

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ(МИИТ))

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Управления
научно-исследовательской работы

А.В. Саврухин



ИНСТРУКЦИЯ

по применению гибкого бетонного покрытия для укрепления конусов
мостов и откосов земляного полотна железных дорог

Москва 2019

РЕФЕРАТ

ГИБКОЕ БЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ, ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО, ОТКОС, НАСЫПЬ, ВЫЕМКА, УКРЕПЛЕНИЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА, ЗАЩИТА ОТ РАЗМЫВОВ, ПРОТИВОЭРОЗИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, УКРЕПЛЕНИЕ КОНУСОВ МОСТОВ.

В Инструкции приводятся основные технические решения ресурсосберегающих технологий по защите земляного полотна от размывов гибкими бетонными покрытиями (ГБ-покрытие), характеристики гибкого бетонного покрытия, методика проектирования и расчетов укрепительных мероприятий по защите земляного полотна гибким бетонным покрытием.

Даны основные методы расчёта, реконструкции по конструктивным решениям.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	5
2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	6
3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	8
4 ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБКОГО БЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ	10
4.1 Конструкции ГБ-плит	10
4.2 Требования к бетону	14
4.3 Требования к синтетическому канату.....	14
4.4 Требования к закладным деталям.....	16
4.5 Требования к качеству поверхностей и внешнему виду ГБ-плит.....	16
4.6 Указания по монтажу.....	16
4.6.1 Сборка ГБ-плит в единое покрытие.....	17
4.6.1.1 Скрепление ГБ-плит ГБП за ДМК методом опрессовки каната одноразовой обжимной втулкой (канатным зажимом).....	17
4.6.1.2 Скрепление ГБ-плит ГБП за стальные закладные детали	19
4.6.2 Устройство верхнего якоря для закрепления ГБ-покрытия на откосе.....	22
4.6.2.1 Обустройство верхнего якоря с применением самораскрывающихся анкеров	23
4.6.2.2 Обустройство верхнего якоря бетонированием траншеи.....	24
4.6.2.3 Обустройство верхнего якоря бетонированием шурфа	25
5 МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТОВ УКРЕПИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ГИБКИМ БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ	27
5.1 Размывные явления (водное и волновое воздействия).....	27
5.2 Разрушение от ледовых воздействий	31
5.2.1 Расчёт устойчивости креплений откосов ГБ-покрытием при воздействии расширяющегося ледяного покрова.....	31
5.2.2 Устойчивость креплений откосов ГБП при воздействии ледовой нагрузки	36
5.3 Укрепление русел, конусов и откосов насыпей у малых и средних мостов из ГБ- покрытия	43
5.3.1 Основные положения	43
5.3.2 Область применения ГБ-покрытия для малых и средних мостов	44
5.3.3 Схемы раскладки ГБ-плит на поверхности конуса моста.....	45
БИБЛИОГРАФИЯ.....	53
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ УКРЕПИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ГИБКИМ БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ.....	55
А.1 Расчет размывных явлений (водное и волновое воздействия).....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	60
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ТАБЛИЦА КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ РАЗМЫВОВ	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПРИМЕРЫ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ГИБКИМ БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ.....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. АЛЬБОМ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	69

ВВЕДЕНИЕ

На размывы земляного полотна железных дорог приходится до 11% от всех видов деформаций (по протяженности участков до 820 км), что наносит большой ущерб путевому комплексу из-за возникновения полных или частичных отказов пути.

Изменения климата как ежегодные трендовые, так и спорадические, интенсивность и сложная предсказуемость проявления природных явлений, приводящих к размывам земляного полотна, конусов мостов, определяет в большинстве случаев необходимость разработки индивидуальных проектов различных защитных укрепительных сооружений и конструкций.

Задача постоянного улучшения применяемых конструкций по защите инфраструктуры железнодорожного пути от размывов, эрозионных явлений актуальна, особенно в условиях периодически происходящих катаклизмов в виде наводнений в южных районах страны, регионов Сибири и Дальнего Востока.

Универсальность модульных конструкций в виде покрытий из гибких бетонных плит работающих по принципу гибкого экрана всё более выгодно отличается при оценке возможных вариантов решений для укрепления грунтовых откосов подтопляемых сооружений (пойменных насыпей, конусов мостов, берегоукрепления). Их применение позволят снизить трудоёмкость работ и потребность в строительных материалах.

Специалистами РУТ (МИИТ) Российского Университета Транспорта (МИИТ) разработана «Инструкции по применению гибкого бетонного покрытия для укрепления конусов мостов и откосов земляного полотна железных дорог» (далее Инструкция).

В Инструкции приводятся основные технические решения и ресурсосберегающие технологии по защите земляного полотна от размывов гибкими бетонными покрытиями, характеристика гибкого бетонного покрытия, методика проектирования и расчетов укрепительных мероприятий по защите земляного полотна гибким бетонным покрытием.

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Настоящая инструкция устанавливает порядок применения гибкого бетонного покрытия (далее ГБ-покрытие) для укрепления конусов мостов и откосов земляного полотна пойменных подтопляемых насыпей железных дорог. ГБ-покрытия применяются как на объектах нового строительства, так и на эксплуатируемых объектах, при проектировании и реализации мероприятий по их усилению, реконструкции или ремонте.

1.2 ГБ-покрытие применяется для защиты от повреждений и возникновения (развития) деформации земляного полотна в виде размывов пойменных насыпей, берегов рек и водохранилищ в зонах расположения объектов инфраструктуры железных дорог (приложение А.1).

1.3 ГБ-покрытия, собираемые из гибких бетонных плит (ГБ-плит) (рисунок 1.1) по ГОСТ Р 58411, предназначены для защиты откосов земляного полотна от размывов и разрушений водными потоками и ледовыми нагрузками.

1.4 В инструкции приведены технические решения и конструкции укрепления ГБ-покрытием откосов земляного полотна железных дорог, установлены технические требования к элементам ГБ-покрытия, требования безопасности и охраны труда.



а) симметричная конструкция

б) асимметричная конструкция

Рисунок 1.1 – ГБ-плита (объемный вид)

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Инструкция содержит ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 58411-2019. Плиты бетонные гибкие. Технические условия;

ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости;

ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия;

ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава; ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация;

ГОСТ 13015-2012. Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения;

ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам;

ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования;

ГОСТ 26433.1-89 Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений. Элементы заводского изготовления;

ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и растворов. Технические условия;

ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия;

ГОСТ 10181-2014 Смеси бетонные. Методы испытаний;

СП 14.13330.2011 Строительство в сейсмических районах.

Актуализированная редакция СНиП II-7-81;

СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83;

СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии

СП 35.13330.2011 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84;

СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82;

СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов;

СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96;

СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003;

СП 119.13330.2012 Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95;

СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь;

СТО 59565714-001-2015 Плиты бетонные защитные гибкие универсальные (ПБЗГУ). Технические условия;

СТО 59565714-002-2016 Гибкое бетонное покрытие сборное.

Гибкие бетонные плиты. Технические условия;

ПТЭ. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Утверждены приказом Минтранса России от 21 декабря 2010 г. №286.

ЦП544 Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути, утвержденная МПС РФ 30.03.1998;

Инструкция по содержанию земляного полотна на железных дорогах ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2015 №3164р;

ТУ 13-0281078-02-93 Смола древесная омыленная (СДО);

ТУ 5859-002-59565714-2012 Плиты бетонные защитные гибкие универсальные.

3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей инструкции применены следующие термины и определения:

3.1 *Гибкое бетонное покрытие*: Волногасящее и противоразмывное покрытие грунтового откоса инженерного сооружения, работающее по принципу гибкого экрана. Собирается из ГБ-плит ГБП.

3.2 *Крепежные элементы*: Элемент конструкции ГБ-покрытия в виде дополнительного монтажного каната (ДМК), закладной детали (ЗД), канатный зажим, клипса, забивной распорный грунтовый анкер.

3.3 *Геосинтетические материалы (геосинтетики)* – синтетические материалы на основе полимеров, применяемые в конструкциях земляного полотна и его обустройствах.

[СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь, пункт 3.8]

3.4 *Геотекстиль* – синтетический материал на полимерно-волоконной основе, обладающий хорошей фильтрационной способностью, предназначен для улучшения процесса фильтрации воды и разделения материалов с разными техническими параметрами (щебня, песка, слабых грунтов и др.).

3.5 *Дефекты земляного полотна* – отклонения конструктивных параметров земляного полотна от нормируемых значений.

[СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь, пункт 3.9]

3.6 *Деформации земляного полотна* – остаточные и сезонные осадки, поднятия и смещения, повреждения или разрушения земляного полотна или его элементов от природных и (или) техногенных воздействий, включая поездную нагрузку.

[СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь, пункт 3.10]

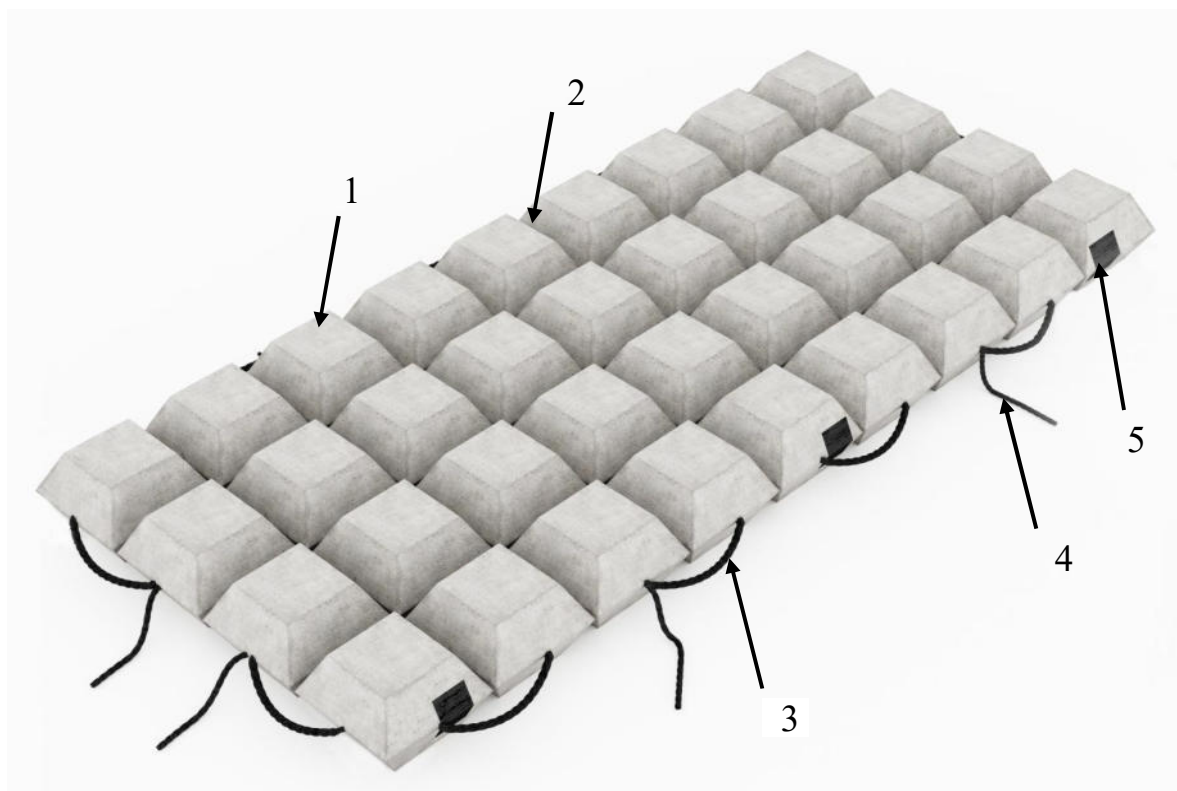
3.7 *Земляное полотно* – инженерное грунтовое сооружение в виде насыпей, выемок, нулевых мест, полунасыпей, полувыемок и полунасыпей-полувыемок, служащее основанием для верхнего строения железнодорожного пути и воспринимающее нагрузку от верхнего строения

пути и железнодорожного подвижного состава.

[СП 238.1326000.2015 Железнодорожный путь, пункт 3.18]

4 ХАРАКТЕРИСТИКА ГИБКОГО БЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

4.1 Конструкции ГБ-плит



1 – бетонный блок; 2 – соединительный арматурный канат;
3 – строповочная петля; 4 – дополнительный монтажный канат; 5 –
закладная деталь

Рисунок 4.1 - Конструкция ГБ-плиты ГБП

В соответствии с ГОСТ Р 58411 ГБ-плита состоит из бетонных блоков, соединенных между собой замоноличенным в них арматурным синтетическим канатом (рисунок 4.1). Бетонные блоки по форме представляют собой две усеченные пирамиды.

По периметру ГБ-плиты имеют строповочные петли, предназначенные для производства погрузочно-разгрузочных работ.

В свободном состоянии (без нагрузки) строповочные петли не должны возвышаться над плоскостью ГБ-плит.

В ГБ-плитах ГБП предусмотрено два вида встроенных узлов крепления в виде дополнительных монтажных канатов и металлических закладных

деталей, предназначенных для объединения плит в ГБ-покрытие. Для скрепления плит под водой может применяться специальная клипса, проходящая через зазор между бетонными блоками с зацепом за арматурный канат.

Строповочные петли формируются выпусками из плиты арматурного синтетического каната.

Дополнительные монтажные канаты образуются путем укладки в формообразующую оснастку четырех отрезков синтетического каната.

ГБ-плиты изготавливают двух моделей, различающихся размерами и формой бетонных блоков.

ГБ-плиты обозначают марками, состоящими из буквенно-цифровых групп, разделенных дефисом. Первая группа содержит сокращенное буквенное наименование плиты – ГБП (гибкая бетонная плита). Во второй группе приводят номер модели плиты, соответствующий её толщине в миллиметрах.

Пример – ГБ-плита модели 150 (толщиной 150 мм): ГБП-150.

Основные параметры гибких бетонных плит приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные параметры ГБ-плит ГБП

Параметр	Номер модели гибкой бетонной плиты	
	240	150
Длина, мм	2785±10	
Ширина, мм	1260±6	
Толщина, мм	240±12	150±8
Габаритная площадь, м²	3,5±0,01	
Объем бетона, м³	0.52	0.34
Габаритный объем бетона, м³	0.84	0.53
Масса, кг	1224±53	831±24
П р и м е ч а н и е – размеры плит даны с учетом максимального прижатия строповочных петель к периферийным бетонным блокам		

Бетонные блоки ГБ-плит ГБП подразделяются на два типа по габаритным размерам, основные параметры которых приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Основные габаритные параметры бетонных блоков

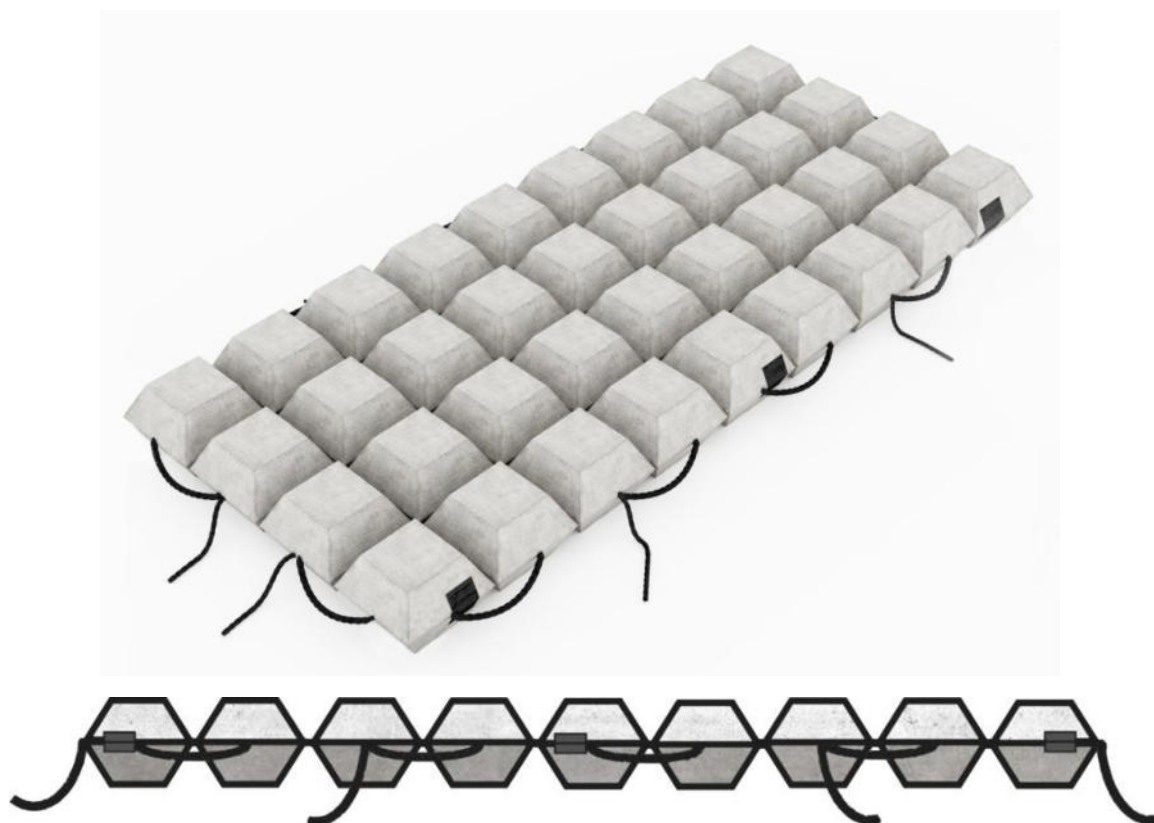
В миллиметрах										
Типы бетонных блоков	Общее основание	Допуск	Вершина 1		Высота 1		Вершина 2		Высота 2	
			Размер	Допуск	Размер	Допуск	Размер	Допуск	Размер	Допуск
240	304х304	±4	190×190	±9	120	±6	190×190	±9	120	±6
150	304х304	±4	260×260	±13	30	±2	200×200	±13	120	±6

ГБ-плиты изготавливают с использованием формообразующей оснастки (основание и крышка), в которую укладывают и закрепляют соединительный арматурный канат, а затем оснастку заполняют жидкой бетонной смесью. После затвердевания бетонной смеси крышку формообразующей оснастки снимают и из основания извлекают ГБ-плиту.

Бетонные блоки, входящие в различные модели ГБ-плит, различаются между собой высотой блоков, а также высотой смежных усечённых пирамид и углом наклона их граней. Если углы наклона боковых граней или высота смежных усечённых пирамид одинаковы, то ГБ-плита считается симметричной. Если смежные усечённые пирамиды бетонных блоков имеют различные углы наклона боковых граней или высоту, то ГБ-плита считается асимметричной.

Модели конструкции ГБ-плит ГБП представлены на рисунке 4.2.

а) Конструкция ГБ-плиты ГБП-240



б) Конструкция ГБ-плиты ГБП-150

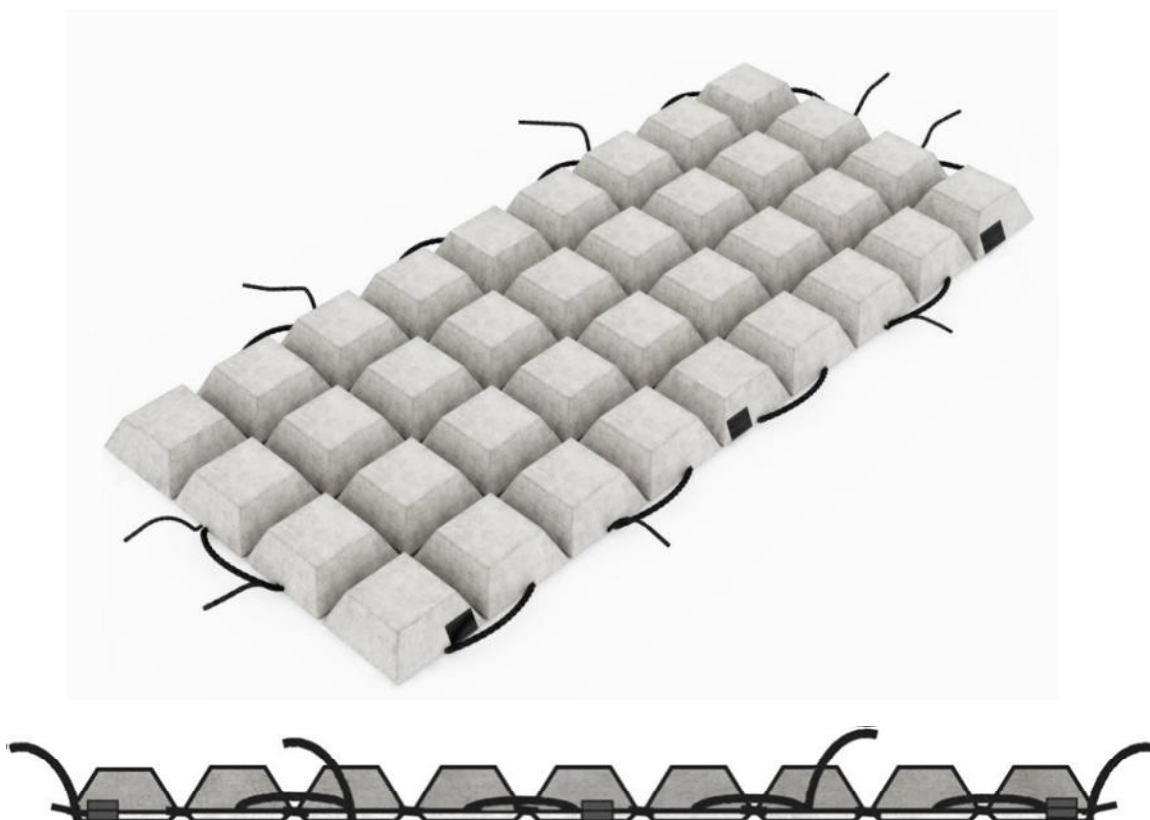


Рисунок 4.2 - Модели конструкции ГБ-плит ГБП

4.2 Требования к бетону

Блоки ГБ-плит изготавливают из тяжелого бетона, соответствующего ГОСТ 26633 и настоящей инструкции.

Класс бетона блоков по прочности на сжатие должен быть не менее В30. Нормируемая отпускная прочность бетона должна составлять не менее 80% класса бетона по прочности на сжатие.

Марка бетона блоков по морозостойкости по ГОСТ 10060 должна быть не менее F₂300.

Марка бетона блоков по водонепроницаемости по ГОСТ 12730.5 должна быть не менее W8.

При изготовлении ГБ-плит, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах (сульфаты, хлориды и другие), назначаются дополнительные требования к бетону согласно ГОСТ 31384.

По желанию потребителя бетонные блоки могут быть изготовлены с учетом дополнительных требований, предъявляемых СП 41.13330.2012 к бетону плит гидротехнических сооружений.

Для приготовления бетона следует применять следующие материалы, соответствующие требованиям ГОСТ 26633:

- цемент по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 и ГОСТ 22266;
- песок природный средний или крупный по ГОСТ 8736;
- щебень из гравия и гравий из плотных горных пород по ГОСТ 8267;
- вода по ГОСТ 23732;
- добавки для бетона по ГОСТ 24211.

4.3 Требования к синтетическому канату

Для объединения бетонных блоков в единую гибкую конструкцию, а так же для строповочных петель, и для монтажных канатов следует применять канаты из полимерных материалов, соответствующие требованиям ГОСТ 30055, ТУ 8121-023-00461221-2004 (или аналогичному).

Применяются канаты крученые (тросовой свивки) следующих типов по виду исходного сырья:

- полиэфирный;
- полистиловый.

