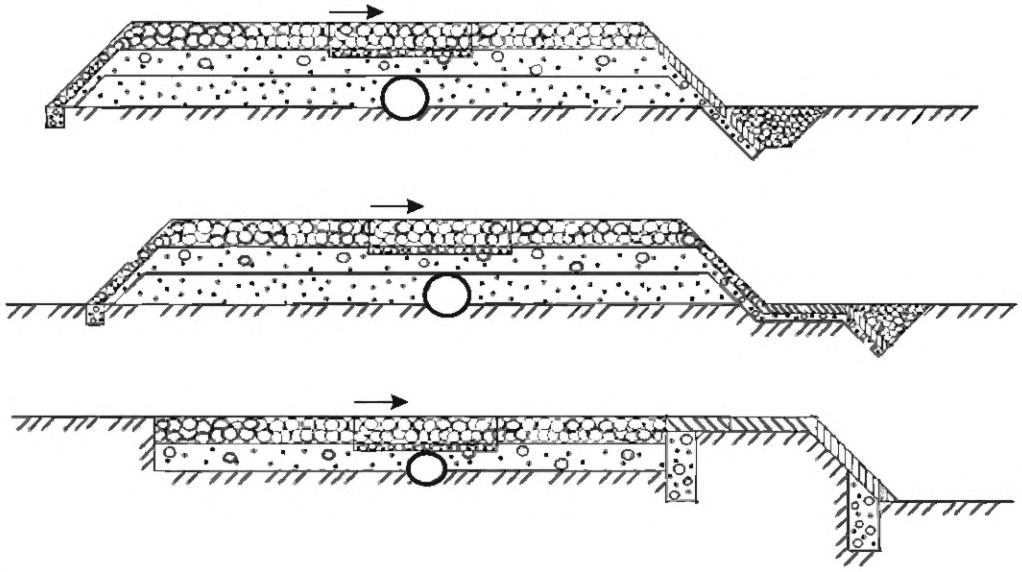


Рисунок 15.1 — Принципиальные схемы площадного крепления речного дна над МТ в пределах речных русел

Приложение А
(обязательное)

Классификация инженерных сооружений и мероприятий по характеру их взаимодействия с русловым процессом

Естественный процесс и режим изменений морфологического строения русла и поймы под действием текущей воды может осложняться присутствием в реке инженерного сооружения. Одновременно и само сооружение может испытывать воздействие как естественного, так и видоизмененного процесса переформирования русла. Все многообразие сооружений и видов проявления руслового процесса создает большое разнообразие форм взаимодействия между ними. В каждом конкретном случае прогноз русловых деформаций может быть составлен лишь на основании научной систематизации или классификации указанных форм взаимодействия.

А.1 В соответствии с возможностью и степенью влияния на определяющие факторы руслового процесса все речные инженерные сооружения и мероприятия разделяют на два класса: активные и пассивные (см. рисунок А.1). Возведение активных сооружений оказывает влияние на определяющие факторы (сток наносов и условия, ограничивающие свободное развитие русла).

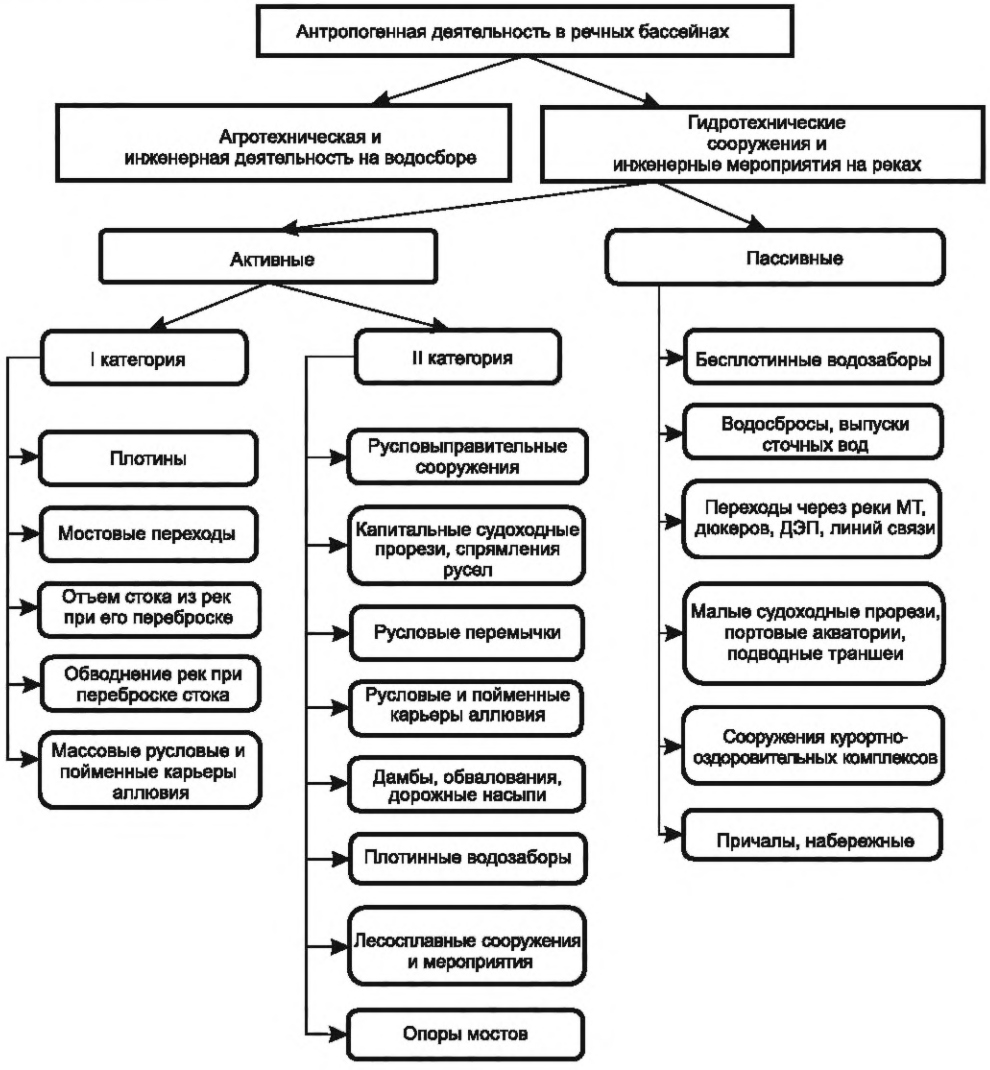


Рисунок А.1 — Классификация речных инженерных сооружений и мероприятий по характеру взаимодействия с русловым процессом

А.2 Активные сооружения подразделяют на две категории. Строительство сооружений I категории приводит к однонаправленному необратимому изменению большинства характеристик определяющих факторов на большом протяжении реки или в масштабе всей реки. Эти изменения могут касаться любого числа определяющих факторов: одного, двух или трех. Поскольку закономерное сочетание определяющих факторов создает конкретный тип

руслового процесса, их изменение может привести к смене типа макроформ, к возникновению новых значений характеристик потока и русла, что, в свою очередь, вызовет изменение русловых образований на других структурных уровнях, т. е. на уровнях мезоформ и микроформ. В силу капитальности этих сооружений и проводимых мероприятий указанные изменения русловых форм не оказывают на них заметного влияния.

В состав сооружений I категории включены: плотины гидроузлов, строительство которых приводит к изменению стока воды и наносов и ограничивающих факторов; мостовые переходы и предмостовые дамбы, которые перегораживают пойму, стесняют развитие русла и способствуют созданию нового режима движения воды и наносов; мероприятия по существенному отъему стока воды из рек и каналов межбассейнового перераспределения воды, вызывающие коренную перестройку режима стока наносов ниже отвода; мероприятия по обводнению рек при их использовании в качестве трактов переброски стока или при сбросе в них воды, подаваемой по каналу; массовые выемки аллювия из русел и пойм рек.

Зона влияния указанных сооружений и мероприятий может простираться как на всю длину реки, так и на ее часть, охватывая ряд макроформ или морфологически однородных участков. Однако и в том и в другом случае осуществление сооружений I категории практически неизменно приводит к перестройке русловых форм на всех структурных уровнях.

Поскольку каждый случай рассматриваемого инженерного воздействия в разной степени затрагивает характеристики определяющих факторов, то происходящее при этом изменение русловых форм также будет проявляться по-разному. В связи с чем не может быть разработана единая схема воздействия сооружений этой категории на определяющие факторы и русловой процесс; такие схемы следует разрабатывать применительно к каждому случаю инженерного воздействия.

А.3 Возведение сооружений II категории приводит к локальному изменению некоторых характеристик определяющих факторов и, как правило, не затрагивает коренной перестройки типа русла, а касается лишь развития русловых образований на уровне мезоформ и микроформ. Поэтому устойчивость таких сооружений всегда зависит от естественных изменений русел на уровне макроформ. Влияние на устойчивость сооружений II категории мезоформ и микроформ будет проявляться в той степени, в какой эти сооружения нарушили режим потока и русла и определяющие параметры указанных русловых образований.

Состав сооружений II категории приведен на рисунке А.1. Среди них можно выделить группу сооружений, возводимых с целью управления русловым или пойменным процессом. Данными выправительными (регуляционными) сооружениями являются: запруды, полузапруды, шпоры, струенаправляющие дамбы, берегозащитные покрытия и т. п.; крупные судоходные прорези и прорези-каналы, спрямляющие излучины русел; дамбы обвалования. Их проектирование должно вестись с учетом следующего принципа инженерного воздействия: проектируемые сооружения должны так воздействовать на определенные морфологические элементы русловых форм, чтобы с их помощью можно было решить наиболее эффективно задачу по управлению русловым процессом на данном участке реки.

Расположенная ниже в классификации группа сооружений II категории по своему воздействию на русловой процесс близка к рассмотренным руслорегулирующим сооружениям. Так, дорожные насыпи, устраиваемые на пойме вдоль русла реки, оказывают на русло влияние, подобное эффекту одностороннего обвалования; воздействие одиночных подводных карьеров можно сравнить с мероприятиями по устройству дноуглубительных прорезей и спрямлению русла и т. д.

В некоторых случаях строительство таких сооружений, как дамбы обвалования, подводные карьеры и плотинные водозаборы, может приводить к заметному изменению определяющих факторов руслового процесса и русловых форм на всех структурных уровнях. Это наблюдается при обваловании нескольких морфологически однородных участков реки, при изъятии из карьеров больших объемов аллювия, значительно превосходящих объемы естественного твердого стока, при многолетней аккумуляции руслоформирующих наносов в водохранилищах плотинных водозаборов. В указанных случаях названные сооружения II категории могут быть отнесены к инженерным сооружениям I категории.

А.4 Строительство на реке пассивных сооружений не приводит к изменению определяющих факторов руслового процесса. Конструктивные особенности, размеры, местоположение и продолжительность эксплуатации сооружений не могут изменить на сколько-нибудь заметном протяжении русла ни гидравлические параметры потока, ни режимы транспорта наносов, ни ограничивающие факторы руслового процесса. В некоторых случаях при массовом возведении на реке подобных сооружений их эффект воздействия на определяющие факторы может быть таким же, как у активных сооружений. Например, подобное явление наблюдается тогда, когда на реке имеется много небольших водозаборов.

В противоположность сооружениям I категории пассивные сооружения подвержены влиянию всех типов русловых форм. Как и в группах активных сооружений, необходимо рассматривать взаимодействие русловых форм и пассивных сооружений дифференцированно, раздельно по каждому виду сооружений.

Переформирование макро- и мезоформ может привести к нарушению устойчивости всех видов пассивных сооружений, указанных на рисунке А.1. Перемещение микроформ может не оказывать влияния на такие сооружения, как опоры линий электропередачи, дюкеры, набережные, но оно станет определяющим в процессе занесения малых прорезей, подводных трубопроводов, траншей, оголовков рассеивающих выпусков сточных вод и водозаборов при размыве нефтепроводов на ПП.

Следовательно, учет руслового процесса при проектировании пассивных сооружений состоит в определении тех русловых форм, под влияние которых попадает конкретное сооружение, и в определении диапазона этих русловых деформаций. Если сооружение не представляется возможным разместить за пределами найденных границ деформаций, при необходимости задача его размещения решается одним из следующих способов:

- путем стабилизации русла с помощью руслорегулирующих сооружений II категории;
- посредством отыскания нового, приемлемого по развитию деформаций, участка местоположения сооружения;
- путем разработки принципиально новой конструкции сооружения, позволяющей избежать влияния русловых деформаций.

Учет изложенной классификации инженерных сооружений и мероприятий по характеру их взаимодействия с русловым процессом необходим не только при проектировании, эксплуатации и строительстве каждого из них, но также для оценки взаимного влияния этих сооружений и мероприятий в ходе их совместной эксплуатации.

Приложение Б
(обязательное)

Классификация типов руслового процесса

Гидроморфологическая типизация речных русел и гидроморфологическая классификация типов руслового процесса, представленные в настоящем приложении, являются двумя частями единой классификационной системы, позволяющей установить схему деформаций речного русла на конкретном речном участке на основе характерных морфологических признаков речных русел и типов русловых процессов. Гидроморфологическая типизация речных русел классифицирует реки по степени влияния ограничивающего фактора (морфологического и геологического строения дна долины) и определяет соответствующие отдельным типам речных русел типы руслового процесса. Гидроморфологическая классификация типов руслового процесса, основанная на положениях гидроморфологической теории и на дискретных и структурных представлениях о механизме движения руслоформирующих наносов в речных руслах, находящихся в состоянии динамического равновесия, определяет доминирующие формы транспорта руслоформирующих наносов и типовые схемы деформаций речных русел и пойм, характерные для каждого из выделенных типов речных русел.

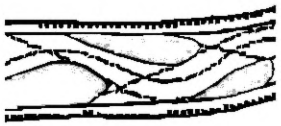
Таблица Б.1 — Гидроморфологическая типизация речных русел

Тип русла	Подтип русла и его характеристика	Характерные деформации подтипа
I Орографическое меженное русло. Склоны долины и грунты, слагающие ее дно, определяют размеры и форму как паводочного, так и меженного русла реки	I_1 Дно и береговые склоны русла сложены связными, крупнообломочными и глинистыми грунтами, в извилистости русла нет закономерности, пойма отсутствует. Характерны малые значения соотношения ширины и глубины русла и незначительный объем транспортируемых руслоформирующих наносов. Побочни и осередки не формируются. Возможно формирование аккумулятивных перекатов, кос, пляжей, размеры, форма и местоположение которых определяются плановыми очертаниями и рельефом меженного речного русла. Возможно формирование одиночных локальных стационарных пойменных массивов, местоположение и размеры которых определяются строением склонов и дна долины. Русла этого подтипа чаще встречаются на малых реках, в верховьях рек, а также на реках криолитозоны	Деформации дна и берегов незначительны, локальны, необратимы и не могут быть типизированы. Они не связаны с транспортом руслоформирующих наносов, а обусловлены механическими размывами берегов и эрозионными процессами на склонах долины. Перемещение потоком продуктов механического разрушения берегов русла и склонов долины происходит во взвешенном состоянии или в бесструктурной и грядовой формах (в зависимости от состава несвязных грунтов). Глубинные деформации в русле сведены к сработке перекатов и занесению плесов донными наносами в межень, а в половодье — к восстановлению перекатов и размыву плесов
	I_2 Форма и параметры меженного русла реки определяются слагающими дно долины унаследованными аллювиальными отложениями, сформированными потоками значительно большей водности, чем современный поток, и характеризующимися крупным гранулометрическим составом. Влияние таких отложений на формирование русла похоже на влияние связных, крупнообломочных и глинистых грунтов. Русло незначительно врезано в аллювиальную толщу, плановые очертания его в межень определяются структурированной орографией аллювиального дна долины. Доля взвешенных наносов в составе унаследованных отложений также незначительна.	Деформации дна и берегов русла локальны, необратимы и не являются результатом движения руслоформирующих наносов, поскольку поступление таких наносов в русло незначительно Переформирования в русле представляют собой перемещение отдельных фракций унаследованного аллювия в бесструктурном виде (преимущественно в периоды повышенной водности) и формирование аккумулятивных русловых форм, плановое положение которых определяется конфигурацией устойчивого русла. Руслоформирующим является расход воды, заполняющий русло до уровня его бровок.

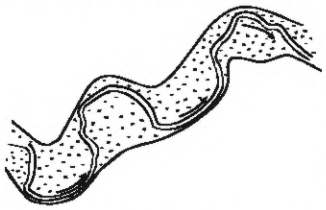
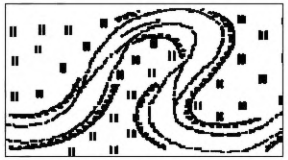
Окончание таблицы Б.1

Тип русла	Подтип русла и его характеристика	Характерные деформации подтипа
	I_3 Русло пролегает в толще заторфованного массива (заболоченные поймы и днища долин). Процессы болотообразования на регулярно затапливаемых прирусловых территориях преобладают над процессами руслоформирования. Формируется врезанное русло с бессистемной извилистостью, плановый рисунок которого определяется локальными особенностями ландшафта болотного массива, а берега сложены торфяной толщей, подстилаемой плотными суглинками. Пляжи, косы перекаты не наблюдаются	Деформации берегов и поступление в русло донных (как правило, песчаных) наносов незначительны. Транспорт этих наносов мало интенсивен, осуществляется чаще в бесструктурной форме и редко в грядовой форме. Руслоформирующим является расход воды, заполняющей русло до уровня его бровок
II Орографическое паводочное русло. Размер и форму русла при высокой водности определяют склоны узкой долины. Циклические деформации происходят в условиях отсутствия поймы	II Распространен на участках активного проявления ограничивающего фактора руслового процесса, часто встречается в среднем течении рек в местах выхода в их долины связных грунтов, а также на реках криолитозоны. Пойма реки отсутствует или развита локально. Размеры и облик меженного русла определяют мезоформы паводочного русла реки	В периоды прохождения половодий и паводков происходит активный транспорт руслоформирующих наносов в виде мезоформ паводочного русла. Русловые процессы развиваются по беспойменным типам руслового процесса — на равнинных реках по ленточно-грядовому, побочневому, осередковому, а на горных реках — по типу ДБ (см. таблицу Б.2). Руслоформирующим является расход воды, близкий к среднемноголетнему максимальному расходу
III Русла с поймами. Формируются в собственных аллювиальных отложениях и характеризуются морфологической однородностью на относительно протяженных участках рек (т. е. циклическим развитием русловых процессов и пойменных массивов)	III_1 Формируются в условиях, когда склоны долины оказывают ограничивающее влияние на поток при прохождении половодий и паводков. Это приводит к формированию морфологически однородных, либо планово-стационарных, либо сползающих вниз по течению пойменных массивов, а также русловых островов	Циклическое развитие пойменных массивов происходит посредством транспорта донных наносов в виде микроформ с формированием подводных элементов (пляжей и перекатов) этих массивов, а при затоплении пойм сопровождается переотложением на их поверхности более мелких фракций наносов (формированием пойменной фации речного аллювия). Русловые процессы развиваются по типам ОМ и РМ (см. таблицу Б.2)
	III_2 Формируются в условиях наиболее слабого проявления ограничивающего фактора руслового процесса, когда склоны долины практически не оказывают влияния на плановое развитие излучин, а также на формирование пойменных массивов, которые приобретают сложное строение с сохранением выраженных следов плановых перемещений русла	Как и в случае подтипа III_1, транспорт донных руслоформирующих наносов осуществляется в виде микроформ с формированием подводных элементов (пляжей и перекатов) пойменных массивов, а при затоплении пойм отмечается переотложение более мелких пойменных наносов, т. е. формирование пойменной фации речного аллювия в структуре пойменных массивов. Русловые процессы развиваются по типам свободного и незавершеннного меандрирования, равнинной и горной ПМ (см. таблицу Б.2)

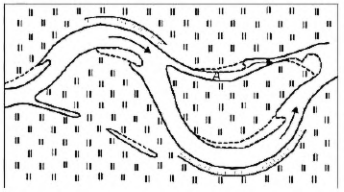
Таблица Б.2 — Гидроморфологическая классификация типов руслового процесса

Наименование типа	Характеристика типа	Схема участка реки и русловые деформации
Типы руслового процесса рек без поймы или со слаборазвитой поймой		
Ленточно-грядовый (ЛГ)	Характеризуется наличием в русле одиночных, занимающих всю его ширину песчаных гряд. Пойма и явные следы подмыва берегов, как правило, отсутствуют. Как самостоятельный тип руслового процесса на участках большой протяженности встречается редко. Распространен на прямолинейных участках средних и малых равнинных рек, сложенных из средних и крупных песков, в отдельных протоках крупных и средних равнинных рек в сочетании с другими типами руслового процесса, а также на горно-предгорных участках рек	 Сползание системы ленточных гряд вниз по течению при наличии или отсутствии вторичных гряд на их поверхности. Вертикальные деформации в фиксированном створе выражаются в периодических повышениях и понижениях дна при прохождении соответственно гребней и подвалий ленточных гряд. Плановые деформации невелики и носят нерегулярный и локальный характер
Побочневый (ПБ)	Встречается как самостоятельный тип руслового процесса на участках прямолинейных и слабоизвилистых рек, сложенных из наносов любой крупности. Обнаруживается в отдельных рукавах ПМ. Характеризуется отсутствием поймы и наличием в русле крупных гряд, примыкающих к берегам в шахматном порядке. При обсыхании в межень гряды обретают вид отмелей (побочней), занимающих большую часть ширины русла и придающих извилистость меженному руслу. В период руслоформирующих паводков побочни полностью покрываются водой. Повышенные затопленные части побочней образуют перекаты ниже по течению от гребней побочней, вдоль того же берега, в русле реки появляются плесы	 Деформации сводятся к сползанию системы побочней вниз по течению в периоды повышенной водности. Плановые деформации невелики и носят нерегулярный и локальный характер. Механизм и скорость сползания побочня определяются движением донных наносов по его напорному склону. После преодоления гребня побочня наносы аккумулируются в плесе, расположенном ниже этого гребня вдоль того же берега. Высота побочней сопоставима со средней глубиной потока при прохождении среднемноголетнего максимального расхода воды, а длина побочней составляет $4 + 8B$, где B — средняя ширина русла между бровками при этом же среднемноголетнем максимальном расходе воды
Осередковый (ОС)	Распространен на участках рек с большими значениями отношения ширины реки к ее средней глубине и с интенсивным движением донных наносов. Пойма отсутствует или развита фрагментарно. Распластанное русло лишено закономерной плановой извилистости, по нему сползают мезоформы — побочни, ленточные гряды и гряды-осередки, сформировавшиеся из верхушек ленточных гряд. Все эти подвижные русловые образования как конечная форма транспорта наносов в разной степени обсыхают в маловодный период и создают многорукавный облик меженного русла. Но при высоких половодьях и паводках они полностью покрываются водой и представляют собой подвижные русловые грядовые образования, а русло выглядит как однорукавное. Растительность на поверхности мезоформ практически отсутствует, за исключением продолжительных маловодных периодов	 Деформации русла сводятся к сползанию вниз по течению системы мезоформ путем размыва напорного склона этих грядовых образований и отложения наносов в их подвальях. Механизм и скорость сползания определяются движением донных наносов по поверхности мезоформ в периоды повышенной водности. Существенная разница в крупности донных и взвешенных наносов, характерная для этого типа, не позволяет формироваться пойменной фации аллювия на поверхности осередков, и лишь в многолетние маловодные периоды, а также на приустьевых участках рек, где русловые образования состоят из аллювия мелкофракционного состава, осередки могут задерновываться и зарастать

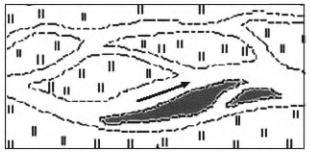
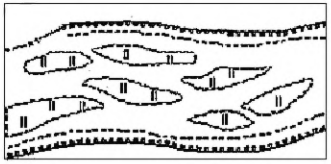
Продолжение таблицы Б.2