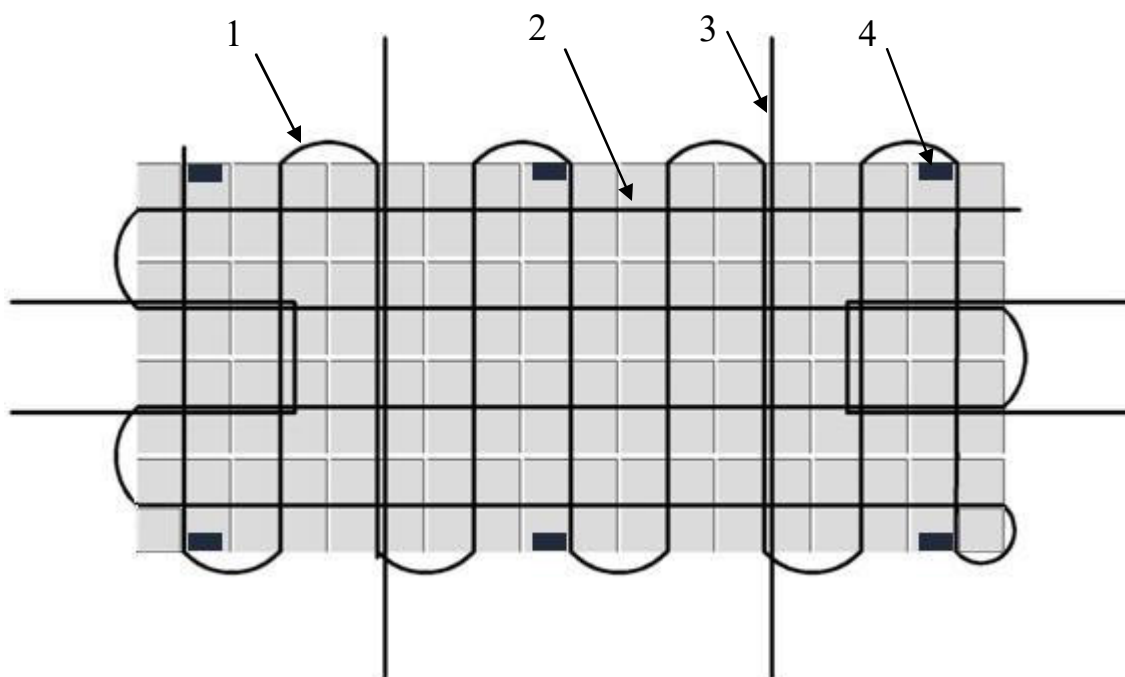
Материал каната должен быть устойчив к ультрафиолетовому излучению.

При изготовлении ГБ-плит следует использовать канат с разрывной нагрузкой $5\,000 \pm 500$ кгс. Длина арматурного каната составляет 27 м.

В качестве дополнительного монтажного каната используется канат с разрывной нагрузкой $2\,000 \pm 200$ кгс.

Группа каната по разрывной нагрузке по ГОСТ 30055 – не ниже Б.

Синтетический канат должен иметь Сертификат качества. Схема укладки представлена на рисунке 4.3.



1 – монтажная петля, 2 – соединительный арматурный канат, 3 – дополнительный монтажный канат, 4 – закладная деталь

Рисунок 4.3 - Укладка синтетического каната и закладных деталей в формообразующую оснастку

4.4 Требования к закладным деталям

Закладная деталь должна соответствовать ГОСТ 10922-2012. Марка стали Ст3.

Размер плоского элемента закладной детали 130x70 мм толщиной 5 мм.

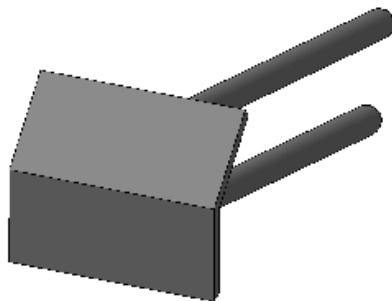


Рисунок 4.4 – Конструкция закладной детали

4.5 Требования к качеству поверхностей и внешнему виду ГБ-плит

Трещины на поверхности блоков ГБ-плит не допускаются за исключением поверхностных усадочных и технологических шириной не более 0,1 мм и длиной не более 50 мм.

Качество и внешний вид лицевой поверхности блоков ГБ-плит должен соответствовать категории А6 по ГОСТ 13015.

Одна из плоскостей бетонных блоков должна обладать повышенной шероховатостью с произвольным направлением неровностей и с наибольшей высотой профиля до 5 мм согласно ГОСТ 2789. Повышенная шероховатость обеспечивается формованием с выравниванием поверхности в процессе вибрирования.

В местах выхода синтетического каната из бетонного блока ГБ-плиты допускается образование технологических выемок глубиной не более 30 мм.

4.6 Указания по монтажу

Монтаж ГБ-покрытия должен соответствовать требованиям проектной документации и данной инструкции.

Формирование защитного покрытия из ГБ-плит представляет собой процесс укладывания плотно друг к другу отдельных ГБП с обязательным

последующим их скреплением. ГБ-плиты ГБП скрепляются за замоноличенные дополнительные монтажные канаты (далее - ДМК) с помощью обжимной втулки и сваркой за стальные закладные детали. Зазор между отдельными ГБП в покрытии под нагрузкой (вес изделия) составляет 40 ± 15 мм. Разрывная нагрузка на единичный узел крепления составляет от 1,8 кН.

Защита инженерных сооружений ГБ-плитами допускается при угле заложения откоса не превышающем естественного угла откоса для данного типа грунта.

Укладка ГБ-плит производится с использованием автокрана грузоподъемностью от 5 тонн.

В качестве обратного фильтра (противосуффозионного экрана) следует предусматривать геотекстильные синтетические материалы – по СП 39.13330.2012 п.5.32.

Недопустимо скрепление ГБ-плит между собой за строповочные (такелажные) петли.

Закрепление ГБ-плит на склоне осуществляется путем крепления к верхнему якорю, который обустраивается на склоне выше максимального уровня поднятия воды в паводок. Крепление к верхнему якорю производится за стальные закладные детали ГБ-плит ГБП.

4.6.1 Сборка ГБ-плит в единое покрытие

4.6.1.1 Скрепление ГБ-плит ГБП за ДМК методом опрессовки каната одноразовой обжимной втулкой (канатным зажимом).

При монтаже ГБ-плиты скрепляются между собой за ДМК опрессовыванием их обжимной втулкой с использованием ручного гидравлического прессы либо иного инструмента предназначенного для опрессовки канатов с усилием прессования от 10 т. Обжимные втулки входят в комплект поставки ГБ-плит ГБП.

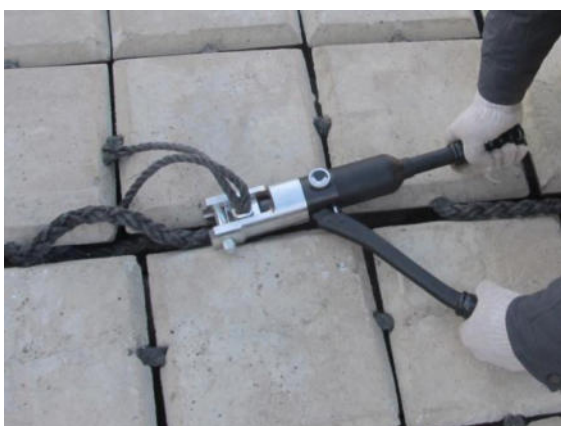
Порядок выполнения работ:



Два ДМК соседних ГБ-плит продеваются в обжимную втулку. Втулка располагается максимально близко к выходу ДМК из бетонного блока.



Подготавливается пресс. Для каната диаметром 10 мм используется матрица для пресса сечением 95 мм^2 , для каната диаметром 11 мм – 125 мм^2 .



С помощью пресса обжимаются ДМК.



Готовое соединение проверяется. Обжатая шейка втулки должна быть в диапазоне 17-20 мм.

Рисунок 4.5 – Скрепление ГБ-плит за ДМК обжимной втулкой

4.6.1.2 Крепление ГБ-плит ГБП за стальные закладные детали

Крепление ГБ-плит за стальные закладные детали представлено на рисунке 4.6.

Для крепления ГБ-плит по длинной стороне (в ряд) близлежащие закладные детали соседних ГБ-плит свариваются между собой отрезком арматурной стали диаметром 10 мм, длиной 200 мм (Рисунок 4.6 узел А, узел Г).

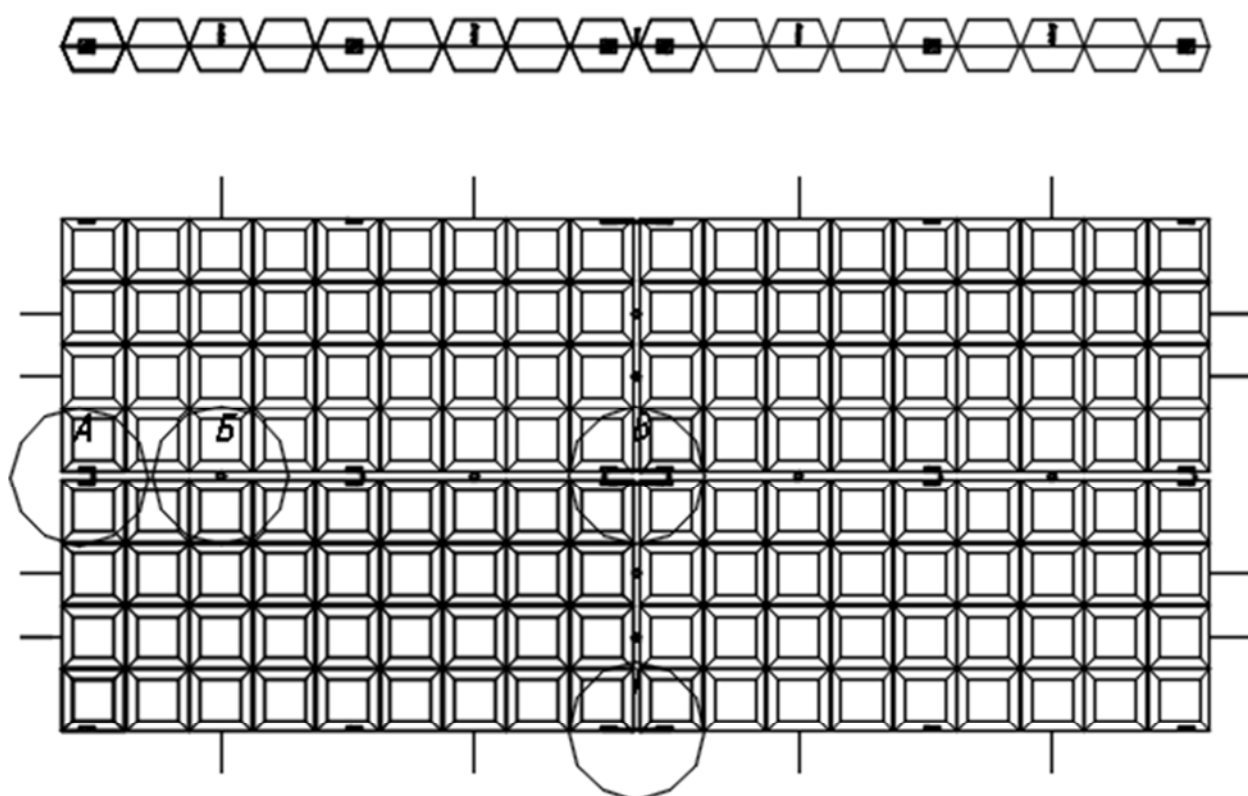
Крепление ГБ-плит по короткой стороне (порядно) производится свариванием закладных деталей, расположенных на угловых бетонных блоках, соседних рядов ГБ-плит двумя возможными способами:

- отрезком стальной арматуры длиной 300 мм диаметром 10 мм, согласно узлу В рисунка 4.6;
- П-образной скобой (Рисунок 4.7), согласно узлу В рисунка 4.6 вместо арматуры. Скоба забивается ударным инструментом между уложенными соседними ГБ-плитами. Затем верхние концы скобы привариваются к закладным деталям четырех ГБ-плит.

П-образные скобы могут применяться для предотвращения дрейфа ГБ-покрытия при водонасыщении грунта во время его оттаивания.

Закладные детали, расположенные на угловых бетонных блоках периферийных ГБ-плит, свариваются отрезком стальной арматурой длиной 300 мм диаметром 10 мм согласно узлу Г рисунка 4.6.

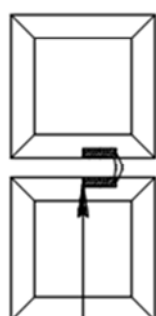
Все сварные соединения для защиты от коррозии необходимо обрабатывать лакокрасочным покрытием согласно п.5.1.2 СП 28.13330.2012.



А



*Закладная
деталь*

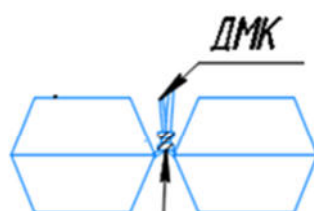


*Соединитель-
ный элемент*



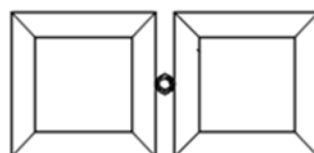
*Соединительный
элемент*

Б



ДМК

*Обжимная
втулка*



*Обжимная
втулка*

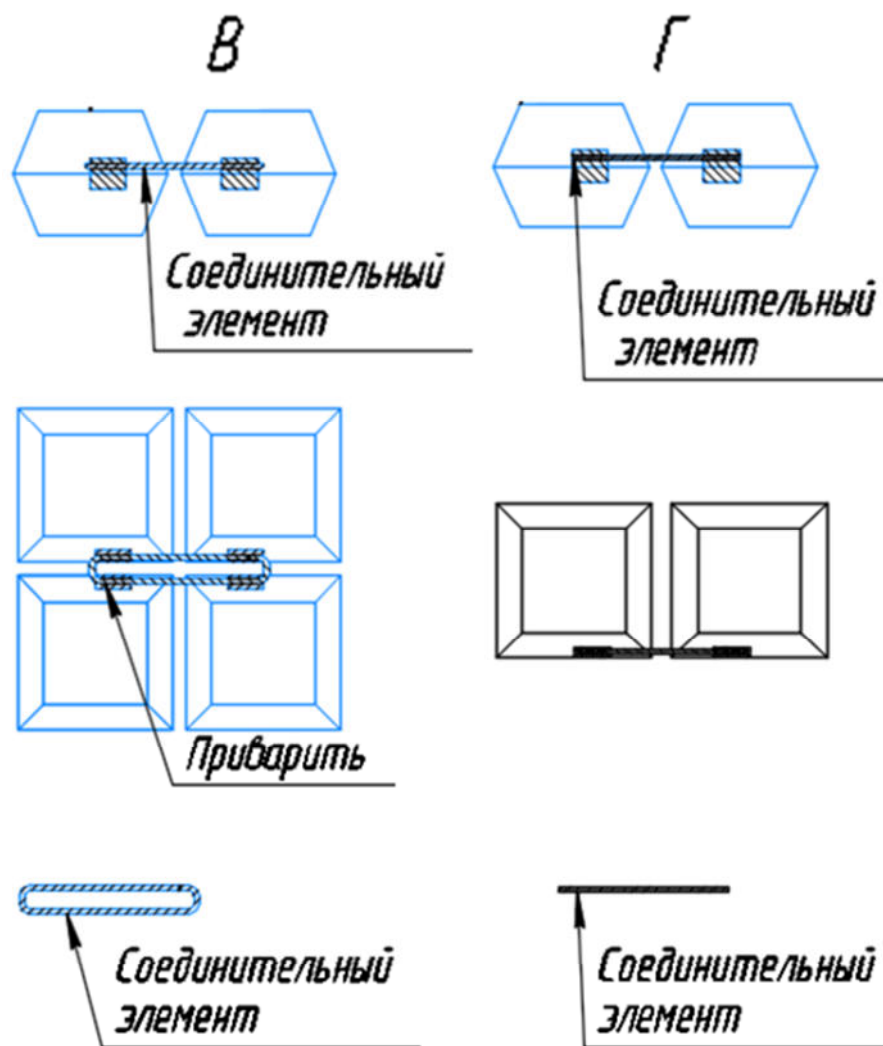


Рисунок 4.6 – Модуль из четырех скрепленных за стальные закладные детали и дополнительные монтажные канаты ГБ-плит ГБП

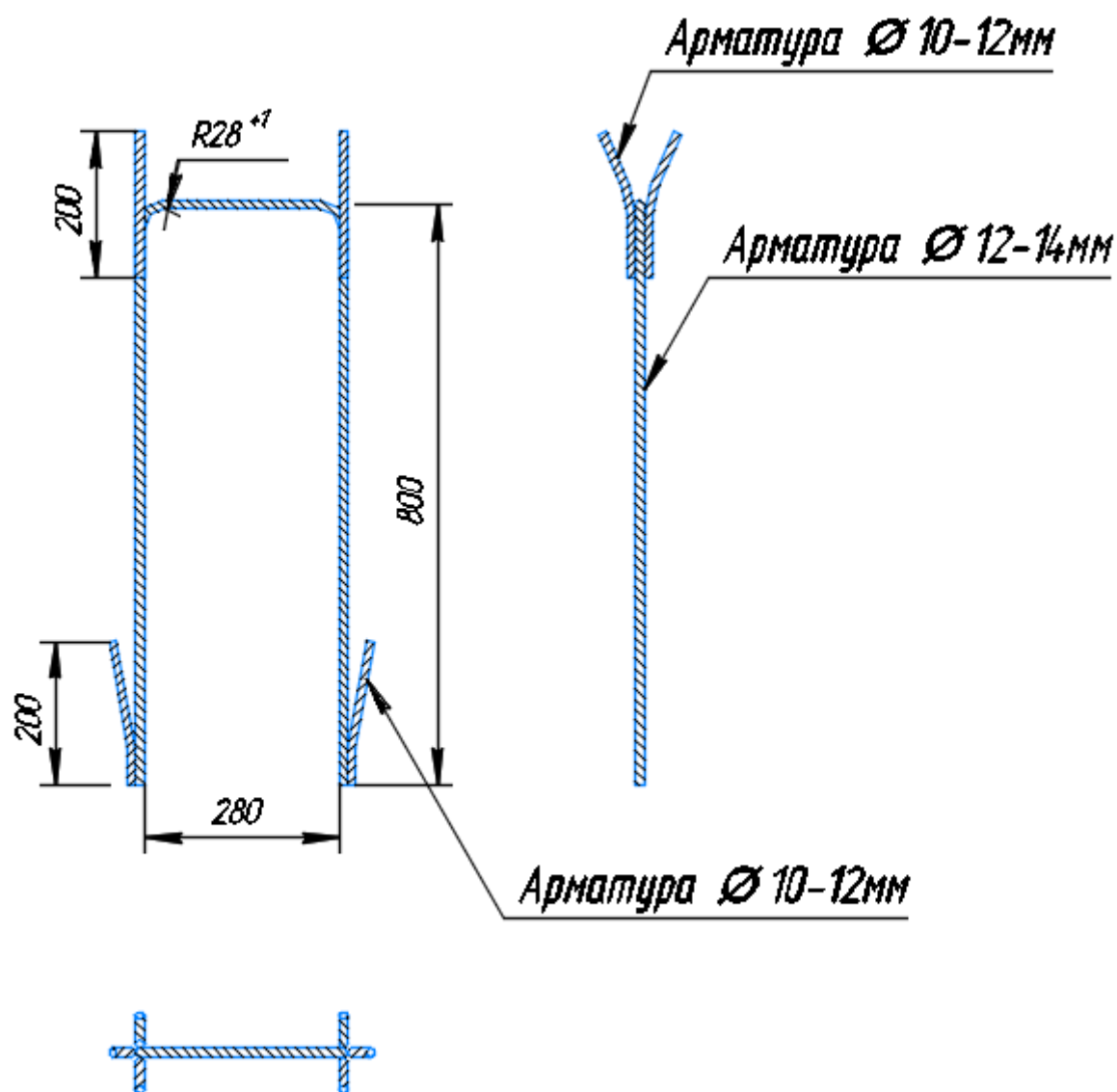


Рисунок 4.7 – Конструкция П-образной скобы, привариваемой к металлическим закладным деталям ГБ-плиты

4.6.2 Устройство верхнего якоря для закрепления ГБ-покрытия на откосе

Верхний якорь устраивается на склоне выше максимального уровня поднятия воды в паводок. Крепление к верхнему якорю производится привариванием к стальным закладным деталям ГБ-плит.

Верхний якорь предотвращает возможное сползание ГБ-покрытия по склону. Подвижки грунта возможны, в том числе в случаях:

- ошибки по выбору угла заложения откоса при планировании береговой линии;

- при сильном водонасыщении грунта;
- в результате воздействия внешних сил.

Устройство верхнего якоря для закрепления ГБ-покрытия на откосе производится несколькими способами:

- с помощью забивных распорных грунтовых анкеров (далее – распорный анкер);
- бетонированием траншеи с выпусками металлических закладных анкеров;
- бетонирование шурфов с выпусками металлических закладных анкеров.

4.6.2.1 Обустройство верхнего якоря с применением самораскрывающихся анкеров

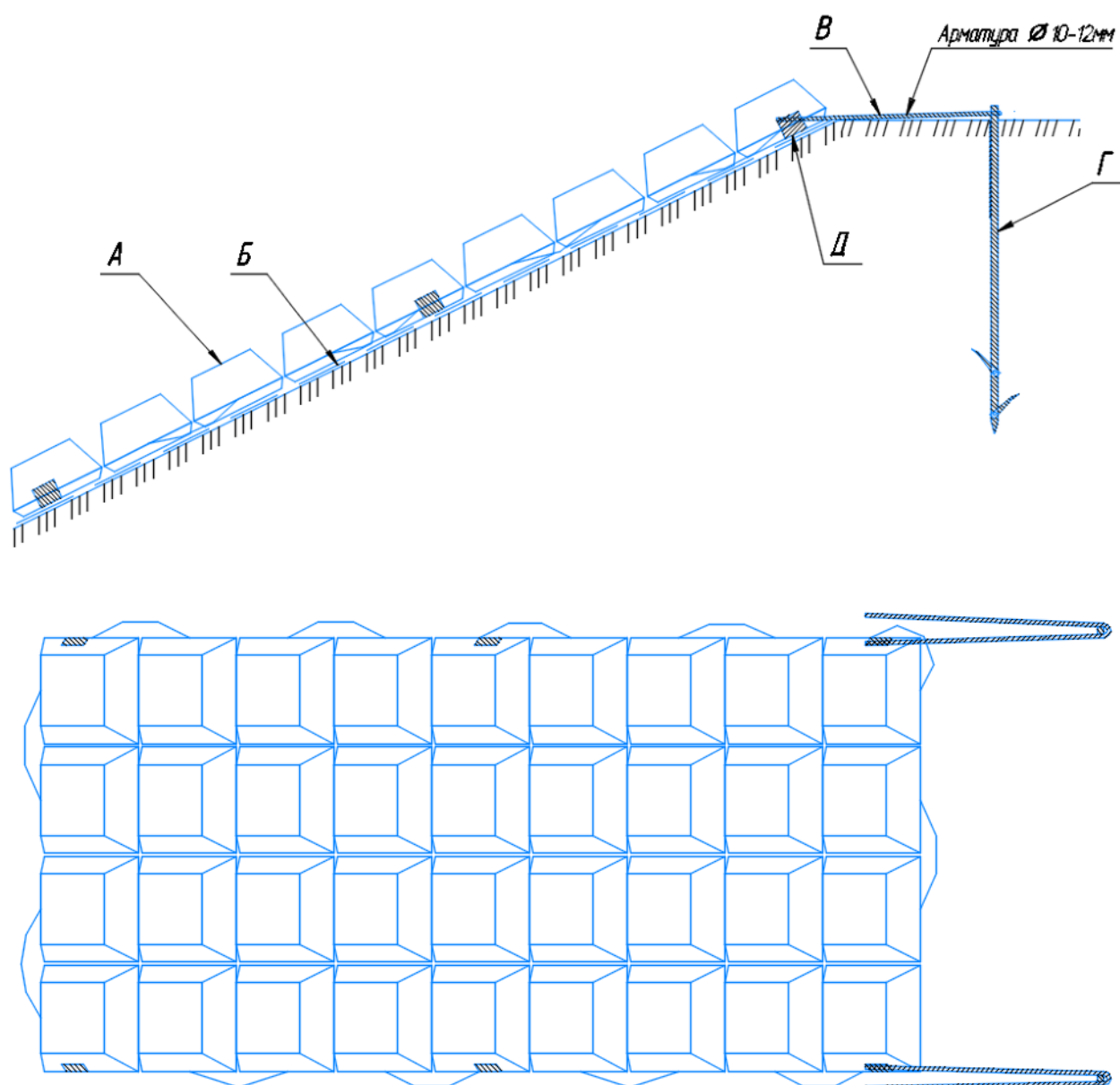
Самораскрывающийся анкер забивается в грунт на глубину от 1.5 метров и в зависимости от типа грунта обладает несущей способностью от 20 кН.

Самораскрывающийся анкер забивается в грунт вплотную к верхнему краю уложенного ГБ-покрытия (рисунок 4.8). Место забивки анкера выбирается исходя из способа раскладки ГБ-плит на откосе:

- при укладке ГБ-плит длинной стороной вдоль бровки откоса распорные анкера забиваются напротив места скрепления двух соседних ГБ-плит и напротив средней металлической закладной детали;
- при укладке ГБ-плит короткой стороной вдоль бровки откоса распорные анкера забиваются напротив места скрепления двух соседних плит.

Необходимое количество самораскрывающихся анкеров определяется исходя из длины бровки откоса, способа раскладки ГБ-плит.