Наименование типа	Характеристика типа	Схема участка реки и русловые деформации
Типы руслового процесса на реках с поймой		
Ограниченное меандрирование (ОМ)	Этот тип чаще распространен на равнинных реках. Характеризуется однорукавным извилистым руслом. Развитие плановых деформаций сдерживается неразмываемыми склонами относительно узкой долины. Имеет много общего с побочневым типом, но в дополнение к обсыхающим побочням, при ОМ по обоим берегам между бровками русла и неразмываемыми склонами долины формируются чередующиеся обособленные пойменные массивы, и русло сохраняет извилистость и во время паводка. Осевая линия русла близка к синусоиде, углы разворота излучин мало отличаются от среднего значения для группы смежных излучин и не превышают 120°. Затопление пойменного массива в половодье начинается с его низовой части. На пойме следы ОМ отсутствуют, но присутствуют косые гривы — следы сползания пойменного массива вниз по течению. Выделяют два вида ОМ: - без размывов склонов долины, ограничивающих плановое развитие излучин; - с возможностью врезания вершин излучин в склоны долины и с некоторой плановой стабилизацией пойменных массивов и излучин	 Неразмываемые склоны долины Деформации сводятся к медленному сползанию излучин вниз по течению реки без закономерного изменения их формы и при полной переработке пойменных массивов. В ходе деформаций осуществляется обмен наносами между поймой и руслом с отложением наилка на поверхности поймы и при ее нарастании в высоту (с наибольшим слоем в верховой части пойменного массива). При неразмываемых склонах долины происходит сползание (скольжение) пойменных массивов и излучин вдоль этих склонов.  При возможности врезания вершин излучин в склоны долины происходит плановая стабилизация пойменных массивов и излучин, и скорость их сползания определяется скоростью размыва склонов долины. Глубинные деформации в русле сводятся к сработке перекатов и занесению плесов донными наносами в межень, а в половодье — к восстановлению перекатов и размыву плесов
Свободное меандрирование (СМ)	Наиболее распространенный тип на равнинных реках. Развивается в широких речных долинах, склоны которых не ограничивают свободное развитие плановых деформаций излучин. Пойменные массивы по ширине могут значительно превышать пояс меандрирования. Часто один пойменный массив оказывается составленным из ряда частных массивов, каждый из которых на определенной стадии половодья имеет свой спрямляющий поток. В целом под пойменным массивом при СМ следует понимать участок поймы, имеющий единую гидравлическую структуру транзитных течений и огибаемый всеми излучинами, которые этот общий транзитный поток формируют. Следы плановых перемещений русла на пойме сохраняются в виде остатков береговых валов, группирующихся веерообразно (веера блуждания), поэтому рельеф поймы в пределах пояса меандрирования имеет гривистый характер. Кроме того, на пойме сохраняются находящиеся в разной стадии отмирания староречья. Основные черты пойм СМ — наклон от русла и вдоль по реке, системы вееров перемещения, прорвы. В зависимости	 Доминирующий процесс — плановые циклические деформации русла при интенсивном обмене наносами между поймой и руслом. В начальной стадии развития (при углах разворота менее 90°) излучина сползает вниз по течению по схеме (ОМ). По мере увеличения угла разворота сползание излучины замедляется, ее форма вытягивается, и развитие излучины происходит путем разворота S-образного участка русла вокруг фиксированной точки в центре этой фигуры (на перегибе русла в плане). При углах разворота от 140° до 150° разделяется плесовая ложбина, и один из плесов получает преимущественное развитие. Сближение подмываемых берегов смежных излучин завершается прорывом перешейка между ними и возникновением новой излучины. Направление плановых деформаций на участке при этом меняется, а прорванная излучина превращается в староречье, которое соединяется с рекой лишь при высоких уровнях и постепенно

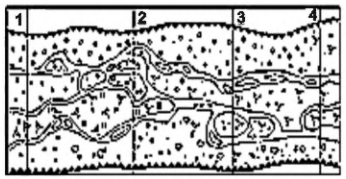
Продолжение таблицы Б.2

Наименование типа	Характеристика типа	Схема участка реки и русловые деформации
	от водного режима и стока наносов выделяют песчаные поймы с четко выраженным гривистым рельефом и относительно пониженные. При значительном содержании взвешенных наносов создаются глинистые поймы с сильно развитой пойменной фацией, относительно сглаженным рельефом и относительно повышенные (характеризуются большей высотой над меженью и большей устойчивостью поверхности к размыву). Затопление пойменного массива в половодье начинается с его низовой части и происходит через прорвы — понижения в береговых валах Русло обладает наибольшей по сравнению с другими типами извилистостью, неизменно оставаясь однорукавным. Каждая излучина на всех стадиях развития ограничивается в верховых и низовых частях перекатами, располагающимися на перегибах русла. В вершине излучины у ее выпуклого берега формируется относительно неподвижный пляж, а напротив — у вогнутого берега — плесовая ложбина. Углы разворота излучин варьируют в очень широких пределах от 0° до 270°. При углах разворота излучин от 140° до 150° плесовая ложбина разделяется и нарушается плановая симметрия излучины, ее форма вытягивается. Сближение подмываемых берегов смежных излучин завершается прорывом перешейка между ними и возникновением новой излучины, а прорванная излучина превращается в староречье и отмирает	заиливается. В начальных стадиях формирования излучины (до значения соотношения ее длины к шагу 1,5—1,6) наблюдается нарастание скорости плановых деформаций, а затем эта скорость начинает убывать Глубинные деформации в пределах фиксированных плановых очертаний русла носят сезонный характер и сводятся к сработке перекатов и занесению плесов в период межени и к противоположным деформациям в период половодья. В многолетнем разрезе общий ход глубинных деформаций подчинен развитию плановых переформирований. Так, перекаты на перегибах русла и пляжи в вершинах излучин (как прибрежные части гряд) характеризуются относительной неподвижностью и не сползают, как побочни, а перемещаются вместе с перемещением берегов в ходе плановых смещений излучин. Пойменные деформации сводятся к формированию новых грив при отступании русла, к постепенному нарастанию наилка и стремительному формированию прорв
Незавершенное меандрирование (НЗМ)	Является разновидностью СМ. На глубоко и продолжительно затопляемых поймах спрямление излучин может происходить значительно раньше, чем развитие смежных излучин достигнет стадии прорыва перешейка. В этом случае по одному из понижений поймы формируется спрямляющая протока (иногда сразу несколько). В развитии спрямляющей протоки четко прослеживаются три стадии, а именно: 1) возникновение и действие только в периоды паводка, 2) временный поток становится постоянно действующим и 3) от того момента, когда протока начинает пропускать половину годового стока воды, она считается основным руслом. Структура рельефа пойменного массива при НЗМ менее сложна, чем при СМ, и обычно представлена одним веером перемещения русла. Поэтому и структура пойменных течений менее сложная, и направление спрямлений определяется положением динамической оси транзитного потока в период наивысших уровней, например может совпадать притеррасным понижением пойменного массива.	 Циклические деформации при этом типе связаны со свободным развитием излучины и спрямляющей протоки. Деформации поймы проявляются в размыве ее поверхности по понижениям между пойменными гривами и появлении спрямляющих проток, а также в разрушении подмываемых берегов излучин и намыве выпуклых. На 1-й стадии формирования спрямляющей протоки ее рельеф определяется унаследованной конфигурацией поверхности поймы. На 2-й стадии ее русло часто развивается по типу ЛГ или ПБ

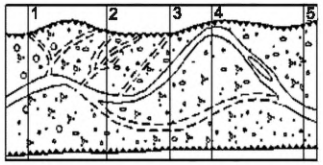
Продолжение таблицы Б.2

Наименование типа	Характеристика типа	Схема участка реки и русловые деформации
	При НЗМ выделяют песчаные поймы с четко выраженным гривистым рельефом и проточно-островные, когда в пределах одной излучины образуется серия спрямляющих проток, что знаменует переход к ПМ. НЗМ легко опознается на картах и космических снимках по наличию спрямленных излучин, находящихся в относительно ранних стадиях развития, т. е. наблюдается одновременное существование как минимум двух проток, из которых одна — более старая и более искривленная в плане, вытесняется более молодой, активно развивающейся, причем на ранних стадиях развития — по любому из беспойменных типов руслового процесса, а далее — по типу СМ	На 3-й стадии процесс приобретает черты меандрирования с развитием одной излучины по типу СМ, пока соотношение ее длины и шага не превышает значений 1,5—1,6. Тогда старая излучина начинает отмирать, формируется новое спрямление, и цикл развития повторяется. Процесс угасания старого русла и развития нового идут одновременно и тем интенсивнее, чем меньше длина нового русла по сравнению со старым. Они идут постепенно, годами, иногда десятилетиями (на малых реках быстрее). При этом превращение спрямляющей протоки в главное русло возможно в течение одного половодья
Пойменная многорукавность (ПМ)	Является дальнейшим развитием и усложнением НЗМ. Пойма характеризуется исключительной шириной, а также глубиной и продолжительностью затопления, поэтому возможно спрямление не только отдельных излучин, но и групп смежных излучин, а также деление на рукава основной или спрямляющей протоки может произойти раньше, чем завершится цикл НЗМ, что приводит к появлению сложной системы проток. Пойменные массивы выделяются только применительно к отдельным (преимущественно главным) протокам, хотя иногда невозможно выделить основное русло среди многочисленных рукавов, поскольку сеть проток очень сложна. При этом острова, образованные протоками, представляющие собой участки поймы, обладают значительной плановой устойчивостью, а протяженность пойменных проток больше, чем при РМ. Кроме того, в период половодий и паводков на пойме возникают вторичные протоки, не связанные с развитием НЗМ. Русловой процесс в отдельных рукавах может развиваться по схеме любого типа, и требуется установление этого типа для каждого рукава и протоки	 Деформации в целом сводятся к развитию, отмиранию и возобновлению спрямляющих проток с соответствующим перераспределением расхода воды между рукавами и при активном движении донных наносов в их руслах. При этом существенную роль играют пойменные процессы, чему способствует продолжительное затопление поймы, особенности строения ее поверхности (отсутствие ограничений для развития плановых деформаций) и незначительная разница в крупности донных и взвешенных наносов, способствующая нарастанию пойменных массивов в высоту. Характер взаимодействия потока на пойме с ее поверхностью различается в разные фазы половодья (паводка). При среднепаводочных уровнях течение на пойме согласуется с течением в пойменных протоках. Но при очень высоких уровнях могут возникнуть течения, направление которых определяется продольным и поперечным уклонами долины в целом и течениями в основных рукавах реки
Русловая многорукавность (РМ)	РМ характеризуется либо наличием в относительно узком русле реки одиночных островов, либо наличием множества островов в широких и распластанных руслах (РМ островного типа). При этом в руслах рек часто наблюдаются и подвижные мезоформы (ленточные гряды и осередки-гряды). На реках горной и предгорной зон к этому типу относятся и блуждающие русла горных рек с очень подвижными русловыми образованиями (см. ниже ДБ). Русловые острова при РМ представляют собой результат разрастания осередков при их обсыхании, а также они формируются из отторгнутых от берегов побочней, расположенных относительно беспорядочно. Русловые острова имеют тенденцию нарастать	 Деформации выражаются в динамике русловых островов, которая часто осложнена наличием в русле множества подвижных мезоформ, динамика которых подробно описана выше (см. типы ЛГ, ПБ и ОС). Главные деформации русловых островов происходят в результате сползания их вниз по течению путем отложения наносов в их ухвостьях и разрастания (вытягивания по течению) этих ухвостьев с одновременным размывом приверхов. Иногда происходит также регрессивное разрастание островов путем намывов их приверхов. При этом

Продолжение таблицы Б.2

Наименование типа	Характеристика типа	Схема участка реки и русловые деформации
	в высоту, закрепляться растительностью и стабилизироваться, что способствует сохранению многорукавного облика русла даже при высоких уровнях воды. Подросшие в высоту острова представляют собой уже своеобразные макроформы — элементы островной поймы или аккумулятивные образования многолетней консервации. Русловые острова часто имеют овальные очертания. В относительно узких руслах они более вытянуты по длине реки. В распластанных руслах они более округлые и встречаются группами, в пределах которых тесно взаимодействуют между собой в ходе деформаций. Протоки между такими островами — короткие и изогнутые в плане, часто со следами наличия ленточных гряд, побочней, а также со следами меандрирования. Кроме образования островной поймы на реках такого типа возможно формирование полос поймы вдоль берегов русла	характер деформаций связан с высотой острова. Так, в начальный период развития острова приверх чаще размывается, а на более поздних стадиях — намывается. Распространено и поперечное перемещение островов, когда в периоды низкой водности происходят внутрирусловые деформации их контуров, особенно в реках с мелкими и подвижными наносами. Если между соседними островами протока меандрирует, вогнутый край одного острова размывается, а выпуклый край другого острова намывается. Внешне это выглядит как поперечное смещение островов и, возможно, даже причленение отдельных островов к берегам. Крупные русловые острова менее подвижны и существенно деформируются лишь при прохождении редких половодий и паводков. При больших колебаниях уровня и больших объемах взвешенных наносов в речном потоке острова могут достигать высоты в десятки метров. В широких руслах, где наблюдается множество островов, между протоками постоянно происходит перераспределение стока, что создает большую неустойчивость пойменных течений и условия для резких внезапных переформирований пойменного массива
Типы руслового процесса рек горно-предгорных зон		
Горная пойменная многорукавность (ГПМ)	Этот тип распространен в расширениях горных долин или при выходе рек из горной в предгорную зону. В отличие от рельефа равнинных пойм, формирующихся в результате постоянного перемещения русла в плане, пойменный рельеф горных рек является результатом прерывисто происходящих во времени процессов стабилизации, зарастания и временной консервации подвижных русловых образований. Характерной особенностью этого рельефа является относительно низкая высота пойменных массивов из-за отсутствия пойменной фации аллювия на их поверхности, что часто затрудняет опознание и выделение пойменных массивов из системы мезоформ паводочного русла горной реки	 При высоких паводках редкой повторяемости происходят значительные плановые переформирования поймы и аккумулятивно-эрозионные изменения ее поверхности. В относительно маловодные периоды подвижные крупные формы частично зарастают и превращаются в пойменные пространства. В периоды между редкими паводками транспорт наносов осуществляется на уровне структур меньших порядков. Максимальная глубина русла может наблюдаться в любом поперечном створе на участке

Окончание таблицы Б.2

Наименование типа	Характеристика типа	Схема участка реки и русловые деформации
Долинное блуждание (ДБ)	Часто встречается на малых горных реках. Паводочное русло таких рек систематически затапливается паводками повторяемостью один раз в два года, при прохождении которых поддерживается процесс переотложения наносов с характерной стабилизацией и временной консервацией подвижных мезоформ. В результате рельеф дна паводочного русла малой горной реки в межень состоит из пологих гравийно-галечных россыпей, между которыми протекает меженный поток, имеющий доминирующее основное русло. Растительность в пределах паводочного русла практически отсутствует. Хотя более крупные структуры, сформированные редкими паводками, могут частично зарастать в продолжительные маловодные периоды. При прохождении редких паводков эти крупные образования полностью покрываются потоком, и при этом может происходить переброска основного русла реки из одного рукава в другой. Такой процесс в многолетнем разрезе воспринимается как блуждание русла по дну долины	 Подвижные малоинерционные русловые формы могут двигаться и деформироваться ежегодно, за исключением очень маловодных периодов. Вследствие большой подвижности их транспорт носит беспорядочный характер, а сами они иногда формируются и разрушаются настолько быстро, что динамическая ось потока меняет положение во все сезоны года, а иногда даже в течение суток. Более крупные структуры в периоды между сформировавшими их редкими паводками становятся временно неподвижными аккумулятивными формами и перестраиваются только редкими паводками, когда снова приходят в движение и их динамика может сопровождаться переключением (переброской) меженного русла из одного рукава в другой, доминирование которого сохраняется до следующего редкого паводка. Переброска основного русла происходит резко, без постепенной переработки массивов между рукавами, и может смещаться в плане до сотен метров за один паводок, при том что вероятность максимальных глубин на участке одинакова для любого поперечного створа долины реки

Приложение В
(рекомендуемое)

Методика расчета параметров зон распространения технологической мутности и заиления дна при земляных работах на подводных переходах через реки, в том числе при строительстве протяженных магистральных трубопроводов

При выполнении земляных работ на акватории водных объектов в поток поступает некоторое количество взвешенных частиц грунта в дополнение к фоновой мутности. Эти частицы нарушают естественный баланс транспорта наносов — баланс взмыва и осаждения частиц грунта потоком в бытовых условиях. Образуется пятно технологической мутности — объем воды с увеличенной мутностью относительно фоновых значений. Ниже по течению от створа земляных работ поток восстанавливает баланс наносов за счет осаждения избытка взвешенных частиц. Поэтому кроме изменения мутности происходит заиление дна водного объекта на протяженных участках ниже по течению от створа строительных работ.

В.1 Особенности метода

В.1.1 Методологические основы методики расчета

Земляные работы при пересечении линейным сооружением водного объекта последовательно охватывают всю ширину водотока. Условия распространения мутности и формирования заиления дна по ширине реки можно принять однородными (в расчете распространения мутности учитывают два варианта: максимальное разбавление на оси потока и минимальное — в прибрежных отсеках). Расчет выполняют в одномерной постановке — по длине потока.

Методика предназначена для расчета величины средней мутности при распространении пятна взвеси по длине потока, а также средних параметров заиления дна. Методика позволяет рассчитать объем воды, загрязненный взвешенными веществами за период работ.

Методика расчетов учитывает технологию производства земляных работ, гидравлические характеристики потока и морфометрию ложа водного объекта, физико-механические свойства перемещаемого грунта.

Принятые в расчетной методике определенные упрощения при назначении граничных условий и в описании процессов перемещения и осаждения взвеси позволяют проводить приближенный расчет по результатам стандартных инженерных изысканий и данных проекта организации строительства.

Основные упрощения в методике расчета:

- в ненарушенных бытовых условиях транспорт наносов сбалансирован, и на расчетном участке до производства работ не было однонаправленного размыва дна или аккумуляции наносов;
- средние морфометрические характеристики русла и гидравлические параметры потока воды для всего расчетного участка принимаются неизменными по длине;
- в устьевой зоне впадения расчетного потока в водоприемник при резком увеличении размеров водного сечения и изменении характера течений мутность принимает фоновые значения в результате интенсивного разбавления или осаждения вблизи устьевого створа;
- в среднем разнонаправленное влияние турбулентности потока не оказывает влияния на характер поступления взвешенных частиц наносов к придонному слою, осаждение взвеси происходит равномерно по длине в соответствии с гидравлической крупностью фракции;
- расчет ведется по фракциям крупности. Гидравлическая крупность частиц принимается по нижней (меньшей) границе фракции.

В.1.2 Исходные данные для расчета

В качестве исходных данных используются сведения о технологии работ, гидрологические и гидравлические характеристики для расчетного участка течения и характеристики физических свойств грунта. Перечень исходных данных приведен в таблице В.1.

Таблица В.1 — Перечень исходных данных для расчета параметров технологической мутности

Характеристика данных	Исходные документы	Данные для расчета
Гидрологические и гидравлические характеристики	Результаты ИГМИ	Средняя глубина потока. Средняя скорость течения. Температура и плотность воды в период работ. Длина расчетного участка от створа работ с учетом положения устьевого створа потока
Физические свойства грунта	Результаты ИГИ	Гранулометрический состав грунта. Плотность грунта
Технология работ	Рабочая документация и проект организации строительства	Объем разработки грунта. Тип землеройной техники. Эксплуатационная производительность землеройной техники

В методике расчета используются эксплуатационная производительность землеройной техники, средняя глубина потока и средняя по сечению скорость течения.

Температуру и плотность воды принимают с учетом сезона строительства и используют для определения гидравлической крупности частиц грунта (скорости их осаждения).

Тип перемещаемого грунта определяют по данным ИГИ. В расчет принимают ИГЭ, которые слагают всю толщу разрабатываемых грунтов. Если грунты представлены несколькими разными ИГЭ, учитывают средневзвешенный гранулометрический состав. Весовые коэффициенты пропорциональны площади ИГЭ в инженерно-геологическом разрезе по участку разработки грунтов. Диапазоны крупности частиц в расчете могут быть представлены 11 фракциями. Расчет ведут по фракциям. За расчетный диаметр принимают нижнюю (меньшую) границу фракции.

При переходе от объема грунта к единицам массы используют плотность, т/м^3. Если расчет ведут для разработки котлована или траншеи, применяют плотность грунта в естественном залегании. Если расчет выполняют для отсыпки грунта в отвал, используют плотность рыхлого грунта. Отношение плотности грунта в естественном залегании к плотности этого же разрыхленного грунта называется «коэффициент разрыхления».

Количество грунта, переходящее во взвесь во время проведения земляных работ, называется «коэффициент смыва» и выражается в процентах от перемещаемого грунта. Коэффициент смыва зависит от технологии производства работ, глубины и скорости потока и типа грунта. Для больших рек коэффициент смыва не превышает 5 %[1)]. Для малых рек коэффициент смыва грунта с ковша землеройного механизма, как правило, не должен превышать 0,1 % — 0,5 %.

В.1.3 Перечень условных обозначений

Применяется следующий перечень условных обозначений:

b — ширина зоны работы механизма черпания/сброса, м;

b_l — ширина пятна мутности в расчетном створе, м;

Δb — изменение ширины пятна технологической мутности между расчетными створами, м;

B — полная ширина реки, м;

G — масса грунта, смытая потоком при производстве работ и формирующая пятно технологической мутности (включает все фракции), т;

$G_{i,l}$ — масса грунта i-й фракции, осевшая в l-й зоне, т;

G_L — полная масса грунта, осевшего в русле от створа земляных работ до расчетного створа (интегрально по длине), т;

$G_{L\text{тран}}$ — масса транзитного грунта (перенесенная потоком через расчетный створ за весь период производства земляных работ), т;

h — глубина потока, м;

i — номер фракции грунта;

$k_{\text{рыхл}}$ — коэффициент разрыхления грунта (кратность уменьшения плотности грунта в результате разработки и перемещения);

l — номер зоны заиления;

L_i — расстояние от створа работ до створа полного оседания расчетной i-й фракции грунта, м;

L_l — расстояние от створа работ до расчетного створа (замыкающего створа расчетной зоны заиления), м;

p_i — доля частиц i-й фракции в общей массе грунта (от единицы);

P — эксплуатационная производительность землеройной техники, м^3/с;

q — расход воды по ширине зоны работы механизма черпания/сброса, м^3/с;

q_l — расход воды в расчетном створе по ширине пятна мутности ниже участка работ, м^3/с;

Q — полный расход воды на расчетном участке, м^3/с;

$S_{i,l}$ — площадь заиления дна в расчетной зоне, м^2;

T — продолжительность взмучивания, равная продолжительности выполнения земляных работ, ч;

u — гидравлическая крупность частиц в расчетных условиях, м/с;

Ω — объем загрязненной воды, м^3;

V — скорость течения, м/с;

W — объем перемещаемого грунта, м^3;

z — коэффициент смыва (количество грунта, переходящего во взвесь), %;

δ — средняя для расчетной зоны толщина наилка, мм;

ρ — плотность разрабатываемого грунта, т/м^3;

ρ'_l — плотность наилка в расчетной зоне, т/м^3;

$\tilde{\rho}$ — объемная масса разрыхленного грунта при засыпке, т/м^3;

μ' — стартовая технологическая мутность в створе работ, г/м^3;

μ — средняя технологическая мутность в расчетном створе, г/м^3;

ς — удельная плотность заиления, мг/см^2;

$\overline{w}$ — осредненная по глубине и по времени поперечная составляющая пульсационной скорости.

[1)] По исследованию Ленгипроречтранса [4].

В.2 Расчетные формулы

В.2.1 Расчет стартовой технологической мутности в створе работ

На первом этапе рассчитывают стартовую технологическую мутность в створе работ, которая представляет собой поступление определенной массы грунта в поток в единицу времени за счет смыва перемещаемого грунта по ширине участка работы механизма. Расход воды q, м^3/с, рассчитывают по формуле

$$q = bhV. \quad (В.1)$$

Стартовую технологическую мутность в створе земляных работ μ', г/м^3, равную количеству смытого грунта в единицу времени, определяют по формуле

$$\mu' = 10^4 P\rho z / q. \quad (В.2)$$

Для работ по отвалу грунта (засыпке) в формуле (В.2) вместо ρ используется $\tilde{\rho}$.

В.2.2 Расчет продолжительности взмучивания и объема загрязненной воды

Продолжительность взмучивания, равную продолжительности проведения работ T, ч, по перемещению (разработка либо засыпка траншеи) проектного объема грунта землеройной техникой с указанной в ППР эксплуатационной производительностью рассчитывают по формуле

$$T = W / P / 3600. \quad (В.3)$$

Объем загрязненной воды Ω, м^3, равный всему объему стока через расчетный створ работ за период разработки грунта, рассчитывают по формуле

$$\Omega = 3600qT. \quad (В.4)$$

В.2.3 Расчет протяженности участков заиления и распространения технологической мутности

Протяженность участка распространения частиц взвеси технологической мутности вычисляют отдельно для каждой фракции. В створе земляных работ частицы грунта различной крупности принимают равномерно распределенными по глубине. Поток переносит частицы грунта вниз по течению со скоростью течения. Одновременно с продольным перемещением по течению происходит осаждение частиц грунта по глубине. Скорость падения частиц в воде («гидравлическая крупность») может быть рассчитана с учетом температуры и плотности воды, а также режима падения частицы. Нижней границей распространения взвеси для расчетной фракции считают створ полного осаждения частиц этой фракции. Полная длина распространения пятна технологической мутности соответствует протяженности осаждения самой мелкой фракции. Участок водотока между створами полного осаждения смежных фракций называется «зона заиления». Схема формирования зон заиления показана на рисунке В.1.

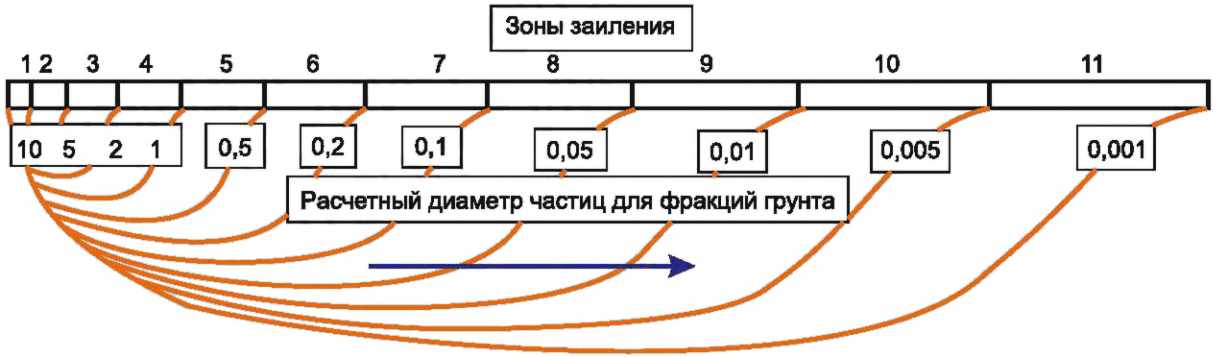


Рисунок В.1 — Схема формирования зон заиления по длине потока (по створам полного осаждения фракций крупности частиц)

Таким образом, весь участок распространения пятна мутности разделен на 11 зон заиления между расчетными створами соответственно количеству выделенных фракций грунта. Нумерация фракций и порядковые номера зон заиления следуют от наиболее крупной фракции (>10 мм) до самой мелкой (<0,002 мм; расчетный диаметр — 0,001 мм).