Закрепление ГБ-покрытия осуществляется свариванием стальной арматурой диаметром 12 мм тяги самораскрывающегося анкера и закладных деталей ГБ-плит.

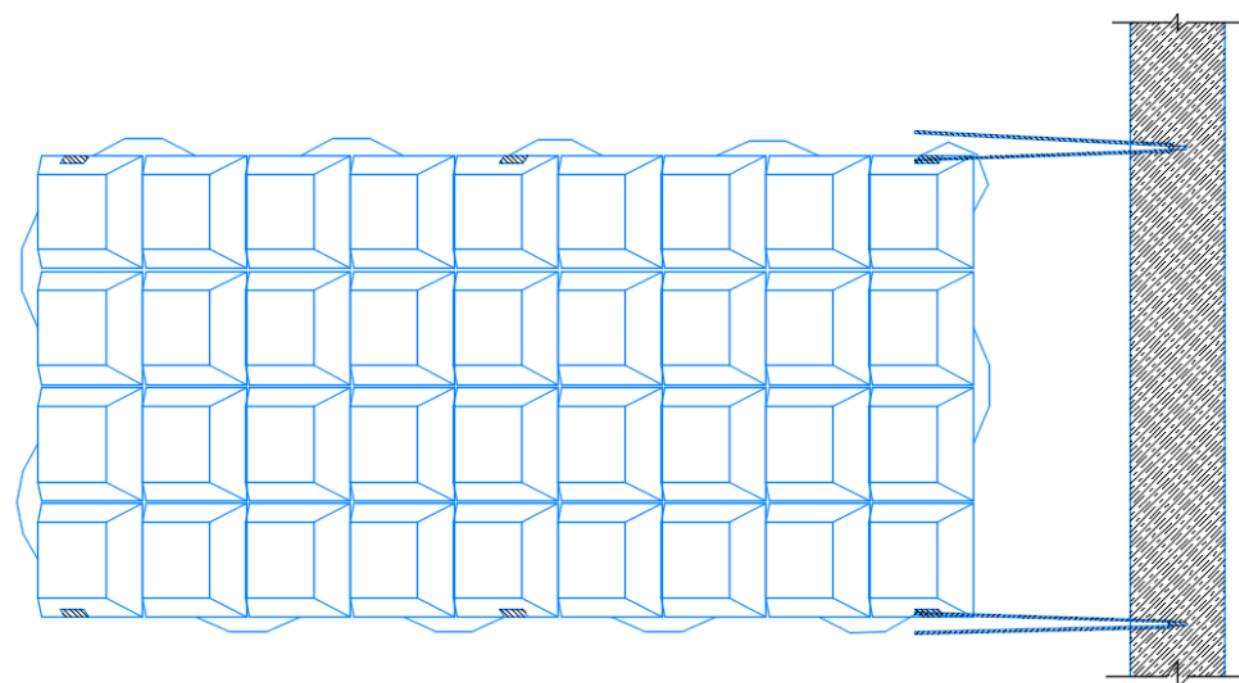
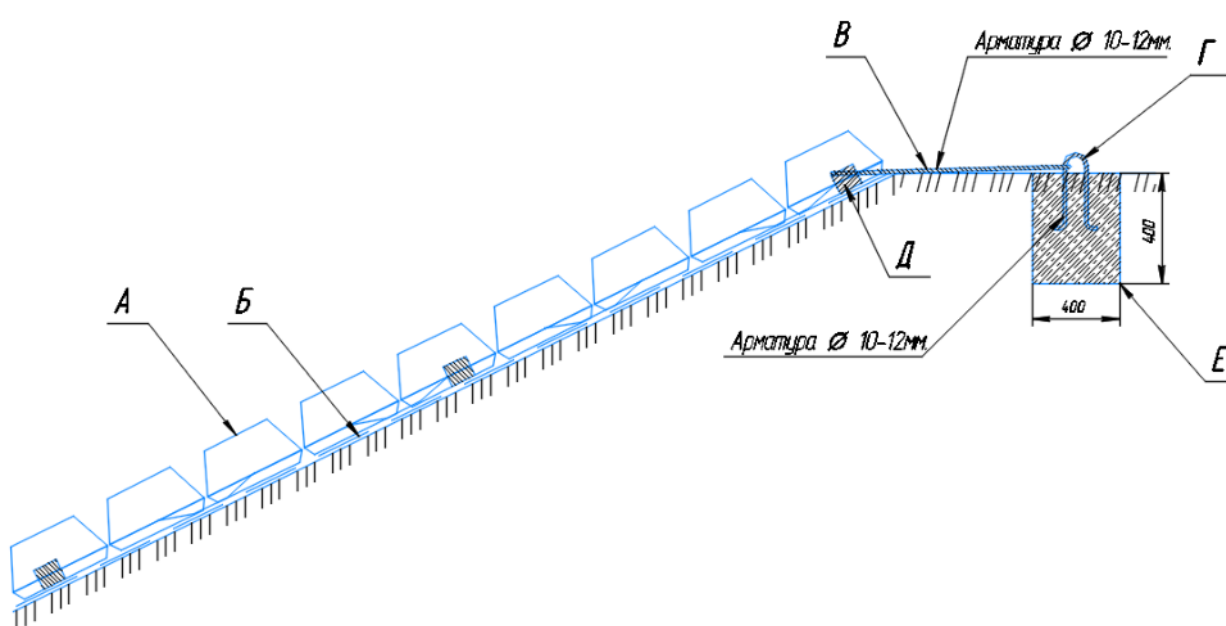


А – ГБ-плита, Б – геотекстильное полотно, В – соединительная арматура, Г –
грунтовый анкер, Д – закладная деталь

Рисунок 4.8 – Обустройство верхнего якоря с помощью грунтового анкера

4.6.2.2 Обустройство верхнего якоря бетонированием траншеи

Траншея выполняется вплотную к краю периферийных бетонных блоков ГБ-покрытия (рисунок 4.9). Замоноличенные в траншею металлические закладные анкера размещаются напротив закладных деталей ГБ-плит. Ориентировочное расстояние между закладными анкерами в траншее должно составлять 1 250 мм. ГБ-покрытие крепится привариванием закладных, замонтированных в траншее, к закладным деталям ГБ-плит.



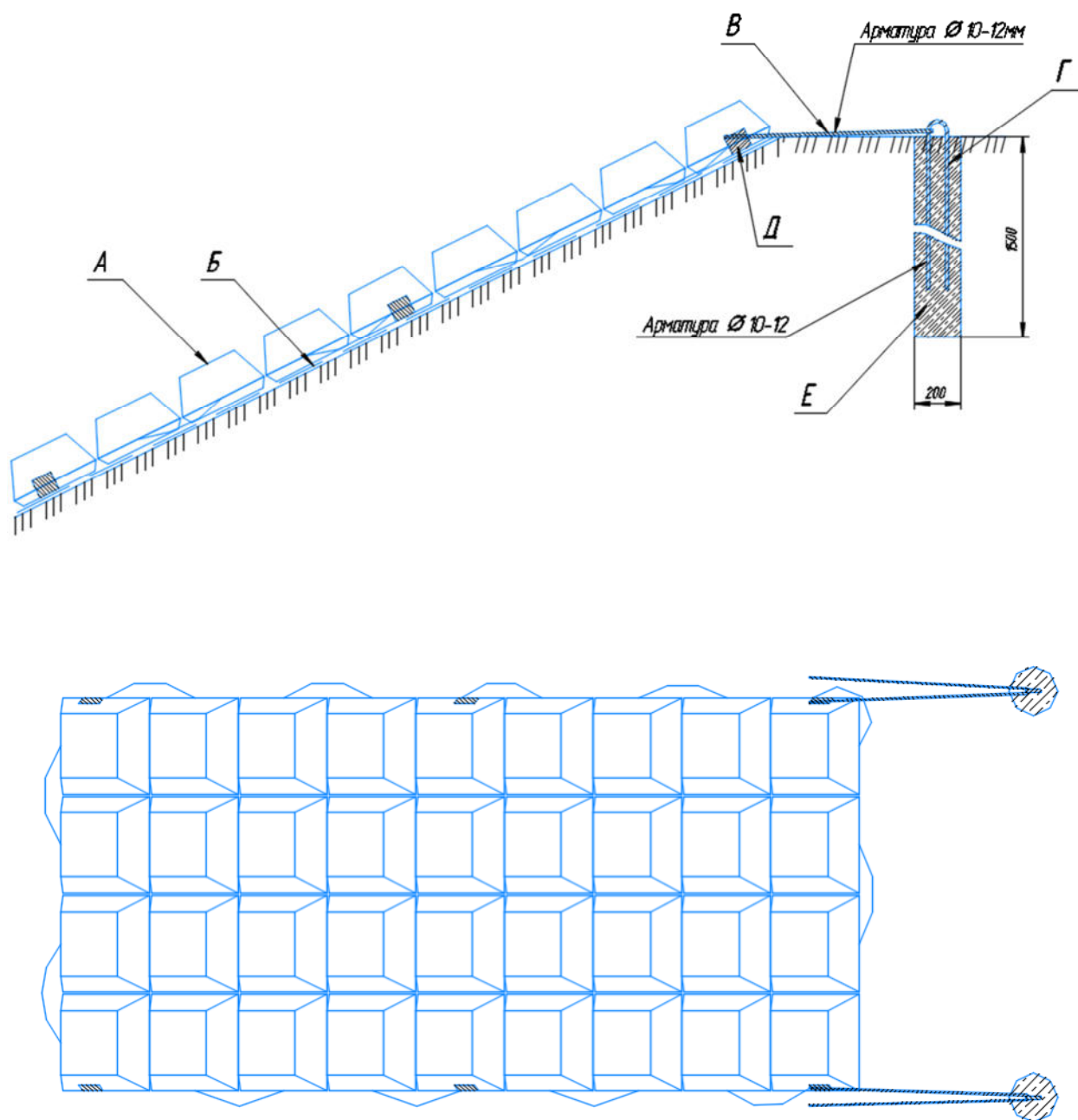
А – ГБ-плита, Б – геотекстильное полотно, В – соединительная арматура, Г – анкер, Д – закладная деталь, Е – забетонированная траншея

Рисунок 4.9 – Обустройство верхнего якоря бетонированием траншеи

4.6.2.3 Обустройство верхнего якоря бетонированием шурфа

Шурфы выполняются вплотную к краю периферийных бетонных блоков ГБ-покрытия. Шурф рекомендуется выполнять диаметром 200 мм глубиной от 1,5 м на расстоянии 1,25 м друг от друга. В шурф закладывается армирующая арматура диаметром 10-12 мм и металлическая закладная из стальной арматуры диаметром 10-12 мм. ГБ-покрытие крепится

привариванием закладных анкеров, замоноличенных в шурф, к закладным деталям ГБ-плит.



А – ГБ-плита, Б – геотекстильное полотно, В – соединительная арматура, Г – анкер, Д – стальная закладная деталь, Е – забетонированный шурф

Рисунок 4.10 - Обустройство верхнего якоря бетонированием шурфа

5 МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТОВ УКРЕПИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ГИБКИМ БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

5.1 Размывные явления (водное и волновое воздействия)

Параметры волны (См. приложение А), достигшей предельного состояния, являются исходными для определения волновых воздействий на откос. Критическая глубина $H_{кр}$, на которой происходит разрушение волны, определяется по формуле:

$$H_{кр} = h \left(0,47 + 0,023 \frac{\lambda}{h} \right) \frac{1+m^2}{m^2}, \quad (5.1)$$

Горизонтальная проекция начальной скорости струи, сбрасываемой с гребня волны в точке А,

$$v_A = n \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} th \frac{2\pi H_{кр}}{\lambda}} + h \sqrt{\frac{\pi g}{2\lambda} Cth \frac{2\pi H_{кр}}{\lambda}}, \quad (5.2)$$

где эмпирический коэффициент n вычисляется по формуле

$$n = 4,7 \frac{h}{\lambda} + 3,4 \left(\frac{m}{\sqrt{1+m^2}} - 0,85 \right), \quad (5.3)$$

Координаты точки В (рисунок 6.2) определяются уравнениями:

$$y_B = X_B / m, \quad (5.4)$$

$$X_B = \left[v_A \sqrt{\frac{v_A^2}{m^2} + 2gy_0} - \frac{v_A^2}{m} \right] \frac{1}{g}, \quad (5.4)$$

где y_0 – ордината точки А, характеризующая положение струи в начальный момент сброса её с гребня волны:

$$y_0 = H_{кр} + h_{гр}, \quad (5.6)$$

где $h_{гр}$ – возвышение точки А над статическим уровнем воды (рисунок 5.2), определяемая по уравнению:

$$h_{гр} = [0,95 - (0,84m - 0,25) h/\lambda] \cdot h, \quad (5.7)$$

Максимальная скорость струи при ударе её об откос, наблюдающееся в точке В, определяется по формуле:

$$v_B = \sqrt{\eta \left[v_A^2 + \left(\frac{gX_B}{v_A} \right)^2 \right]}, \quad (6.8)$$

где X_B – определяется по формуле (5.5); v_A – определяется по формуле (5.2); η – коэффициент, учитывающий уменьшение скорости при растекании струи в скатывающемся потоке:

$$\eta = 1 - (0,017 \cdot m - 0,02) \cdot h, \quad (5.9)$$

Максимальное местное давление P_{Bmax} на откос от удара струи в точке B в момент обрушения волны определяется по формуле:

$$P_{Bmax} = 1,7 \cdot \gamma \frac{v_B^2}{2g} \cos^2 \varphi, \quad (5.10)$$

где φ – угол между касательной к направлению струи в точке B и нормалью к откосу, равный:

$$\varphi = 90^\circ - (\alpha + \beta), \quad (5.11)$$

где α – угол наклона откоса к горизонту;

β – абсолютное значение угла между касательной к направлению струи в точке B и горизонталью (рисунок 5.2), вычисляемое по формуле:

$$\operatorname{tg} \beta = g \frac{X_B}{v_A^2}, \quad (5.12)$$

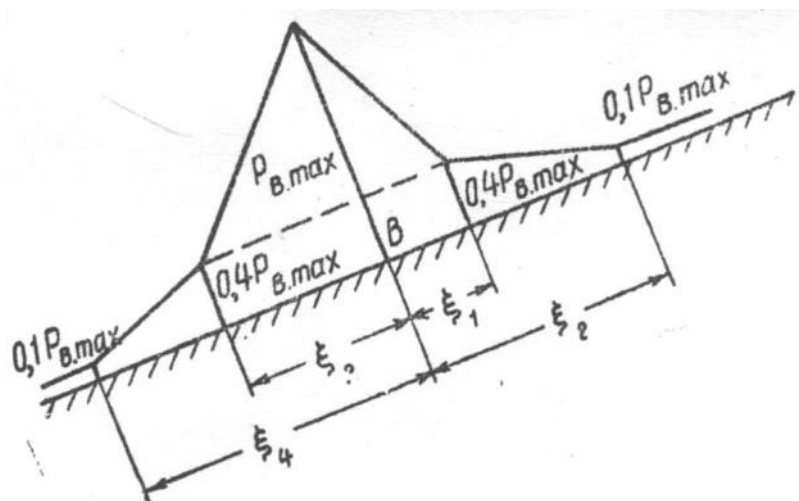


Рисунок 5.1 - Эпюра волнового давления на откос в момент удара волны

Эпюра волнового давления на откос (см. рисунок 5.3) строится по точкам с давлением P_{Bmax} и с давлениями, вычисленными для расстояний от точки B вверх до точек ξ_1 и ξ_2 и вниз до точек ξ_3 и ξ_4 , имеющими соответственно значения $0,4P_{Bmax}$ и $0,1P_{Bmax}$

Эти расстояния по откосу равны:

$$\begin{aligned}\xi_1 &= 0,025L; \quad \xi_3 = 0,053L; \\ \xi_2 &= 0,065L; \quad \xi_4 = 0,135L,\end{aligned}$$

где
$$L = \frac{m\lambda}{2^4 \sqrt{m^2 - 1}} \quad (5.13)$$

Среднее значение нормальной составляющей силы, действующей на некоторую площадь поверхности S и прижимающую защитное покрытие к откосу, можно определить по формуле

$$F_H = P_{cp} \cdot S, \quad (5.14)$$

где P_{cp} – среднее значение давления на данную площадь, определяемое по эпюре, изображённой на рисунке 5.3,

S – площадь покрытия, подверженная активному волновому воздействию.

Среднее давление определяется по формуле

$$P_{cp} = 0,5P_{Bmax} \left[0,5 + 0,9 \frac{(\xi_1 + \xi_3)}{(\xi_2 + \xi_4)} \right], \quad (5.15)$$

а площадь активного воздействия волны, на единицу ширины покрытия вдоль линии уреза воды $B = 1$ м, равна:

$$S = (\xi_2 + \xi_4) B = \xi_2 + \xi_4, \quad (5.16)$$

Средняя продольная сила, действующая вдоль откоса и сдвигающая отдельные элементы защитного покрытия, равна:

$$F_{\Pi} = F_H \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.17)$$

Сила, удерживающая элементы покрытия в пределах площади активного воздействия волны, определяется по формуле:

$$F_y = G_B \sin \alpha + f(G_B \cos \alpha + F_H), \quad (5.18)$$

где G_B – вес всех бетонных блоков ГБП, расположенных в пределах зон активного воздействия волны, с учётом выталкивающей архимедовой силы;

f – коэффициент трения покрытия по подстилающему слою подготовки откоса, принимаемый равным $0,5 \div 0,6$.

Вес ГБП в пределах зоны активного воздействия волны определяется исходя из границы площади S по формуле:

$$G_B = G_m \cdot \left(1 - \frac{\gamma_B}{\gamma_6}\right) \frac{(\xi_2 + \xi_4)}{S_m}, \quad (5.19)$$

где G_m и S_m – вес, и габаритная площадь, m^2 одной плиты ГБП соответствующей модели; γ_B, γ_6 – удельный вес воды и бетона соответственно.

Так же в состав удерживающих сил необходимо включать реактивные силы N_c , возникающие в соединительных канатах ГБП от бетонных блоков покрытия, расположенного ниже зоны активного воздействия волны:

$$N_c = G_6(\sin\alpha + f\cos\alpha), \quad (5.20)$$

где G_6 – вес всех бетонных блоков ГБП, расположенных под водой ниже зоны активного воздействия волны, определяемый по формуле:

$$G_6 = \left(1 - \frac{\gamma_B}{\gamma_6}\right) G_m \frac{l_H}{S_m}, \quad (5.21)$$

где l_H – протяжённость покрытия, м расположенного ниже зоны активного воздействия волны, определяемая по формуле:

$$l_H = \frac{H_H + y_B - H_{кр}}{\sin\alpha} - \xi_4, \quad (5.22)$$

где H_H – глубина нижней границы крепления откоса под водой, м.

По рекомендациям нижняя граница крепления должна располагаться на глубине не выше двух высот волны расчётной обеспеченности.

Проверка устойчивости крепления на откосе от волнового воздействия производится по формуле:

$$K = \frac{F_y + N_c}{F_{II}}, \quad (5.23)$$

где $K \geq 1$ – коэффициент запаса устойчивости.

Пример расчета приведен в Приложении Б.

5.2 Разрушение от ледовых воздействий

5.2.1 Расчёт устойчивости креплений откосов ГБ-покрытием при воздействии расширяющегося ледяного покрова

Расчёт устойчивости откосов, укрепленных ГБ-покрытием при воздействии статической нагрузки от термически расширяющегося сплошного ледяного покрова.

При замерзании вода увеличивает свой объем приблизительно на 9%, но давление ледяного поля в процессе его формирования незначительно. Последующее понижение температуры воздуха приводит к понижению температуры льда и уменьшению его объема, как всякого твердого тела, а повышение температуры – к расширению. При этом, если расширению ледяного поля препятствует противоположный берег, то на покрытие откоса, смерзшемуся с ледяным полем, будет действовать нагрузка (сила давления) F , МН от температурного расширения льда

$$F = K_e \cdot b \cdot h_{\text{л}} \cdot p, \quad (5.24)$$

где b – ширина фронта соприкосновения льда с покрытием по урезу воды, м (принимается $b = 1$ м);

$h_{\text{л}}$ – толщина льда, м;

p – удельное давление льда, МПа, определяемое по СП38.13330.2012;

K_e – коэффициент, снижающий силу давления льда с увеличением протяженности L ледяного покрова, м в направлении от откоса до противоположного берега (таблица 5.1).

Таблица 5.1 - Значения коэффициента K_e

K_e					
L , м	50	70	90	120	≥ 150
K_e	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Ледовое давление p , МПа, при температурном расширении льда за счет упругой и пластической деформации, определяется по формуле:

$$p = 0,05 + 11 \cdot 10^{-5} \cdot V \dot{\eta} \varphi, \quad (5.25)$$

где V – максимальная скорость повышения температуры воздуха, $^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ за время t , ч (при 4 срочных наблюдениях $t=6$ ч);

$\dot{\eta}$ – коэффициент вязкости льда, $\text{МПа}\cdot\text{ч}$

$$\text{при } t \geq -20^{\circ}\text{C} \quad \dot{\eta} = (3,3 - 0,28t_{\text{л}} + 0,083t_{\text{л}}^2) \cdot 10^2; \quad (5.26)$$

$$\text{при } t \leq -20^{\circ}\text{C} \quad \dot{\eta} = (3,3 - 1,85t_{\text{л}}) \cdot 10^2 \quad (5.27)$$

$t_{\text{л}}$ – температура льда, $^{\circ}\text{C}$

$$t_{\text{л}} = t_{\text{в}} \dot{\eta}_0 + \frac{v \cdot \tau}{2} \cdot \psi, \quad (5.28)$$

где $t_{\text{в}}$ – начальная температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$, от которой начинается ее повышение;

$\dot{\eta}_0$ – относительная толщина ледяного покрова с учетом влияния снега

$$\dot{\eta}_0 = h_{\text{л}}/h_{\text{п}}, \quad (5.29)$$

где $h_{\text{п}}$ – приведенная толщина снежного покрова, м

$$h_{\text{п}} = h_{\text{л}} + 1,43h_{\text{с}} + \frac{2,3}{\alpha}, \quad (5.30)$$

где $h_{\text{с}}$ – наименьшая толщина снежного покрова, м, определяется по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии необходимо принимать $h_{\text{с}} = 0$;

α – коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности снежного покрова, $\text{Вт}/\text{м}^2$: при наличии снега $\alpha = 23\sqrt{v_{\text{в}} + 0,3}$, при отсутствии снега $\alpha = 6\sqrt{v_{\text{в}} + 0,36}$.

Безразмерные коэффициенты φ и ψ , входящие в формулы (5.28) и (5.29), определяются по графикам (рисунки 5.2, 5.3) при заданных значениях относительной толщины ледяного покрова $\dot{\eta}_0$ и безразмерной величины

$$F_0 = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot \tau}{h_{\text{п}}^2}. \quad (5.31)$$

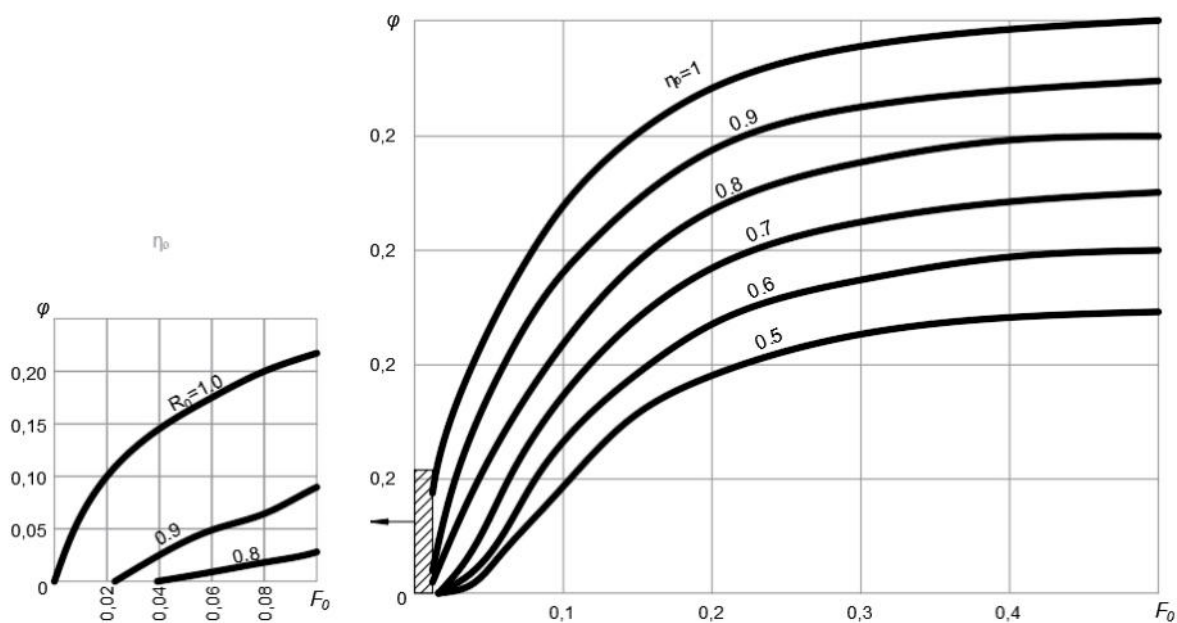


Рисунок 5.2 - Графики значений коэффициента φ

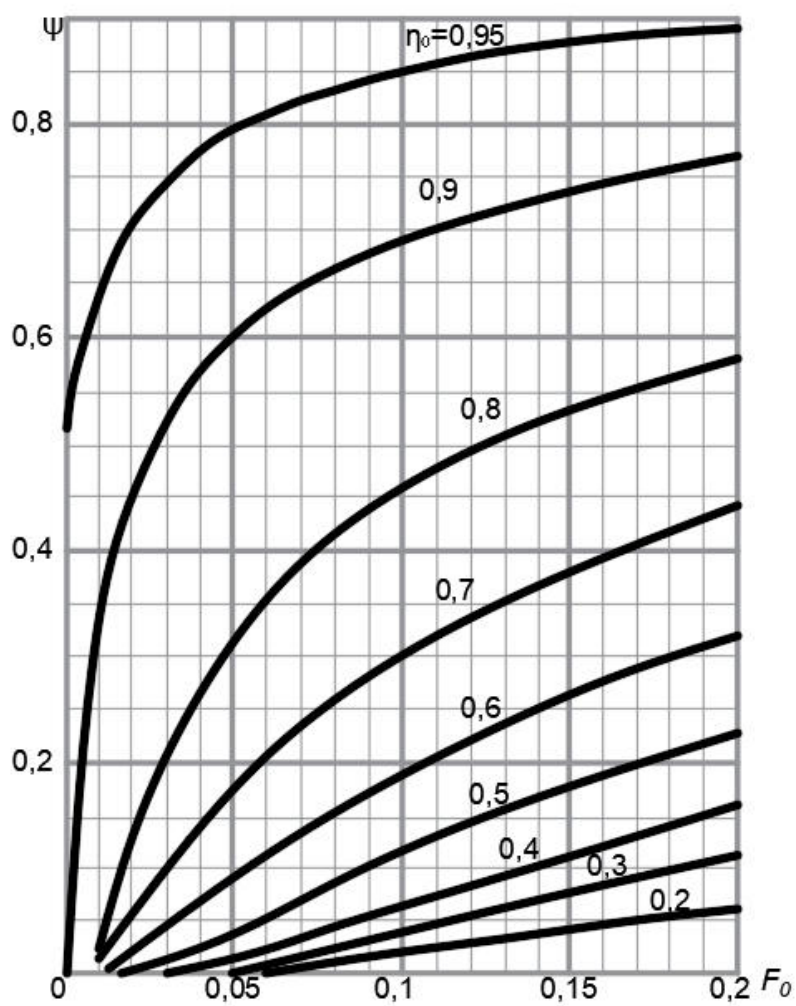


Рисунок 5.3 – Графики значений коэффициента ψ

Рассчитанные ледовые нагрузки по формуле (5.24) составляют усилия, действующие в горизонтальном направлении. Нормальная к откосу составляющая от этих нагрузок F_H , кг, при угле наклона откоса к горизонту α , град. определяется по формуле

$$F_H = F \sin \alpha. \quad (5.32)$$

Продольная нагрузка F_H , кг, действующая вдоль откоса и сдвигающая отдельные элементы защитного покрытия

$$F_H = F \cos \alpha, \quad (5.33)$$

Если плиты ГБ-плиты укладывается на подготовленный грунт откоса в свободном положении, без соединения между собой, то сила F_y , кг, удерживающая элементы покрытия от сдвига, определяется по формуле

$$F_y = (G + G_L) \sin \alpha + F_T, \quad (5.34)$$

где G – вес ГБ-плиты, кг, в пределах «смерзшегося массива»,

G_L – вес льда, кг, в пределах «смерзшегося массива»;

F_T – сила трения, кг, которая возникает на контакте нижней грани элемента покрытия с поверхностью подстилающей подготовки.

Контактная сила трения определяется с учетом нормальной составляющей силы ледовой нагрузки F_H и суммарной силы тяжести расчетного элемента крепления ГБ-плиты G и веса льда G_L в пределах «смерзшегося массива»

$$F_T = f[(G + G_L) \cos \alpha + F_H], \quad (5.35)$$

где f – коэффициент трения покрытия по подстилающему слою подготовки откоса (при контакте ГБ-покрытия с крупнообломочным грунтом подготовки откоса $f = 0,5 \dots 0,6$).

Предполагается, что все блоки ГБ-покрытия, находящегося в «смерзшемся массиве» равномерно прижимаются к грунтовому основанию, а сила смерзания льда с поверхностью крепления превышает значение внешней силы, приложенной к креплению и вызывающей его деформацию.

Вес ГБ-покрытия в пределах, «смерзшегося массива» определяется исходя из границы примерзания льда к покрытию и образования наледи толщиной $h_n = 1,2h_l$

$$G = G_M \cdot \frac{h_n \cdot b}{S_M \sin \alpha}, \quad (5.36)$$

где G_M и S_M – вес, кг и габаритная площадь, m^2 одной ГБ-плиты соответствующей модели.

Вес льда в пределах «смерзшегося массива» определяется как произведение плотности льда $\rho_l = 920 \text{ кг/м}^3$ на объем «смерзшегося массива», который можно принять равным половине объема прямоугольного параллелепипеда

$$G_l = \rho_l \cdot \frac{1}{2} h_n \cdot l \cdot b, \quad (5.37)$$

где l – длина наледи, м, $l = m \cdot h_n$.

Так как при выполнении покрытия все плиты ГБ-покрытия прочно скрепляются между собой соединительными элементами, то в состав удерживающих сил необходимо также включить реактивные силы N_c , возникающие в соединениях плит ГБ-плит от бетонных блоков, расположенных под водой ниже ледяного покрова

$$N_c = G_6 (\sin \alpha + f \cos \alpha), \quad (5.38)$$

где G_6 – вес всех бетонных блоков ГБ-плит, расположенных под водой с учетом выталкивающей архимедовой силы, кг.

Если предположить, что покрытие уложено на всю ширину откоса, доходящего до дна водоема, в этом случае вес линейного метра ГБ-покрытия, находящегося в воде, можно определить по формуле:

$$G_6 = \left(1 - \frac{\rho_B}{\rho_6}\right) \frac{h_B}{S_M \sin \alpha} G_M, \quad (5.39)$$

где ρ_B , ρ_6 – плотность воды и бетона соответственно, кг/м^3 ;

h_B – глубина воды от нижней кромки льда до дна водоема, м.

Проверка устойчивости крепления на откосе от сдвигающей силы температурного расширения льда производится по формуле

$$K = \frac{F_y + N_c}{F_n}, \quad (5.40)$$

где K – расчетный коэффициент устойчивости.

Должно, выполняться условие:

$$K \geq [K], \quad (5.41)$$

где $[K]$ – нормативный коэффициент запаса устойчивости, $[K]=1,0$

5.2.2 Устойчивость креплений откосов ГБ-покрытием при воздействии ледовой нагрузки

При колебаниях уровня воды в водоемах возникают внешние силы, которые при наличии достаточно прочных связей по плоскости контакта льда с креплением передаются на откос в виде вырывающих нагрузок, в результате чего происходят деформации ледяного покрова в прибрежной полосе.

Деформации ледяного покрова в прибрежной полосе при колебаниях уровня воды вызываются действием внешних сил, которые при наличии достаточно прочных связей по плоскости контакта льда с креплением передаются на откос в виде вырывающих нагрузок.

Механизм воздействия ледяного поля с креплением земляного откоса при изменении уровня воды заключается в следующем. При повышении уровня воды ледяной покров в силу своей плавучести стремится подняться вместе с уровнем воды, однако этому препятствуют усилия, действующие в области примыкания льда к откосу. Вследствие этого ледяное поле подвергается изгибу и в нем возникают внутренние напряжения растяжения σ_p и сжатия σ_c , возрастающие пропорционально изменению уровня воды (рисунок 5.6). При изменении уровня воды на некоторую величину нормальные напряжения достигают предела прочности льда при изгибе $\sigma_{тр}$ и $\sigma_{тс}$, и ледяной покров разрушается. Усилия, действующие в этот момент на крепление откоса, достигают наибольшей величины.

По наблюдениям на различных водохранилищах и каналах при

повышении уровня воды вдоль откоса образуется, как правило, одна трещина, проходящая вблизи пересечения нижней поверхности льда с откосом. В некоторых случаях при значительном изменении уровня воды возникает вторая, параллельная линии берега трещина, расположенная в 10 - 15 м от первой. Аналогичные явления наблюдаются в водоёмах и при понижении уровня воды. Образование трещины указывает на действие в плоскости её сечения значительных изгибающих моментов, скалывающих и продольных усилий. Лёд представляет собой анизотропное физическое тело, в зависимости от температуры приобретающее упруго-вязкие свойства со способностью к релаксации напряжений и своеобразным характером их распределения.

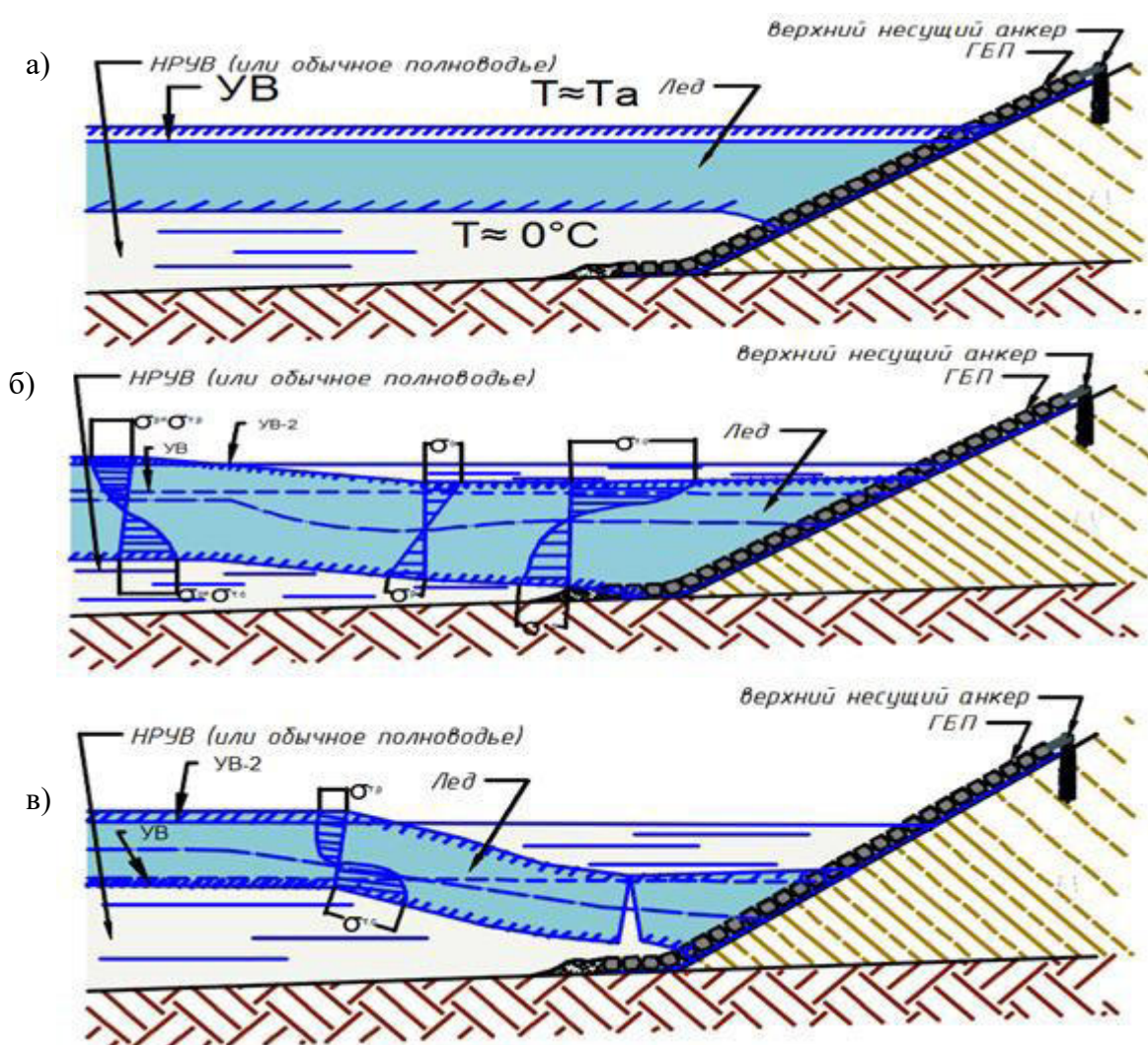


Рисунок 5.2 – Распределение нормальных напряжений в прибрежной зоне ледяного покрова при повышении уровня воды

Характер действия ледяного покрова и деформации крепления, выполненного из ГБ-плит, позволяют определить ледовую нагрузку при колебаниях уровня воды по предельному состоянию льда в плоскости вероятного возникновения в нем первой от берега трещины. Распределение деформаций и напряжений в ледяной консоли, примерзшей к креплению откоса, принимается по схеме (смотри рисунок 5.2).

Расчетная величина предельного момента внутренних сил в примерзшем к креплению откоса ледяном покрове на стадии его разрушения при медленном изменении положения уровня воды определяется по формуле:

$$M_{пк} = \frac{b\delta_{лк}^2}{2} \frac{\sigma_{рр}\sigma_{рс}}{\sigma_{рр}+\sigma_{рс}}, \quad (5.42)$$

где b - расчетная длина крепления откоса вдоль линии уреза воды, м, которая при расчетах обычно принимается равной единице;

$\delta_{лк}$ - расчетная толщина ледяного покрова, м, равная толщине кристаллического слоя льда;

$\sigma_{рр}$ и $\sigma_{рс}$ - расчетные значения предельных напряжений кристаллического льда, т/м², соответственно при растяжении и сжатии.

Толщина кристаллического слоя может быть принята в зависимости от условий образования ледяного покрова в пределах соотношения:

$$\delta_{лк} = (0,8 \div 0,9)\delta_{л}, \quad (5.43)$$

где $\delta_{л}$ толщина ледяного покрова в удалении от берега за пределами наледи.

Расчетные значения предельных напряжений кристаллического льда при растяжении и сжатии принимается в зависимости от температуры среды с учетом уменьшения напряжений во времени (релаксации) по формулам:

$$\sigma_{рр} = \sigma_{тр}K_p; \quad \sigma_{рс} = \sigma_{тс}K_p, \quad (5.44)$$

где K_p коэффициент релаксации; $\sigma_{тр}$ и $\sigma_{тс}$ - пределы прочности (текучести) кристаллического льда соответственно при растяжении и сжатии, принимаемые по таблице 5.2:

Таблица 5.2 – Средние пределы прочности естественного льда

Температура льда, °С (минус)	Предел прочности, т/м ²	
	на растяжение, $\sigma_{тр}$	на сжатие, $\sigma_{тс}$
Верхняя часть ледяного покрова		
0 - 2	68	184
8 - 10	76	252
20 - 23	108	282
Нижняя часть ледяного покрова		
0 - 2	54	120

Температура среды для нижнего и верхнего слоёв льда при подъёме уровня принимается равной температуре воды, то есть около 0 °С.

Коэффициент релаксации определяется по формуле:

$$K_p = e^{-\frac{t}{n}}, \quad (5.45)$$

где t - время, час, в течении которого происходит деформация ледяного покрова при понижении или повышении уровня воды на величину, равную толщине льда; n параметр, характеризующий время релаксаций напряжений льда:

$$n = \frac{\mu \cdot 10^3}{E_c}, \quad (5.46)$$

Здесь E_c - статический модуль упругости льда; μ - коэффициент вязкости льда, тч/м², определяемый при $T < -20^\circ\text{C}$ по зависимости:

$$\mu = (3,3 - 1,85T)10^4, \quad (5.47)$$

где T - температура льда, °С.

Модуль упругости E_c может быть принят в среднем равным $4 \cdot 10^5$ т/м³.

Расчетные значения предельного момента определяются по формуле (5.42) при медленных деформациях ледяного покрова, что соответствует $K_p \leq 0,8$. Если значения $K_p \geq 0,85$, то расчет момента производится по формуле:

$$M_{\text{пх}} = \frac{\delta_{\text{лк}}^2}{2} \frac{\sigma_{\text{pp}} \sigma_{\text{pc}}}{\sigma_{\text{pp}} + \sigma_{\text{pc}}} (1 + 2K_E), \quad (5.48)$$

где K_E - коэффициент модуля упругости, принимаемый в зависимости от температуры и скорости деформации льда в пределах $K_E = 1 \div 2$.

Максимальная вертикальная вырывающая сила связана с изгибающим моментом соотношением:

$$P = \sqrt{2} \lambda M_{\text{пх}}, \quad (5.49)$$

Здесь

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{\gamma}{D}}; \quad D = \frac{E_c \delta_{\text{лк}}^3}{12(1-\nu^2)}, \quad (5.50)$$

где D - цилиндрическая жесткость льда;

E_c - модуль упругости льда;

ν - коэффициент Пуассона;

γ - объемный вес воды.

Проверка устойчивости креплений на откосе от изгибающего действия ледяного покрова производится по формуле:

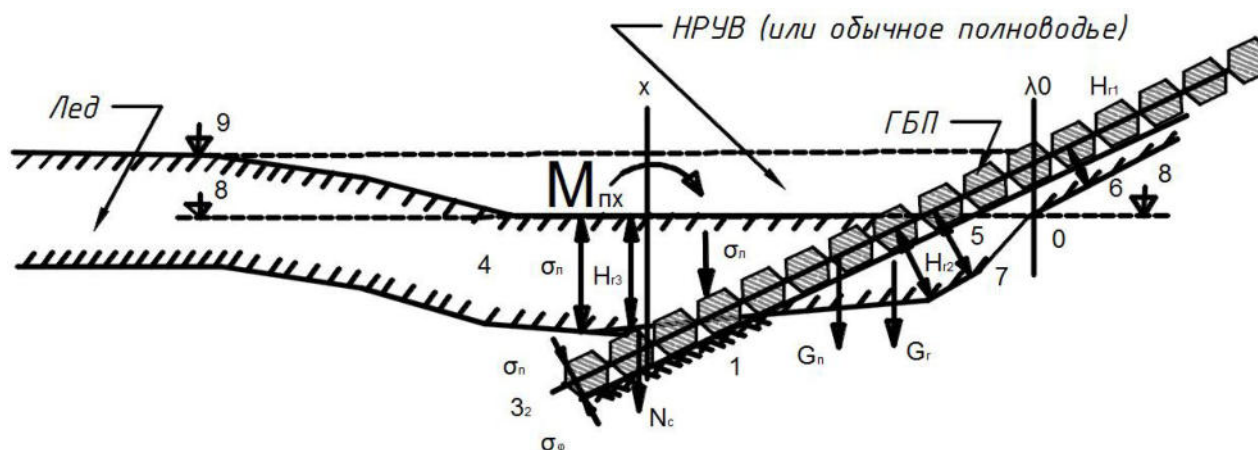
$$K_M = \frac{\sum (M_y)_{x_0}}{M_{\text{пх}}}, \quad (5.51)$$

где $K_M \geq 1$ - коэффициент запаса устойчивости;

$\sum (M_y)_{x_0}$ - сумма моментов удерживающих сил относительно вертикального сечения x_0 ;

$M_{\text{пх}}$ - крутящий момент, равный сумме моментов предельных внутренних сил в плоскости x , совпадающий с сечением первой (береговой) трещины в ледяном покрове.

При подъеме уровня воды принимается, что x_0 проходит через центр вращения всего «смерзшегося массива», содержащего наледь, крепление и грунт, примерзший к креплению с низовой стороны. Центр вращения в этом случае находится на пересечении плоскости, лежащей на уровне воды, с плоскостью ограничивающей верх покрытия выше уровня воды (рисунок 5.3).



0 - центр вращения «смерзшегося массива»; 1 - грунт откоса; 2 - подготовка; 3 - ГБП; 4 - ледяной покров; 5 - смерзшийся грунт ниже уровня воды; 6 - граница промерзания грунта выше уровня воды; 7 - граница грунта в «смерзшемся массиве»; 8 - уровень воды при ледоставе; 9 - уровень воды при разрушении льда.

Рисунок 5.3 – Схема сил к расчету устойчивости крепления при повышении уровня воды

Силы, удерживающие крепление, состоят из собственного веса ГБ-покрытия $G_{п}$, веса намерзшего льда $G_{л}$, и веса $G_{г}$ примерзшего к ГБ-покрытию грунта откоса, то есть веса «смерзшегося массива». При повышении уровня воды и наличии связей между отдельными плитами ГБ-плитами в состав удерживающих сил включаются также реактивные силы N_c , возникающие в соединительных канатах плит ГБ-плитах от бетонных блоков покрытия, расположенных под водой левее сечения x (рисунок 5.3).

Сумма моментов сил, удерживающих крепление, определяется по формуле:

$$\sum(M_y)_{x_0} = M_{G_{x_0}} + M_{L_{x_0}} + M_{G_{гx_0}} + M_{c_{x_0}}, \quad (5.52)$$

где $M_{G_{x_0}}$ - момент сил от веса ГБ-покрытия $G_{п}$ относительно сечения x_0 ;

$M_{L_{x_0}}$ - то же от веса наледи $G_{л}$;

$M_{G_{гx_0}}$ - то же от веса примерзшего грунта $G_{г}$;

M_{cx_0} – то же, от реактивных сил N_c в связях соединительных канатов.

При подъеме уровня воды все моменты, за исключением M_{cx_0} принимаются полностью в пределах значений $x - x_0$ в предположении, что в этом случае «смерзшийся массив» не деформируется. Кроме того, считается, что сила смерзания льда с поверхностью крепления превышает значение внешней силы, приложенной к креплению и вызывающей его деформацию. Прочность смерзания льда с поверхностью различных тел зависит от структуры тела, температуры и состояния его поверхности. Прочность смерзания льда с поверхностью оштукатуренного бетона достигает 110 Н/см^2 .

Удерживающие силы от веса примерзшего грунта G_r устанавливаются исходя из очертания его границы под покрытием (см. рисунок 5.3). Нижняя граница примерзшего грунта зависит от многих факторов и должна определяться по известным методам теплотехнических расчетов, приближенно ее можно ограничить плоскостью, проходящей через нижнюю часть ледяного покрова.

Проверка прочности крепления на откосе от вырывающего действия вертикальной силы производится по формуле:

$$K_p = \frac{P}{G_{\pi} + N_c}, \quad (5.53)$$

где $K_p \geq 1$ - коэффициент запаса прочности покрытия;

G_{π} - вес покрытия в пределах «смерзшегося массива»;

N_c - вертикальная сила реакции связи в соединительных канатах.

Дополнительные удерживающие силы от примерзшего к покрытию грунта откоса в данном случае не учитываются.

Вертикальная сила реакции связи в соединительных канатах определяется по формуле:

$$N_c = G_6(\sin \alpha + f \cos \alpha) \sin \alpha, \quad (5.54)$$

где G_6 - вес всех бетонных блоков ГБ-покрытия, находящихся под

водой с учетом выталкивающей архимедовой силы;

α - угол откоса;

f - коэффициент трения бетонного блока по подстилающему слою.

Если предположить, что покрытие уложено на всю ширину откоса и доходит до дна водоема, то в этом случае вес погонного метра ГБ-покрытия, находящегося в воде, можно определить по формуле:

$$G_{\text{б}} = \left(1 - \frac{\gamma_{\text{в}}}{\gamma_{\text{б}}}\right) \frac{h_{\text{в}}}{S_{\text{м}}} \frac{G_{\text{м}}}{\sin \alpha}, \quad (5.55)$$

где $\gamma_{\text{в}}$, $\gamma_{\text{б}}$ – соответственно объемный вес воды и бетона;

$G_{\text{м}}$, $S_{\text{м}}$ - вес и габаритная площадь одной плиты ГБ-плиты рассматриваемой модели;

$h_{\text{в}}$ –расстояние от нижней кромки льда до дна водоема.

5.3 Укрепление русел, конусов и откосов насыпей у малых и средних мостов из ГБ-покрытия

5.3.1 Основные положения

Укрепления подмостовых русел малых мостов, конусов и прилегающих участков насыпи у малых и средних мостов предусматривают пропуск через сооружение расчётных расходов водотоков и соответствующих им уровней заданной вероятности превышения. Для водопропускных сооружений под железную дорогу конструкции укреплений дополнительно проверяются на пропуск наибольших (максимальных) расходов водотоков и соответствующих им уровней заданной вероятности превышения.