Протяженность распространения частиц взвеси в потоке зависит от скорости переноса частиц, скорости их осаждения, глубины потока. Расстояние от створа работ до створа полного оседания каждой фракции L_i, м, рассчитывают по формуле

$$L_i = h\frac{V}{u_i}. \quad (В.5)$$

К замыкающему створу зоны заиления l, расположенному на расстоянии L_l от створа работ, в русле оседают все частицы фракций с номером $i \le l$ и некоторая доля частиц меньшей крупности фракций $i > l$.

В.2.4 Расчет технологической мутности

Трансформация стартовой мутности по длине потока происходит за счет осаждения частиц на дно и перемешивания загрязненных и чистых вод.

В расчете стартовой мутности (см. В.2.1) параметр q означает величину элементарного расхода воды по ширине фронта разработки грунта. Распределение мутности по глубине в точке работ принимают равномерным.

При перемещении пятна мутности вниз по течению потока масса грунта уменьшается за счет оседания частиц, а объем воды увеличивается за счет распространения пятна мутности по ширине (разбавление).

Расчет значений технологической мутности выполняют для створов, соответствующих полному осаждению каждой из фракций (для нижней границы зоны заиления).

Полную массу грунта, поступающую в поток в створе работ за период выполнения земляных работ, рассчитывают по формуле

$$G = W\rho z / 100. \quad (В.6)$$

Расчет массы осевшего грунта в каждой зоне заиления $G_{i,l}$, т, выполняют по каждой фракции последовательно от зоны к зоне, удаляясь от створа работ, по формуле

$$G_{i,l} = Gp_i\left(\frac{L_l}{L_i}\right) - \sum_{i=1}^{l-1} G_i, \quad (В.7)$$

где $\sum_{i=1}^{l-1} G_i$ — масса грунта i-й фракции, осевшая в предыдущих расчетных зонах выше по течению.

Суммированием массы всех фракций определяют полную массу грунта, осевшую в расчетной зоне, G_L, т, по формуле

$$G_L = \sum_{i=1}^{i=11} G_{i,l}. \quad (В.8)$$

В замыкающем створе каждой зоны определяют массу транзитного грунта $G_{L(\text{тран})}$, перенесенную через расчетный створ за весь период производства земляных работ. Масса транзитного грунта равна разности между всей массой грунта, поступившей в поток в створе земляных работ, и массой грунта, осевшей к расчетному створу:

$$G_{L\text{тран}} = G - \sum_{l=1}^{l=Li=11} \sum_{i=1} G_{i,l}. \quad (В.9)$$

Для определения мутности в расчетных створах ниже по течению необходимо также учитывать уменьшение концентрации взвеси за счет разбавления. Интенсивность разбавления концентрации взвеси (увеличения ширины пятна) численно равна поперечной составляющей пульсационной скорости потока. Осредненная по глубине и по времени поперечная составляющая пульсационной скорости равна:

$$\bar{w} = 0{,}5\frac{V}{C^*}, \quad (В.10)$$

где $C^* = C / \sqrt{g}$;

g — ускорение свободного падения;

C — коэффициент Шези.

При этом необходимо учитывать, что при выполнении земляных работ у берега распространение происходит в одну сторону — к внешней границе струи. Увеличение ширины пятна Δb, м, на расчетном участке между расчетными створами определяют по формуле

$$\Delta b = \frac{L_l}{V} \cdot 0{,}5\frac{V}{C^*}. \quad (В.11)$$

При выполнении земляных работ в центре потока распространение происходит в обе стороны. Тогда увеличение ширины пятна на расчетном участке между расчетными створами составит:

$$\Delta b = \frac{L_l}{V}\frac{V}{C^*}, \quad (В.12)$$

где L_l — длина расчетного участка;

V — средняя продольная скорость течения.

В соответствии с увеличением ширины пятна мутности по длине потока от створа к створу увеличивается и расход воды по ширине пятна мутности в расчетном створе, вмещающий технологическую взвесь, q_l, м^3/с, и рассчитываемый по формуле

$$q_l = (b_{l-1} + \Delta b)hV, \quad (В.13)$$

где b_{l-1} — ширина пятна мутности в предыдущем створе.

Тогда среднюю технологическую мутность в расчетном створе μ, г/м^3, рассчитывают по формуле

$$\mu = G_{L\text{тран}} \cdot 10^3 / (3{,}6 \cdot T) / q_l. \quad (В.14)$$

По формулам (В.1) — (В.14) определяют значения средней технологической мутности в створах на границах зон заиления. В любой промежуточной точке значение мутности может быть получено линейной интерполяцией с учетом равномерного характера осаждения взвеси и разбавления концентрации за счет турбулентной диффузии в принятой схеме.

Практика расчетов показывает, что наиболее крупные фракции благодаря большой гидравлической крупности выпадают в зоне проведения работ, не образуя сколько-нибудь значимых по протяженности зон мутности. В основном мутность формируют фракции мелкого песка, ила и глины.

В.2.5 Расчет характеристик заиления дна

В качестве характеристик заиления дна ниже створа земляных работ могут быть рассчитаны средняя по ширине реки толщина наилка и удельная плотность заиления после завершения разработки всей траншеи перехода через водоток.

Среднюю толщину наилка δ, мм, в каждой зоне заиления рассчитывают по формуле

$$\delta = 1000 \sum_{i=1}^{i=11} \frac{G_{i,l}}{\rho'_l} / S_{i,l}. \quad (В.15)$$

Удельную плотность заиления ς, мг/см^2, в каждой зоне рассчитывают по формуле

$$\varsigma = 10^5 \sum_{i=1}^{i=11} G_{i,l} / S_{i,l}, \quad (В.16)$$

где $\sum_{i=1}^{i=11} G_{i,l}$ — полная масса грунта всех фракций, осевшая в расчетной зоне.

В результате смыва, транспорта и осаждения взвеси происходят сортировка крупности частиц по длине потока и изменение структуры грунта. Слой наилка на дне, образующийся при осаждении технологической взвеси, имеет рыхлую структуру и меньшую плотность по сравнению с плотностью донных отложений в бытовом состоянии водоема. В расчетах толщины наилка необходимо учитывать уменьшение плотности отложений с учетом сортировки крупности унесенного грунта по длине потока. Плотность наилка ρ'' изменяется по длине потока и приводится в формуле (В.15) для каждой зоны по таблице В.2.

Таблица В.2 — Плотность донных отложений в естественных условиях и неуплотненного наилка в зависимости от гранулометрического состава

Номер зоны заиления	Основная фракция отложившегося грунта в расчетных зонах, мм	Плотность грунта в естественном состоянии ρ, т/м^3	Коэффициент разрыхления грунта $k_{\text{рыхл}}$	Плотность отложений наилка $\rho'_l = \rho_{\text{ест}}/k$, т/м^3
1	>10	2,1	1,17	1,795
2	10—5	2,0	1,16	1,724
3	5—2	1,9	1,15	1,652
4	2—1	1,8	1,14	1,579
5	1—0,5	1,7	1,13	1,504
6	0,5—0,2	1,5	1,12	1,339
7	0,2—0,1	1,3	1,1	1,182
8	0,1—0,05	1,2	1,08	1,111
9	0,05—0,01	1,0	1,08	0,926

Окончание таблицы В.2

Номер зоны заиления	Основная фракция отложившегося грунта в расчетных зонах, мм	Плотность грунта в естественном состоянии ρ, т/м^3	Коэффициент разрыхления грунта $k_{рыхл}$	Плотность отложений наилка $\rho'_l = \rho_{ест}/k$, т/м^3
10	0,01—0,002	0,9	1,08	0,833
11	<0,002	0,8	1,08	0,741

Коэффициент разрыхления $k_{рыхл}$ для всех типов мелкодисперсных грунтов от ила до гравия находится в диапазоне значений 1,08—1,17.

В результате расчетов получают средние характеристики заиления для каждой зоны, поэтому расчетные значения следует относить к центрам зон. Значения в промежуточных створах между центрами зон определяют интерполяцией.

Результаты расчетов могут быть представлены в форме таблиц и графиков распределения средних параметров загрязнения потока по длине от створа земляных работ.

В.3 Особенности расчета параметров технологической мутности для малых рек

К малым рекам относят водотоки с шириной водной поверхности в период проведения работ менее 25 м. Для оценки параметров распространения мутности и заиления дна для малых рек по трассе МН выполняются для эталонных объектов. Для выбора эталонных объектов проводят ландшафтно-гидрологическую классификацию малых рек по трассе проектируемого МН и для выделенных участков со сходными ландшафтными условиями выполняют расчет по одной-двум рекам. Результаты расчетов по эталонным водотокам распространяют на все водотоки выделенной ландшафтной группы. Методы выполнения ландшафтно-гидрологической классификации приведены ниже.

При выполнении расчетов для малых рек вводится допущение, что зона земляных работ охватывает всю ширину реки. Поэтому уменьшение концентрации технологической взвеси по длине реки происходит только за счет осаждения частиц. Таким образом, среднюю технологическую мутность μ, м^3/с, в расчетном створе рассчитывают по формуле

$$\mu = \frac{10^3 G_{L\text{тран}}}{3{,}6T} / Q, \qquad (В.17)$$

где Q — полный расход воды на участке работ, м^3/с, рассчитываемый по формуле $Q = BhV$.

В.4 Ландшафтно-гидрологическая классификация малых рек

В.4.1 Метод расчета характеристик зон распространения технологической мутности в руслах рек на участках подводных переходов при строительстве трасс линейных сооружений основан на ранее разработанных методиках по расчету и на оценке дополнительной мутности и вторичного загрязнения потока при землечерпательных работах на судоходных реках, а также при разработке русловых карьеров.

Метод расчета характеристик зон распространения технологической мутности дополнен процедурой по установлению конкретной смеси грунтов, которая попадает в русло реки при разработке траншеи с учетом недостаточно детального освещения состава грунтов в материалах ИГМИ и ИГИ по всем пересекаемым водотокам при проектировании протяженных трасс линейных сооружений.

Отсутствующие и недостающие данные предлагается получать с применением метода аналогии. Сложность применения метода аналогии в данном случае связана с тем, что необходимая информация относится к разным областям знаний, для каждой из них разработаны свои нормативные показатели, которые следует учитывать. Это может вызывать неоднозначность процедуры подбора аналогов для неисследованных водотоков и делать эту процедуру либо слишком громоздкой, либо чрезмерно огрубляющей экспертное назначение необходимых характеристик. В результате расчеты зон распространения технологической мутности могут оказаться либо неоправданно трудоемкими, либо недостаточно точными.

Для повышения достоверности (точности) расчетов распространения технологической мутности предлагается алгоритм обоснованного и упорядоченного получения необходимых для расчета характеристик, в том числе и экспертных (оценочных), при недостаточности или отсутствии данных ИГМИ и ИГИ.

С помощью этого алгоритма необходимо составить гидроморфологическую типизацию пересекаемых трассой водотоков. В основе такой типизации должны лежать представления о природно-территориальных комплексах, а именно: водотоки являются моносистемными природно-территориальными комплексами и входят в состав природно-территориальных комплексов высших рангов — ландшафтов, имеющих генетическую однородность, т. е. одинаковое инженерно-геологическое строение территории, один тип рельефа и схожесть гидроморфных характеристик. Сложность ландшафтной организации зависит от взаимодействия и соотношения климатических, гидрологических и геолого-геоморфологических компонентов, способствующих и препятствующих поступлению и сохранению влаги в ландшафте.

Источниками информации о ландшафтах являются аэрокосмические снимки, общегеографические, топографические, тематические и непосредственно ландшафтные карты, фондовые материалы и литературные печатные издания. Важными ландшафтными индикаторами в естественных условиях являются сведения о рельефе, характере рыхлых отложений, эрозионно-гидрографической сети, о болотах, почвах, растительности. Ландшафтно-морфологическая интерпретация этого материала дает сведения об объективно существующих границах природно-территориальных комплексов, их инженерно-геологическом строении и гидроморфной структуре.

Не менее важной информацией для типизации пересекаемых трассой водотоков являются сведения об инженерно-геологическом строении долин. Источником этой информации служат материалы ИГИ — инженерно-геологические поперечные профили в створах переходов наиболее крупных из пересекаемых рек, описания ближайших к створам ПП инженерно-геологических скважин и ИГЭ.