Конструкции укреплений представлены из ГБ-плит с размерами в плане 2.785х1.26 м и толщиной 150 и 240 мм.

В качестве основания под укрепления из ГБ-плит (противосуффозионного экрана) предусматривается использование слоя геотекстильного материала.

Конструкции блоков укреплений приняты одинаковыми для малых и средних мостов.

В настоящей инструкции приведены основные принципы конструирования укреплений у малых и средних мостов, методика расчёта.

Конструкции укреплений для типовых искусственных сооружений, с учётом их особенностей и области применения, должны разрабатываться в составе типовой документации для этих сооружений, с учётом рекомендаций и номенклатуры данной типовой документации.

Конструкции укреплений для индивидуальных искусственных сооружений должны разрабатываться в составе проектной документации на данное сооружение.

При разработке настоящей инструкции рассмотрены конструкции малых и средних мостов, проектирование которых производится с использованием следующих проектов типовых конструкций:

- Серия 3.501.1-150 Опоры унифицированные железнодорожных мостов для обычных и северных условий с применением изделий заводского изготовления.
- Выпуск 0-1. Опоры свайные. Материалы для проектирования.
- Выпуск 0-2. Опоры стоечные. Материалы для проектирования.
- Выпуск 0-3. Опоры столбчатые. Материалы для проектирования.
- Шифр 1279 Опоры железнодорожных мостов пролётами до 15 м бетонные монолитные.

Глубины размывов в нижнем бьефе сооружений и соответствующие им размеры укреплений отводящих русел малых мостов определяются в соответствии с расчётом в зависимости от величины расчётного расхода водотока, уклона и характеристик грунтов лога.

5.3.2 Область применения ГБ-покрытия для малых и средних мостов

Конструкции укреплений предназначены для применения у малых и средних мостов, сооружаемых на железных дорогах во всех климатических зонах Российской Федерации.

Конструкции укреплений следует применять в строгом соответствии с допускаемыми (неразмывающими) скоростями.

Укрепление подмостовых русел предусматривается только у малых мостов.

Конструкции укрепления конусов и прилегающих откосов насыпи для малых и средних мостов, разработанные в настоящей документации, предназначены для сооружений, расположенных вне зоны подтопления водохранилищ, при слабом ледоходе и не подверженных влиянию ветровых и судовых волн.

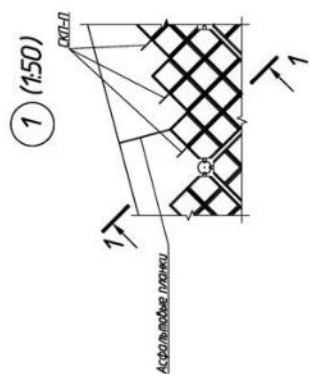
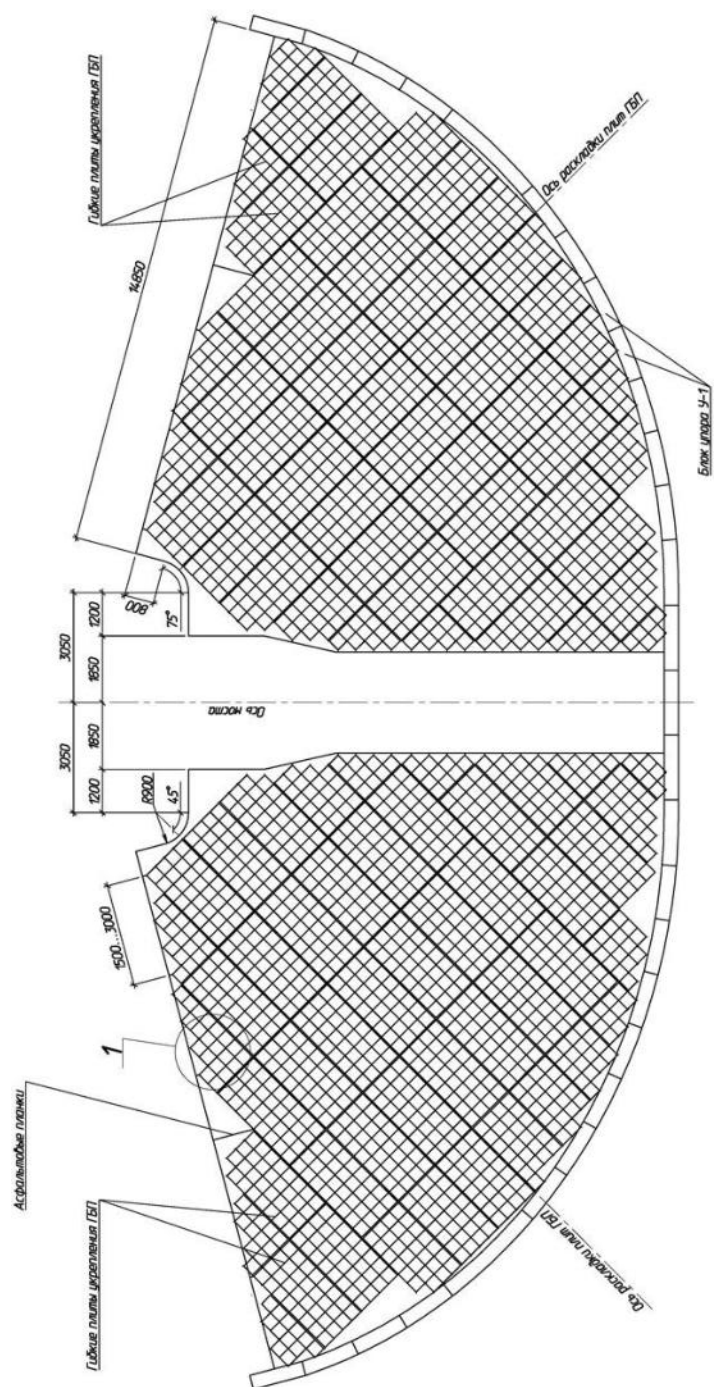
В условиях постоянного подтопления, воздействия волн и других усложняющих факторов укрепление может производиться с применением конструкций по индивидуальным проектам.

Укрепление русел, сложенных слабыми грунтами (торф, ил и т.п.), должно производиться по индивидуальным проектам, или должны применяться конструктивные меры по предотвращению размыва русла на основе технико-экономического сравнения вариантов.

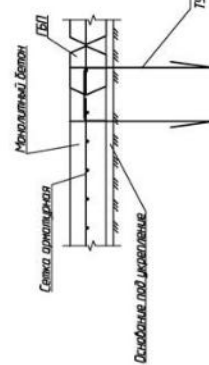
Укрепление русел малых мостов производится в случаях, если скорость протекания потока под мостом превышает допускаемую скорость по грунтам лога.

5.3.3 Схемы раскладки ГБ-плит на поверхности конуса моста

На рисунках 5.4 – 5.10 представлены схемы раскладки плит ГБ-покрытия на поверхности конуса моста.



1-1 (1:25) ○



СМЛ-П
Т9 410-002-595657М-2012

Рисунок 5.4 – Схема раскладки ГБ-плит на развёртке поверхности конуса необсыпного устоя малого железнодорожного моста (Раскладка ГБ-плит с участками сопряжения из монолитного бетона)

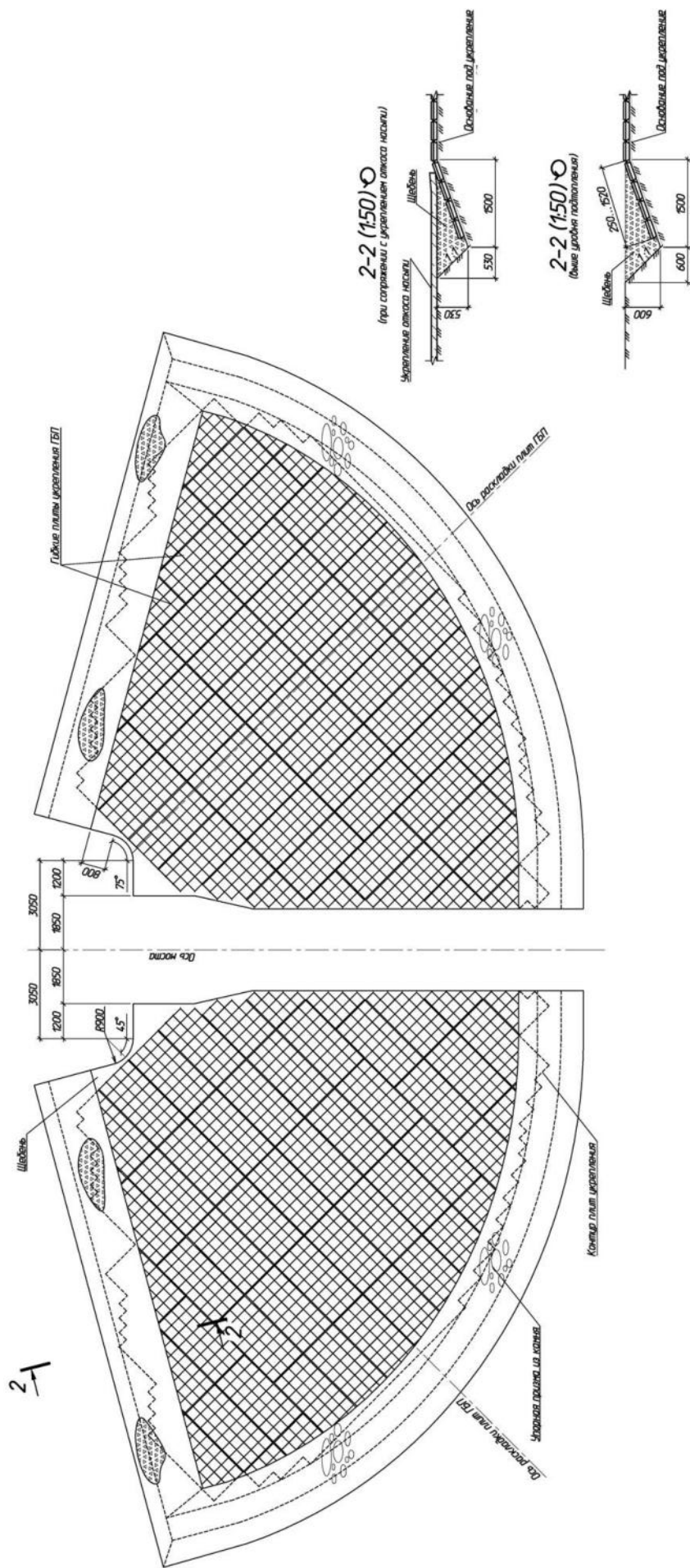


Рисунок 5.5 – Схема раскладки ГБ-плит на развёртке поверхности конуса необысканного устоя малого железнодорожного моста (Раскладка ГБ-плит без использования участков из монолитного бетона)

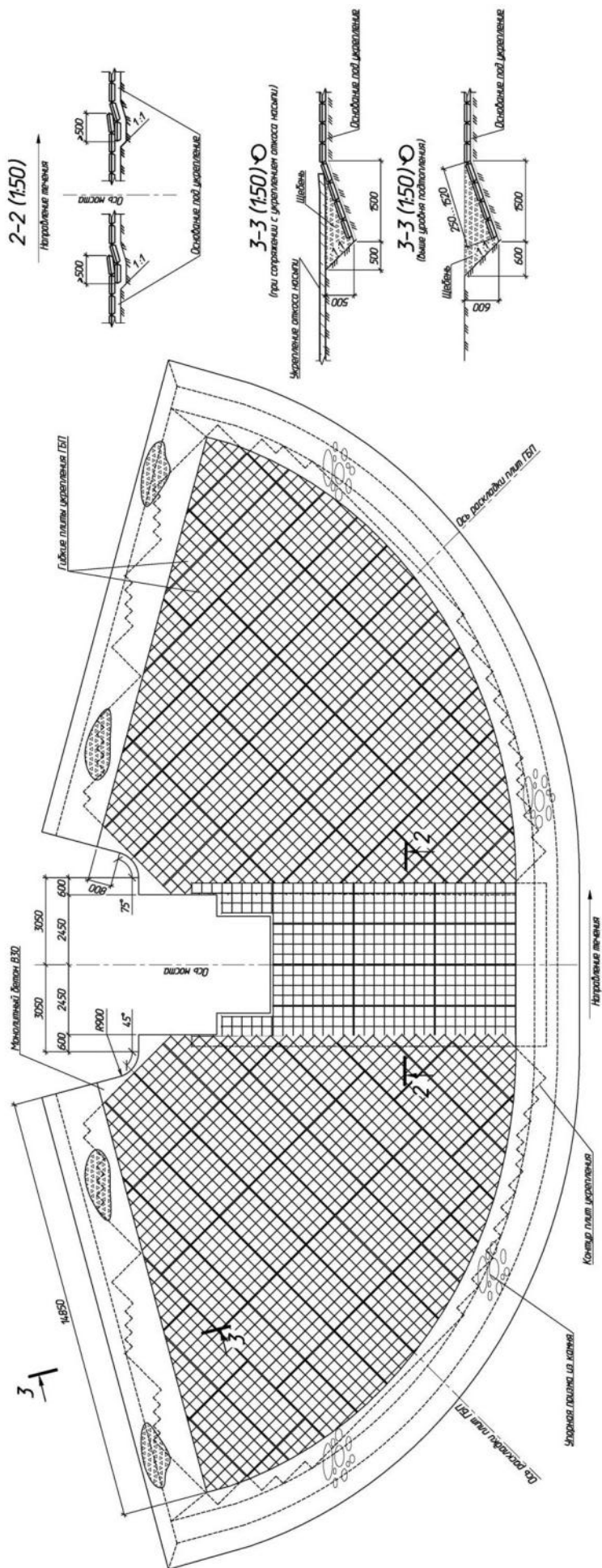


Рисунок 5.7 – Схема раскладки ГВ-плит на развёртке поверхности конуса обсыпного устоя малого железнодорожного моста (Раскладка ГВ-плит без использования участков из монолитного бетона)

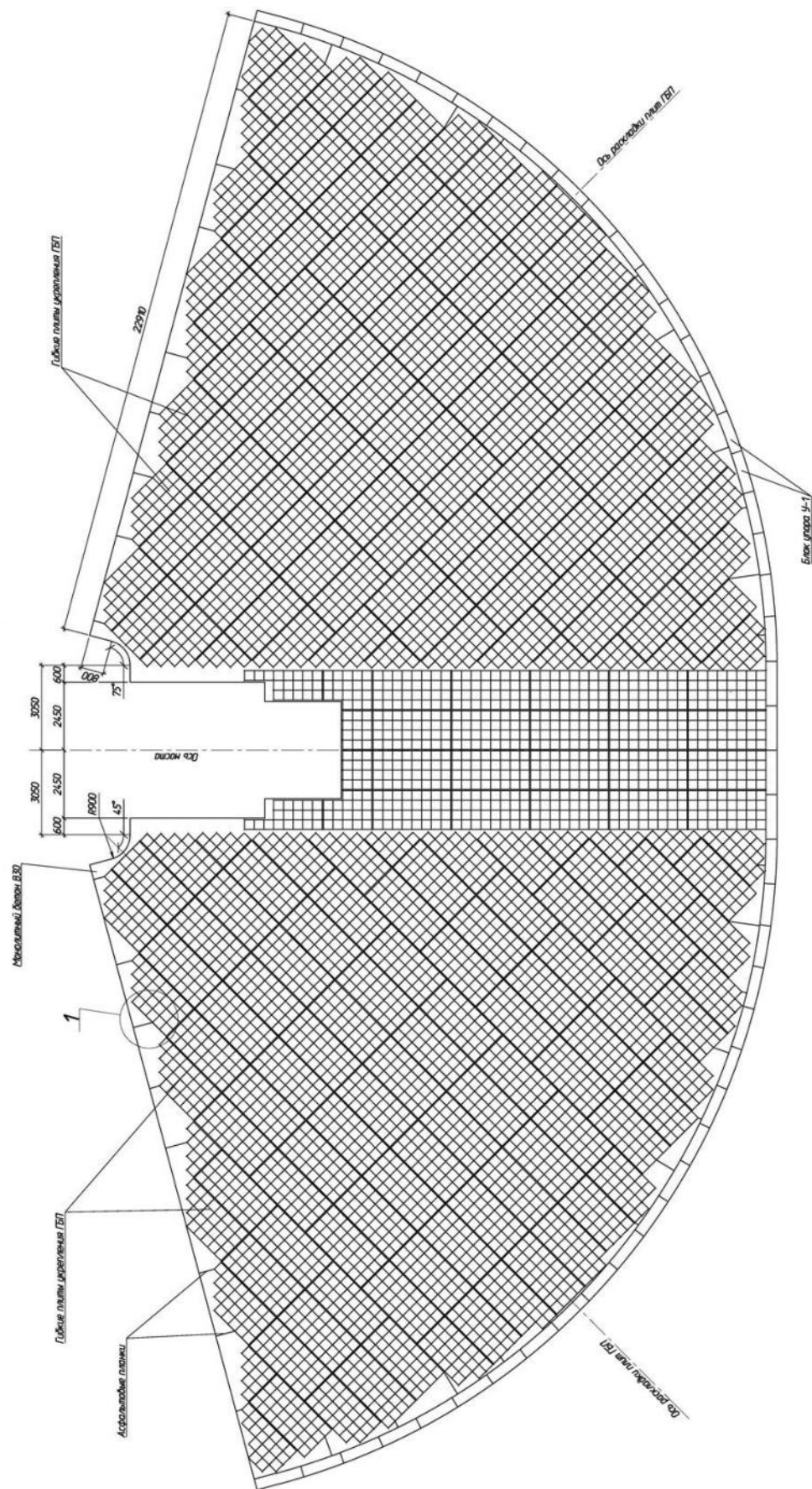


Рисунок 5.8 – Схема раскладки ГБ-плит на развёртке поверхности конуса обсыпного устоя среднего железнодорожного моста (Раскладка ГБ-плит с участками сопряжения из монолитного бетона)

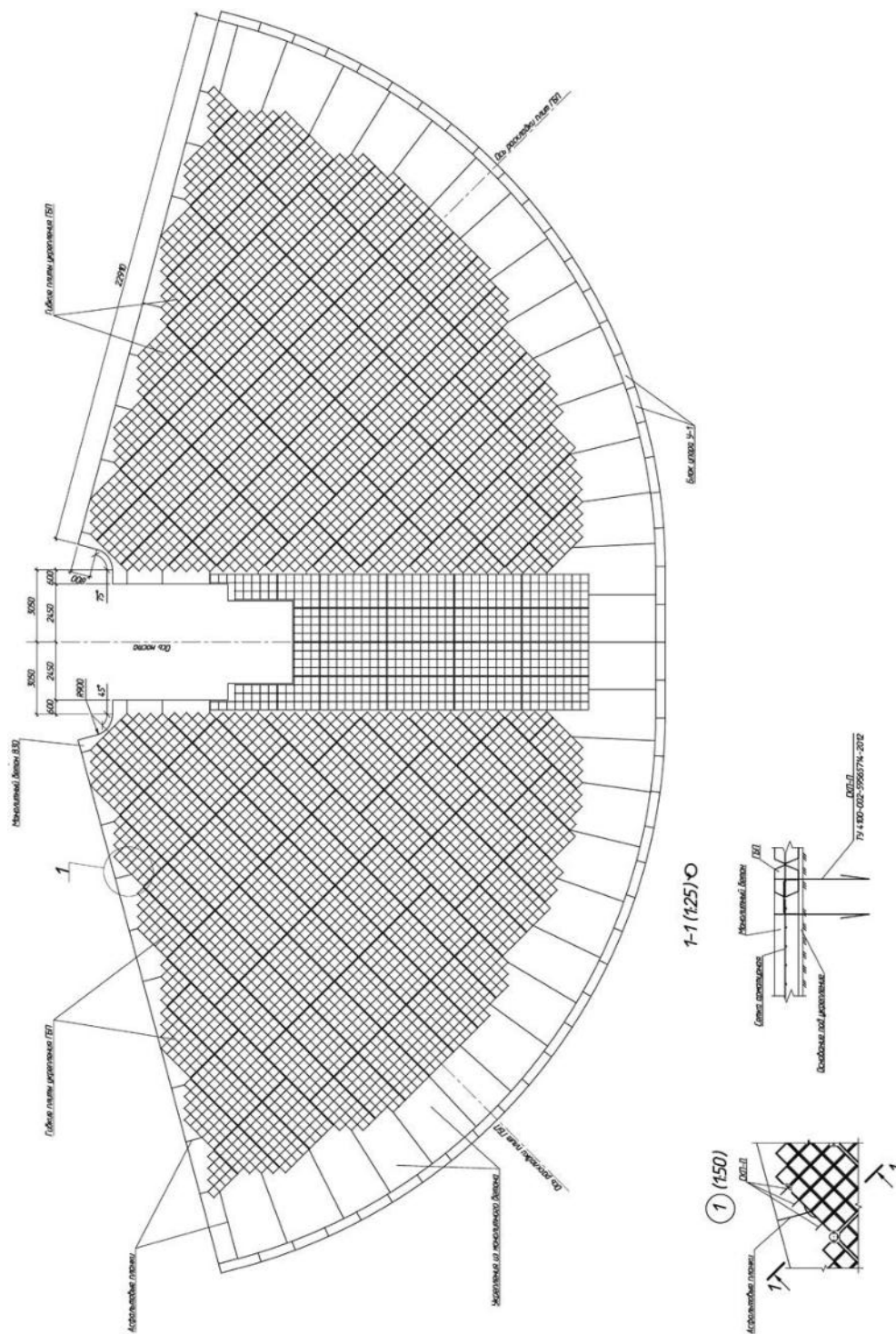


Рисунок 5.9 – Схема раскладки ГБ-плит на развёртке поверхности конуса обсыпного устоя среднего железнодорожного моста(Раскладка ГБ-плит с устройством в нижней части конуса укрепления из монолитного бетона)

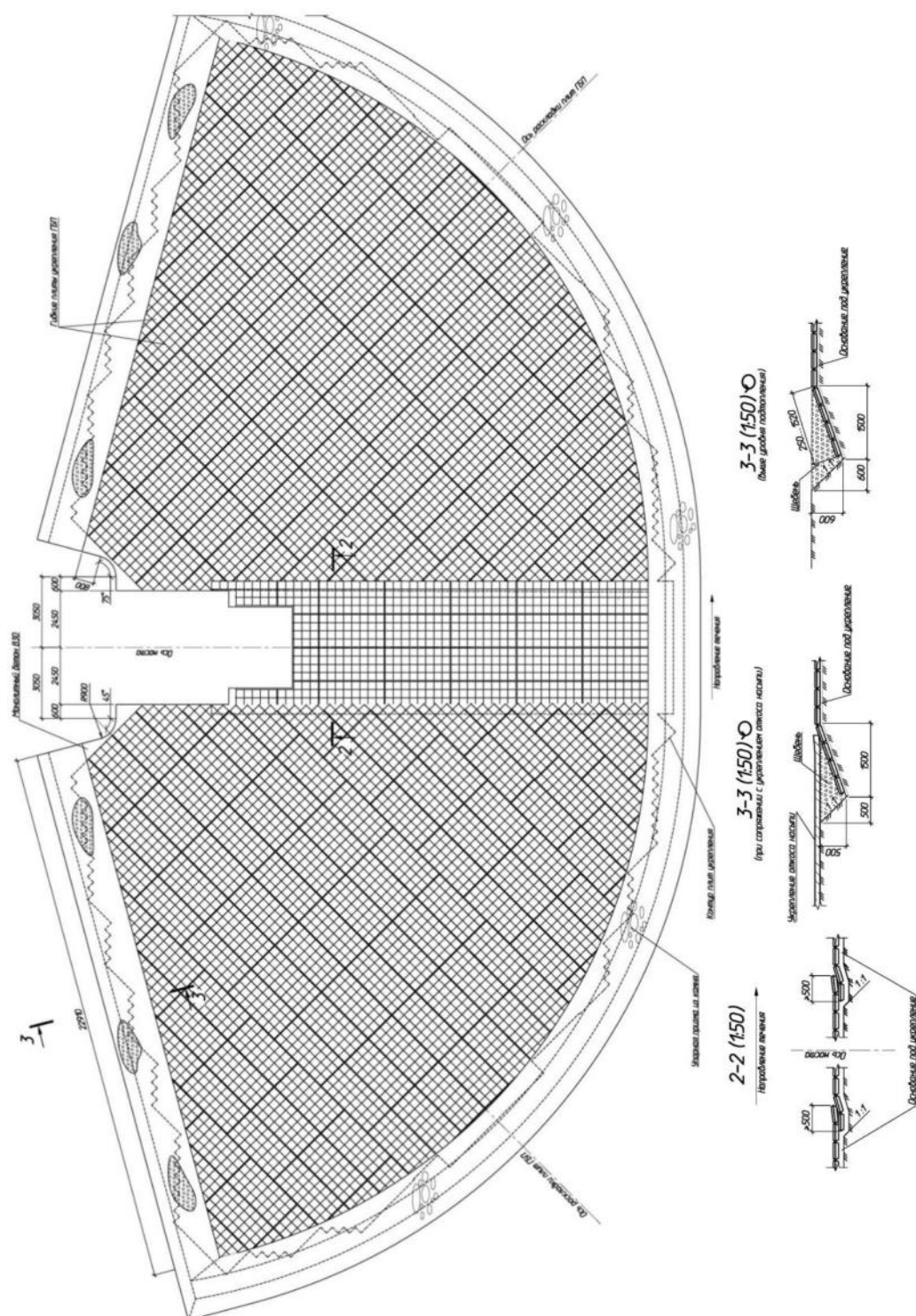


Рисунок 5.10 – Схема раскладки ГБ-плит на развёртке поверхности конуса обсыпного устоя среднего железнодорожного моста (Раскладка ГБ-плит без использования монолитного бетона)

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Коржавин К.Н. Воздействие льда на инженерные сооружения.- Новосибирск: СО АН СССР, 1962.- 204с.
2. Проектирование креплений земляных откосов на водохранилищах.- М.:Стройиздат, 1962.-216с.
3. Панфилов Д.Ф. Воздействие льда на сооружения при изменении уровня воды// Изв. Вузов. Строительство и архитектура.-1967.-№2.-с. 139-145.
4. Канарский В.Ф. Крепление волновых откосов гидротехнических сооружений. – Киев «Будивельник», 1971.- 76 с.
5. Справочник по гидравлическим расчетам// под ред. П.Г. Киселева,-М.: Энергия, 1972.- 312 с.
6. Шайтан В.С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений.- М.: Стройиздат, 1974.- 351 с.
7. Справочник по земляному полотну эксплуатируемых железных дорог / Под ред. А.Ф.Подпалого, М.А.Чернышева, В.П.Титова.- М.: Транспорт, 1978.-766 с.
8. Расчет устойчивости откосов автомобильных дорог при использовании универсальных гибких защитных бетонных матов/Методические рекомендации: разработаны и введены в действие ЗАО «СоюздорНИИ», Москва, 2006.
9. Положение о взаимодействии между ОАО «РЖД» и подрядными организациями в сфере охраны труда // Утверждено и введено в действие 01.10.2009.
- 10.РЭ 5859-002-59565714-2017 Руководство по эксплуатации. Покрытие бетонное защитное гибкое универсальное, ООО «Спецпром 1», Воронеж, 2017.
- 11.Техническое свидетельство о пригодности для применения в строительстве ГБ-покрытия, Минстрой, Москва, 2017.
- 12.Технологическая карта «Укладка и монтаж гибкого бетонного покрытия на береговую линию», ООО «Спецпром 1», Воронеж, 2017.

13. Техничко-экономическое обоснование применения покрытия из гибких бетонных плит (ГБП) при выполнении работ по защите откосов подходных насыпей автомобильных дорог, ОАО ГИПРОДОРНИИ, 2016.
14. Гидравлические расчеты: «Сравнительное исследование эффективности применения симметричных и ассиметричных ГБ-плит при воздействии на них потока воды», ОАО ЦНИИС, Москва, 2015.
15. «Техничко-экономическая эффективность применения гибкого бетонного покрытия при возведении и эксплуатации ГТС» от 30.01.17 № ММ 5859-001-3666127608-2017.
16. Методические указания по применению типовых технических решений оперативного восстановления земляного полотна / ЦП МПС России: Утв. 25.12.97. ЦПИ № 22/41.-М.: Транспорт, 1999.-103с.
17. Железнодорожные войска России. Кн. 4. В период мирного строительства: 1945–1991./Под ред. Г. И. Когатько. - М.: ООО 'Русь-Стиль XXI век', 2002.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ УКРЕПИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ГИБКИМ БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ

А.1 Расчет размывных явлений (водное и волновое воздействия)

Расчет выполнен для подтопляемой насыпи, укрепленной ГБ-покрытием (рисунок А.1).

Исходные данные:

Высота волны $h = 1$ м. Длина волны $\lambda = 10$ м.

Показатель крутизны откоса $m = 2$.

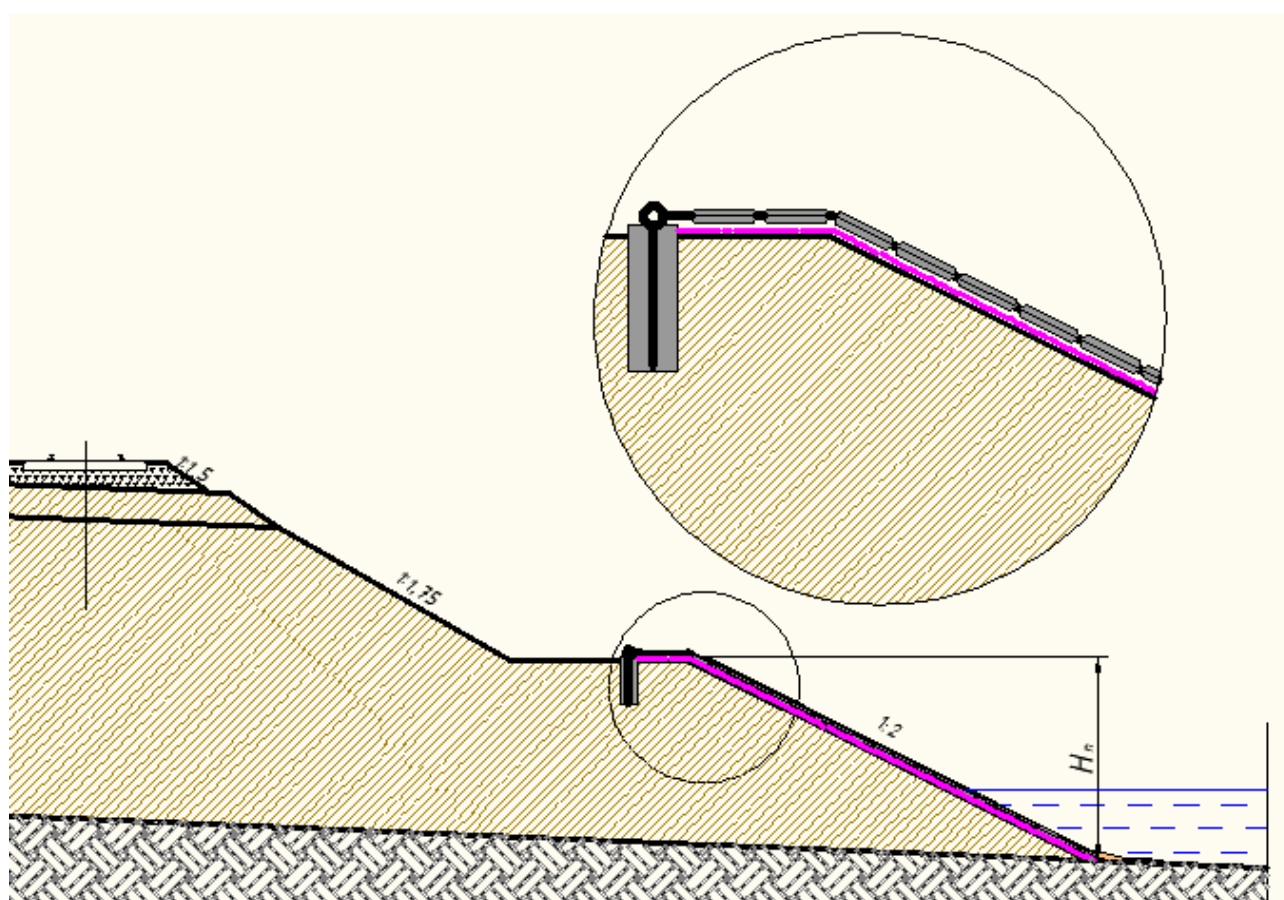


Рисунок А.1 – Схема подтопляемой насыпи, укрепленной ГБ-покрытием

Критическая глубина $H_{кр}$, на которой происходит разрушение волны:

$$H_{кр} = h \left(0,47 + 0,023 \frac{\lambda}{h} \right) \frac{1 + m^2}{m^2} = 1 \left(0,47 + 0,023 \frac{10}{1} \right) \frac{1 + 2^2}{2} = 0,875 \text{ м.}$$

Горизонтальная проекция начальной скорости струи, сбрасываемой с гребня волны в точке А

$$\begin{aligned} v_A &= n \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} th \frac{2\pi H_{кр}}{\lambda}} + h \sqrt{\frac{\pi g}{2\lambda} Cth \frac{2\pi H_{кр}}{\lambda}} \\ &= 0,621 \sqrt{\frac{9,8 \cdot 10}{2 \cdot 3,14} \cdot 100 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,875}{10}} \\ &\quad + 1 \sqrt{\frac{3,14 \cdot 9,8}{2 \cdot 10} \cdot 2 \cdot 100 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,875}{10}} = 3,49 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \end{aligned}$$

где эмпирический коэффициент $n = 4,7 \frac{h}{\lambda} + 3,4 \left(\frac{m}{\sqrt{1+m^2}} - 0,85 \right) =$
 $4,7 \frac{1}{10} + 3,4 \left(\frac{2}{\sqrt{1+2^2}} - 0,85 \right) = 0,621.$

Координаты точки В:

$$y_B = X_B / m = 1,514 / 2 = 0,757;$$

$$\begin{aligned} X_B &= \left[v_A \sqrt{\frac{v_A^2}{m^2} + 2gy_0} - \frac{v_A^2}{m} \right] \frac{1}{g} = \left[3,49 \sqrt{\frac{3,49^2}{2^2} + 2 \cdot 9,8 \cdot 1,68} - \frac{3,49^2}{2} \right] \frac{1}{9,8} \\ &= 1,514, \end{aligned}$$

где $y_0 = H_{кр} + h_{гр} = 0,875 + 0,805 = 1,68,$

где $h_{гр} = [0,95 - (0,84m - 0,25) h / \lambda] \cdot h = [0,95 - (0,84 \cdot 2 - 0,25) 1/10] \cdot 1 = 0,805.$

Максимальная скорость струи при ударе её об откос, наблюдающееся в точке В

$$v_B = \sqrt{\eta \left[v_A^2 + \left(\frac{gX_B}{v_A} \right)^2 \right]} = \sqrt{0,986 \left[3,49^2 + \left(\frac{9,8 \cdot 1,514}{3,49} \right)^2 \right]} = 5,465,$$

где $\eta = 1 - (0,017 \cdot m - 0,02) \cdot h = 1 - (0,017 \cdot 2 - 0,02) \cdot 1 = 0,986.$

Максимальное местное давление P_{Bmax} на откос от удара струи в точке B в момент обрушения волны

$$P_{Bmax} = 1,7 \cdot \gamma \frac{v_B^2}{2g} \cos^2 \varphi = 1,7 \cdot 1 \frac{5,465^2}{2 \cdot 9,8} \cos^2 12,79 = 2,46,$$

где $\varphi = 90^\circ - (\alpha + \beta) = 90^\circ - (26,6^\circ + 50,64^\circ) = 12,79^\circ$;

α – угол наклона откоса к горизонту ($26,6^\circ$);

β – абсолютное значение угла между касательной к направлению струи в точке B и горизонталью (рисунок А.2), вычисляемое по уравнению:

$$\operatorname{tg} \beta = g \frac{X_B}{v_A^2} = 9,8 \cdot 1,514 / 3,49^2 = 1,219; \quad \beta = 50,64^\circ.$$

Эпюра волнового давления на откос (Рисунок А.2) строится по точкам с давлением P_{Bmax} и с давлениями, вычисленными для расстояний от точки B вверх до точек ξ_1 и ξ_2 и вниз до точек ξ_3 и ξ_4 , имеющими соответственно значения $0,4P_{Bmax}$ и $0,1P_{Bmax}$

Эти расстояния по откосу равны:

$$\xi_1 = 0,025L = 0,025 \cdot 7,6 = 0,19 \text{ м}; \quad \xi_3 = 0,053L = 0,053 \cdot 7,6 = 0,403 \text{ м};$$

$$\xi_2 = 0,065L = 0,065 \cdot 7,6 = 0,494 \text{ м}; \quad \xi_4 = 0,135L = 0,135 \cdot 7,6 = 1,03 \text{ м},$$

где
$$L = \frac{m\lambda}{2\sqrt{m^2-1}} = \frac{20}{2\sqrt{2^2-1}} = 7,6 \text{ м}.$$

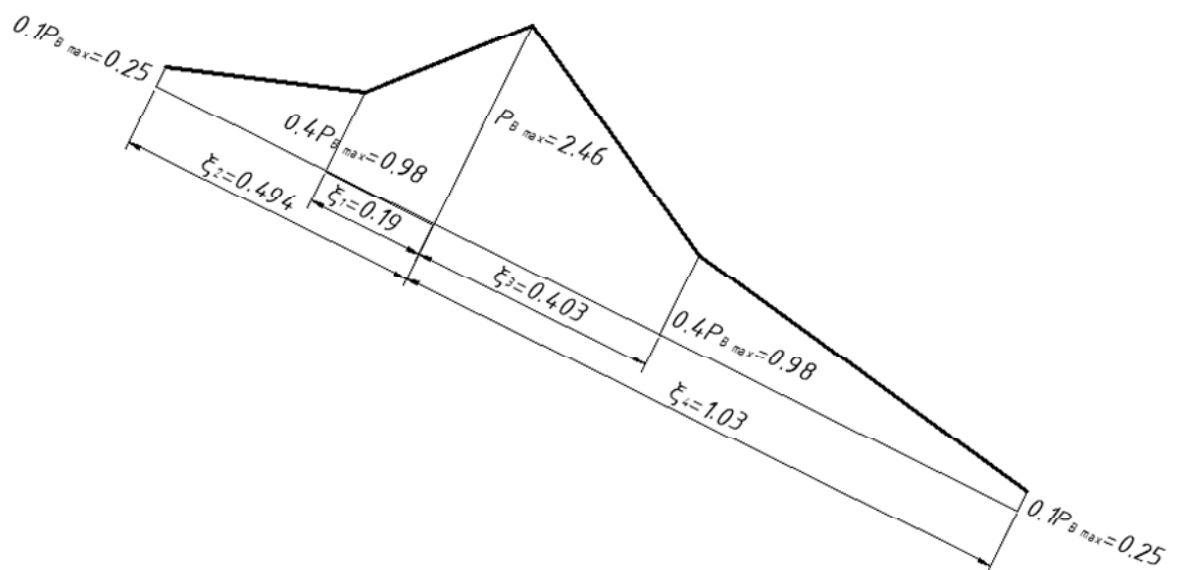


Рисунок А.2 - Эпюра волнового давления на откос

Среднее значение нормальной составляющей силы, действующей на некоторую площадь поверхности S и прижимающую защитное покрытие к откосу:

$$F_H = P_{cp} \cdot S = 1,05 \cdot 1,52 = 1,59 \text{ кН},$$

$$\text{где } P_{cp} = 0,5P_{Bmax} \left[0,5 + 0,9 \frac{(\xi_1 + \xi_3)}{(\xi_2 + \xi_4)} \right] = 0,5 \cdot 2,46 \left[0,5 + 0,9 \frac{(0,19 + 0,403)}{(0,494 + 1,03)} \right] = 1,05 \text{ кПа},$$

$$S = (\xi_2 + \xi_4)B = \xi_2 + \xi_4 = 0,494 + 1,03 = 1,52 \text{ м}^2.$$

Средняя продольная сила, действующая вдоль откоса и сдвигающая отдельные элементы защитного покрытия

$$F_{II} = F_H \operatorname{tg} \varphi = 1,59 \cdot \operatorname{tg} 12,79^\circ = 0,364 \text{ кН}.$$

Сила, удерживающая элементы покрытия в пределах площади активного воздействия волны

$$F_y = G_B \sin \alpha + f(G_B \cos \alpha + F_H) = 0,311 \cdot \sin 26,6^\circ + 0,5(0,311 \cdot \cos 26,6^\circ + 1,59) = 1,074,$$

где G_B – вес всех бетонных блоков ГБП, расположенных в пределах зон активного воздействия волны, с учётом выталкивающей архимедовой силы

$$G_B = G_m \cdot \left(1 - \frac{\gamma_B}{\gamma_6} \right) \frac{(\xi_2 + \xi_4)}{S_m} = 1,22 \cdot \left(1 - \frac{1}{2,3} \right) \frac{(0,494 + 1,03)}{3,37} = 0,311 \text{ кН},$$

где G_m – вес одной плиты ГБП соответствующей модели, кН, $G_m = 1,22$ кН;

S_m – габаритная площадь, м² одной плиты ГБП соответствующей модели, $S_m = 3,37 \text{ м}^2$

γ_B – удельный вес воды, кН/м³, $\gamma_B = 10 \text{ кН/м}^3$;

γ_6 – удельный вес бетона, кН/м³, $\gamma_6 = 23 \text{ кН/м}^3$

Реактивные силы N_c , возникающие в соединительных канатах ГБП от бетонных блоков покрытия, расположенного ниже зоны активного воздействия волны:

$$N_c = G_6 (\sin \alpha + f \cos \alpha) = 0,651 (\sin 26,6^\circ + 0,5 \cdot \cos 26,6^\circ) = 0,583 \text{ кН},$$

Где G_6 – вес всех бетонных блоков ГБП, расположенных под водой ниже зоны активного воздействия волны, кН

$$G_6 = \left(1 - \frac{\gamma_B}{\gamma_6}\right) G_m \frac{l_H}{S_M} = \left(1 - \frac{1}{2.3}\right) 1.22 \frac{3.182}{3.37} = 0,651 \text{ кН}$$

Где l_H – протяжённость покрытия, расположенного ниже зоны активного воздействия волны, м

$$l_H = \frac{H_H + y_B - H_{кр}}{\sin \alpha} - \xi_4 = \frac{2 + 0.756 - 0.875}{\sin 26.6^\circ} - 1.03 = 3,182 \text{ м}$$

где H_H – глубина нижней границы крепления откоса под водой, м, $H_H = 2$ м.

Проверка устойчивости крепления на откосе от волнового воздействия:

$$K = \frac{F_y + N_c}{F_{II}} = \frac{1.074 + 0.583}{0.364} = 4.55$$

Коэффициент запаса устойчивости больше единицы, следовательно, для условий данного примера крепление откоса устойчиво.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Теоретические сведения из пункта 4

Класс бетона блоков по прочности на сжатие не менее В30.

Марка бетона блоков по морозостойкости по ГОСТ 10060 не менее F₂₃₀₀.

Марка бетона блоков по водонепроницаемости по ГОСТ 12730.5 не менее W8.

Для приготовления бетона применяются материалы, соответствующие требованиям ГОСТ 26633:

- цемент по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 и ГОСТ 22266;
- песок природный средний или крупный по ГОСТ 8736;
- щебень из гравия и гравий из плотных горных пород по ГОСТ 8267;
- вода по ГОСТ 23732;
- добавки для бетона по ГОСТ 24211.

Теоретические сведения из пункта 5

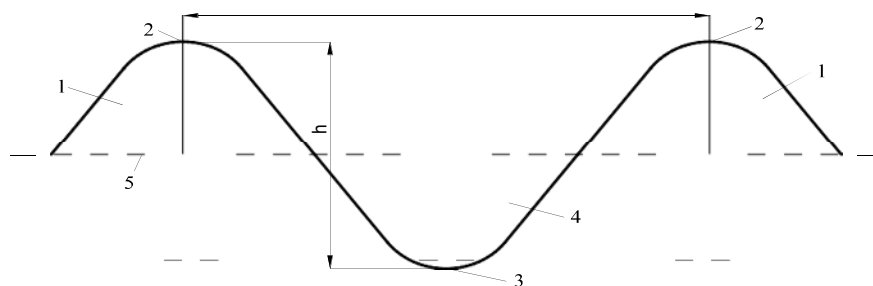
Проектирование и расчеты защиты земляного полотна от размывов, рекомендуется выполнять с учетом следующих положений.

Основные параметры

Высота волны расчётной обеспеченности зависит от: скорости ветра, продолжительности его действия, разгона волн и глубины водоёма.

Ветровые волны возникают на поверхности воды под воздействием ветра.

Волны характеризуются длиной и высотой волны (рисунок 5.1).



1 – гребень; 2 – вершина; 3 – подношва; 4 – впадина; 5 – статический уровень
воды

Рисунок Б.1 – Элементы ветровой волны

Часть волны (См. Приложение), расположенная выше статистического уровня воды, называется гребнем волны, а самая высокая точка гребня – вершиной волны.

Между двумя гребнями ниже статического уровня воды находится впадина с низкой точкой – подошвой волны. Превышение вершины над подошвой есть высота волны h . Длина волны λ – горизонтальное расстояние между двумя смежными вершинами или подошвами. Отношение высоты волны к её длине h/λ называют крутизной волны, а обратная величина λ/h – пологостью волны.

На условия распространения и параметры волн значительное влияние оказывает глубина воды в водоёме H . В связи с этим в водоёмах различают участки глубоководные $H > H_{кр}$ и мелководные $H \leq H_{кр}$, где $H_{кр}$ – критическая глубина.

На подходе к критической глубине крутизна волны увеличивается, достигая предельной величины, и её гребень теряет устойчивость.

На основании экспериментальных и натурных исследований установлено, что накатывающаяся на откос волна меняет форму и размеры. После выхода на критическую глубину она достигает предельного состояния по высоте, длине и запасам энергии. Потом начинается процесс её разрушения. Опытами установлено, что волны полностью разрушаются на откосе, если угол наклона его к горизонтальной плоскости $\alpha < 45^\circ$.

Достигнув предельного состояния – максимальной высоты подъёма частиц воды на гребне до y_0 , волна обрушивается на откос в виде свободно падающей струи и ударяется об откос вблизи точки В (рисунок 5.2). После этого начинается растекание заключённой в волне массы воды вверх и вниз по откосу, причём максимальная высота наката волны на откос h_n , отсчитываемая от статического уровня воды, зависит от высоты h , крутизны h/λ волны и коэффициента заложения откоса m .

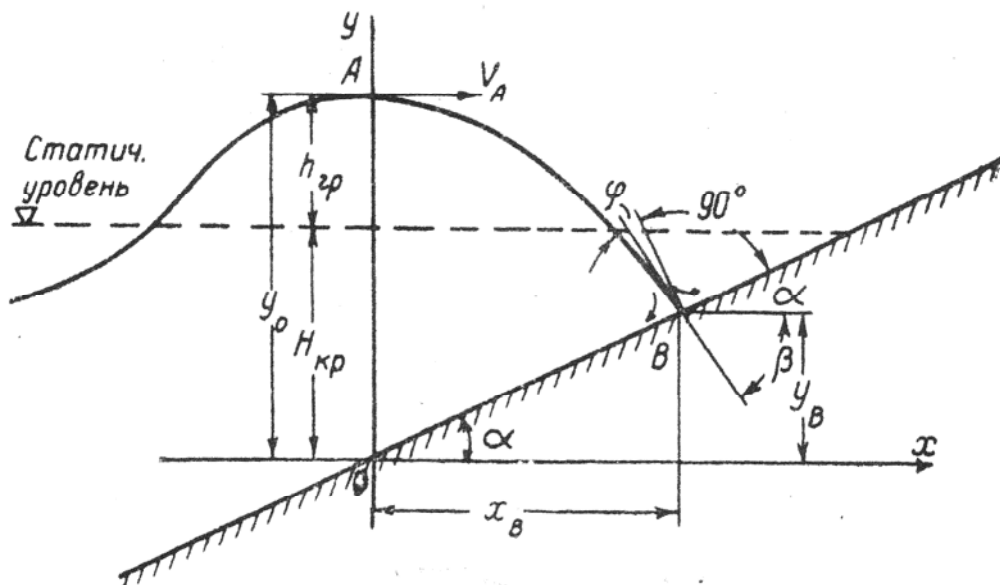


Рисунок Б.2 – Схема обрушения ветровой волны на откосе

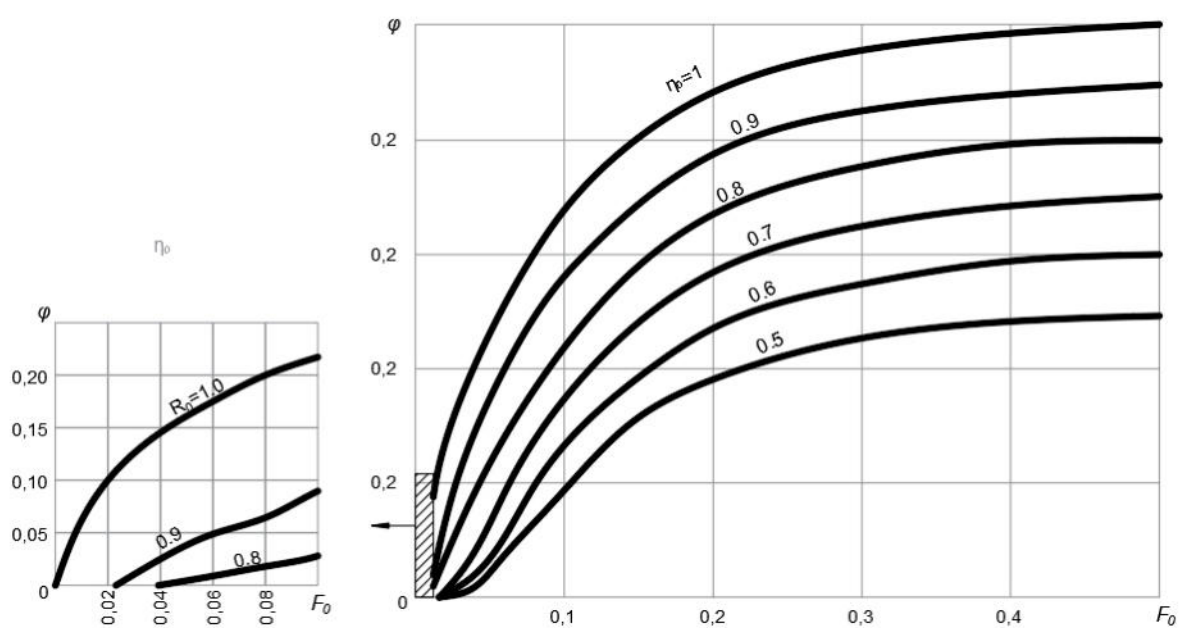


Рисунок Б.3 - Графики значений коэффициента φ

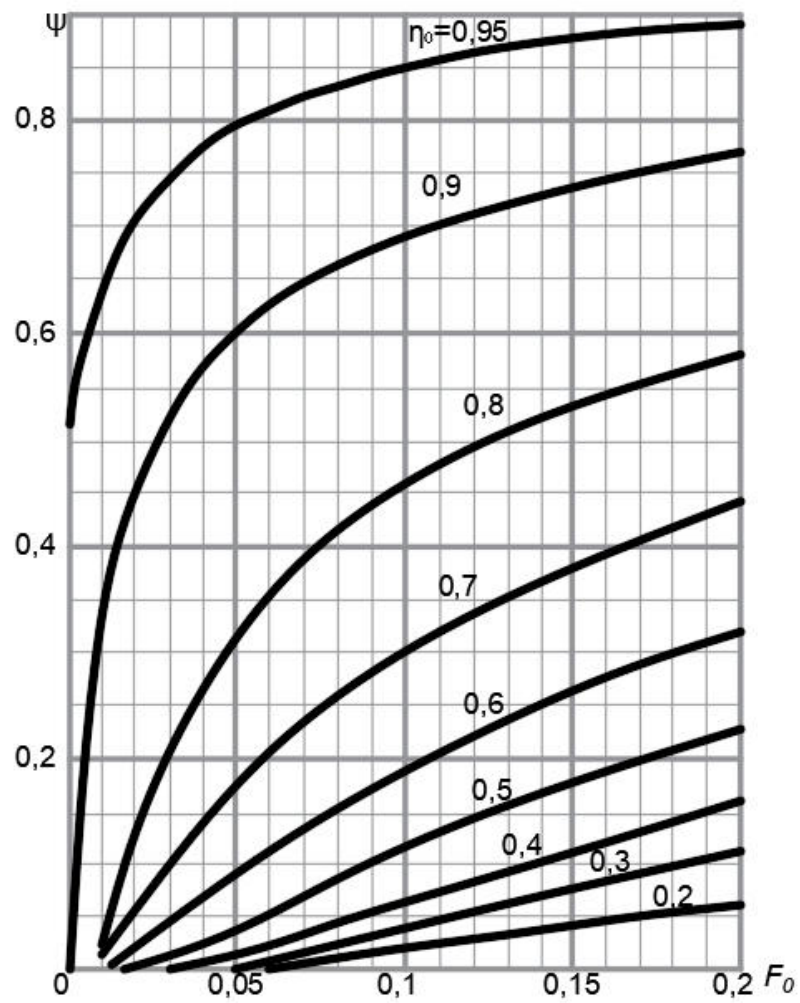
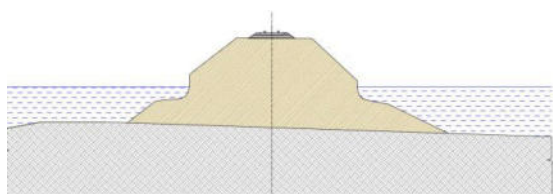


Рисунок Б.4 – Графики значений коэффициента ψ

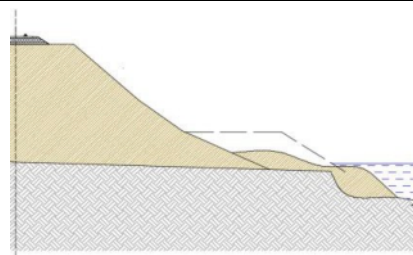
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ТАБЛИЦА КЛАССИФИКАЦИИ ТИПОВ РАЗМЫВОВ

Таблица В.1 – Классификация размывов

Тип разм.	Наименование типа размыва	Примечание
I	Размывы собственно насыпей	Смыв грунтов верхних частей насыпей и ино-
II	Размывы обеих или одного из откосов насыпей, регуляционных сооружений	Вызывают, как правило, смещение откосов
III	Подмывы нижних частей откосов насыпей, регуляционных сооружений,	Вызывают, как правило, смещение откосов
IV	Затопление путей на перегонах и станциях, размывы балластной призмы и водоотводов	



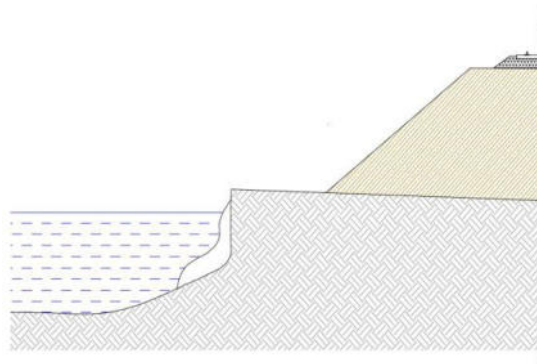
Размыв двух откосов



Подмывы нижних частей откосов



Подмыв конуса моста



Подмывы берега реки

Рисунок В.1 - Схемы и фото характерных размывов при недостаточной защите откосов от водоразмывов

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПРИМЕРЫ ОБЪЕКТОВ ЗАЩИТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ГИБКИМ БЕТОННЫМ ПОКРЫТИЕМ



Рисунок Г.1 - Особенности местной укладки



Рисунок Г.2 - Особенности местной укладки



Рисунок Г.3 - Особенности местной укладки



Рисунок Г.4 - Особенности местной укладки



Рисунок Г.5 - Водоотвод



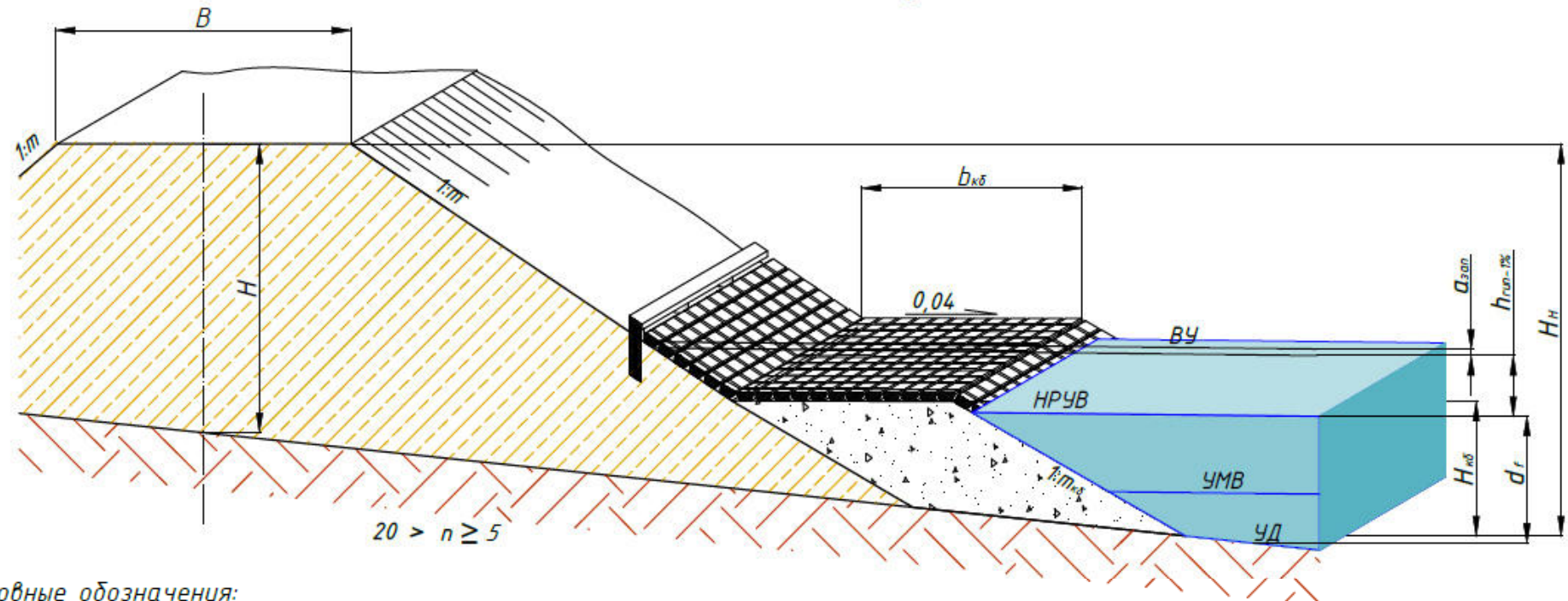
Рисунок Г.6 - Особенности местной укладки



Рисунок Г.7 - Особенности местной укладки

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

АЛЬБОМ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ



Условные обозначения:

H – высота насыпи, м (измеряется по оси пути для однопутных и по оси междупутья для двухпутных насыпей);

H_n – высота низового откоса насыпи, м;

B – ширина основной площадки насыпи до усиления, м;

$b_{кб}$ – ширина полки контрбанкета (бермы), м;

$ВУ$ – верх укрепления;

$h_{гип-1\%}$ – высота наката волны 1%-ной обеспеченности, м;

$НРУВ$ – наивысший расчетный уровень воды $i\%$ -ной обеспеченности, м;

$УМВ$ – уровень меженных вод, м;

$УД$ – уровень дна;

$a_{зап}$ – запас 0,5 м для бровок насыпей и 0,25 м для берм и регулиционных сооружений и на ветровой нагон, м;

m – показатель крутизны откоса (при $m \leq 1.10$ крутые откосы, при $1.10 \leq m \leq 1.75$ – откосы средней крутизны; при $m > 1.75$ – откосы пологие);

$m_{кб}$ – показатель крутизны откоса контрбанкета (бермы);

n – наклон (заложение) основания насыпи или заложение склона (косогора);

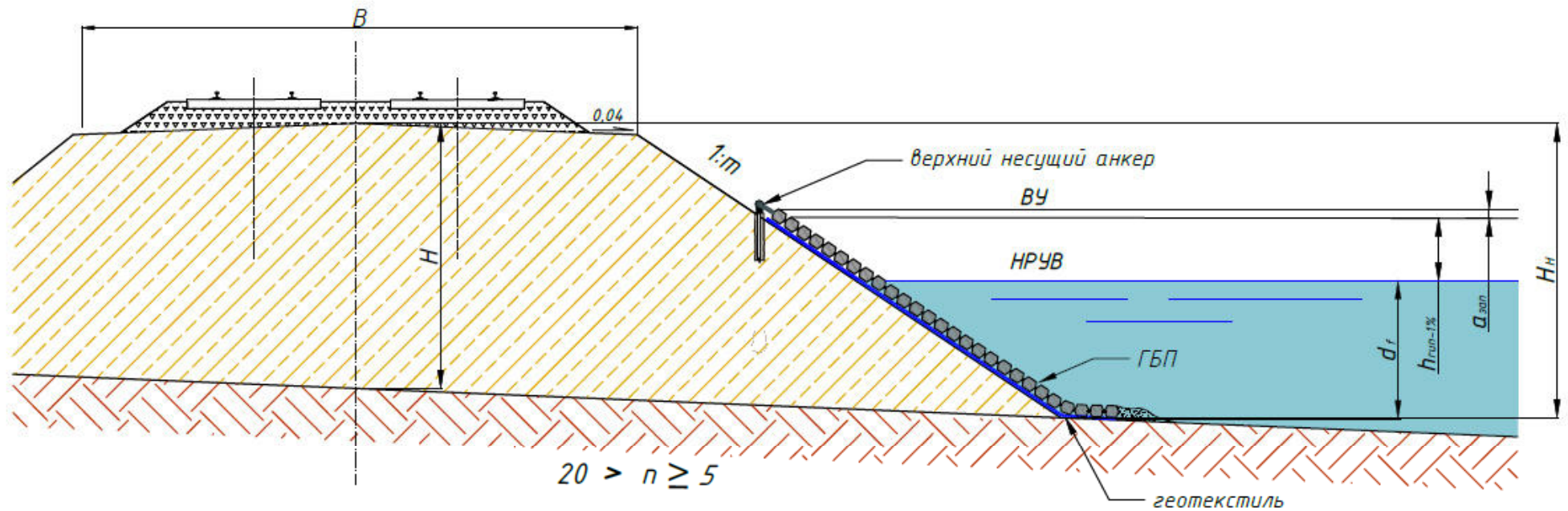
0.04 – уклон полки контрбанкета (бермы);

Основные технические решения

Схема эксплуатируемой
насыпи

Лист 1

Схема подтопляемой насыпи высотой до 6 м, укрепленной ГБП



Примечания:

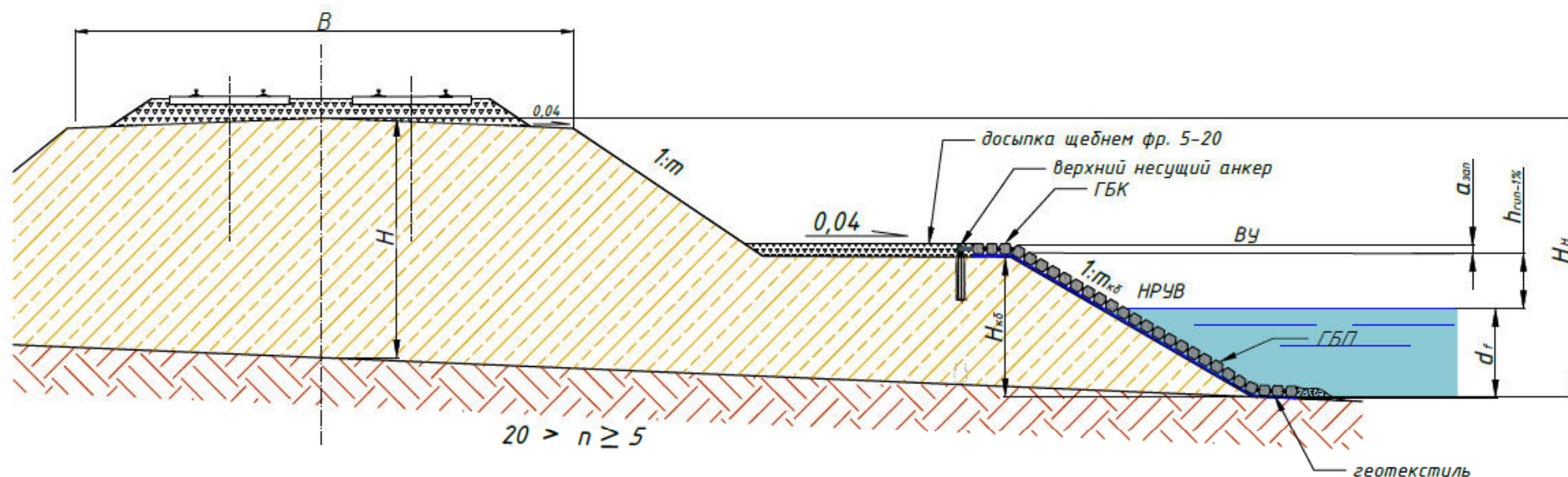
- 1) конструкция ГБП дана на листе 6 Альбома;
 - 2) конструкция крепления ГБП на откосе дана на листе 6 Альбома;
 - 3) жирной пунктирной линией показан геотекстиль;
- B – ширина основной площадки насыпи;
 H – высота насыпи;
 m – заложение откоса.

Основные технические решения

Схема подтопляемой насыпи
высотой до 6 м, укрепленной ГБП

Лист 2

Схема подтопляемой насыпи высотой до 6 м с бермой, укрепленной ГБП



Примечания:

- 1) конструкция ГБП дана на листе 6 Альбома;
- 2) конструкция крепления ГБП на откосе дана на листе 6 Альбома;
- 3) жирной пунктирной линией показан геотекстиль;

B – ширина основной площадки насыпи;

H – высота насыпи;

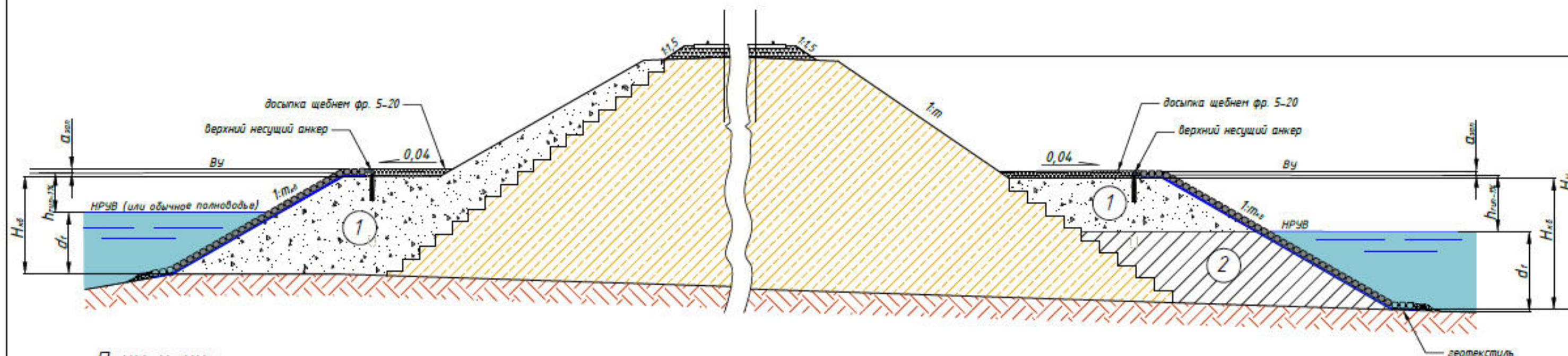
m – заложение откоса.

Основные технические решения

Схема подтопляемой насыпи
высотой до 6 м с бермой,
укрепленной ГБП

Лист 3

Схема подтопляемой насыпи высотой до 12 м, укрепленной ГБП



Примечания:

Левая сторона насыпи – вариант усиления с устройством контрбанкета из дренирующего грунта;

Правая сторона насыпи – вариант усиления с устройством контрбанкета из местного и дренирующего грунта;

1) дренирующий грунт;

2) местный грунт;

3) жирной пунктирной линией показан геотекстиль;

Основные технические решения

Схема подтопляемой насыпи
высотой до 12 м, укрепленной
ГБП

Лист 4

Формат А3

*Схема подтопленной насыпи высотой до 6 м, укрепленной ГБП
с фиксацией самораскрывающимися анкерами*

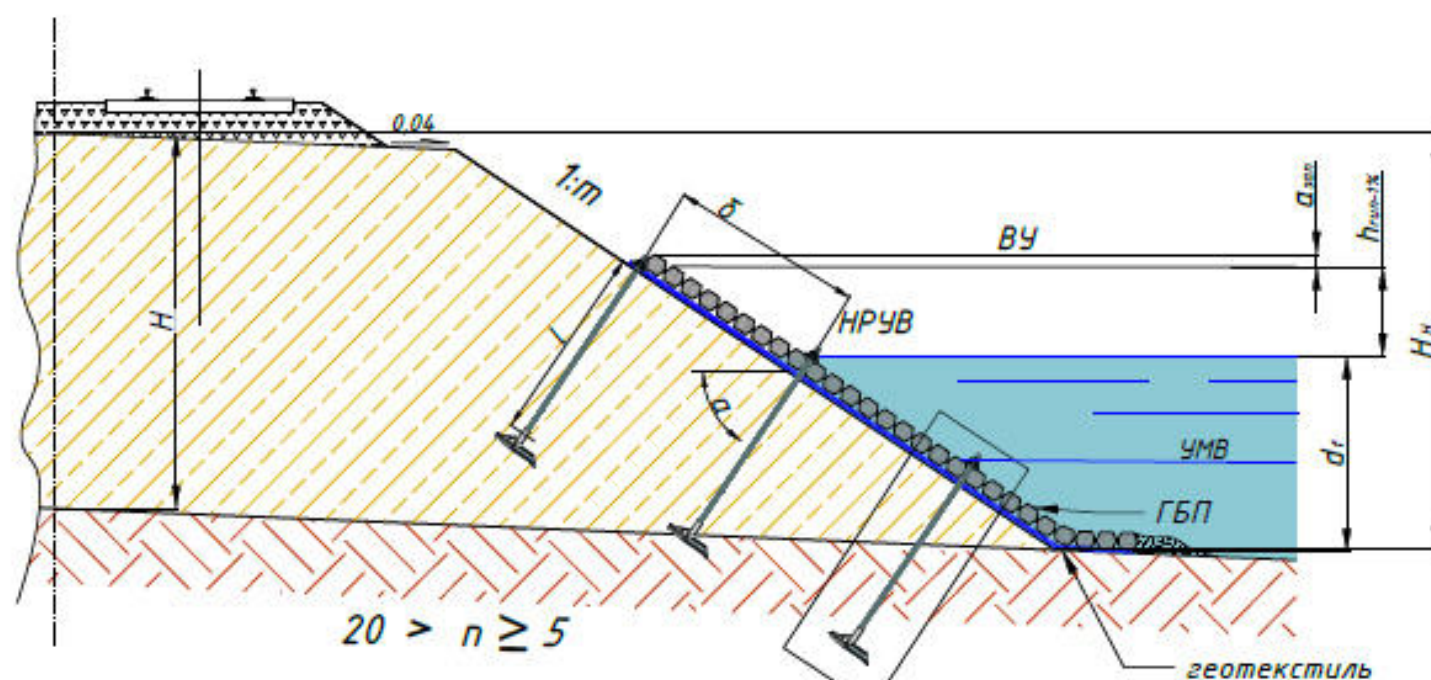
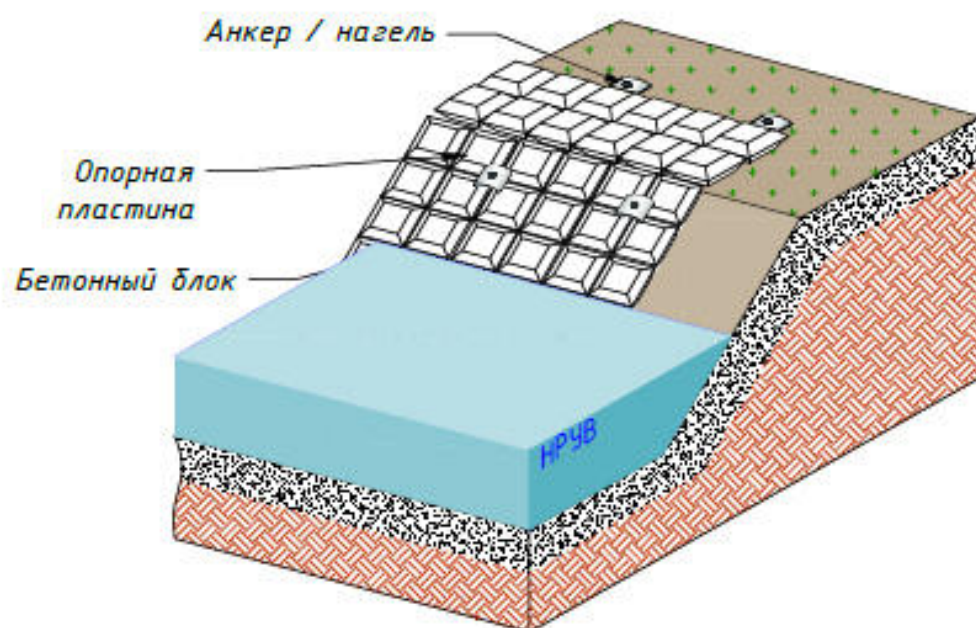
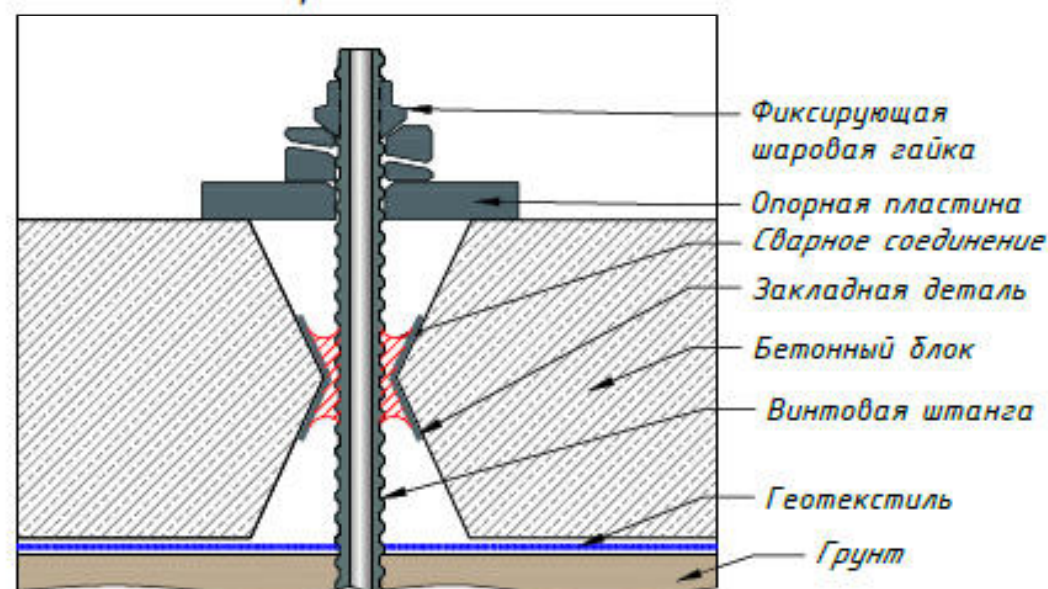


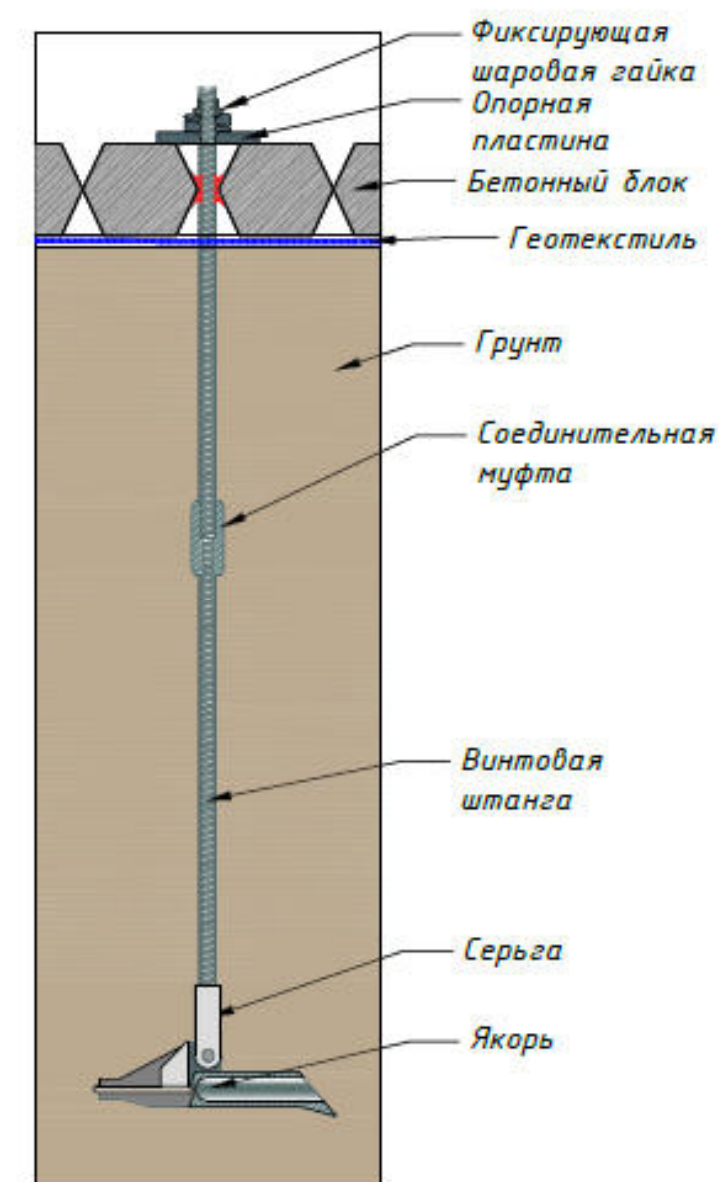
Схема установки анкеров/нагелей



Анкерный блок



*Самораскрывающийся
анкер (нагель)*



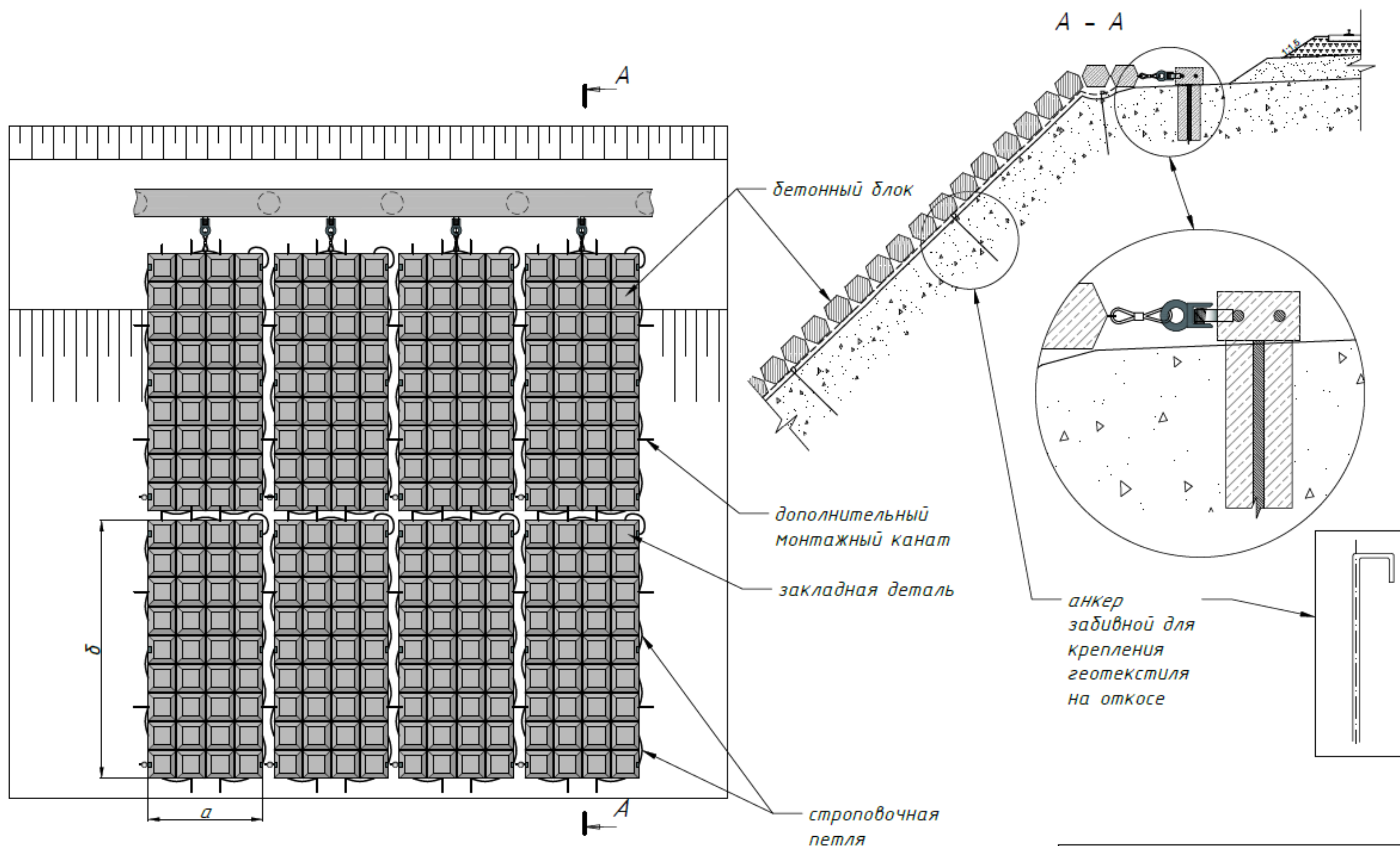
Примечания:

- 1) конструкция ГБП дана на листе 6 Альбома;
- 2) конструкция крепления ГБП на откосе дана на листе 6 Альбома;
- 3) жирной пунктирной линией показан геотекстиль;

НРУВ – наивысший расчетный уровень воды *i*%-ной обеспеченности
(или уровень обычного полноводья для подтопленных откосов), м;
H – высота насыпи;
H_н – высота насыпи со стороны низового откоса;
t – заложение откоса;
δ – шаг расстановки анкеров;
l – длина анкера;
α – угол наклона анкера к горизонту.

Основные технические решения	
Схема подтопленной насыпи высотой до 6 м, укрепленной ГБП с фиксацией анкерами	Лист 5

План-схема устройства гибкой бетонной плиты на откосе.
 Схема устройства верхнего якоря бетонированием траншеи



Примечания:

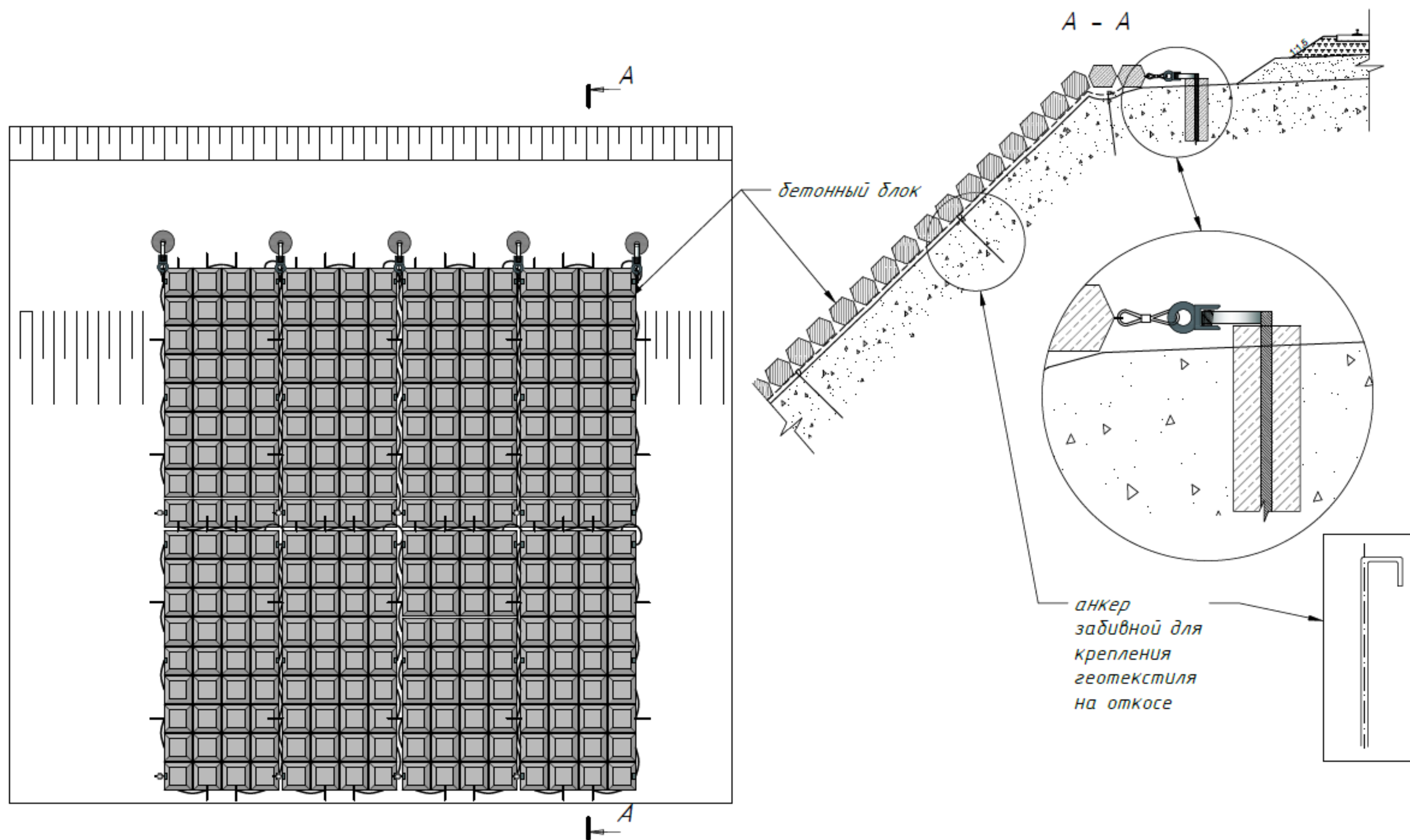
а - габаритный размер ГБП в продольном направлении;
 б - габаритный размер ГБП в поперечном направлении.

Основные технические решения

План-схема устройства ГБП на откосе

Лист 6

*План-схема устройства гибкой бетонной плиты на откосе.
 Схема устройства верхнего якоря бетонированием шурфа*



Основные технические решения

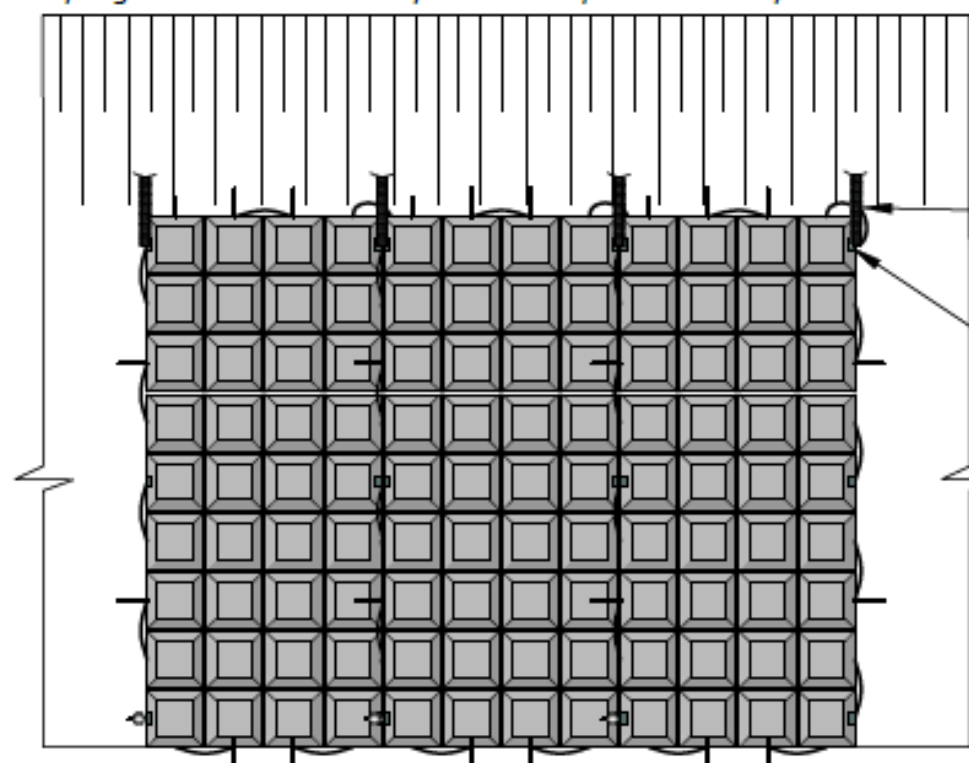
План-схема устройства ГБП на
откосе

Лист 7

Формат А3

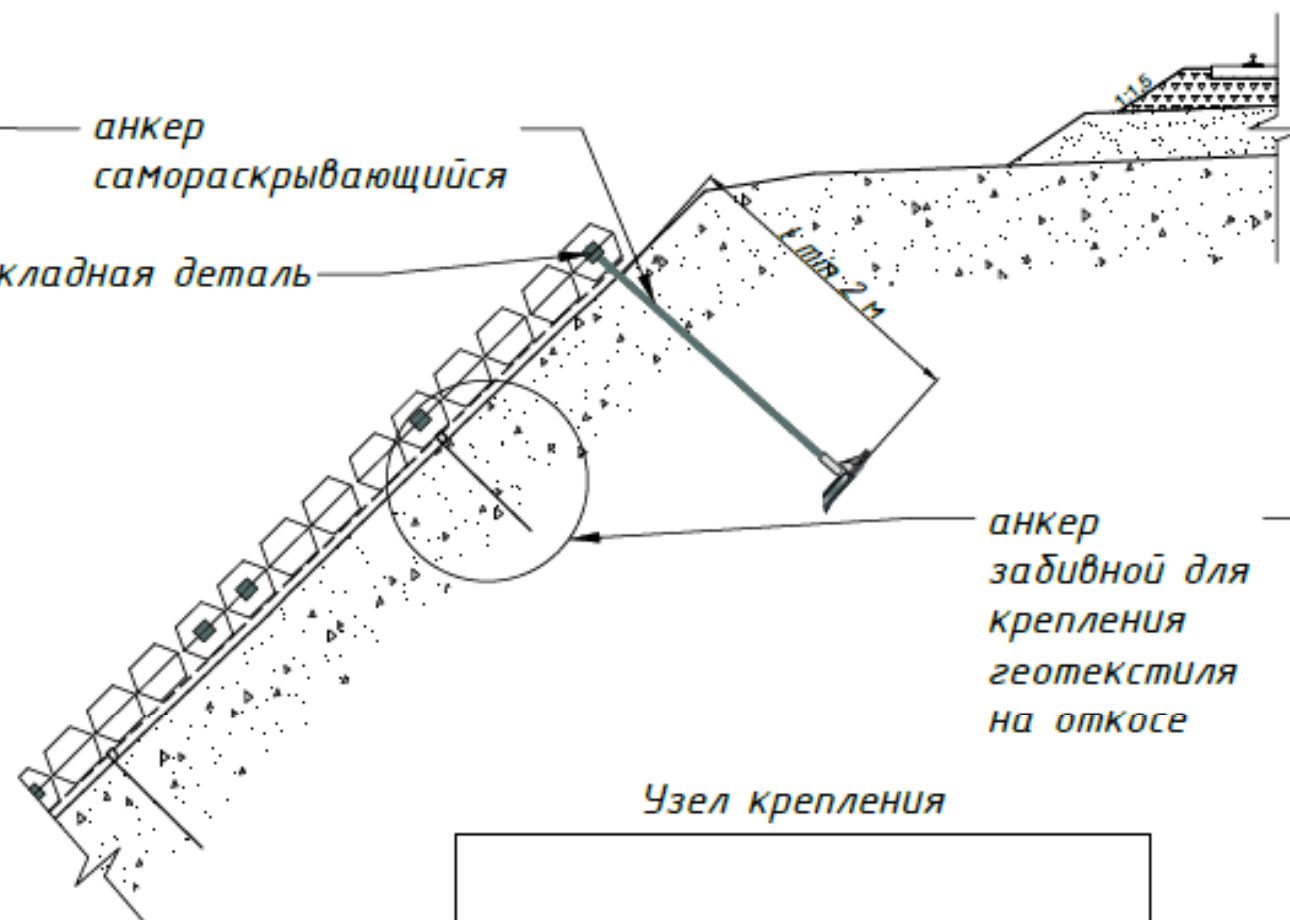
Схемы устройства верхнего якоря для крепления гибкой бетонной плиты на откосе с применением самораскрывающихся анкеров

при укладке ГБ-плит короткой стороной вдоль бровки откоса



анкер самораскрывающийся

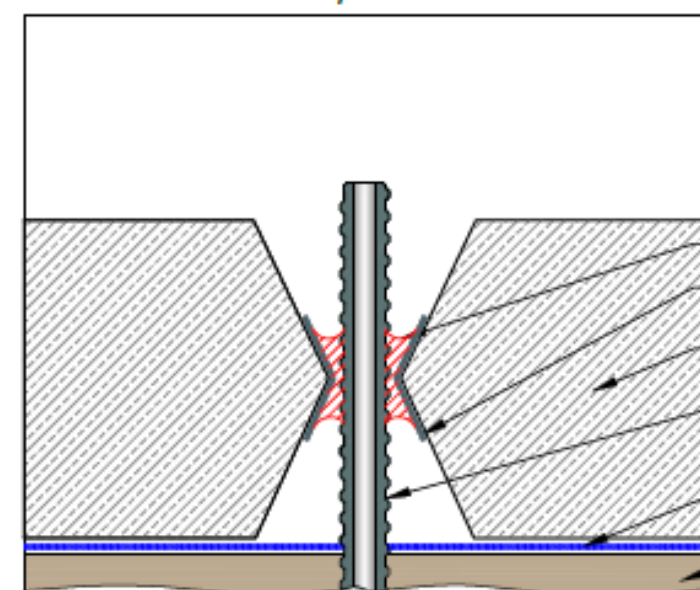
закладная деталь



анкер забивной для крепления геотекстиля на откосе



Узел крепления



Сварное соединение

Закладная деталь

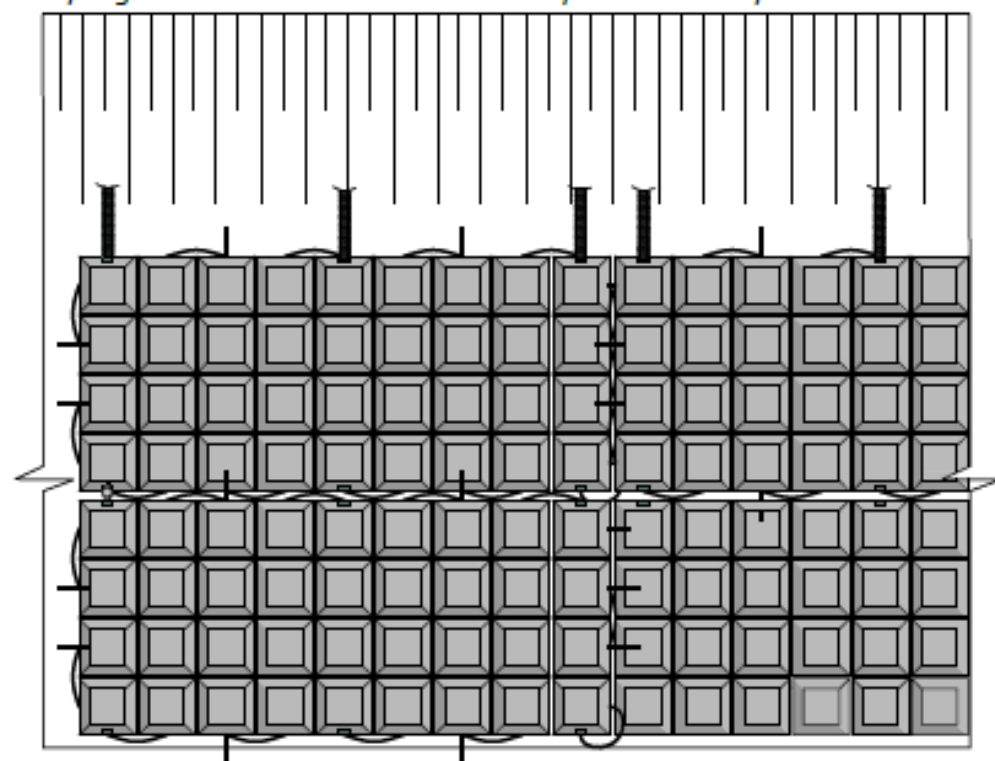
Бетонный блок

Винтовая штанга

Геотекстиль

Грунт

при укладке ГБ-плит длинной стороной вдоль бровки откоса



Основные технические решения

План-схема устройства ГБП на откосе

Лист 8

Формат А3

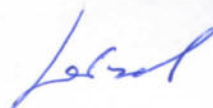
СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,
заведующий кафедрой
«Путь и путевое хозяйство»,
докт. техн. наук



Е.С. Ашпиз

Доцент кафедры
«Путь и путевое хозяйство»



А.А. Зайцев