Для типизации рек помимо механического состава грунта предлагается использовать факторы трансформации поля дополнительной мутности в потоке. Они обусловлены гидравликой потока и связаны с масштабом водотока. В больших реках — это локальные величины (глубина потока, скорость течения и продольный уклон свободной поверхности воды), а в малых — это средние глубина и скорость течения. Разница в предоставляемой информации объясняется тем, что в больших реках источник технологической мутности рассматривают как локальный (точечный) в отдельном секторе поперечного сечения потока, а процессы оседания частиц — с учетом турбулентного перемешивания чистых и замутненных вод. В малых водотоках при расчетах принимается исходное допущение, что работа землеройной техники приводит к равномерному распределению технологической мутности в начальном створе ввиду сопоставимости размеров ковша экскаватора и значений морфометрических характеристик потока, а также высокой производительности техники.

Исходя из указанного допущения критерием масштаба водотока может служить его ширина на момент разработки траншеи, производимой, как правило, в межень. При современных методах разработки траншеи к малым можно отнести водотоки шириной $B \leq 25$ м.

Следует также обращать внимание на положение створа ПП МТ относительно устья водотока, поскольку расчет перемещения и осаждения частиц проводят по фракциям, осаждение которых в потоке происходит на участках реки расчетной протяженности (их суммарная протяженность может достигать внушительных размеров). При этом условия осаждения дополнительной мутности резко меняются при впадении водотока в реку-приемник или водоем. Поэтому в том случае, когда суммарная протяженность зон осаждения технологической мутности (особенно при разнофракционном составе грунта) заведомо превышает расстояние от створа разработки траншеи до устья реки, подробный расчет зон осаждения необходимо вести лишь в пределах этого расстояния.

Далее представлен алгоритм получения достоверной информации о пересекаемых трассой водотоках, который состоит из определенной последовательности действий.

Территорию прохождения трассы разбивают на участки по принадлежности к тому или иному ландшафту.

Все пересекаемые водотоки ранжируют по ширине в межень. В случае отсутствия натурных морфометрических данных по пересекаемым водотокам ширину реки определяют по топографическим материалам и с использованием описаний гидрофильной составляющей соответствующего ландшафта.

В.4.2 Из ранжированного перечня водотоков вычленяют большие реки исходя из того, что для них не действует допущение об одномоментном и равномерном распространении технологической мутности в створе производства работ. При современных методах разработки траншеи к большим относят водотоки шириной $B > 25$ м. Распространение технологической мутности и осаждение частиц в потоке на этих реках — процесс многофакторный, сложный, поэтому они не типизируются и не включаются в группы (нетипичные реки). Расчет распространения мутности проводят отдельно для каждой реки по методике для больших рек.

В.4.3 Малые пересекаемые водотоки, освещенные данными ИГМИ, объединяют в группы по сходным значениям средней глубины и с учетом средней скорости потока. Среднюю глубину реки принимают по результатам промеров поперечного сечения на участке с рельефом, не нарушенным строительными работами. Градации средней глубины определяют исходя из наблюдаемых их диапазонов, например: $h < 0{,}5$ м; $h = 0{,}5 \div 1{,}5$ м; $h > 1{,}5$ м.

В.4.4 Среднюю скорость потока по измеренным данным ИГМИ учитывают следующим образом: она не должна сильно различаться для водотоков, относящихся к одной градации глубин, например: при $h = 0{,}5 \div 1{,}5$ м, $v = 0{,}2 \div 0{,}4$ м/с. Если для отдельного водотока средняя скорость v составляет 0,8 м/с, то водоток выпадает из типизации, и расчет для него следует проводить в индивидуальном порядке.

В.4.5 В случае отсутствия данных ИГМИ средние глубину и скорость течения потока назначают экспертно с использованием топографических карт и описаний водотоков соответствующего ландшафта. В таблице В.3 приведена гидрометрическая типизация условных водотоков по трассе линейного сооружения. В типизации выделены группы рек с однотипными гидрометрическими характеристиками.

В.4.6 Далее пересекаемые трассой трубопровода водотоки систематизируют по грунтам, слагающим их долины. Типизациия водотоков по грунтам начинается с того, что для тех рек, по которым имеются данные ИГИ, определяют гранулометрический состав перемещаемого грунта. В расчет принимают те ИГЭ, которые слагают всю толщу разрабатываемых грунтов от бровок меженного русла до отметки дна траншеи (и несколько ниже). Поскольку расчет перемещения и осаждения частиц проводят по фракциям, крупность частиц представляется 11 фракциями в соответствии с таблицей В.4.

Таблица В.3 — Схема гидрометрической типизации водотоков по трассе трубопровода

Индекс ландшафта	Группы водотоков с однотипными расчетными характеристиками (типизированные реки)					
	h >1,5 м		h = 0,5÷1,5 м		h < 0,5 м	
	V = 0,4÷0,8 м/с		V = 0,2÷0,4 м/с		V = 0,1÷0,2 м/с	
	Исследованные	Неисследованные	Исследованные	Неисследованные	Исследованные	Неисследованные
1	Водоток 1	Водоток 6	Водоток 3	Водоток 8	Водоток 10	Водоток 9
	Водоток 2	Водоток 7	Водоток 4	Водоток 11	Водоток 19	Водоток 17
	—	—	Водоток 12	Водоток 15	—	Водоток 18
	—	—	Водоток 14	Водоток 16	—	—
2	Водоток 20	Водоток 24	—	Водоток 21	Водоток 22	Водоток 27
	Водоток 29	—	—	Водоток 25	Водоток 23	—
	—	—	—	Водоток 26	Водоток 28	—
Реки вне типизации						
1	Водоток 5	h = 2,5 м		V = 2,0 м/с		
	Водоток 13	h = 1,0 м		V = 0,8 м/с		
2	Водоток 30	h = 0,3 м		V = 0,5 м/с		

Таблица В.4 — Крупность частиц

Распределение диаметров частиц, мм, по фракциям										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
>10	10—5	5—2	2—1	1—0,5	0,5—0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001

В.4.7 Если разрыхляемые при разработке траншеи грунты представлены несколькими разными ИГЭ, рассчитывают их средневзвешенный гранулометрический состав с весовыми коэффициентами, пропорциональными площади распространения этих ИГЭ на инженерно-геологическом разрезе в разрабатываемом створе. При этом принимают допущения, что в силу незначительных размеров меженных русел и перемешивания перемещаемого при разработке траншеи грунта исходное пространственное расположение грунтов в долине водотока не имеет значения, а разрыхленный грунт, попадающий в русло, является простой смесью грунтов, слагающих долину реки до уровня дна траншеи.

В.4.8 В случае отсутствия или недостаточности данных ИГИ необходимо использовать описание геологической структуры соответствующего ландшафта и при достаточности оснований воспользоваться расчетными значениями грансоставов грунтов в долинах близлежащих водотоков или перенести данные геологических профилей с ближайших исследованных рек на неисследованные.

В.4.9 Если в силу различия инженерно-геологического строения смежных участков указанный в разделе 9 перенос невозможен, необходимо данные о грансоставе грунтов неисследованных участков определить экспертно. Для этого следует составить качественное описание грунтов (ИГЭ) от бровок русел до глубины заложения траншеи на переходах через водотоки в пределах неисследованных участков, опираясь на сведения о инженерно-геологическом строении ландшафтов по ходу трассы линейного сооружения.

В.4.10 Для перехода от качественного описания к количественной оценке (грансоставу) каждого из выделенных ИГЭ следует воспользоваться перечнем природных дисперсных и связных грунтов (см. таблицу В.5, а также ГОСТ 25100) и выбрать наиболее подходящие по описанию грунты с указанием их механических составов.

В.4.11 Для детального определения грансостава каждого ИГЭ с приведением к 11 фракциям крупности частиц следует воспользоваться классификацией наносов по крупности частиц и их процентному содержанию (см. таблицу В.6).

Таблица В.5 — Перечень природных дисперсных и связных грунтов

Тип грунта	Диаметр частиц, мм, и пределы их содержания в грунтах, % по массе													
	100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,25	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001
Галечниковый или щебенистый	50				—		—	—	—	—	—	—	—	—
Гравийный или дресвяный	—				50		—	—	—	—	—	—	—	—
Песок гравелистый	—				—	—		—	—	—	—	—	—	—
Песок крупный	—				—		—	50	—	—	—	—	—	—
Песок средней крупности	—				—		—	—	50	—	—	—	—	—
Песок мелкий	—				—		—	—		75	—	—	—	—
Песок пылеватый	—				—		—	—		< 75	—	—	—	—
Супесь песчанистая	—				—	≥50						—	—	—
Супесь пылеватая	—				—	<50						—	—	—
Суглинок легкий песчанистый	—				—	≥40						—	—	—
Суглинок легкий пылеватый	—				—	<40						—	—	—
Суглинок тяжелый песчанистый	—				—	≥40						—	—	—
Суглинок тяжелый пылеватый	—				—	<40						—	—	—
Глина легкая песчанистая	—				—	≥40						—	—	—
Суглинок легкий пылеватый	—				—	<40						—	—	—
Глина тяжелая	—				—	Не регламентируется						—	—	—

В.4.12 Составы смесей грунтов, рассчитанные по детальным данным ИГИ, в совокупности с экспертно составленными и рассчитанными смесями грунтов для неисследованных водотоков являются основой типизации водотоков по грунтам по трассе линейного сооружения (см. таблицу В.7) и используются в расчетах распространения технологической мутности в руслах пересекаемых рек. В таблице В.7 показаны гранулометрические составы условных водотоков, приведенных в таблице В.3, сгруппированные по однотипным составам смесей грунта. При этом последовательность пересечения водотоков по ходу трассы (номера водотоков) в целом сохраняется, что отражает закономерную принадлежность определенного вида грунтов к тому или иному ландшафту. Однако в некоторых случаях характеристики разрабатываемых грунтов обнаруживаются у водотоков, приуроченных к разным ландшафтам (в таблице В.7 это водоток 3).

В.4.13 Для оптимизации расчетов распространения технологической мутности в малых водотоках при строительстве протяженных линейных сооружений предлагается проводить расчеты не для каждого пересекаемого траншейным способом водотока, а для выделенных кластеров рек с однотипными расчетными характеристиками.

В.4.14 Для этого предлагается в единый расчетный кластер объединить реки выделенных групп из гидрометрической типизации пересекаемых водотоков (см. таблицу В.3) и реки с однотипным гранулометрическим составом смесей грунтов в створах ПП МТ (см. таблицу В.7). Таким образом формируется гидроморфологическая типизация рек для расчета распространения дополнительной мутности. Для ее окончательного оформления в каждом кластере необходимо выбрать эталонный водоток для расчета распространения дополнительной мутности. При выборе эталонного водотока предпочтение отдают исследованным рекам. При этом гранулометрический состав смеси грунтов для эталонного водотока получают путем простого осреднения грансоставов смесей каждого из входящих в данный кластер водотоков. Эталонные водотоки из выделенных кластеров рек с осредненными грансоставами смесей грунтов для расчета распространения дополнительной мутности приведены в таблице В.8.

В.4.15 Гидроморфологическая типизация пересекаемых малых рек для расчета распространения дополнительной мутности приведена в таблице В.9. Для наглядности ячейки с водотоками, отнесенными к одному кластеру, объединены в общую ячейку. Эталонные расчетные водотоки для каждого кластера выделены жирным шрифтом. Расчет распространения технологической мутности проводят для этих рек с учетом соответствующих данных, приведенных в таблице В.5. Результаты расчета распространены на все водотоки данного кластера.

В.4.16 Расчет распространения технологической мутности для нетипичных рек по трассе линейного сооружения проводят отдельно для каждого водотока. Соответствующие данные для расчета приведены в таблицах В.3 и В.7.

Таблица В.6 — Крупность частиц и их процентное содержание по А.В. Караушеву [5]

Типы грунтов (донных отложений)	Диаметр частиц, мм, и пределы их содержания в грунтах, % по массе													
	Галька			Гравий			Песок			Пыль		Ил		Глина
	100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001
Илы тонкие	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10—20	40—70		10—20
Илы	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20—40		40—70		—
Илы с примесью песка	—	—	—	—	—	—	—	—	10—20		40—70		10—20	—
Мелкие пески заиленные	—	—	—	—	—	—	—	—	20—40	40—70		10—20	—	—
Мелкие и средние пески, заиленные	—	—	—	—	—	—	—	20—40	40—70		10—20	—	—	—
Средние пески заиленные	—	—	—	—	—	—	—	40—70		20—40		10—20	—	—
Мелкие пески	—	—	—	—	—	—	—	10—20	40—70		20—40	—	—	—
Средние пески	—	—	—	—	—	—	—	40—70	20—40	10—20	—	—	—	—
Средние и крупные пески	—	—	—	—	—	10—20	40—70		20—40		—	—	—	—
Пески с гравием	—	—	—	20—40			40—70			—	—	—	—	—
Гравий	—	—	10—20	40—70			1—20	—	—	—	—	—	—	—
Галька с гравием	40—70			20—40			10—20	—	—	—	—	—	—	—

Таблица В.7 — Гранулометрический состав смесей грунтов в створах ПП МТ

№ водотока	Наименование смеси грунтов	Верхние пределы размеров частиц, мм, разных фракций и их содержание, % по массе												
		Галька			Гравий			Песок			Пыль		Ил	
		100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005
Типизированные реки														
1	Песчано-суглинисто-галечная	1	2	0	0	4	3	0	25	20	15	15	15	0
2		2	1	0	0	3	2	5	15	20	13	22	12	0
6		5	7	7	4	3	3	5	8	10	12	12	17	7
7		0	0	0	0	0	5	10	15	25	15	15	15	0
4		3	2	3	2	2	3	7	13	15	13	16	16	5
8		2	0	0	1	1	3	10	15	25	15	15	15	0
9		2	2	5	3	3	5	8	27	20	15	5	5	0
10		2	1	3	1	2	8	5	13	17	13	13	15	7
3	Суглинисто-песчаная	0	0	0	0	0	0	0	28	20	13	22	12	5
11		0	0	0	0	0	0	0	15	17	15	25	8	3
12		0	0	0	0	0	0	0	25	23	18	17	15	0
14		0	0	0	0	0	0	0	32	18	14	20	12	4
15		0	0	0	0	0	0	0	20	28	15	20	17	0
16		0	0	0	0	0	0	0	16	28	17	18	19	2
17		0	0	0	0	0	0	0	15	17	15	25	8	3
18		0	0	0	0	0	0	0	20	28	15	20	17	0
19		0	0	0	0	0	0	0	25	20	15	23	13	4
20	Супесчано-галечная	0	0	0	0	0	0	0	25	20	15	23	13	4
24		4	5	5	0	1	2	9	21	27	26	0	0	0
21		8	8	10	8	12	15	18	10	9	0	0	0	0
22		6	9	4	2	4	3	5	12	19	17	19	0	0
23		5	7	3	2	6	5	4	13	20	18	14	0	0
25	Суглинисто-галечная	4	5	7	3	3	3	2	0	3	8	16	15	9
26		8	10	10	5	5	5	8	0	5	8	13	15	10
27		5	7	7	3	3	3	5	10	13	13	11	12	7
28		7	8	9	5	7	5	9	5	5	9	12	10	9
29		7	10	10	5	5	5	8	0	5	8	12	15	10
Реки вне типизации														
5	Песчано-суглинисто-галечная	2	3	3	4	2	8	5	11	14	12	14	15	7
13	Суглинисто-песчаная	0	0	0	0	0	0	5	20	23	15	18	17	2
30	Суглинисто-галечная	8	8	11	7	5	3	2	0	5	13	16	14	8

Таблица В.8 — Гранулометрический состав смесей грунтов эталонных рек

Эталонные водотоки	Верхние пределы размеров частиц, мм, разных фракций и их содержание, % по массе												
	Галька			Гравий			Песок			Пыль		Ил	
	100	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005
2	2	3	2	1	2	3	7	13	18	13	16	15	1,75
4	3	1	2	2	2	3	9	14	20	14	16	16	3
10	2	2	4	2	3	7	7	20	19	14	9	10	4
12	0	0	0	0	0	0	0	23	22	15	20	14	2
19	0	0	0	0	0	0	0	20	22	15	23	13	2
20	6	8	5	2	2	2	9	23	26	22	—	—	—
21	8	8	10	8	12	15	18	10	9	—	—	—	—
22	6	8	4	2	5	4	5	13	20	18	17	—	—
26	6	8	9	4	4	4	5	0	4	8	14	15	9
28	6	7	8	4	5	4	7	8	9	11	12	11	8
29	7	10	10	5	5	5	8	0	5	8	12	15	10

Таблица В.9 — Гидроморфологическая типизация пересекаемых малых рек

Индекс ландшафта	Индекс и наименование смеси грунтов	Нетипичные реки	Кластеры водотоков с однотипными расчетными характеристиками					
			$H > 1,5$ м		$H = 0,5$—$1,5$ м		$h < 0,5$ м	
			$V = 0,4 \div 0,8$ м/с		$V = 0,2 \div 0,4$ м/с		$V = 0,1 \div 0,2$ м/с	
			Исследованные	Неисследованные	Исследованные	Неисследованные	Исследованные	Неисследованные
1	1,1 песчано-суглинисто-галечная	Водоток 5	Кластер 1		Кластер 2		Кластер 3	
			Водоток 1	Водоток 6	Водоток 4	Водоток 8	Водоток 10	Водоток 9
			Водоток 2	Водоток 7				
	1,2 суглинисто-песчаная	Водоток 13	Кластер 4		Кластер 5		Кластер 6	
			Водотоки отсутствуют		Водоток 3	Водоток 11	Водоток 19	Водоток 17
					Водоток 12	Водоток 15		Водоток 18
					Водоток 14	Водоток 16		
2	2,1 супесчано-галечная	—	Кластер 7		Кластер 8		Кластер 9	
			Водоток 20	Водоток 24		Водоток 21	Водоток 22	
	2,2 суглинисто-галечная	Водоток 30	Кластер 10		Кластер 11		Кластер 12	
			Водоток 29			Водоток 25	Водоток 28	Водоток 27
						Водоток 26		

В.5 Описание методики расчета распространения технологической мутности и заиления дна для локальных источников загрязнения

При проведении земляных работ на локальном, ограниченном по ширине, участке акватории или при поступлении загрязненной взвесью воды из бокового притока или коллектора распространение пятна дополнительной (технологической) мутности и заиление дна происходят в виде «факела», который в начальном створе не охватывает всю ширину реки, как при разработке поперечной траншеи перехода. В этом случае следует использовать

двухмерную схему расчета, которая показывает изменение параметров мутности и заиления как по длине, так и по ширине расчетного участка.

Детальный расчет распространения пятна мутности и пятна заиления в плоской постановке задачи выполняют с использованием метода турбулентной диффузии [6]. Метод основан на решении дифференциального уравнения турбулентной диффузии.

Общий вид уравнения следующий:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{g}{\gamma}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(A\frac{\partial s}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(A\frac{\partial s}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(A\frac{\partial s}{\partial z}\right)\right] - u\frac{\partial s}{\partial y}, \quad (В.17.1)$$

где s — концентрация взвешенного вещества;

t — время;

g — ускорение свободного падения;

A — коэффициент турбулентного обмена;

γ — удельный вес;

x — продольная координата;

y — вертикальная координата;

z — поперечная координата;

u — гидравлическая крупность.

Для выполнения расчетов акваторию участка реки разбивают на сеть равновеликих ячеек. Направление течения совпадает с осью X, направление поперечного сечения реки — с осью Z. Ширину ячейки Δz назначают так, чтобы $\Delta z = b$ при расположении источника мутности у берега, $\Delta z = 0{,}5b$ при расположении источника мутности в потоке на удалении от берега, где b — ширина зоны работы механизма черпания/сброса. Длину ячейки Δx вычисляют из условия полного смешения объема воды расчетной ячейки с объемами воды смежных ячеек. Интенсивность смешения определяют коэффициентом турбулентной диффузии D, который рассчитывают по формуле

$$D = \frac{gHV}{MC}, \quad (В.18)$$

где g — ускорение свободного падения;

H — средняя глубина потока;

V — средняя скорость потока;

C — коэффициент Шези в уравнении равномерного движения потока;

M — коэффициент, зависящий от C: при условии $10 < C < 60$, $M = 0{,}7C + 6$, при $C \geq 60$, $M = 48$.

Длину ячейки Δx рассчитывают по формуле

$$\Delta x = 0{,}5V(\Delta z)^2 / D. \quad (В.19)$$

Стартовое значение мутности в зоне производства земляных работ μ' рассчитывают по формуле (В.2).

Далее значения мутности и величины заиления рассчитывают последовательно — по рядам k сетки в направлении течения по оси X (см. рисунок В.2).

Для каждой фракции взвеси i, поступающей в расчетный ряд $k + 1$ ячеек сверху по течению, определяют коэффициент транзита $K_{\text{тран}}$, который показывает, какая доля грунта проходит транзитом и уходит вниз по течению:

$$K_{\text{тран } k+1i} = 1 - \Delta x / (L_i - \Delta x \cdot k), \quad (В.20)$$

где L_i — общая длина распространения данной фракции i при заданной скорости течения и глубине потока;

$\Delta x \cdot k$ — расстояние от створа работ до верхней границы расчетной ячейки.

Общий коэффициент транзита для взвеси $K_{\text{тран } k+1\text{общ}}$ в расчетном ряду ячеек рассчитывают по формуле

$$K_{\text{тран } k+1_{\text{общ}}} = \sum\left(K_{\text{тран } k+1i} \cdot p_i\right), \quad (В.21)$$

где p_i — доли каждой из i фракций взвешенного в потоке грунта.

Мутность потока на нижней грани каждой ячейки ряда рассчитывают в соответствии со схемой, показанной на рисунке В.2, по формуле

$$\mu_{k+1,m} = \frac{1}{2}\left(\mu_{k,m-1} + \mu_{k,m+1}\right) \cdot K_{\text{тран } k+1_{\text{общ}}}. \quad (В.22)$$

На границах потока принимается следующее условие:

$$\frac{\Delta\mu}{\Delta z} = 0. \quad (В.23)$$

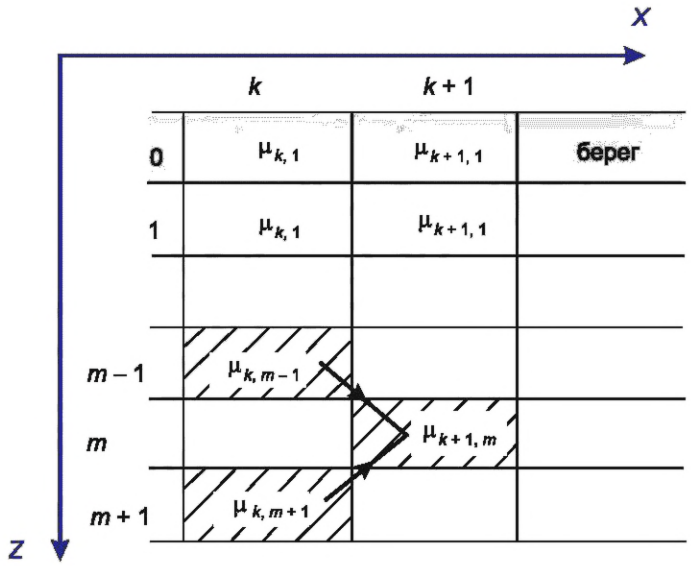


Рисунок В.2 — Схема построения сетки и расчета мутности

Поэтому для расчета значений в прибрежных ячейках условно экстраполируют значение мутности на береговую линию (см. рисунок В.2).

Среднюю мутность для расчетного ряда ячеек $\overline{\mu}_{k+1}$ рассчитывают по формуле

$$\overline{\mu}_{k+1} = \frac{1}{p}\sum \mu_{k+1,m}, \tag{В.24}$$

где p — число ячеек с загрязнением.

Для любого ряда ячеек $k + 1$ массу грунта, осевшего на дно в их пределах, G_{k+1} рассчитывают по формуле

$$G_{k+1} = \left(1 - K_{\text{тран } k+1_{\text{общ}}}\right)\left(G - \sum_{1}^{n=k} G_n\right), \tag{В.25}$$

где G — масса грунта, смытая потоком при производстве работ и формирующая пятно технологической мутности;

$\sum_{1}^{n=k} G_n$ — масса грунта, осевшая на дно от створа работ до верхней границы расчетного ряда.

Среднюю толщину образовавшегося в расчетном ряду ячеек наилка $\overline{\delta}_{k+1}$ рассчитывают по формуле

$$\overline{\delta}_{k+1} = 1000\frac{\dfrac{G_{k+1}}{\rho'_{k+1}}}{u \cdot \Delta z \cdot \Delta x}, \tag{В.26}$$

где ρ'_{k+1} — объемная масса осевшего в расчетном ряду разрыхленного грунта.

Толщина наилка в каждой ячейке расчетного ряда пропорциональна концентрации взвешенных наносов в этой ячейке и определяется по формуле

$$\delta_{m,k+1} = \overline{\delta}_{k+1}\left(\frac{\mu_{k+1,m}}{\overline{\mu}_{k+1}}\right). \tag{В.27}$$

Среднюю плотность заиления для расчетного ряда ячеек рассчитывают по формуле

$$\overline{\varsigma}_{k+1} = 10^5\frac{G_{k+1}}{u \cdot \Delta z \cdot \Delta x}. \tag{В.28}$$

Плотность заиления в каждой ячейке расчетного ряда рассчитывают по формуле

$$\varsigma_{m,k+1} = \overline{\varsigma}_{k+1}\left(\frac{\mu_{k+1,m}}{\overline{\mu}_{k+1}}\right). \tag{В.29}$$

Долю каждой фракции взвеси в потоке на нижней по течению границе расчетного ряда и поступающей в следующий ряд определяют по формуле

$$p_{i,k+2} = p_{i,k+1}\left(\frac{K_{\text{тран } k+1i}}{K_{\text{тран } k+1_{\text{общ}}}}\right). \quad \text{(В.30)}$$

Расчетные значения параметров мутности относят к центру нижней по течению грани ячейки, а значения наилка и плотности заиления — к центру расчетной ячейки.

Далее переходят к расчету значений следующего ряда расчетной сетки и продолжают до конца расчетного участка.

Если в зоне влияния технологической мутности река существенно меняет морфометрические и гидравлические характеристики, то выделяют два или несколько однородных участков, расчеты по которым ведут последовательно. Параметры распределения, состава и количества взвеси на нижней по течению границе одного участка являются исходными данными для выполнения расчетов на верхней границе следующего.

В результате расчетов получают массив данных с параметрами концентрации взвеси и заиления дна в точках с фиксированными относительными пространственными координатами. Массив данных позволяет построить планы загрязнения водотока взвесью на участке работ в изолиниях.

Приложение Г
(рекомендуемое)

Учет деформаций речных русел на подводных переходах трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов и деформаций, обусловленных ледовыми явлениями в зимний период

Г.1 Прогнозирование русловых деформаций на реках России, протекающих в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, следует выполнять на основании общей гидроморфологической типизации речных русел и русловых процессов с учетом границ распространения и глубин залегания мерзлых грунтов как в русле, так и на пойме, а также типов геокриологических процессов и ледовых условий на участке перехода. Расчеты характеристик русловых деформаций для участков рек с сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов, а также расчеты заносимости подводных траншей следует выполнять в соответствии с положениями разделов 9—11 и 13.

Г.2 Створ перехода трубопроводов следует располагать на участках рек, берега и поймы которых сложены крупнообломочными, гравийно-галечными или песчаными грунтами с глубоким залеганием грунтовых вод.

Следует по возможности избегать участков с интенсивным проявлением геокриологических процессов (морозного пучения грунтов, в том числе образования бугров пучения, термоэрозии, термоабразии, солифлюкции, термокарста, наледеобразования, курумообразования) и берегов, сложенных мерзлыми песчаными грунтами и подверженных морозному выветриванию.

Следует выявлять в берегах и на поймах рек линзы подземного льда, а также наличие многолетнемерзлых грунтов на пересекаемых трассой трубопровода островах и побочнях как участков, исключительно неблагоприятных для строительства переходов.

При выборе створов перехода выше мест образования заторов следует учитывать возможность выхода льда на пойму и ее размыв. При расположении переходов ниже мест образования заторов необходимо обращать внимание на возможность увеличения темпов развития плановых и глубинных деформаций после прорыва заторов.

Г.3 При анализе процессов руслоформирования на участке перехода и при построении ППР русла материалы ИГИ должны содержать следующие данные:

- о распространении и залегании многолетнемерзлых грунтов на береговых участках и поймах;
- толщине сезонно-мерзлого слоя грунтов;
- геокриологических процессах на участке перехода.

Г.4 При проведении ИГМИ необходимо выполнить анализ гранулометрического состава донных отложений на всем участке изысканий, длина которого должна быть определена в соответствии с СП 482.1325800.2020 (7.1.8).

Г.5 Информацию о границах распространения многолетнемерзлых грунтов на речных берегах и в пойме в полосе шириной от 300 до 500 м от обоих берегов получают по результатам ИГИ, в том числе по картам инженерно-геокриологических условий и/или инженерно-геокриологического районирования территории.

Для оценки плановых деформаций русла, зависящих от характера и состояния грунтов, вдоль уреза воды или вдоль бровки руслового берега рекомендуется составлять продольные профили, совмещенные с инженерно-геологическими разрезами длиной, соответствующей длине русловой съемки. При этом в ходе обследования должно быть составлено подробное описание обнаруженных признаков проявления всех геокриологических процессов с фиксацией их планового расположения, фотофиксации каждого признака.

При оценке деформаций берегов, сложенных глинистыми грунтами, следует выявить участки крутых склонов, подверженных оползневым явлениям (солифлюкций), а также места пучения.

На основании рекогносцировочного обследования должно быть уточнено положение створа перехода.

Г.6 Для количественной оценки деформаций пойм следует выполнить обследование участка перехода в осенний период перед ледоходом и в весенний период вскоре после освобождения пойм от затопления.

Для оценки развития пойменных проток необходимо получить сведения за период ледохода (данные о глубине и продолжительности затопления поймы).

Г.7 Для учета влияния ледовых условий на деформации берегов и русла необходимо выполнить специальные изыскания на участке перехода протяженностью не менее 20 ширин русла. При этих изысканиях на плановую основу, используемую для гидроморфологического обследования участка перехода, должны быть нанесены наиболее вероятные места образования заторов льда, сужения русла, резкие повороты, перекаты, приверхи островов. Необходимо также в предледоставный период и перед вскрытием реки провести визуальное обследование побочней, осередков, поверхности приурезовой полосы пойменной террасы (шириной не менее половины ширины меженного русла), фиксируя места образования морозобойных трещин, характер почвогрунтов, следы и характер разрушения берегов и поймы ледоходом.

Г.8 В зимний период, предшествующий вскрытию реки, необходимо выполнить маршрутное обследование участка с фотографированием и фиксацией на схеме всех ледовых образований (заторов, навалов льда, наледей, торосов).

Г.9 Прогноз русловых деформаций составляют с учетом анализа всех факторов, перечисленных в Г.3, на основании совмещения многолетних ретроспективных русловых съемок или картографических и аэрофотосъемочных материалов в соответствии с рекомендациями разделов 9—11.

Г.10 При анализе вертикальных деформаций речного русла и при расчетах сезонных деформаций следует обратить внимание на гидравлические условия и форму движения донных руслоформирующих наносов на участке перехода в периоды прохождения высоких вод.

При прохождении половодий на устьевых участках рек при наличии подпорных явлений во время морских приливов и ветровых нагонов может наблюдаться отсутствие грядового движения донных наносов, что характерно для полуострова Ямал.

При наличии большого содержания илистых и пылеватых частиц в гранулометрическом составе донных отложений большая часть этих частиц в период половодья может транспортироваться во взвешенном состоянии в придонном слое без формирования гряд.

Отсутствие грядового движения донных наносов в период прохождения руслоформирующих половодий со среднемноголетним максимальным расходом 50 %-ной обеспеченности (расходом воды, проходящим в пределах пойменных бровок) позволяет игнорировать сезонные деформации дна, обусловливаемые грядовым движением донных наносов.

Г.11 Для оценки возможных форм транспорта наносов в реках (влечение, сальтация, взвешивание) и их учета при оценке сезонных деформаций русла при расчете (построении) ППР реки следует пользоваться следующими формулами характерных значений вертикальной компоненты пульсационной скорости потока:

- осредненное во времени и по глубине потока значение вертикальной компоненты

$$\overline{v}_{ср.в} = 0{,}41V_*; \quad (Г.1)$$

- осредненное по глубине максимальное значение вертикальной компоненты

$$v_{макс.ср.в} = 1{,}28v_*; \quad (Г.2)$$

- наибольшее возможное при данном гидравлическом режиме значение вертикальной компоненты в зоне (0,15÷0,40)Н от дна потока

$$v_{макс} = 1{,}75v_*, \quad (Г.3)$$

где v_* — динамическая скорость, определяемая по формуле

$$v_* = \sqrt{gHI}, \quad (Г.4)$$

где H — глубина потока;

I — уклон поверхности потока.

Форму движения наносов устанавливают путем сопоставления гидравлической крупности частиц u (см. таблицы Г.1 и Г.2) с характерными значениями вертикальной компоненты, определяемыми с помощью зависимостей (Г.1) — (Г.4).

Таблица Г.1 — Гидравлическая крупность частиц наносов u, м/с. Ламинарный и переходный режимы осаждения

Диаметр d, мм	Температура t, °С			
	0	10	20	30
0,030	0,000451	0,000617	0,00080	0,000999
0,040	0,000800	0,001090	0,00141	0,001760
0,050	0,000125	0,001680	0,00219	0,002710
0,075	0,002760	0,003710	0,00469	0,005690
0,100	0,004760	0,006250	0,00774	0,009120
0,125	0,007130	0,009140	0,01100	0,012750
0,150	0,009710	0,012170	0,01430	0,016500
0,175	0,012410	0,015200	0,01780	0,020200
0,200	0,015180	0,018400	0,02130	0,024100
0,300	0,026600	0,031500	0,03600	0,040000
0,400	0,038500	0,045200	0,05070	0,055500
0,500	0,050800	0,058400	0,06460	0,069400
0,700	0,074500	0,082200	0,08900	0,094300

Окончание таблицы Г.1

Диаметр *d*, мм	Температура *t*, °С			
	0	10	20	30
0,900	0,095300	0,103800	0,11020	0,114300
1,000	0,104500	0,112900	0,11960	0,123700
1,400	0,139000	0,146000	0,15100	0,154000
1,800	0,167000	0,173000	0,17800	0,180000
2,000	0,180000	0,185000	0,18900	0,190000
2,500	0,210000	0,212000	0,21200	0,212000

Если $u > v_{макс}$ — наносы перемещаются в форме влечения по дну.

Если $V_{макс.ср.в} \le u \le v_{макс}$ — наносы перемещаются в форме сальтации[1)] вблизи дна.

Если $\overline{v}_{ср.в} \le u \le V_{макс\ ср.в}$, то сальтирующие частицы достигают середины глубины потока.

Если $u \le \overline{v}_{ср.в}$, то наносы переходят во взвешенное состояние и распространяются на всю глубину потока.

Таблица Г.2 — Гидравлическая крупность частиц наносов *u*, м/с. Турбулентный режим осаждения

Диаметр *d*, мм	Гидравлическая крупность *u*, м/с	Диаметр *d*, мм	Гидравлическая крупность *u*, м/с	Диаметр *d*, мм	Гидравлическая крупность *u*, м/с
3,0	0,232	7	0,355	40	0,848
3,5	0,251	8	0,379	50	0,948
4,0	0,268	9	0,402	75	1,161
4,5	0,284	10	0,424	100	1,341
5,0	0,300	12	0,465	150	1,642
5,5	0,315	15	0,519	200	1,897
6,0	0,328	20	0,600	250	2,120
6,5	0,342	30	0,735	300	2,323

Г.12 Задача проектирования, строительства, эксплуатации, капитального ремонта, реконструкции и сноса (демонтажа) выведенных из эксплуатации переходов трубопроводов через русла рек, протекающих на участках распространения многолетнемерзлых грунтов, требует специального рассмотрения дополнительных факторов, усложняющих решение вопросов выполнения изысканий, выбора участков и створов переходов МН, методов их строительства, выполнения оценки и расчетов характеристик руслового процесса и построения ППР русел рек, а также организации мониторинга участков ПП для обеспечения безаварийной эксплуатации МН в районах распространения многолетнемерзлых грунтов и в зимний период.

Эти особенности разработки гидроморфологического обоснования построения ППР русел рек в створах переходов МТ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов и в зимний период должны быть учтены при разработке задания на проведение ИГМИ и ИГИ.

[1)] Скачкообразное движение донных наносов, выражающееся в отрыве частицы донных наносов от дна, в ее перемещении в течение некоторого времени в придонной области потока во взвешенном состоянии с последующим выпадением на дно и коротким периодом ее волочения по дну.

Библиография

[1] Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 049/2020 — О требованиях к магистральным трубопроводам для транспортирования жидких и газообразных углеводородов

[2] СО 34.21.204-2005 — Рекомендации по прогнозу трансформации русла в нижних бьефах гидроузлов

[3] РД 52.04.163-88 — Дополнение к наставлению гидрометеорологическим станциям и постам, вып. 6, ч. I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках

[4] Ленгипроречтранс, 1990 г. — Методика расчета дополнительной мутности и вторичного загрязнения воды при производстве дноуглубительных работ и добыче НСМ на реках и водоемах

[5] Караушев А.В. Теория и методы расчета речных наносов — Л.: Гидрометеоиздат, 1977

[6] Караушев А.В. Речная гидравлика. — Л.: Гидрометеоиздат, 1969 — 416 с.

УДК 699.88:006.354 ОКС 75.200

Ключевые слова: подводные переходы магистральных трубопроводов, русловые деформации, русловой процесс, профиль предельного размыва русел рек, заносимость подводной траншеи, защита трубопровода

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 25.06.2025. Подписано в печать 08.07.2025. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 9,28.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru