

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**

**«СВ-Сервис»**

**Рекомендации по строительству  
автомобильных дорог, площадок, насыпей с  
применением геоболочки ГеоФРАМ.**

**Москва 2011**

## Содержание

Общие положения		3
1.	Цель и область применения	4
1.1.	Нормативные ссылки	5
1.2.	Термины, определения и обозначения	7
2.	Характеристики конструкции геоболочки ГеоФРАМ	10
2.1.	Описание конструкции	10
2.2.	Технические характеристики материалов и конструкции геоболочки ГеоФРАМ	11
3.	Принципы работы геоболочки ГеоФРАМ в дорожном строительстве.	15
3.1.	Определение жесткости геоболочки усиленной мягким днищем	15
3.2.	Усиление автодорог геоболочками ГеоФРАМ	19
3.3.	Долговечность геоболочек в конструкциях автодорог	22
3.4.	Расчет насыпи вдольтрассового проезда, усиленного геоболочками ГеоФРАМ	26
3.5.	Расчет конструкции нежесткой дорожной одежды по упругому прогибу.	34
4.	Конструкции насыпей на слабых грунтовых основаниях	36
5.	Конструкции насыпей на слабых основаниях в условиях вечной мерзлоты	39
6.	Конструкции насыпи в песках	42
7.	Конструкции дорожных одежд	43
8.	Двухэтапное сооружение автомобильной дороги с применением геоболочек ГеоФРАМ	44
9.	Армогрунтовые подпорные стенки из геоболочек ГеоФРАМ	45
10.	Типовые конструкции вертолетных площадок	46
11.	Технология строительства	47
11.1.	Особенности технологии производства работ с использованием многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ»	48
11.2.	Особенности технологии производства работ по укреплению откосов с помощью многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ».	51
12.	Дренажные конструкции	52
	Приложение 1. Расчет насыпного основания под буровую установку на болоте с применением геоболочек ГеоФРАМ	54

## Общие положения

Настоящие Рекомендации разработаны для нормирования применения геосинтетической конструкции «Геооболочка ГеоФРАМ» (далее - геооболочка), предназначенной для армирования и повышения несущей способности элементов земляного полотна и дорожной одежды автомобильных дорог, повышения степени устойчивости, снижения неравномерности осадки насыпи основания площадочных объектов, противоэрозионных сооружений, при укреплении откосов, обочин и склонов.

«Рекомендации» содержат основные характеристики конструкции геооболочки, некоторые теоретические основы расчета их несущей способности под воздействием внешней нагрузки, наиболее эффективные пути применения геооболочки, а также пояснения по технологии производства работ.

Настоящий документ носит рекомендательный характер для проектирования, строительства, ремонта и содержания объектов (автомобильные дороги, мосты и путепроводы) для дорожной сети Российской Федерации общего пользования.

Настоящие рекомендации предназначены для проектирования, строительства и ремонта автодорог, площадок, вдольтрассовых и технологических проездов, обеспечивающих круглогодичный и временный проезд автомобильного транспорта и специальной строительной техники, осуществляющей строительство, содержание и ремонт объектов магистральных трубопроводов в сложных инженерно-геологических условиях.

Настоящие рекомендации распространяются на строительство новых и реконструкцию существующих автодорог, площадок промышленных объектов, дорожных вдольтрассовых и технологических проездов, в том числе временных автодорог и зимников.

Рекомендации предусматривают возможность применения как традиционных вариантов дорожных конструкций – вдольтрассовых и технологических проездов, так и новых конструкций, позволяющих сократить объемы земляных работ, снизить трудоемкость работ и материалоемкость конструкции, увеличить темпы строительства, повысить надежность, долговечность и качество автодорог, технологических проездов и промышленных площадок.

Для выбора конкретного конструктивного решения должны применяться способы, материалы и конструкции допущенные к применению в соответствии с ГОСТ 15.001.

Выбор конструкций (вариантов) для площадок промышленных объектов, вдольтрассовых и технологических проездов производится проектной организацией, исходя из конкретных условий строительства, материалов инженерно-геологических и гидрологических изысканий района, расчетных нагрузок, долговечности конструкции и технико-экономического обоснования каждого конкретного конструктивного решения.

При возведении насыпи дороги (проезда, подъезда, площадки), в том числе с применением армирующих материалов и лежневых настилов, необходимо учитывать прогноз осадки основания насыпи (п.4 Пособия по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах к СНиП 2.05.02-85).

## 1. Цель и область применения

Основная цель применения **геоболочки «ГеоФРАМ»** – обеспечение надёжного и долговечного функционирования сооружений, строительство и эксплуатация которых осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях.

В частности, применение геоболочки позволяет:

- обеспечить возможность производства работ по строительству и капитальному ремонту объектов вне зависимости от времени года и климатических условий;
- обеспечить надежное функционирование земляного полотна транспортных и промышленных объектов, построенных на слабых грунтовых основаниях (в том числе на болотах I и II типов);
- повысить уровень промышленной безопасности опасных производственных объектов за счет повышения устойчивости и несущей способности основания земляного полотна дорог, вдольтрассовых и межпромысловых проездов, подъездов к объектам, площадочных объектов для обеспечения беспрепятственного оперативного проезда и работы строительной и специальной техники в любое время года и любых климатических условиях, в том числе при производстве аварийно-восстановительных работ при ликвидации инцидентов и аварий;
- геоболочка применяется в качестве элемента составной конструкции под основание площадных объектов МТ и объектов инфраструктуры МТ для повышения устойчивости и снижения неравномерности осадки насыпи на слабых основаниях;
- геоболочка может применяться в укреплении откосов насыпи земляного полотна, склонов оврагов, а также в подходных насыпях мостовых переходов, подпорных стен для повышения устойчивости, ограничения сдвиговых деформаций, удержания и сохранения массива грунта.
- геоболочка применяется в устройстве гидротехнических сооружений в качестве элемента составной противозэрозийной конструкции укрепления береговых линий, пляжных и прибрежных зон, намывных территорий;
- при строительстве дамб и дорог-дамб, применение геоболочки «ГеоФРАМ» обеспечивает прочную, сдвигоустойчивую конструкцию;
- геоболочка может использоваться для хранения и транспортировки различных сыпучих материалов (грунт, песок, щебень и др.).

Область применения **геоболочки** может быть расширена в зависимости от проектных решений и требований заказчика. Геоболочка «ГеоФРАМ» изготавливается по **ТУ 8329-003-68168870-2011**.

Объекты, где возможно применение геоболочки «ГеоФРАМ», приведены в таблице 1

Т а б л и ц а 1

Объект применения	Функции геоболочки «ГеоФРАМ»
Земляное полотно автомобильных дорог и дорог предприятий, площадочные объекты.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышение несущей способности грунтов;</li> <li>- распределение точечной нагрузки от колеса автомобиля;</li> <li>- удержание массива грунта или строительного материала;</li> <li>- ограничение сдвиговых деформаций;</li> <li>- разделение различных слоев грунта и строительного материала;</li> <li>- уменьшение высоты насыпи;</li> <li>- сокращение времени консолидации насыпи;</li> <li>- снижение неравномерности осадки насыпи (уменьшение величины осадки);</li> <li>- создание дренирующих прослоек.</li> </ul>
Дорожная одежда всех типов, за исключением сборного железобетона.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- уменьшение трещинообразования;</li> <li>- уменьшение колеяности.</li> </ul>
Мостовые переходы, насыпи.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- повышение степени устойчивости основания насыпи;</li> <li>- распределение вертикальной нагрузки в теле насыпи;</li> <li>- снижение неравномерности осадки насыпи (уменьшение величины осадки);</li> <li>- создание дренирующих прослоек.</li> </ul>

### 1.1. Нормативные ссылки

1	ГОСТ Р 52608-2006	Материалы геотекстильные. Методы определения водопроницаемости
2	ГОСТ 12.1.046-85	Система стандартов безопасности труда. Строительство. Нормы освещения строительных площадок
3	ГОСТ 12.2.044-80*	Система стандартов безопасности труда. Машины и оборудование для транспортирования нефти
4	ГОСТ 166-89	Штангенциркули. Технические условия
5	ГОСТ 3344-83	Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства
6	ГОСТ 8736-93	Песок для строительных работ. Технические условия
7	ГОСТ 8747-88	Изделия асбестоцементные листовые
7	ГОСТ 8267-93	Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия
8	ГОСТ 15901.1-80	Полотна текстильные нетканые. Методы определения линейных размеров и поверхностной плотности.
9	ГОСТ 15902.1-80	Полотна нетканые. Методы определения линейных размеров и поверхностной плотности.
10	ГОСТ 15902.3-79	Полотна нетканые. Методы определения прочности
11	ГОСТ 23735-79	Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия
12	ГОСТ 29104.1-91	Ткани технические. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей
13	ГОСТ 29104.2-91	Ткани технические. Метод определения толщины
14	ГОСТ 29104.4-91	Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве
15	ГОСТ 29104.14-91	Ткани технические. Метод определения термостойкости
16	ГОСТ 29104.16-91	Ткани технические. Метод определения водопроницаемости

17	СНиП 2.05.02-85*	Автомобильные дороги
18	СНиП 3.06.03-85	Автомобильные дороги
19	СНиП 2.05.07-91*	Промышленный транспорт
20	СНиП 3.01.03-84	Геодезические работы в строительстве
21	СНиП 12-03-2001	Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования
22	СНиП 12-04-2002	Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство
23	СНиП 23-05-95	Естественное и искусственное освещение
24	СНиП 32-03-96	Аэродромы
25	ВСН 84-89	Изыскание, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты
26	ВСН 013-88	Строительство магистральных и промысловых трубопроводов в условиях вечной мерзлоты
27	ВСН 26-90	Инструкция по проектированию и строительству автомобильных дорог нефтяных и газовых промыслов Западной Сибири
28	ВСН 37-84	Инструкция по организации движения и ограждению мест производства работ
29	ВСН 137-89	Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и Северо-востока СССР
30	РД 153-34.0-03.150-00	Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок
31	ПБ 08-624-03	Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности
32	ПБ 10-382-00	Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.
33	ПБ 10-157-97	Правила устройства и безопасной эксплуатации кранов-трубоукладчиков
34	ПОТ РМ-027-2003	Межотраслевые правила по охране труда на автомобильном транспорте
35	ПОТ РМ-007-98	Межотраслевые правила по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов
36	Методические рекомендации по технологии сооружения земляного полотна из глинистых грунтов повышенной влажности в нечерноземной зоне РСФСР. Министерство транспорта строительства СССР. СОЮЗДОРНИИ. Москва 1989.	
37	Методические рекомендации по проектированию и строительству автомобильных дорог на промороженных основаниях и заболоченных районах Западной Сибири.	
38	Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах №ОС-1067-р от 03.12.2003, Министерство транспорта РФ, Москва 2004	
39	Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах (к СНиП 2.05.02-85) ОАО СОЮЗДОРНИИ 1989	

**Примечание** – при использовании «Методических рекомендаций...» целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты»

## 1.2. Термины, определения и обозначения

В настоящем документе используются следующие термины и определения:

**Постоянная дорога** – дорога, обустроенная или приспособленная, для движения транспортных средств полоса земли либо поверхность искусственного сооружения сроком службы более 5 лет.

**Примечание** – Дорога включает в себя одну или несколько проезжих частей, а также трамвайные пути, тротуары, обочины и разделительные полосы при их наличии.

**Временная дорога** – дорога, предназначенная для бесперебойного подвоза к сооружаемому объекту материалов, машин, оборудования и прохождения строительной техники в течение всего периода строительства, в любое время года и при любой погоде. Временные дороги рассчитывают на срок службы до 5 лет.

Временными дорогами являются:

**вдольтрассовые** – предназначены для организации перевозок строительных грузов вдоль трассы сооружаемого линейного объекта (автомобильной или железной дороги, трубопровода), для перебазировки строительных подразделений, транспортировки грузов, перевозки рабочих, связи между объектами (например, между промыслами или строительными площадками внутри промыслов) и оперативного контроля за ходом работ. Вдольтрассовая дорога располагается в непосредственной близости от трассы сооружаемого объекта на всем его протяжении, имеет необходимое количество съездов;

**подъездные** – предназначены для связи пунктов поступления строительной техники и материалов с местами базирования механизированных колонн и строительно-монтажных участков, полевых жилых городков, а также строительных подразделений с местами производства работ.

К подъездным относятся также дороги к карьерам строительных материалов, предприятиям стройиндустрии.

**технологические** – предназначены для прохождения строительной техники механизированных колонн. Съезды от вдольтрассовой дороги также относятся к технологическим дорогам.

**Автомобильная дорога предприятия** - ведомственная автомобильная дорога, предназначенная для перевозок грузов и обслуживания предприятия и находящаяся на его балансе.

**Дорожная одежда** - многослойная инженерная конструкция (в отдельных случаях однослойная) воспринимающая нагрузку от транспортного средства и передающая ее на грунтовое основание или подстилающий грунт. Дорожные одежды классифицируют по типам исходя из их капитальности. Дорожная одежда состоит из покрытия, основания и дополнительных слоев основания.

**Покрытие** - верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких единообразных по материалу слоев, воспринимающая усилия от колес автотранспортных средств и подвергающаяся непосредственному воздействию атмосферных факторов. Покрытие должно обеспечивать необходимые эксплуатационные качества проезжей части. В покрытие входят также слой износа и слои с шероховатой поверхностью.

**Основание** - Часть дорожной одежды, обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение и снижение давления на расположенные ниже дополнительные слои или грунт земляного полотна.

**Конструктивные прослойки** – специальные тонкие конструктивные слои, устраиваемые в различных частях дорожной конструкции из различных материалов и промышленных изделий (геотекстильный материал, пенополистирол, полимерная пленка и т.п.).

Конструктивные прослойки могут выполнять функции армирования, дренирования, гидроизоляции, разделения, теплоизоляции и др.

**Земляное полотно** - сооружение, предназначенное для размещения конструктивных слоев дорожной одежды и других элементов дороги. Возводится из местных или привозных грунтов с обеспечением устойчивости самого земляного полотна, его обочин, откосов и естественных подстилающих грунтов. К земляному полотну относят связанные с ним водоотводные сооружения: кюветы, канавы, резервы, дренажные устройства и др.

Примечание - Земляное полотно включает следующие основные элементы:

- а) верхнюю часть земляного полотна (рабочий слой);
- б) тело насыпи (с откосными частями);
- в) основание насыпи;
- г) основание выемки;
- д) откосные части выемки;
- е) устройство для поверхностного водоотвода;
- ж) устройства для понижения или отвода грунтовых вод (дренаж);
- з) поддерживающие и защитные геотехнические устройства, конструкции и материалы, предназначенные для защиты земляного полотна от опасных геологических процессов (эрозии, абразии, селей, лавин, оползней и т.п.).

**Рабочий слой** - Верхняя часть земляного полотна (рабочий слой) - часть полотна, располагающаяся в пределах земляного полотна от низа дорожной одежды на  $2/3$  глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия проезжей части.

**Основание насыпи** - массив грунта в условиях естественного залегания, располагающийся ниже насыпного слоя, а при низких насыпях - и ниже границы рабочего слоя.

**Основание выемки** - массив грунта ниже границы рабочего слоя.

**Слабые грунты** – относительное понятие, применяемое при характеристике несущей способности естественных природных отложений связных грунтов, залегающих в основаниях дорожных насыпей, и зависящее от высоты насыпи, а также прочности на сдвиг грунтов основания или модуля деформации. При высоте насыпи 12м к слабым относят грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль деформации ниже 5,0 МПа при нагрузке 0,25 МПа.

При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить: торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5, иольдиевые глины, грунты мокрых солончаков.

**Болото** - Участок земной поверхности, постоянно или большую часть года насыщенный водой и имеющий специфическую экосистему, характеризующуюся накоплением в верхних горизонтах субстрата мёртвых неразложившихся растительных остатков, со временем превращающихся в торф.

**Болото I типа** - Болото, заполненное болотными грунтами, прочность которых в природном состоянии обеспечивает возможность возведения насыпи высотой до 3 м без возникновения процесса бокового выдавливания слабого грунта [1].

**Болото II типа** - Болото, содержащее в пределах болотной толщи хотя бы один слой, который может выдавливаться при некоторой интенсивности возведения насыпи высотой до 3 м, но не выдавливается при меньшей интенсивности возведения насыпи [1].

**Болото III типа** - Болото, содержащее в пределах болотной толщи хотя бы один слой, который при возведении насыпи высотой до 3 м выдавливается независимо от интенсивности возведения насыпи (прочность при вращательном срезе менее 0,014МПа) [1].

**Вечномерзлые грунты (ВМГ)** – грунты длительное время (века) существующие в мерзлом состоянии.



**Вечная мерзлота** – термин, соответствующий понятиям: вечномерзлые горные породы, многолетняя криолитозона, криолитозона.

**Деятельный слой** – расположенный у поверхности земли ежегодно оттаивающий слой (сезонно талый слой) при наличии ВМГ.

**Верхний горизонт вечной мерзлоты (ВГВМ)** – поверхность грунтового массива, длительное время (века) существующего в мерзлом состоянии.

Горизонт грунтовых вод

**Дренирующие грунты** – грунты имеющие при максимальной плотности при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733-77 коэффициент фильтрации не менее 0,5 м/сут.

**Прослойка армирующая** – прослойка в земляном полотне или конструктивном слое из дискретного материала в покрытии, способная воспринимать растягивающие напряжения.

**Геосинтетические материалы** - класс искусственных строительных материалов и конструкций, как правило, синтетических, а также из другого сырья, предназначенных для создания дополнительных слоев (прослоек) различного назначения (армирующих, дренирующих, защитных, фильтрующих, гидроизолирующих, теплоизолирующих) в строительстве.

Примечание - Геосинтетические материалы (конструкции из них) выполняют избирательно или в комплексе следующие функции:

- армирование - усиление дорожных конструкций насыпей (в том числе откосов);
- защита - предотвращение или замедление процесса эрозии грунтов;
- разделение - предотвращение взаимопроникания материалов смежных слоев;
- фильтрование - предотвращение (замедление) процесса проникания грунтовых частиц в дренажи (фильтр) или их выноса (обратный фильтр);
- дренирование - ускорение отвода воды;
- гидроизоляция - уменьшение или исключение притока воды в грунты рабочего слоя земляного полотна.

**Геооболочка ГеоФРАМ** - геооболочка заполняемая песком, щебнем, гравием, ПГС, а также комбинациями сыпучих строительных материалов и использующихся в производстве работ по строительству следующих объектов: проезды, подъезды, площадки, насыпи, подпорные стены, дамбы, дороги-дамбы, обочины, запруды, противозерозионные сооружения, береговые укрепления, укрепления склонов и откосов

**Армирующий материал** – материал, применяемый в дорожном строительстве для усиления дорожной одежды, уменьшения величины деформации армируемой конструкции дороги (проезда, площадки), уменьшения толщины насыпи и покрытия, повышения устойчивости к воздействию динамических нагрузок.

**Армогрунтовая подпорная стенка** – подпорный несущий противозерозионный элемент насыпи, состоящий из геооболочек «ГеоФРАМ» закладываемых в основание с целью предотвращения растекания и провала грунта из тела и откосов насыпи большой высоты.

**Нахлест** – укладка полотен с перекрытием друг друга.

**Консолидация** – замедленное уплотнение водонасыщенного грунтового слоя во времени, происходящее за счет выжимания воды или сближения грунтовых частиц.

**Связный грунт** – грунт с большим сопротивлением сдвигу и со значительной связью между частицами (число пластичности  $I_p \geq 1$ ).

**Дренирующий грунт** – грунт имеющий при максимальной плотности коэффициент фильтрации не менее 0,5 м/сут.

## 2. Характеристики конструкции геоболочки «ГеоФРАМ»

### 2.1 Описание конструкции.

Геоболочка «ГеоФРАМ» по международной классификации относится к геосинтетическим материалам (GSY), классу водопроницаемых, группе геотекстиля (GTX), виду - геоячейки (GCE); по классификации ОДМ 218.5.005 [2] относится к типу геотекстиль (ГТ), классу геотекстиль тканый (ГТ-ТК), виду геоболочки тканые (ГОб-ГТ-ТК).

Структура условного обозначения геоболочки включает:

- наименование - буквенный шифр (слово «ГеоФРАМ»);
- длина конструкции, в м;
- ширина конструкции, в м;
- высота, в м;
- количество секций в длину, шт
- количество секций в ширину, шт
- обозначение настоящего стандарта организации.

Если ГеоФРАМ оснащён клапаном, то в конце обозначения добавляется буква К.

Если ГеоФРАМ оснащён пологом, то в конце обозначения добавляется буква П.

Пример условного обозначения геоболочки ГеоФРАМ

***ГеоФРАМ 3,0x3,0x0,30(10x10) ТУ-8329-003-68168870-2011***

длина – 3,0м, ширина – 3,0м, высота – 0,30м, (10x10) – количество ячеек в длину и ширину.

ГеоФРАМ изготавливают из технических тканей, которые производятся из синтетического волокна. Полотна сшиваются, согласно технологическому регламенту, формируя собой ёмкость (ёмкости) с заданными размерами рисунок 1

ГеоФРАМ изготавливается открытого и закрытого типа. ГеоФРАМ закрытого типа имеет клапан и стягивающуюся горловину или матерчатый полог (Рис. 2).

Для предотвращения вымывания грунта из полости Геоболочка ГеоФРАМ разделяется на несколько секций перемычками из ткани, пришитыми к дну и боковым стенкам, в связи с чем, геоболочка ГеоФРАМ приобретает вид многосекционной конструкции (Рис. 1б).

Геоболочка ГеоФРАМ применяется в комплексе с контейнером из металлической сетки. Геоболочку ГеоФРАМ монтируют внутри сетчатого коробчатого контейнера (Рис. 1в).

Геоболочка «ГеоФРАМ» представляет собой геотекстильную пространственную конструкцию в виде простой прямоугольной ёмкости, либо прямоугольной ёмкости разделённой перемычками из ткани. Перемычки пришиты к дну и боковым стенкам. Таким образом, ГеоФРАМ приобретает ячеистую (многосекционную) конструкцию, что позволяет увеличить несущую способность.

Геоболочку «ГеоФРАМ» изготавливают из технических тканей, которые производятся из синтетического волокна. Полотна сшиваются согласно технологическому регламенту, формируя собой прямоугольную ёмкость с заданными размерами (рис. 1).



Рисунок 1. Геооболочка ГеоФРАМ открытого типа: а – односекционная, б – многосекционная, в – в сетчатом коробчатом контейнере

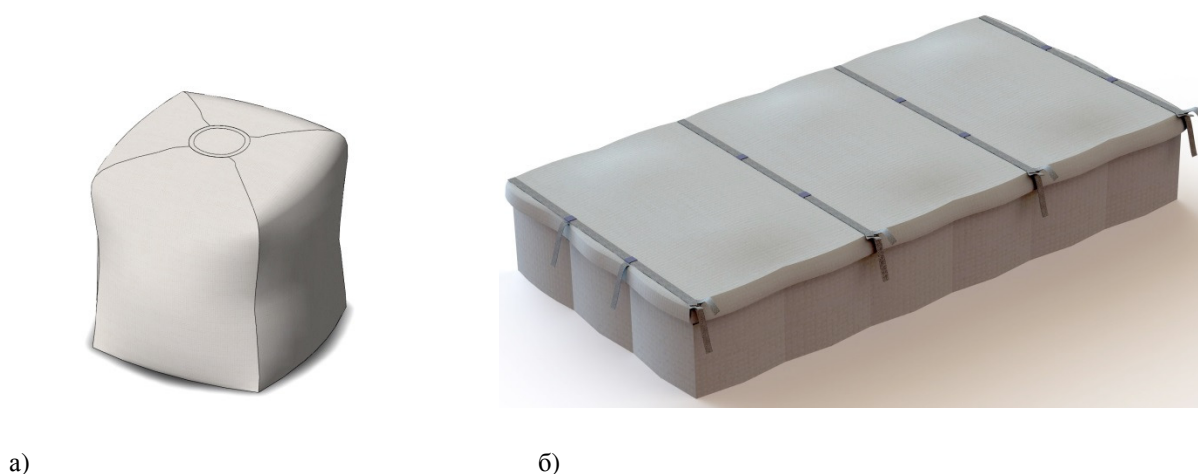


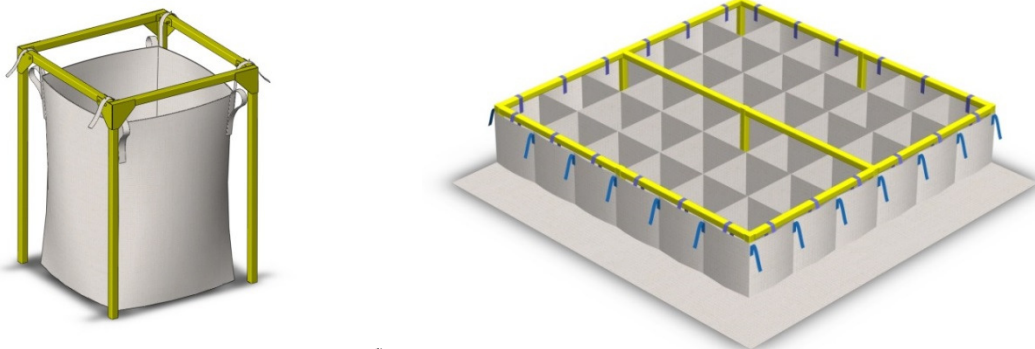
Рисунок 2. Геооболочка ГеоФРАМ закрытого типа: а – односекционная, б – многосекционная

## 2.2. Технические характеристики материалов и конструкций геооболочки «ГеоФРАМ»

Геооболочки ГеоФРАМ представляют собой геотекстильную пространственную конструкцию в виде прямоугольной ёмкости. ГеоФРАМ изготавливают из технических тканей, которые производятся из синтетического волокна. Полотна сшиваются, согласно технологическому регламенту, формируя собой ёмкость (ёмкости) с заданными размерами. Для увеличения жесткости и несущей способности, геооболочка ГеоФРАМ разделяется на несколько секций перемычками из ткани, пришитыми к дну и боковым стенкам, в связи с чем, геооболочка ГеоФРАМ приобретает вид многосекционной конструкции рис. 1б.

Элементы ГеоФРАМ скрепляются между собой сшивными соединениями.

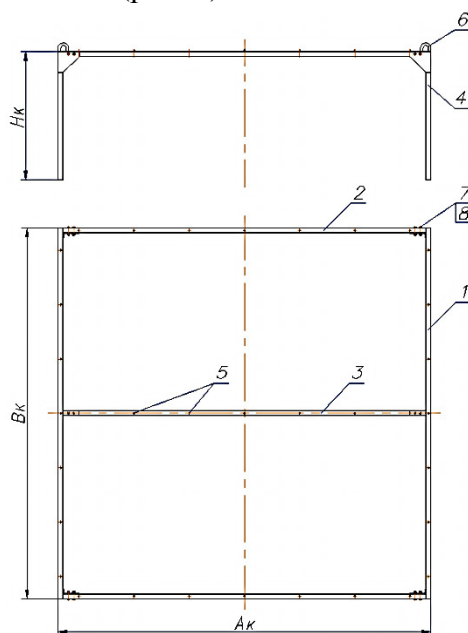
При заполнении геооболочки ГеоФРАМ сыпучим строительным материалом, применяется технологический каркас многоразового использования рисунок 3.



а) б)

Рисунок 3. Монтаж ГеоФРАМ на технологическом каркасе: а – односекционный, б – многосекционный.

Технологический каркас представляет собой сборно-разборную металлическую конструкцию, изготовленную из профильных труб оснащенных заостренными штырями, предназначенными для закрепления геоболочки ГеоФРАМ на каркасе с помощью монтажных лент. При демонтаже каркаса из заполненной геоболочки ГеоФРАМ – ленты сбрасываются, каркас демонтируется вручную или с помощью техники. Технологический каркас изготавливается из трубы квадратной ГОСТ 8639, ГОСТ 13663. На каждом ребре каркаса расположена цепь для сброса монтажных лент геоболочки ГеоФРАМ со штырей каркаса. Размеры технологического каркаса  $A_k$  и  $B_k$  равны размерам модуля геоболочки ГеоФРАМ  $A$  и  $B$  (рис. 4).



Обозначение: 1 – ребро наружное; 2 – ребро наружное боковое; 3 – ребро внутреннее; 4 – опора; 5 – штыри; 6 – ухо подъёмное; 7, 8 – болт, гайка,  $A_k$  – ширина каркаса;  $B_k$  – длина каркаса;  $H_k$  – высота каркаса.

Рисунок 4. Технологический каркас для растяжки при заполнении ГеоФРАМ.

Геоболочки ГеоФРАМ односекционного типа изготавливается объемом от  $0,125 \text{ м}^3$  до  $1,2 \text{ м}^3$ . Конструкция и размеры ГеоФРАМ в рабочем состоянии должны соответствовать, указанным ниже:

Таблица 1. Размерный ряд односекционных ГеоФРАМ.

Габаритные размеры (д.,ш.,в.), м	Объём, м <sup>3</sup>	Габаритные размеры (д.,ш.,в.), м	Объём, м <sup>3</sup>
0,5x0,5x0,5	0,125	1,0x1,0x1,0	1,0
0,8x0,8x0,8	0,5	1,0x1,0x1,2	1,2

Многосекционная геоболочка ГеоФРАМ открытого типа изготавливаются объёмом от 0,243 м<sup>3</sup> до 13,5 м<sup>3</sup>.

Таблица 2. Размерный ряд многосекционных ГеоФРАМ.

*Габаритные размеры (д.,ш.,в.), м количество секций	Объём грунта в секциях, м <sup>3</sup>	*Габаритные размеры (д.,ш.,в.), м количество секций	Объём грунта в секциях, м <sup>3</sup>
0,9x0,9x0,3(3x3)	0,24	2,25x2,25x0,75(3x3)	3,80
1,5x1,5x0,3(5x5)	0,68	3,0x3,0x0,75(4x4)	6,75
3,0x3,0x0,3(10x10)	2,70	3,0x1,5x0,75(4x2)	3,38
1,0x0,5x0,5(2x1)	0,25	1,0x2,0x0,75(1x2)	1,50
1,0x1,0x0,5(2x2)	0,50	2,0x2,0x0,75(2x2)	3,00
2,0x2,0x0,5(4x4)	2,00	3,0x3,0x0,75(3x3)	6,75
2,5x2,5x0,5(5x5)	3,13	1,0x2,0x1,0(1x2)	2,00
3,0x3,0x0,5(6x6)	4,50	2,0x2,0x1,0(2x2)	4,00
3,5x3,5x0,5(7x7)	6,13	3,0x3,0x1,0(3x3)	9,00
3,0x1,5x0,5(6x3)	2,25	3,0x1,5x1,5(2x1)	6,75
1,5x0,75x0,75(2x1)	0,84	3,0x3,0x1,5(2x2)	13,50
1,5x1,5x0,75(2x2)	1,68		

\*При необходимости, для конкретного объекта строительства, и обеспечения расчетных и проектных нагрузок, а также по желанию заказчика геометрические и габаритные размеры геоболочки «ГеоФРАМ» могут быть изменены.

Прочность сшивного соединения полос (шва геоболочки на отрыв) составляет не менее 280кг/5см.

Геоболочки изготавливаются из материалов химически стойких в растворах с pH от 2,5 до 11. Снижение прочности в среде при pH>9 не более 10 %. Показатель стойкости к действию агрессивных сред (сохранение прочности) – не ниже 90 %.

Геоболочки обладают биостойкостью (грибостойкостью) к воздействию плесневых грибов и не превышает ПГ<sub>003</sub>. Показатель грибостойкости ПГ003 по ОДМ 218.5.006-2010.

Геооболочки устойчивы к ультрафиолетовому излучению. Остаточная прочность при растяжении 100 %.

Геооболочки обладают достаточной морозостойкостью. Остаточная прочность при растяжении после 50 циклов замораживания при температуре минус 60 °С и оттаивания при температуре плюс 23±2 °С составляет 100 %.

Срок службы геооболочки ГеоФРАМ не менее 50 лет.

Геооболочки ГеоФРАМ выпускаются в сложенном виде (с целью облегчения транспортировки и складирования). Геооболочка «ГеоФРАМ» изготавливается и поставляется в штуках и квадратных метрах.

Геооболочка «ГеоФРАМ» изготавливается любых геометрических размеров (высота, длина, ширина), которые принимаются в зависимости от области применения, объекта применения, расчетных проектных нагрузок, дополнительных требований заказчика.

Все материалы используемые для изготовления геооболочки ГеоФРАМ имеют сертификаты соответствия, гигиенические сертификаты, паспорта. Характеристики технических тканей и лент, используемых при производстве геооболочки ГеоФРАМ представлены в Таблице 3.

Таблица 3

<b>Ткань техническая ТСТ - 08</b>				
<b>Наименование показателя, ед. изм.</b>		<b>Величина, не менее</b>		
Состав сырья		Полиэфир, полиамид, полипропилен		
Ширина ткани, см		Не регламентируется		
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup> , не менее		250		
Разрывная нагрузка полосы 50×200мм, кгс, не менее				
- в продольном направлении (основа)		300		
- в поперечном направлении (уток)		300		
Относительное удлинение полосы 50×200мм, %, не более				
- в продольном направлении (основа)		15-28		
- в поперечном направлении (уток)		15-25		
Прочность при растяжении соединения на отрыв, кгс/5см,		280		
Устойчивость к ультрафиолетовому излучению, %		90		
Устойчивость к воздействию кислоты, %		97		
Устойчивость к воздействию щелочи, %		96		
Устойчивость к микроорганизмам, %		90		
Морозостойкость, %		90		
Устойчивость к механическим воздействиям, %		86		
Коэффициент водопроницаемости ткани л/сут		350		
<b>Лента техническая</b>				
<b>Наименование показателя, ед. изм.</b>	<b>Величина, не менее</b>			
	<b>Лента 0,3т</b>	<b>Лента 1т</b>	<b>Лента 2т</b>	<b>Лента 3т</b>
Состав сырья	Не регламентируется			
Ширина ленты, мм	12	25	50	50
Разрывная нагрузка, кгс	300	1000	2000	3000
<b>Нитки швейные</b>				
<b>Наименование показателя, ед. изм.</b>		<b>Величина, не менее</b>		
Состав сырья		Полиэфир		
Удлинение при разрыве, %, не менее		13		
Линейная плотность, ТЕКС, не менее		220		
Разрывная нагрузка, кгс, не менее		8		

### 3. Принципы работы геоболочки ГеоФРАМ в дорожном строительстве.

#### 3.1. Определение жесткости геоболочки, усиленной мягким днищем.

В работе определяется жесткость двухслойной конструкции (геоболочки) дорожного полотна состоящего из:

- Днища,
- Среднего слоя в виде геоболочки ГеоФРАМ, заполненного песчаным грунтом.

Днище и стенки геоболочки надежно соединены между собой по всей площади.

Для заполнения секций геоболочки ГеоФРАМ предлагается использовать распространенные в природе мягкие или средней крупности пески естественной влажности ( $\omega = 20\%$ ), плотностью  $\gamma = 1,6 \text{ т/м}^3$ , имеющих модуль деформаций  $E = 300 \text{ кгс/см}^2$  и коэффициент поперечной деформации (Пуассона)  $\mu = 0,28$ .

В расчете рассматривается работа геоболочки толщиной 30см с секциями квадратного сечения размером 30 x 30см.

Ширина расчетной полосы геоболочки равна 100см, что является общепринятым в расчетах пластин и оболочек.



Рис. 1 Общий вид исследуемой конструкции геоболочки

Для наглядности будем сравнивать жесткость грунтовой прослойки толщиной 30см и жесткость геоболочки ГеоФРАМ той же толщины.

а) Жесткость на изгиб грунтовой прослойки  $(EJ)_{гр}$  может быть определена по формуле:

$$(EJ)_{гр} = E_{гр} \frac{bh^3}{12};$$

где

$$E_{гр} = 300 \text{ кгс/см}^2, b = 100 \text{ см.}, h = 30 \text{ см.}$$

тогда:

(1)

$$(EJ)_{зр} = 300 \frac{100 \cdot 30^3}{12} = 67500000 \text{ кгс}\cdot\text{см}^2$$

б) Определение жесткости геоболочки, заполненной грунтом – является весьма сложной и несколько неопределенной задачей, т.к. это связано с совместной работой гибких элементов геоболочки и сыпучего заполнителя, физические характеристики которых могут колебаться в значительных пределах.

Жесткость геоболочки при изгибе может быть определена как жесткость составного пакета из двух слоев по формуле (1):

$$D = D_{дн} + D_{геоб} + B_{дн} \left(\frac{h}{2}\right)^2, \text{ где} \quad (2)$$

В данной формуле жесткость обозначена буквой  $D$  – это значит, что она определяется на единицу ширины, т.е. на 1см. В принятой задаче она должна пересчитываться на полосу шириной 100см.

В формуле (2):

$D_{дн}$  – жесткость при изгибе днища геоболочки ГеоФРАМ,

$B_{дн}$  – жесткость при растяжении (сжатии) днища геоболочки ГеоФРАМ,

$D_{матр}$  – жесткость при изгибе слоя геоболочки ГеоФРАМ толщиной 30см, заполненной грунтом с последующим уплотнением поверхностным вибротромбованием.

Данные величины могут быть определены по формулам:

$$D_{дн} = \frac{E_{дн} \cdot \delta_{дн}^3}{12(1-\mu^2)} + \frac{E_{дн} \cdot \delta \cdot h^2}{4}; \quad (3)$$

$$B_{дн} = \frac{E_{дн} \cdot \delta_{дн}}{1-\mu^2}; \quad (4)$$

В формулах (3) и (4) характеристики  $E_{дн}$  – модуль деформаций полимерных материалов днища, а также  $\mu$  – коэффициент поперечной деформации (Пуассона) полимерных материалов, из которых изготовлена геоболочка ГеоФРАМ. Эти характеристики носят несколько условный характер, т.к. толщины стенок, продольные и поперечные деформации точно определить весьма затруднительно. Найти величины указанных характеристик для исследуемых материалов в литературе не удалось. Поэтому использовались значения их, полученные авторами экспериментальным путем. При испытании материалов на прочность определялись характеристики  $\sigma$  и  $\varepsilon$  (прочность на разрыв и относительное удлинение при разрыве), затем из выражения  $E = \varepsilon \cdot \sigma$  определялся модуль деформаций  $E$ . На специальной разработанной установке испытывались квадратные образцы полимерных материалов размером 50 x 50 см. на двухосное растяжение. По результатам опытов определялся коэффициент поперечности деформации из условия:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{попер}}{\varepsilon_{прод}};$$

Для материалов, используемых в геоболочки ГеоФРАМ, модуль деформаций  $E$  составлял  $\approx 130 \div 150$  кгс/см., а коэффициент поперечности деформации  $\mu \approx 0,38 \div 0,40$ . В расчетах принимается  $E = 150$  кгс/см.,  $\mu = 0,4$ .

Жесткость армированной прослойки (геоболочки) может быть определена по формуле:



$$D_{\text{геооб}} = \frac{E_0 \cdot [h_1^3 + h_2^3]}{3 \cdot (1 - \mu^2)}, \text{ где} \quad (5)$$

$E_0$  – модуль деформаций стенок геооболочки перед наступлением их потери устойчивости.

$h_1$  – высота над нейтральной осью;

$h_2$  – высота под нейтральной осью.

$$E_0 = \frac{E_x}{(1 - \mu^2)}; \text{ где} \quad (6)$$

$E_x$  – модуль деформации заполненной геооболочки в горизонтальном направлении, т.е. модуль деформации на нейтральной оси.

$$E_x = \frac{2E_{cm} \delta_{cm} + (t - \delta_{cm}) \cdot E_{cp}}{t}, \text{ где} \quad (7)$$

$E_{cm}$  – модуль деформации материала стенок геооболочки, кгс/см<sup>2</sup>,  $E_{cm} = 150$  кгс/см.,

$\delta_{cm}$  – толщина стенок геооболочки, (см), т.к. у секции две стенки, то  $\delta_{cm} = 0,6$  см.,

$t$  – размер сторон квадрата секции, (см), равный 30 см.,

$E_{cp}$  – модуль деформации материала засыпки, (кгс/см<sup>2</sup>), принятый  $E_{cp} = 300$  кгс/см<sup>2</sup>

$$E_x = \frac{2 \cdot 150 \cdot 0,6 + (30 - 0,6) \cdot 300}{30} = 300 \text{ кгс/см}^2$$

$$E_0 = \frac{300}{1 - 0,4^2} = 357 \text{ кгс/см}^2$$

В формуле (5) рассматривается жесткость геооболочки при наличии в ней только продольных ребер, а не замкнутых ячеек. С учетом ячеек необходимо полученную жесткость  $D_{\text{геооб}}$  умножать на 2 и на расчетную ширину полосы, т.е. на 100 см.

$$D_{\text{геооб}} = \frac{357 \cdot (15^3 + 15^3)}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot 2 \cdot 100 = 191250000 \text{ кгс/см}^2$$

кгс/см<sup>2</sup>

жесткость при растяжении (сжатии) днища геооболочки равна:

$$B = \frac{150 \cdot 0,3}{1 - 0,4^2} = 53,57 \text{ кгс/см}$$

$$B_{\text{расч}} = B \cdot b = 53,57 \cdot 100 = 5357 \text{ кгс/см},$$

$$D_{\text{дн}} = \frac{150 \cdot 0,3^3}{12 \cdot (1 - 0,4^2)} + \frac{150 \cdot 0,3 \cdot 30^2}{4} = 10125 \text{ кгс/см}^2,$$

$$D_{\text{расч}} = 10125 \cdot 100 = 1012500 \text{ кгс/см}^2$$

$$D = 1012500 + 189642857 + 5357 \cdot \left(\frac{30}{2}\right)^2 = 191860754 \text{ кгс/см}^2$$

Отношение жесткостей геооболочки толщиной 30 см и грунтовой прослойки той же толщины составляет:

$$\frac{(EJ)_{матр}}{(EJ)_{гр}} = \frac{191860754}{67500000} = 2,84$$

Отсюда видно, что жесткость геоболочки в 2,84 выше жесткости грунтовой прослойки той же толщины.

Прогиб геоболочки, уложенной на мягкий грунт, и воспринимающей сосредоточенную нагрузку может быть определен по формуле:

$$W = \frac{b^2}{8D} \cdot \frac{5P_0 b m_1}{48}, \text{ где} \quad (9)$$

$b$  – ширина полосы геоболочки, см.,

$P_0$  – сосредоточенная нагрузка, кгс,

$D$  – жесткость геоболочки, кгс/см<sup>2</sup>,

$m_1$  – коэффициент, учитывающий условия закрепления геоболочки по краям (шарнирное, защемленное, свободное).

В рассматриваемой задаче можно сцепление днища геоболочки с грунтом приравнять к защемлению. В этом случае коэффициент  $m_1$  можно принять равным 1.

Если принять сосредоточенную нагрузку (давление колеса) равной 5000 кгс, то

$$W_{геоб} = \frac{b^2}{8D} * \frac{5P_0 b m_1}{48}, \text{ где}$$

$$W_{геоб} = \frac{100^2}{8 * 193467825} * \frac{5 * 5000 * 100 * 1}{48} = 0,34 \text{ см}$$

Для сравнения прогиб слоя грунта толщиной 30см неармированного геоболочкой, определяемый по формуле (10) составляет:

$$W_{гр} = \frac{Pb^3}{48(EJ)_{гр}}; \quad (10)$$

$$W_{гр} = \frac{5000 \cdot 100^3}{48 \cdot 67500000} = 1,54 \text{ см.}$$

$$\frac{W_{гр}}{W_{матр}} = \frac{1,54}{0,34} = 4,52 \text{ раза}$$

Как видно из расчета, прогиб геоболочки меньше, чем прогиб слоя грунта толщиной 30см в четыре с половиной раза.

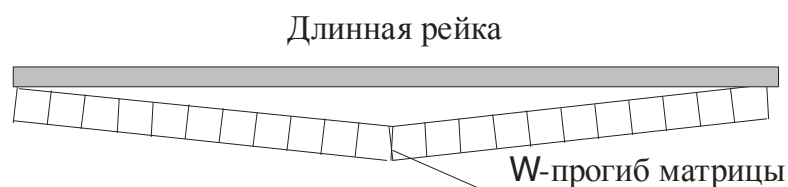


Рис.2 Измерение прогиба.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что применение геоболочек ГеоФРАМ в дорожных насыпях, ведет к резкому увеличению их жесткости и несущей способности.



**Образованная колея на слабом грунте без применения геоболочки**



**Образованная колея на слабом грунте с применения геоболочки**

### **3.2. Усиление автодорог геоболочками ГеоФРАМ.**

С целью проверки работоспособности усиленной геоболочкой грунтогравийной дороги проводились экспериментальные исследования. В основном именно такие дороги составляют большую часть из всех автодорог, при этом под воздействием колёсной нагрузки происходит интенсивное деформирование дорожной одежды, накапливаются необратимые деформации (образуется колея). Для экспериментальных целей использовалась геоболочка с размером ячейки 0,2 м и высотой 0,1 м.

**Испытания** проводились в грунтовом канале на экспериментальных участках длиной 2,2 м, шириной 1,2 м, почвогрунт – суглинок. Первый участок без геоболочки устраивался послойно, с доведением каждого слоя до максимальной плотности при оптимальной влажности. Верхний слой представлял собой покрытие из песчано-гравийной смеси толщиной 0,1 м. Устройство второго участка с геоболочкой осуществлялось таким же образом с разницей в том, что песчано-гравийная смесь укладывалась на армированное геоболочкой основание дорожной одежды.

**Исследования** проводились по методикам [2], [3] и состояли из двух этапов.

1. **Определение напряжений** (максимальных) в различных зонах грунтогравийного массива. Для этого после устройства каждого из слоев было заложено шесть тензорезисторных преобразователей давления - мессдоз см. **рис.1**.

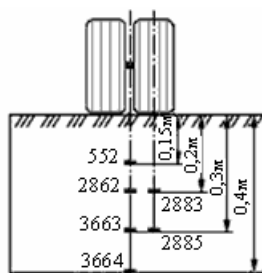


Рис. 1. Схема закладки мессдоз.

Нагрузка, передаваемая колёсной парой самоходной тележки на покрытие исследуемых дорожных конструкций, составляла 3200 кг, давление воздуха в шинах - 0,3 МПа, число проходов по одному следу - 100. Величины напряжений регистрировались после каждого прохода с помощью мобильного измерительного усилителя Spider-8 (результаты измерений представлены на рис.2).

2. Измерение глубины колеи после определённого числа проходов тележки с помощью сверхточного нивелира и мерной рейки (результаты измерений представлены на рис.3).

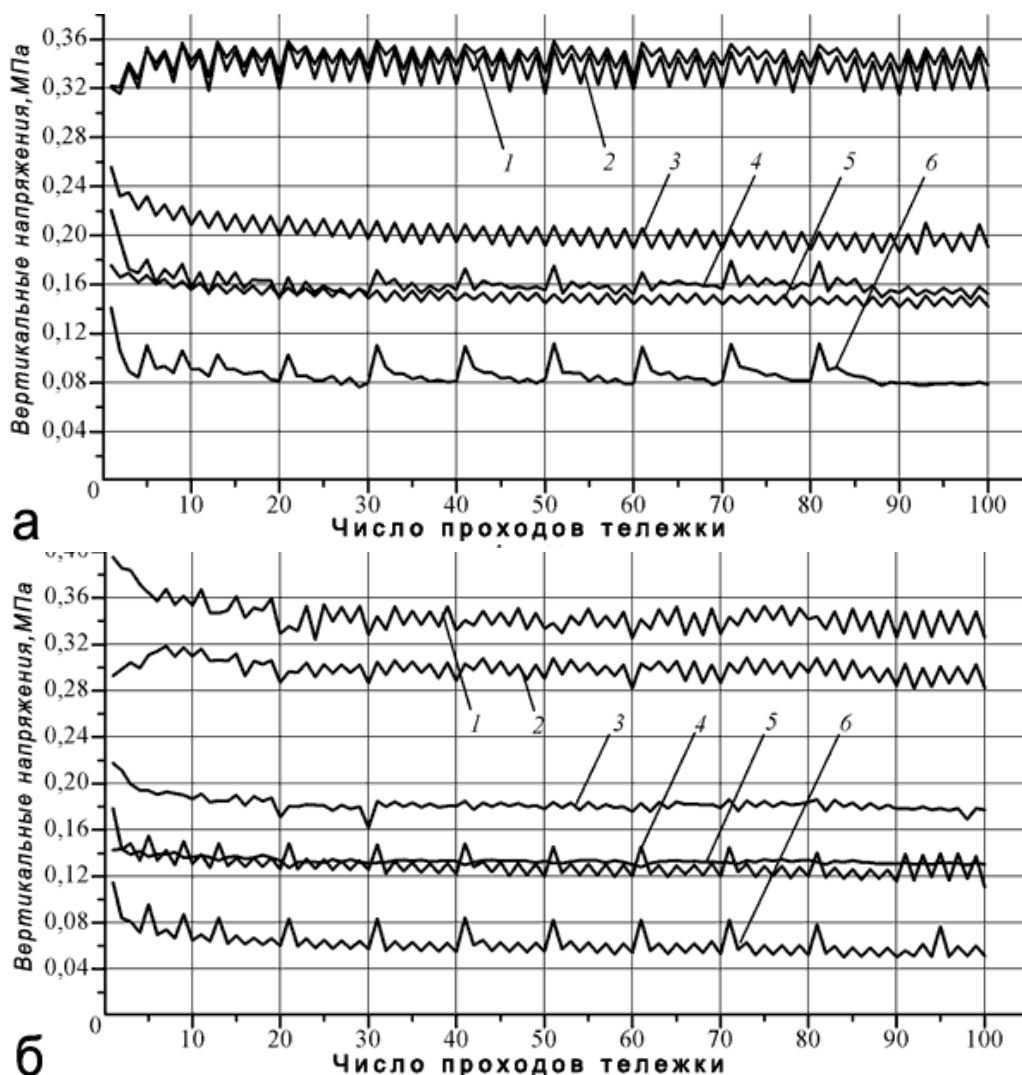


Рис. 2. Зависимость максимальных вертикальных напряжений от числа проходов тележки:

а - по опытному участку без геооболочки;

б - по опытному участку с геооболочкой.

1, 2, 3, 4, 5, 6 - мессдозы соответственно № 2883, № 2885, № 3663, № 2862, № 3664, № 552.

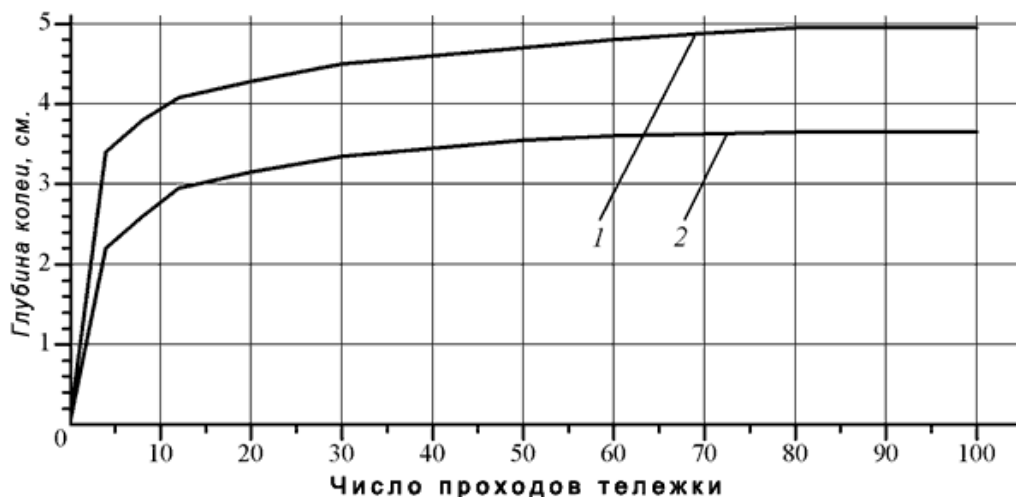


Рис. 3. Зависимость глубины колеи от числа проходов тележки по опытному участку:  
1 – без геооболочки; 2 – с геооболочкой.

Анализ зависимостей (рис.3) подтверждает теоретические предпосылки о том, что секции геооболочки перераспределяют активное вертикальное давление на грунт на большие поверхности, в результате чего величина этого давления снижается. Наибольшие напряжения в ходе эксперимента регистрировала мессдоза № 2883, заложенная на глубине 0,2 м, а наименьшие - мессдоза № 552, заложенная по центру спаренных колёс на глубине 0,15 см.

**Зависимости**, представленные на рис.3, показывают, что образование колеи наиболее интенсивно происходило при первых 12 проходах. После 80 проходов глубина колеи стабилизировалась и в итоге на участке без геооболочки составила 4,95 см, а на участке с геооболочкой - 3,65 см, (т. е. на 35% меньше). Объясняется это механизмом работы конструкции «грунт - геооболочка», уменьшающей интенсивность колееобразования, а также свойствами самой геооболочки. Связь ячеек в её структуре, взаимное их блокирование практически не позволяет ячейкам сдвигаться, что ограничивает неравномерное оседание геооболочки, а вместе с тем и дорожной конструкции.

**По результатам экспериментальных исследований** можно сделать следующие выводы. Использование геооболочек в качестве элемента усиления положительно влияет на напряженно-деформированное состояние дорожных конструкций, позволяет существенно повысить прочность грунтогравийных дорог, используемых для вывозки древесины. За счет снижения степени накопления остаточных деформаций (колееобразования) можно увеличить межремонтные сроки и, что особенно значимо, снизить будущие затраты на содержание и ремонт автодорог.

**Резюмируя**, отметим, что усиление геооболочкой ГеоФРАМ дорожных конструкций является весьма эффективным способом строительства дорог в сложных условиях, учитывая далеко не всегда экономически оправданные традиционные методы (замена грунтов, техническая мелиорация, устройство свайных полей, использование деревянных настилов и щитов).

В то же время предлагаемые дорожные конструкции с геооболочками являются новым решением рассматриваемой здесь, в общем-то, всегда актуальной технической проблемы, учитывая современные тенденции увеличения объемов использования местных малопрочных грунтов при строительстве дорог, учитывая, наконец, необходимость соответствия условий строительства экологическим требованиям.

### 3.3. Долговечность геоболочек ГеоФРАМ в конструкциях автодорог.

Использование геосинтетических материалов в качестве элемента усиления конструкций дорог все шире внедряется в практику дорожного строительства. Поэтому наряду с прогнозированием сроков службы конструкции на основе свойств дорожно-строительных материалов большое значение имеет расчет долговечности геосинтетических материалов строительного назначения.

Долговечность геосинтетических материалов, и в частности ГеоФРАМ, определяется двумя основными группами факторов:

- свойства исходного материала – надлежащее качество сырья и правильный подбор материала с учетом требований к конструкции геоболочки ГеоФРАМ;
- условия эксплуатации – тепло, кислород, вода, УФ-излучение, химические среды, механические нагрузки.

В качестве параметра, связанного с химическим строением, составом и структурой геосинтетического материала и одновременно со временем потери работоспособности геоболочки ГеоФРАМ под воздействием комплекса эксплуатационных факторов, теоретически и экспериментально обосновано использование эффективной энергии активации термоокислительной деструкции  $E_d$ .

Энергия активации  $E_d$  – избыток энергии (потенциальный барьер), необходимый для разрушения химических связей, образующих основную цепь геосинтетического материала.

**1. Определение энергии активации.** Определение долговечности осуществляется по методике, изложенной в СТБ 1333.0 – 2002. Этот стандарт распространяется на геосинтетические изделия для строительства и устанавливает метод определения их долговечности расчетным путем по экспериментально определенному значению энергии активации термоокислительной деструкции (далее – энергии активации) материала геоболочки ГеоФРАМ.

Метод определения долговечности основан на взаимосвязи между долговечностью геосинтетического материала геоболочки ГеоФРАМ и значением энергии активации, определяющей качество материала и уменьшающейся под воздействием эксплуатационных факторов.

Значение энергии активации определяют расчетным путем по потере массы навески материала геоболочки ГеоФРАМ, от воздействия температуры при нагревании с заданной скоростью, в определенном интервале температур, на специальном приборе (дериватографе).

Навески испытуемого и эталонного материалов массой по  $200 \pm 1$  мг помещают в керамические тигли (их предварительно прокалывают при температуре  $600^\circ\text{C}$  в течение 1 часа, а потом выдерживают при комнатной температуре в течение 2 часов) и затем взвешивают. Далее тигли с испытуемым и эталонными материалами устанавливают в дериватограф и нагревают навеску до температуры  $500^\circ\text{C}$ . Одновременно производят запись специального графика (дериватограммы).

На полученной дериватограмме отмечают значение потери массы навески ( $\Delta_m$ ) в процентах с точностью до 0,1% с шагом  $10^\circ\text{C}$  в интервале температур  $350 - 410^\circ\text{C}$  для полиэфира.

Вычисляют значение двойного логарифма  $\ln[\ln(100/(100 - \Delta_m))]$  для каждой температуры и строят график прямолинейной зависимости  $\ln[\ln(100/(100 - \Delta_m))]$  от обратной температуры  $T_d$ , применяя аппроксимацию по методу наименьших квадратов. При этом на оси абсцисс откладывают величины  $(103/T_d)$ , где  $T_d$  – значения температуры, К, при испытании, а на оси ординат – величины  $\ln[\ln(100/(100 - \Delta_m))]$ .

Вычисляют с точностью до 0,1 тангенс угла наклона  $\phi$  построенной прямой линии к оси ординат. Определяют значение энергии активации  $E_d$ , кДж/моль, по формуле:

$$E_d = \text{tg}\varphi \cdot R, \quad (1)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31 \cdot 10^3$  кДж/(моль·К).

В ходе исследований была испытана геоболочка ГеоФРАМ из полиэфирного иглопробивного полотна, для которой график по определению  $E_d$  показан на рис.1.

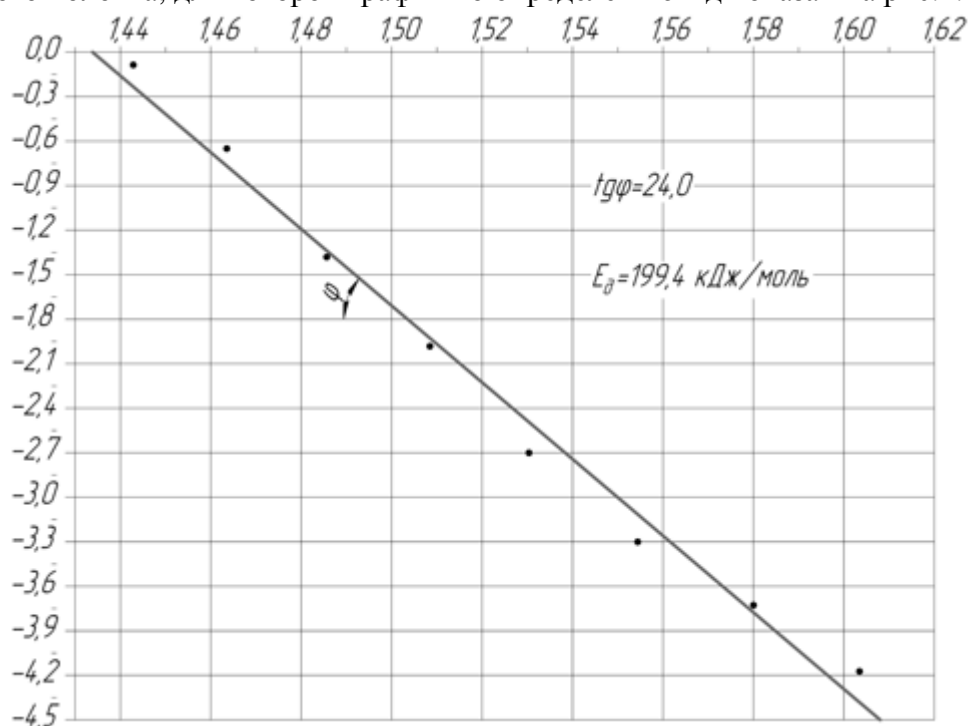


Рис.1. Определение энергии активации  $E_0$  для геоболочки ГеоФРАМ из полиэфира.

Поскольку накопление во времени разрывов химических связей есть процесс старения полимера, параметр  $E_d$  связан с долговечностью геоболочки ГеоФРАМ экспоненциальной зависимостью:

$$\tau_{t_3} = \frac{1}{m} 10^{\alpha E_d + \beta} \cdot e^{E_d / (R t_3)}, \quad (2)$$

где  $\tau_{t_3}$  – расчетная долговечность геоболочки в годах при конкретном значении температуры эксплуатации (температуры грунта)  $t_3$ , К;  $m$  – коэффициент перевода долговечности в годы,  $m = 365$ ;  $\alpha$  и  $\beta$  – коэффициенты, постоянные для данного класса полимеров, для полиэфира  $\alpha = -0,1661$ ,  $\beta = +2,590$ .

С учетом эксплуатационных факторов:

$$\tau_{t_3} = \frac{1}{m} 10^{-\alpha(E_d - E_{mb} - E_{pH} - \gamma \sigma_{ст}) + \beta} \cdot e^{(E_d - E_{mb} - E_{pH} - \gamma \sigma_{ст}) / (R t_3)}, \quad (3)$$

где  $E_{mb}$  – снижение энергии межмолекулярных взаимодействий на границе «геоболочка ГеоФРАМ – грунт» за счет эффекта Ребиндера, кДж/моль;  $E_{pH}$  – снижение энергии активации за счет кислотности грунта, кДж/моль;  $\gamma$  – структурно-чувствительный коэффициент, для шва, как самого слабого элемента геоболочки ГеоФРАМ, равный 53,75 кДж/(моль·МПа);  $\sigma_{ст}$  – напряжение в стенке ячейки геотехнической решетки, вызываемое механическими нагрузками, МПа.

Произведение  $\gamma \cdot \sigma_{ст}$  представляет собой долю энергии, на которую механические напряжения, возникающие в материале, понижают потенциальный барьер разрыва химических связей полимера  $E_d$ .

Расчетная долговечность геоболочки ГеоФРАМ в годах  $\tau_{общ}$  при переменных значениях температуры эксплуатации  $t_3$  определяется по формуле:

$$\tau_{общ} = \left( \sum_{i=1}^{i=n} \frac{m_i}{m_{i\text{ sum}}} \cdot \frac{1}{\tau_{t_3}} \right)^{-1}, \quad (4)$$

где  $m_i$  – число часов взаимодействия грунта со среднемесячной температурой  $t_3$ ;  $m_{i\text{ sum}}$  – общее число часов взаимодействия грунта с переменными значениями  $t_3$ .

**2. Пример расчета.** Использовалась геоболочка ГеоФРАМ высотой 0,1 м. Дорожная конструкция состоит из земляного полотна высотой в среднем 0,5 м и армированной геоболочкой ГеоФРАМ дорожной одежды из песчано-гравийной смеси толщиной 0,18 м.

При определении долговечности геоболочки ГеоФРАМ необходимо учесть эксплуатационные факторы, снижающие энергию активации материала геоболочки ГеоФРАМ и, тем самым, ее долговечность. К таким факторам относятся:

**I. Воздействие жидкой фазы грунта** выражается в эффекте адсорбционного понижения прочности полимера (эффекте Ребиндера), который означает облегчение деформации и разрушения твердого тела в результате протекания на его свободной поверхности обратимых физико-химических процессов, приводящих к понижению поверхностной энергии тела. Показатель  $E_{MB}$  составляет 59 кДж/моль.

**II. Кислотность грунтового массива.** Преобладающие почвы в районе строительства дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные, для таких почв показатель кислотности составляет по всему профилю  $pH = 3,6 - 5,5$ , а параметр  $E_{pH}$  равен 8 кДж/моль.

**III. Механические нагрузки:**

а) статические нагрузки от собственного веса грунта определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \gamma_0 z, \\ \sigma_x &= \sigma_y = \xi_0 \sigma_z,\end{aligned}\quad (5)$$

где  $\gamma_0$  – объемная масса грунта, равная для песчано-гравийной смеси 2,0 г/см<sup>3</sup>;  $z$  – глубина заложения геоболочки (по ее верхнему краю),  $z = 0,08$  м;  $\xi_0 = \mu_0 / (1 - \mu_0)$  – коэффициент бокового давления грунта в состоянии покоя;  $\mu_0$  – коэффициент относительной поперечной деформации, аналогичный коэффициенту Пуассона,  $\mu_0 = 0,3$ ;

б) дорожная конструкция воспринимает нагрузки от движущихся транспортных средств через упругие шины в очень короткое время – 0,1 с. В расчетах примем, что нагрузка воздействует постоянно и величина ее определяется по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= -q \left( 1 - \frac{\eta^3}{\sqrt{1+\eta^2}} \right), \\ \sigma_y &= \sigma_x = -q \left[ (1+\mu) \left( 1 - \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2}} \right) + \frac{\sigma_z}{2q} \right],\end{aligned}\quad (6)$$

где  $q$  – расчетное давление, МПа;  $\eta = z/a$ ,  $a$  – радиус круга, эквивалентного по площади отпечатку колеса, м. При вычислениях принята нагрузка с параметрами  $q = 0,6$  МПа,  $a = 0,185$  м расчетного автомобиля группы А.

Расчетами установлено, что величина суммарного воздействия статических и динамических нагрузок составляет  $\sigma_z = 0,565$  МПа по оси Z и  $\sigma_y = 0,190$  МПа по оси Y. Расчетное значение механических нагрузок  $\sigma_{ст}$  принимается равным сумме  $\sigma_z$  и  $\sigma_y$ , т. е. 0,755 МПа.

Тогда произведение  $\gamma \cdot \sigma_{ст}$  будет составлять  $53,75 \cdot 0,755 = 40,6$  кДж/моль.

В результате получим, что итоговое значение энергии активации  $E_d$  с учетом  $E_{MB}$ ,  $E_{pH}$  и  $\gamma \cdot \sigma_{ст}$  составит 91,8 кДж/моль.

**IV. Температура грунта дорожной одежды** определяется по формуле:

$$t_3 = t_{air} + (t_{soi} - t_{air}) \frac{R_{sur} + \sum_{i=1}^n (R_{sur})_i}{R_{tot}}, \quad (7)$$

где  $t_{air}$  – температура воздуха, °С;  $t_{soi}$  – температура грунта на нижней границе системы «одежда – полотно», °С. Принимаем значения  $t_{soi}$  на глубине 0,8 м (поскольку общая высота



дорожной конструкции составляет 0,7 м) и  $t_{air}$  по каждому месяцу;  $R_{sur}$  – сопротивление теплопереходу покрытия,  $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ , принимаемое в расчетах в зависимости от скорости ветра, м/с. Значения скорости ветра по месяцам колеблются в пределах 2,6 – 3,7 м/с, а значения  $R_{sur}$  соответственно от 0,0765 до 0,084  $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ ;  $R_{tot}$  – общее тепловое сопротивление дорожной конструкции,  $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ .

$$R_{tot} = R_{sur} + R_{sc} + R_{rb}, \quad (8)$$

где  $R_{sc}$  – тепловое сопротивление одежды,

$$R_{sc} = \sum_{i=1}^n h_i / \lambda_i, \quad (9)$$

где  $h_i$  – толщина слоев одежды с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_i$ ,  $h_i = 0,18$  м. Для песчано-гравийной смеси  $\lambda_i = 2,61$  Вт/(м · °С). Тогда  $R_{sc} = 0,069$   $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ ;  $R_{rb}$  – тепловое сопротивление земляного полотна,

$$R_{rb} = h_{si} / \lambda_{si}, \quad (10)$$

где  $h_{si}$  – толщина слоя грунта с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{si}$ , на нижней границе которого принята температура  $t_{soi}$ . Поскольку промерзание грунта составляет 15 – 20 см, то значение  $\lambda_{si} = 2,32$  Вт/(м · °С) примем для талого грунта. Тогда  $R_{rb} = 0,216$   $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ ;

$\sum_{i=1}^n (R_{sur})_i$  – суммарное тепловое сопротивление слоев дорожной конструкции, расположенных выше плоскости, в которой определяется температура грунта. На расстоянии 0,08 м от верха покрытия и до начала геоболочки ГеоФРАМ его величина составляет 0,031  $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ .

Значения  $R_{tot}$  в зависимости от месяца колеблются в интервале 0,3615 – 0,3690  $m^2 \cdot ^\circ C/Вт$ . Сведем данные по расчету  $t_3$  в табл.1.

#### Значения $t_{air}$ , $t_{soi}$ и $t_3$ по месяцам, °С.

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$t_{air}$	-6,8	-6,3	-2,4	3,9	11,0	15,6	18,1	16,3	11,4	5,8	0,2	-4,6
$t_{soi}$	1,7	0,4	0,5	3,8	9,7	15,3	18,1	17,3	14,6	10,1	5,0	2,4
$t_3$	-4,3	-4,3	-1,5	3,9	10,6	15,5	18,1	16,6	12,5	7,1	1,6	-2,5

Расчет долговечности геоболочки ГеоФРАМ при конкретных значениях  $t_3$  покажем в виде табл.2

Показатель	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ед	91,8 кДж/моль											
$10^{aEд+b}$	$10^{-0,1661Eд+2,590} = 2,41 \cdot 10^{-37}$ ч											
$m_i$ , ч	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
$m_i$ sum, ч	8760											
$t_3$ , °С	-4,3	-4,3	-1,5	3,9	10,6	15,5	18,1	16,6	12,5	7,1	1,6	-2,5
$t_3$ , °К	268,7	268,7	271,5	276,9	283,6	288,5	291,1	289,6	285,5	280,1	274,6	270,5
$\tau_{из}$ , лет	431	431	282	128	50	26	18	22	38	81	178	328

Общая долговечность геоболочки ГеоФРАМ в конструкции дороги, рассчитанная по формуле (4) на основе данных табл. 2, составит  $\tau_{общ} \approx 54$  года.

**Заключение.** Большая долговечность геоболочки ГеоФРАМ из полиэфира обусловлена:

- 1) химической природой полимера, высокой устойчивостью его химических связей к внешним воздействиям;
- 2) отсутствием УФ-излучения – самого опасного разрушающего фактора;

- 3) низкими температурами эксплуатации, а значительный период времени вообще отрицательными, когда полимер находится в «законсервированном» состоянии;
- 4) относительно небольшими механическими нагрузками.

Описанный выше способ позволяет определить долговечность в дорожной конструкции не только геоболочки ГеоФРАМ, но и любого другого класса геосинтетических материалов, применяемых при строительстве дорог. При этом методика расчета дает возможность комплексно учесть все основные эксплуатационные факторы, воздействию которых подвергается полимерный материал.

### 3.4. Расчет насыпи вдольтрассовой дороги, усиленной геоболочкой ГеоФРАМ.

Расчет земляной насыпи вдольтрассовой дороги, усиленной геоболочкой ГеоФРАМ, может быть выполнен:

- 1) как многослойной плиты, лежащей на упругом основании (метод коэффициента постели);
- 2) как многослойного линейно-деформируемого упругого полупространства под сосредоточенной или распределенной нагрузкой.

Согласно первой методике реакция упругого основания в каждой точке пропорциональна прогибу

$$q_0 = -k \cdot y \quad (1)$$

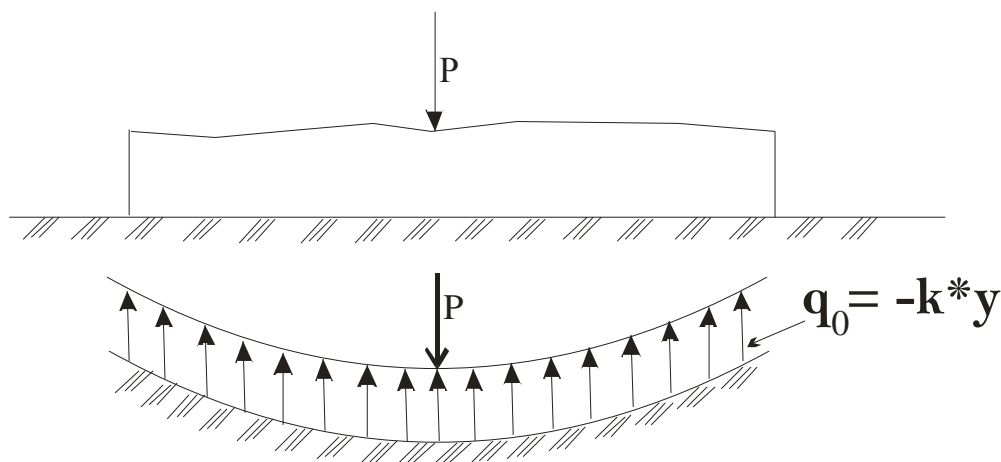


рис.1 Реакция основания дороги на действие сосредоточенной силы P.

Где,

$q_0$  – изменяющаяся по длине плиты интенсивность реакции упругого основания  $кгс/см$  на действие силы  $P_1$  ;

$k$  – коэффициент пропорциональности;

$y$  – осадка (прогиб) основания под действием силы  $P$ ,  $см$ .

$$k = k_0 \cdot b \quad (2)$$

где,

$b$  – ширина плиты,  $см$ .  $b=100$   $см$ .

$k_0$  – коэффициент постели, характеризующий жесткость основания и являющийся величиной постоянной для данного основания,  $кгс/см^3$ .

Он колеблется в значительных пределах. Например,  $k_0$  для свеженасыпанных грунтов, мокрых глин, обводненных песков равен от 0,025 до 0,5  $кгс/см^3$ , для слежавшегося песка, глин

естественной влажности достигает  $1,0 \div 5,0 \text{ кгс/см}^3$ , для твердых плотных грунтов достигает  $10 \div 15 \text{ кгс/см}^3$ .

Модуль общей деформации в интервале давлений  $p_i$  и  $p_{i+1}$  вычисляют с точностью 0,1 МПа по формулам:

$$E = \frac{p_{i+1} - p_i}{\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}} \beta \quad \text{или} \quad E = \frac{1 + \varepsilon_0}{m_0}, \quad \text{где}$$

где  $\varepsilon_i$  и  $\varepsilon_{i+1}$  – коэффициенты пористости, соответствующие давлениям  $p_i$  и  $p_{i+1}$ ;

$m_0$  – коэффициент сжимаемости, соответствующий интервалу давления от  $p_i$  до  $p_{i+1}$ ;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий отсутствие поперечного расширения грунта (коэффициент стеснения поперечных деформаций) в компрессионном приборе и вычисляемый по формуле

$$\beta = 1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}, \quad \text{где}$$

$\nu$  – коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона):  $\nu = e_x / e_z = \xi / (1 + \xi)$ ,

здесь  $e_x$  – горизонтальная;  $e_z$  – вертикальная деформация;  $\xi$  – коэффициент бокового давления, определяется в приборах трехосного сжатия соотношением приращения горизонтального давления к вертикальному  $\xi = \sigma_x / \sigma_z$ .

При отсутствии экспериментальных данных допускается принимать  $\nu$  равным: 0,30...0,35 – для песков и супесей; 0,35...0,37 – для суглинков; 0,2...0,3 при  $I_L < 0$ ; 0,3...0,38 при  $0 \leq I_L \leq 0,25$ ; 0,38...0,45 при  $0,25 < I_L \leq 1,0$  – для глин. При этом меньшие значения  $\nu$  принимают при большей плотности грунта.

В полевых условиях модуль деформации определяют по результатам динамического и статического зондирования, по результатам штамповых испытаний:

$$E = \omega d (1 - \nu_2) \Delta p / \Delta s, \quad \text{где}$$

$d$  – диаметр штампа;  $\omega$  – коэффициент учитывающий форму штампа, для круглых равен 0,8;  $\Delta s$  – приращение осадки при изменении давления  $\Delta p$ ; или прессиометрических:  $E = k r_0 \Delta p / \Delta r$ , где  $r_0$  – начальный радиус скважины;  $\Delta r$  – приращение радиуса при давлении  $\Delta p$ .

Сущность прессиометрического метода испытаний заключается в обжатии буровой скважины боковым давлением с замером деформаций.

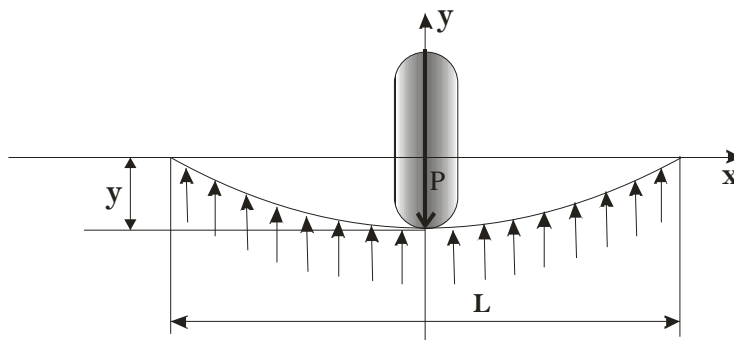


Рис.2 Деформированное положение упругого основания под действием силы P.

Смысл «коэффициента постели» – это усилие  $\text{кгс}$ , приходящееся на  $1 \text{ см}^2$  площади основания, вызывающие в нем осадку равную 1 см. размерность  $k_0$  –  $\text{кгс/см}^3$ ;

Изгибающие моменты, вертикальные перемещения от силы P и длину дуги прогиба можно определить по формулам:

$$M_{\max} = \frac{k_{\text{дин}} \cdot P}{4\beta} \quad (3)$$

$$y = \frac{k_{\text{дин}} \cdot P}{8\beta^3 (EJ)_{\text{пр}}} \quad (4)$$

$$L = \frac{3 \cdot \pi}{4 \cdot \beta} \quad \text{где,} \quad (5)$$

$k_{дин}$  - коэффициент динамичности, равный 1,15;

$P$  – сила давления колеса, кгс;

$M_{max}$  - изгибающий момент в двухслойной конструкции (геооболочка и слой подсыпки) под сосредоточенной (одиночное колесо) нагрузкой, кгс·см;

$\beta$  - характеристика, объединяющая совместную работу верхней плиты и нижнего основания.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4(EJ)_{np}}} \quad (6)$$

где,  $(EJ)_{зр}$  – жесткость плиты, кгс·см<sup>2</sup>;

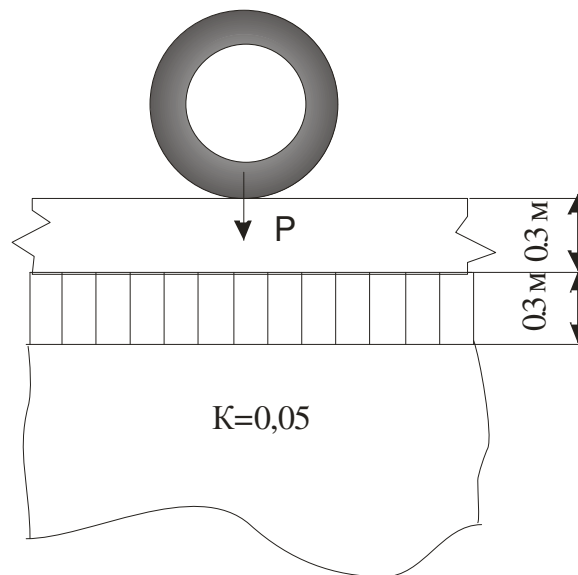


Рис.3 Расчетная схема нагружения геооболочки ГеоФРАМ сосредоточенной нагрузкой.

Необходимость произвести расчет двухслойной плиты, состоящей из геооболочки ГеоФРАМ высотой 30 см и верхнего слоя из уплотненного песка, также высотой 30 см, при сосредоточенной нагрузке  $P$  от давления колеса, равной 5000 кгс, с коэффициентом динамичности, равным 1,15. ( $k_{дин} = 1,15$  – установлен в нормативных документах для дорог с низкой интенсивностью движения транспорта при малых скоростях).

Коэффициент динамичности подвижной нагрузки при длительности эксплуатации дороги, годы

Вид покрытия	Продолжительность эксплуатации дороги, год		
	5	10	> 10
Цементобетонное	1,05	1,10	1,2
Асфальтобетонное	1,10 - 1,15	1,20	1,4
Щебеночное и гравийное	1,3	1,35 - 1,50	1,55

Примечание. Коэффициент динамичности для цементобетонного покрытия на любом основании, аналогичен коэффициенту динамичности для дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием на цементобетонном основании.

Коэффициент постели основания (болото первого типа)  $k_{осн} = 0,05 \text{ кгс/см}^3$ .

Ширина (расчетная) плиты  $b = 100 \text{ см}$ .

Соответственно

$$k = 0,05 \cdot 100 = 5 \text{ кгс/см}^3$$

$$(EJ)_{пр} = D_{геоб} \left( 1 + \frac{(EJ)_{гр}}{D_{геоб}} \right) \quad (7)$$

Где,

$D_{матр}$  - жесткость геоболочки,  $\text{кгс}\cdot\text{см}^2$ ;

$(EJ)_{гр}$  - жесткость верхнего слоя уплотненного песка,  $\text{кгс}\cdot\text{см}^2$ ;

$$D_{матр} = 191250000 \text{ кгс}\cdot\text{см}^2$$

$$(EJ)_{гр} = 67500000 \text{ кгс}\cdot\text{см}^2$$

Следовательно

$$(EJ)_{пр} = 191250000 \cdot \left( 1 + \frac{67500000}{191250000} \right) = 258750000 \text{ кгс}\cdot\text{см}^2, \text{ отсюда следует}$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{5}{4(EJ)_{пр}}} = 0,00834;$$

Изгибающий момент под колесом равен:

$$M_{\max} = \frac{k_{\text{дм}} \cdot P}{4\beta} = \frac{1,15 \cdot 5000}{4 \cdot 0,00834} = 172425 \text{ кгс}\cdot\text{см}$$

Прогиб под колесом равен:

$$y = -\frac{1,15 \cdot 5000}{8 \cdot 0,00834^3 \cdot 258750000} = -\frac{5750}{1199,48} = -4,79 \text{ см}$$

Растягивающие напряжения в днище при данной нагрузке могут быть определены по известной формуле:

$$\sigma_{пр} = \frac{M}{W_{пр}};$$

где  $W_{пр}$  - приведенный момент сопротивления сечения двухслойной плиты,  $\text{см}^3$

$$W_{пр} = \frac{J_{пр}}{0,5h_{пр}};$$

Где  $J_{пр}$  - приведенный момент инерции сечения двухслойной плиты,  $\text{см}^4$

$h_{пр}$  - приведенная высота двухслойной плиты

$$h_{пр} = h_{геоб} \times 1,353 = 41 \text{ см}$$

$$J_{пр} = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \cdot 41^3}{12} = 557283 \text{ см}^4;$$

$$W_{пр} = \frac{557283}{0,5 \cdot 41} = 27459 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \frac{172425}{27459} = 6,3 \text{ кгс/см погон. днища или } 31,5 \text{ кгс/5см}$$

По второй методике довольно сложной и трудоемкой рассчитываются многослойные дороги с твердыми покрытиями и сложными схемами нагружения.

Она изложена в:

1) В.Ф. Бабкова, О.В. Андреева «Проектирование автомобильных дорог» Том I, М. Транспорт, 1987. (368 стр.)

2) МОДН 2-2001 «Межгосударственные отраслевые дорожные нормы. Проектирование нежестких дорожных одежд». (стр. 112). Взамен ВСН 46-83 «Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа». Минтрансстрой.

Длина «полуволны» прогиба нежесткого полотна, определяемая по формуле (5), составляет:

$$L = \frac{3 \cdot 3,142}{4 \cdot 0,00834} = 285,55 \text{ см};$$

Предложенная методика расчета дорожного полотна, усиленного геоболочкой ГеоФРАМ позволяет достаточно близко определить напряженно-деформированное состояние данной двухслойной конструкции. Однако, следует заметить, что при проектировании конкретных участков вдольтрассовых дорог необходимо:

- иметь полные данные о свойствах грунта основания, на которое укладывается геоболочка ГеоФРАМ. Неточное определение коэффициента постели может привести к существенным погрешностям в расчете (см. табл. 1);
- заполнитель в геоболочке ГеоФРАМ должен быть тщательно уплотнен, т.к. уплотнение грунта ведет к повышению его прочности на сжатие в 3-4 раза, а некоторых видов глинистых грунтов – до 7 раз;
- толщина верхнего слоя (слой подсыпки) должна быть не менее 30 см, т.к. при многократном прохождении тяжелой техники (15-25 единиц/сутки) более тонкий слой будет разрушаться. При более интенсивной эксплуатации дороги слой подсыпки должен быть увеличен до 50 см, слой подсыпки также должен быть тщательно уплотнен и укатан;
- при интенсивном движении транспорта по вдольтрассовой дороге (населенные пункты на трассе) на отдельных слабых участках можно рекомендовать усиление подсыпки покрытием из щебня с сухой смесью и тщательным уплотнением;
- на участках с низким коэффициентом постели могут потребоваться (по условиям прочности) более высокие геоболочки ГеоФРАМ.

В таблице 1 представлены результаты расчета дорожного полотна, состоящего из геоболочки ГеоФРАМ толщиной 30 см и слоя подсыпки толщиной 30 см, лежащего на основании, имеющем различные значения коэффициента постели. Полотно воспринимает нагрузку от колеса значением 5000 кгс, умноженную на коэффициент динамичности – 1,15.

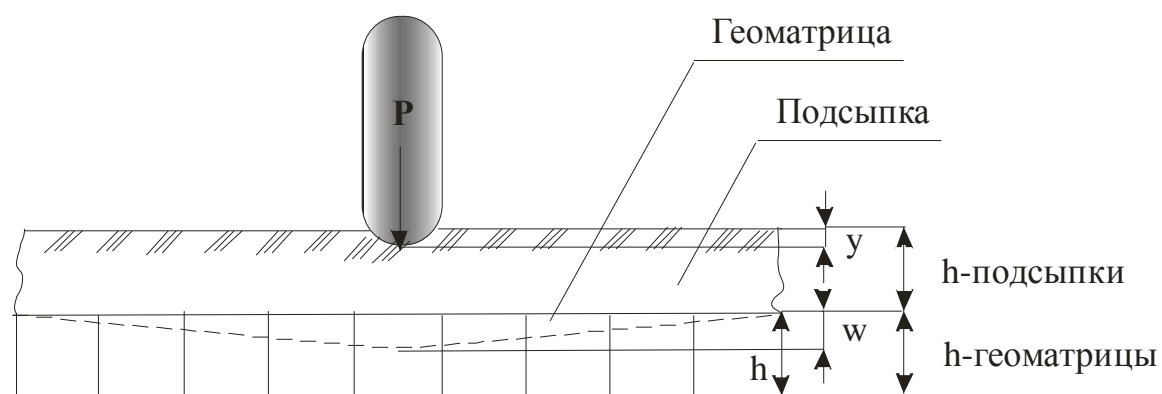
Таблица 1.

№ п/п	$k_{осн},$ кгс/см <sup>3</sup>	Данные расчета					Примечание
		$\beta$	$M,$ кгс·см	$y, см$	$L, см$	$\sigma,$ кгс/см <sup>2</sup>	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,025	0,00701	205049	8,06	672,2	7,5	На границе болот II и III типов.
2	0,050	0,00834	172425	4,79	565,2	6,3	В пределах болота I типа
3	0,075	0,00923	155804	3,54	510,8	5,7	
4	0,100	0,00991	144992	2,85	475,3	5,3	В пределах от мягкопластичных до тугопластичных глин.
5	0,125	0,01048	137125	2,41	449,5	5,0	
6	0,150	0,01097	131015	2,10	429,5	4,8	
7	0,175	0,01140	126062	1,87	413,3	4,6	
8	0,200	0,01179	121923	1,69	399,7	4,4	
9	0,225	0,01214	118385	1,55	388,1	4,3	
10	0,250	0,01247	115308	1,43	378,0	4,2	

11	0,275	0,01277	112593	1,33	369,1	4,1
12	0,300	0,01305	110170	1,25	361,2	4,0
13	0,325	0,01331	107987	1,18	354,0	3,9
14	0,350	0,01356	106005	1,11	347,5	3,9
15	0,375	0,01380	104192	1,06	341,6	3,8
16	0,400	0,01402	102525	1,01	336,1	3,7
17	0,425	0,01424	100982	0,96	331,0	3,7
18	0,450	0,01444	99550	0,92	326,3	3,6
19	0,475	0,01464	98213	0,89	322,0	3,6
20	0,500	0,01483	96962	0,85	317,9	3,5
21	0,525	0,01501	95786	0,82	314,0	3,5
22	0,550	0,01518	94679	0,79	310,4	3,4
23	0,575	0,01535	93632	0,77	306,9	3,4
24	0,600	0,01552	92641	0,74	303,7	3,4
25	0,625	0,01568	91701	0,72	300,6	3,3
26	0,650	0,01583	90806	0,70	297,7	3,3
27	0,675	0,01598	89953	0,68	294,9	3,3
28	0,700	0,01613	89139	0,66	292,2	3,2
29	0,725	0,01627	88361	0,65	289,7	3,2
30	0,750	0,01641	87615	0,63	287,2	3,2
31	0,775	0,01654	86900	0,61	284,9	3,2
32	0,800	0,01667	86213	0,60	282,6	3,1
33	0,825	0,01680	85552	0,59	280,5	3,1
34	0,850	0,01693	84916	0,57	278,4	3,1
35	0,875	0,01705	84303	0,56	276,4	3,1
36	0,900	0,01717	83711	0,55	274,4	3,0
37	0,925	0,01729	83140	0,54	272,5	3,0
38	0,950	0,01741	82587	0,53	270,7	3,0
39	0,975	0,01752	82052	0,52	269,0	3,0
40	1,000	0,01763	81535	0,51	267,3	3,0

Слежавшиеся пески,  
полутвердые глины

Для наглядности, зависимости, изложенные в таблице 1 могут быть представлены в виде графиков (рис.4 и рис.5).



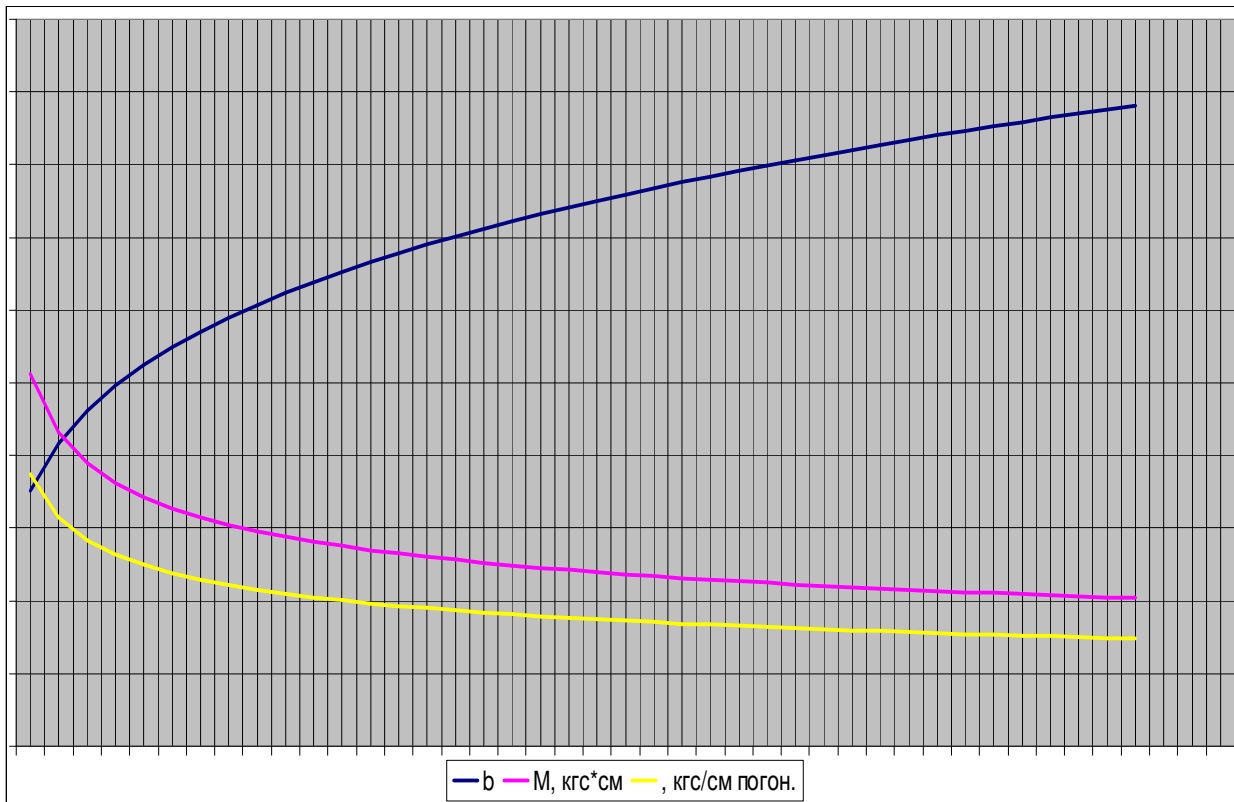


Рис. 4. Зависимость изгибающего момента в двухслойном земляном полотне и напряжений в днище геоболочки от коэффициента постели основания (Прочностные характеристики).

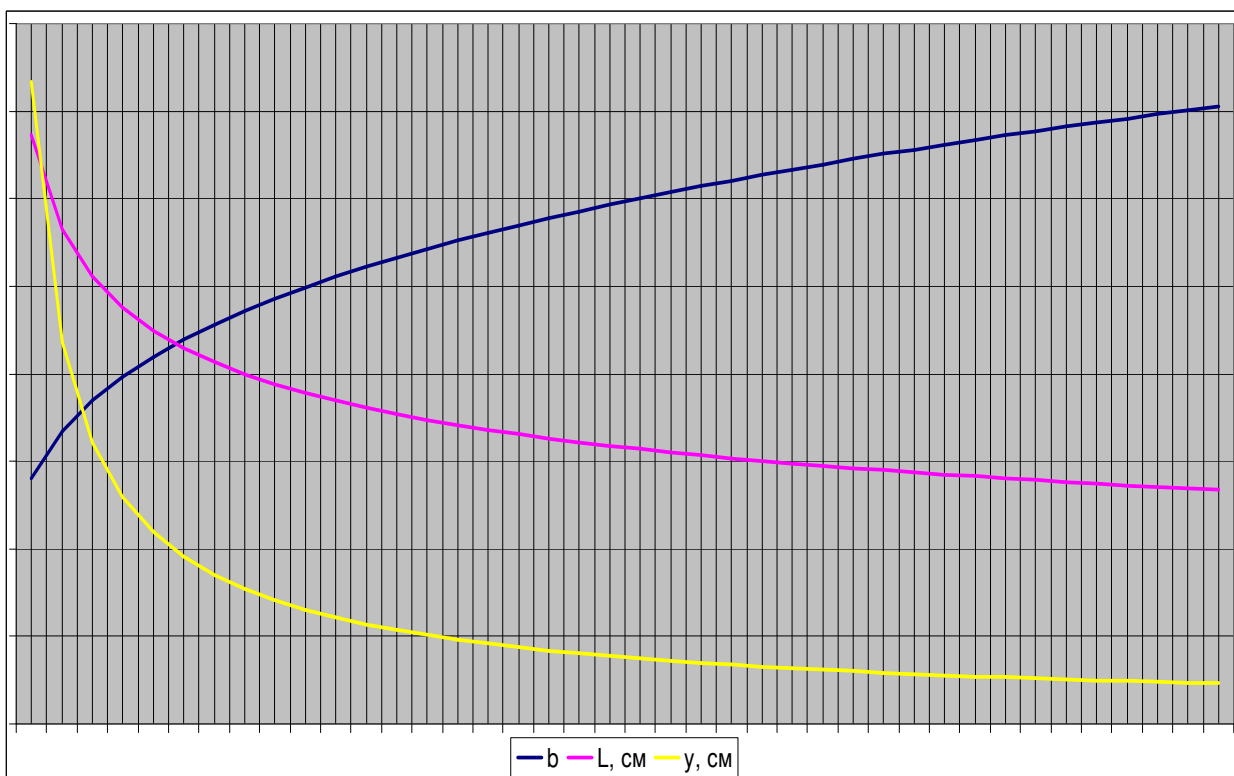


Рис. 5. Зависимость величины прогиба двухслойного полотна и длины хорды прогиба от коэффициента постели основания (Деформационные характеристики).

Как видно из графиков, наиболее неблагоприятные условия для работы геоболочки возникают при коэффициентах постели равных  $0,025 \div 0,1$  ( $0,15$ ).

Основными критериями надежности работы геоболочки можно считать:

- прочность днища;
- допустимый прогиб.

Например, по условиям прочности растягивающие напряжения в днище не должны превышать 20% разрывной прочности материала днища. По условиям деформативности, может быть ограничен прогиб, например до 20÷25% от высоты геоболочки. Если эти характеристики превышены, то увеличивается высота геоболочки и производится повторный расчет конструкции.



При больших запасах прочности днища и допустимого прогиба, наоборот, может быть уменьшена высота геоболочки.

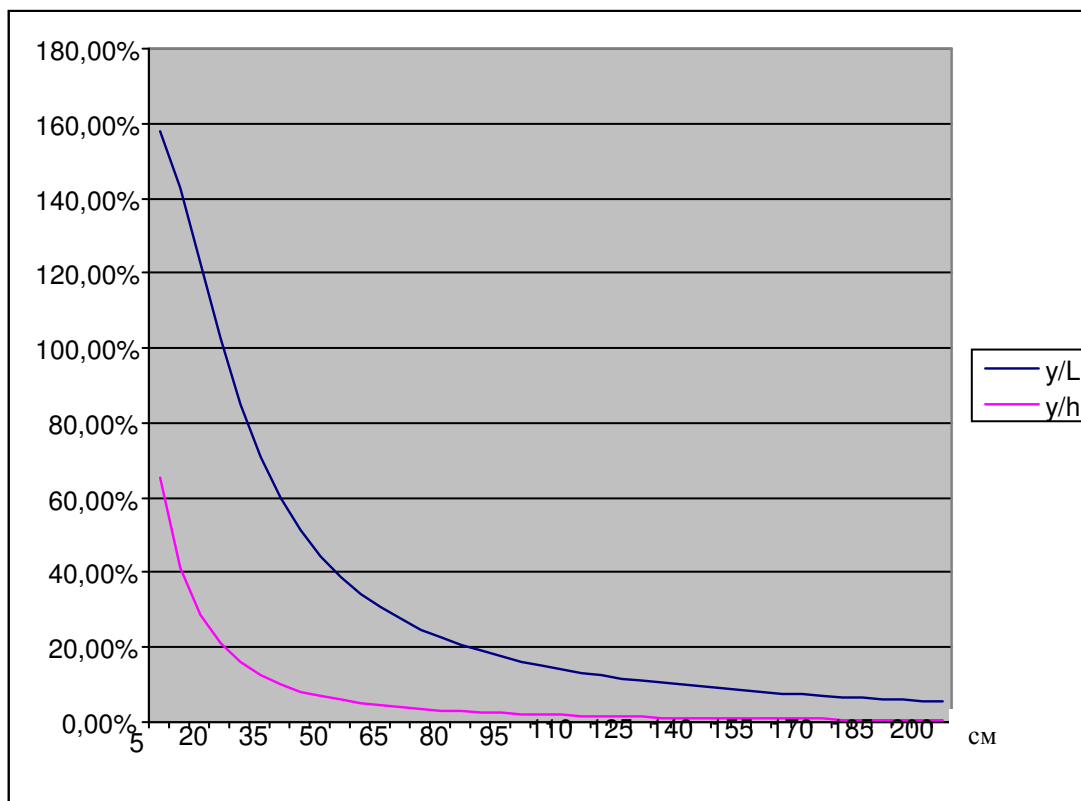


Рис. 6 Зависимость отношения величины прогиба к длине полуволны и высоте геоболочки.

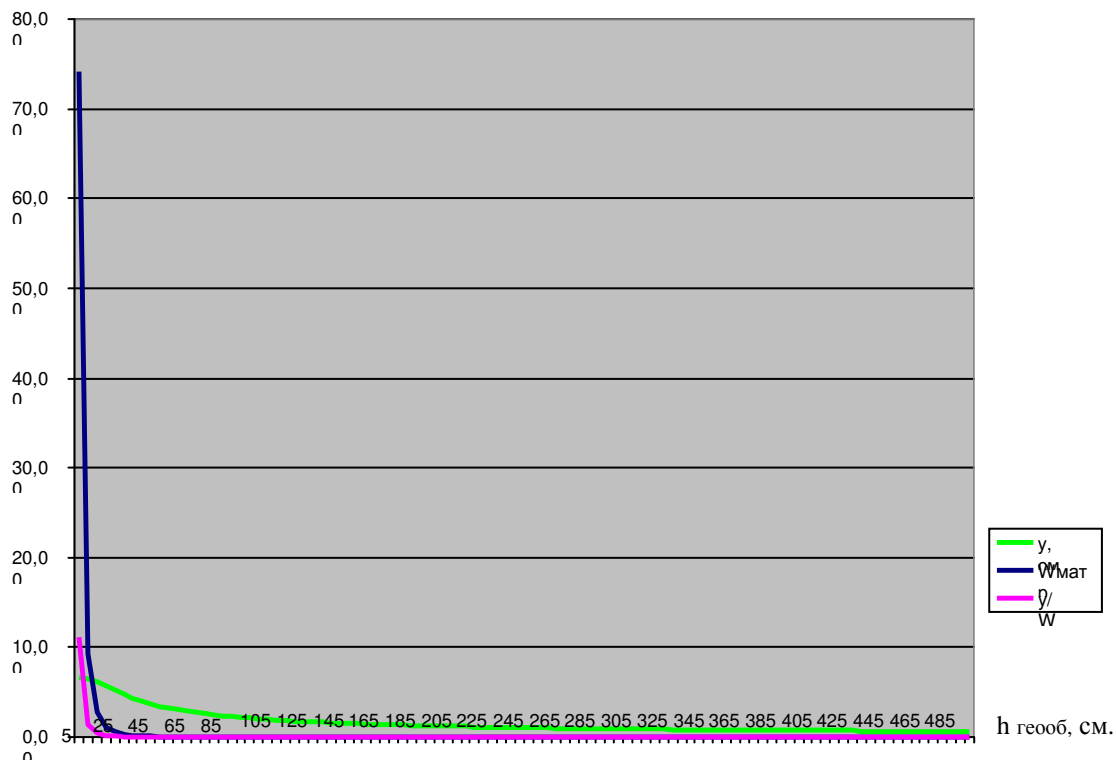


Рис. 7 Зависимость величин прогиба геоболочки и продавливания грунта под колесом от высоты геоболочки

### 3.5. Расчет конструкции дорожной одежды автомобильной дороги.

Требуется запроектировать дорожную одежду при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в Московской области;
- категория автомобильной дороги - II;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий песчанистый с расчетной влажностью 0,75  $W_T$ , относится к III группе-пучинистые;
- песчаное основание армировано геоболочкой ГеоФРАМ 300(375) с засыпкой поверху 0,25м
- материал для основания – фракционный щебень, М 1000 уложенный по способу заклинки и песок средней крупности;
- схема увлажнения рабочего слоя земляного полотна – I-II.

#### Расчет на прочность.

№	Материал слоя	h слоя, см	Расчет упруг. прогибу, E, МПа	Расчет по усл. сдвигуост., E, Па	Расчет на растяжение при изгибе			
					E, МПа	R <sub>o</sub> , МПа	α	m
1.	Щебеночно-мастичный асфальтобетон-20	5	3200	1800	4500	9,80	5,2	5,5
2.	Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон М-II на БНД марки 60/90	6	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
3.	Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон М-II на БНД марки 60/90	8	2000	1200	2800	8,0	5,9	4,3
4.	Фракционный щебень М 1000	22	350	350	350	-	-	-
5.	Песок средней крупности	40	190	190	190	-	-	-
6.	Суглинок легкий пылеватая $W_o = 0,75$	-	41	41	41	-	-	-

#### 2. Расчет по допускаемому упругому прогибу.

- ведем послойно, начиная с подстилающего грунта:

$$1) \frac{E_n}{E_g} = \frac{E^{cp}}{E^{nec}} = \frac{41}{190} = 0,22$$

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на ось, кН	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля, Q <sub>расч.</sub> , кН	Расчетные параметры нагрузки	
			P, МПа	D, см
A	115	55	0,60	40/35

**Примечание:** В числителе - для движущегося колеса, в знаменателе - для неподвижного.

$$\frac{h_g}{D} = \frac{h^{nec}}{D} = \frac{40}{40} = 1$$

$$\frac{E_{общ}}{E_g} = \frac{E_{общ}^{nec}}{E^{nec}} = 0,52$$

$$E_{общ}^{nec} = 0,52 \cdot 190 = 99 \text{ МПа}$$

$$2) \frac{E_n}{E_g} = \frac{E_{общ}^{нec}}{E_{щecб}^{общ}} = \frac{99}{350} = 0,28 \quad \frac{h_g}{D} = \frac{h_{щecб}}{D} = \frac{22}{40} = 0,55$$

$$\frac{E_{общ}}{E_g} = \frac{E_{щecб}^{общ}}{E_{щecб}^{общ}} = 0,46 \quad E_{щecб}^{общ} = 0,46 \cdot 350 = 161 \text{ МПа}$$

$$3) \frac{E_n}{E_g} = \frac{E_{общ}^{a/\delta_3}}{E^{a/\delta_3}} = \frac{161}{2000} = 0,08 \quad \frac{h^{a/\delta_3}}{D} = \frac{8}{40} = 0,2$$

$$\frac{E_{общ}}{E_g} = \frac{E_{общ}^{a/\delta_3}}{E^{a/\delta_3}} = 0,12 \quad E_{общ}^{a/\delta_3} = 0,12 \cdot 2000 = 240 \text{ МПа} \quad \frac{E_{общ}}{E_{mp}} = \frac{240}{220} = 1,09$$

$$4) \frac{E_n}{E_g} = \frac{E_{общ}^{a/\delta_3}}{E^{a/\delta_3}} = \frac{240}{2000} = 0,12 \quad \frac{h^{a/\delta_2}}{D} = \frac{6}{40} = 0,15$$

$$\frac{E_{общ}}{E_g} = \frac{E_{общ}^{a/\delta_2}}{E^{a/\delta_2}} = 0,15 \quad E_{общ}^{a/\delta_2} = 0,15 \cdot 2000 = 300 \text{ МПа} \quad \frac{E_{общ}}{E_{mp}} = \frac{300}{220} = 1,36$$

$$5) \frac{E_n}{E_g} = \frac{E_{общ}^{a/\delta_2}}{E^{a/\delta_2}} = \frac{300}{3200} = 0,09 \quad \frac{h^{a/\delta_1}}{D} = \frac{5}{40} = 0,125$$

$$\frac{E_{общ}}{E^{a/\delta_1}} = 0,11 \quad E_{общ} = 0,11 \cdot 3200 = 352 \text{ МПа} \quad \frac{E_{общ}}{E_{mp}} = \frac{352}{220} = 1,60$$

Требуемый модуль упругости:

Категория дороги	Суммарное минимальное расчетное число приложений расчетной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	-	-
II	500000	220	210	-
III	375000	200	200	-
IV	110000	-	150	100
V	40000	-	100	50

Требуемый минимальный коэффициент прочности для расчета по допускаемому упругому прогибу:

Тип дорожной одежды	Капитальный										
	I		II		III		IV				
Категория дороги	0,05				0,10						
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{np}$	0,05				0,10						
Заданная надежность $K_n$	0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80
Требуемый коэффициент упругого прогиба	1,50	1,30	1,38	1,20	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02
прочности $K_{np}^{Tp}$ по критерию: сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	1,10	1,00	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87

Из приведенного расчета видно, что конструкция дорожной одежды с трехслойным асфальтобетонным покрытием с примененной геоболочкой ГеоФРАМ с запасом удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу.

Расчет произведен в соответствии с ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд»

#### 4. Конструкции насыпей на слабых грунтовых основаниях

Основание насыпи автомобильных дорог и площадочных объектов, устраивается на слабых грунтовых основаниях с применением многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» для снижения неравномерности осадки насыпи, а также с целью уменьшения толщины насыпного слоя. При этом снижается колебательность от движения транспорта, и создаются благоприятные условия уплотнения нижних слоев насыпей.

Защитные (разделительные) прослойки с геоболочкой ГеоФРАМ рекомендуется применять также в тех случаях, когда нижняя часть насыпи возводится из торфа или глинистого грунта повышенной влажности.

В целях уменьшения ущерба окружающей среде, приносимого вырубкой деревьев лесного массива, используемых для изготовления лежней и сохранения устойчивого природного баланса, взамен лежневых настилов применяют конструкцию насыпи, в основании которой размещают слой геосинтетических оболочек для усиления основания и одновременного разделения различных типов грунтов.

Болото первого типа позволяет произвести быструю отсыпку насыпи на полную высоту, но при этом консолидация слабых грунтов не успевает завершиться и развивается далее во времени. Использование геоболочки «ГеоФРАМ», позволяет существенным образом увеличить жесткость всей конструкции, которая в период эксплуатации при развитии процессов осадок ведет себя как единый монолитный блок.

При строительстве линейных объектов на заболоченных участках с преобладанием водонасыщенных торфяных грунтов и сапропелей необходимо учитывать толщину торфяной залежи и слоя сапропели.

При строительстве вдольтрассовых проездов на обводненной и подтопляемой территории, в т.ч. болотах необходимо учитывать максимальный уровень подъема грунтовых вод над поверхностью земли. Рекомендуемый максимальный уровень воды в пик паводкового периода должен находиться ниже заполненной уплотненным грунтом геоболочки «ГеоФРАМ» не менее чем на 100 мм.

Использование многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ» в основаниях на болотах I направлено на повышение прочности и несущей способности конструкции дорожной насыпи в целом, а также для снижения ее деформативности и неравномерности осадки насыпи в процессе консолидации основания.

При использовании геоболочки ГеоФРАМ на слабых грунтах применяют геоболочку высотой 0,3-0,50м для создания единой подстилающей грунтовой плиты (рис.1).

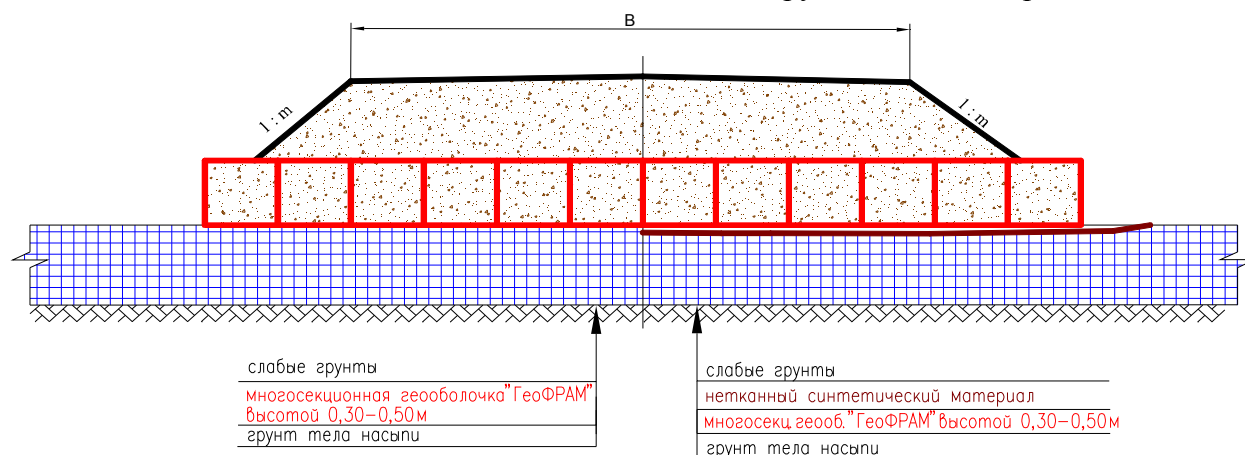


Рис. 1. Поперечный профиль насыпи на слабых грунтах с применением «ГеоФРАМ».

а) с заполнением ячеек дренающим грунтом; б) с заполнением ячеек связным грунтом

В случае использования, для заполнения секций геоблоочки, дренирующих сыпучих грунтов(пески, песчано-гравийная смесь, т.п.) и соответствующей уплотняющей техники следует применять многосекционную геоблоочку «ГеоФРАМ» с высотой решетки 0,50-0,75м (рис. 2а)

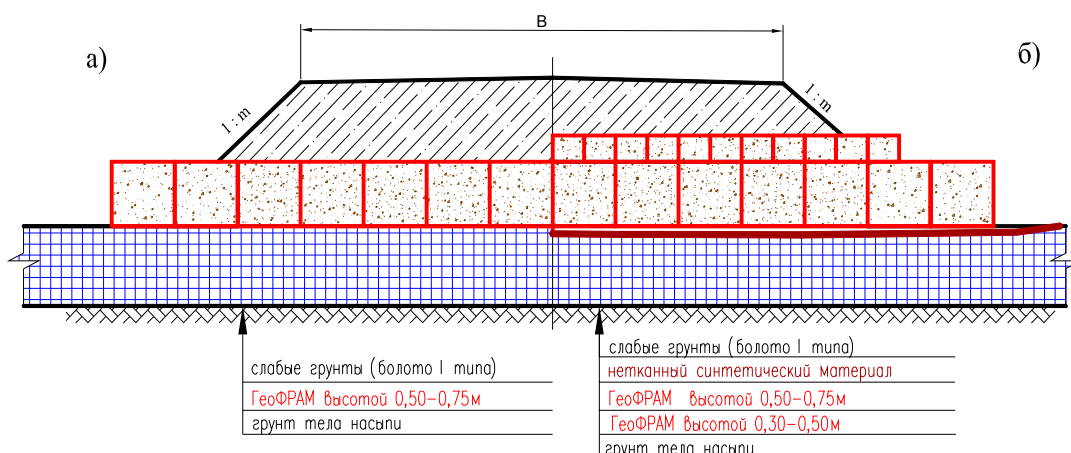


Рис. 2 Конструкция насыпи высотой до 2-х м на болотах I типа

а) при высоте геоблоочек до 0,50м с заполнением ячеек дренирующим грунтом; б) многослойная конструкция из геоблоочек высотой 0,50-0,75м с заполнением ячеек связным грунтом и на обводненной местности

Если дренирующие грунты отсутствуют и в качестве заполнения секций «ГеоФРАМ» используются связные грунты оптимальной влажности, то следует использовать «ГеоФРАМ» высотой от 0,30м до 0,75м, которые укладываются послойно после завершения заполнения грунтом и его уплотнения в расположенном ниже слое (рис. 2б).

Для создания дополнительного армирующего эффекта укладка «ГеоФРАМ» производится на хворостяную выстилку и порубочные отходы (Рис. 3).

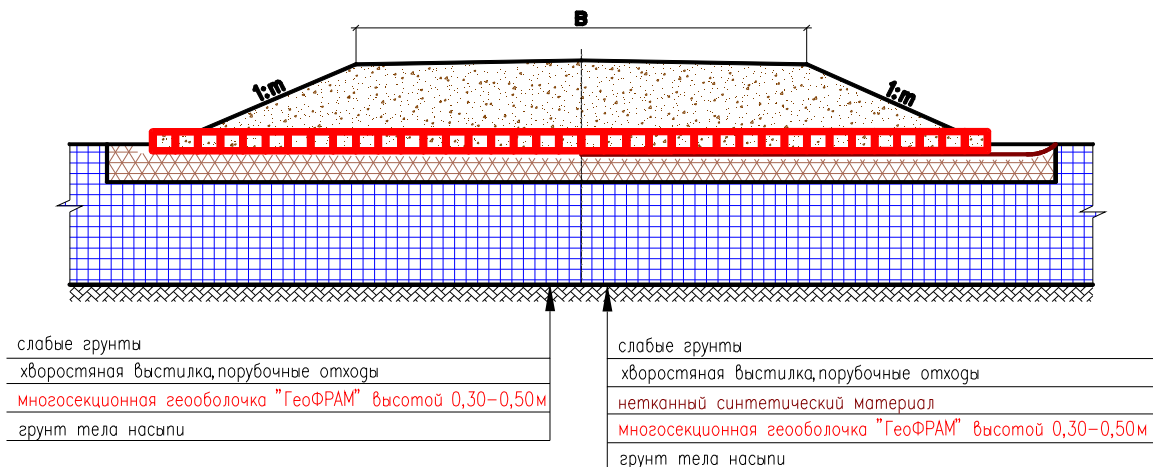


Рис. 3 Конструкция насыпи на хворостяной выстилке

В качестве хворостяной выстилки под земляное полотно необходимо использовать вырубленные деревья, кустарники в отведенной полосе производства работ.

При проектировании и отсыпке дорожных насыпей на болотах II типа основной задачей является необходимость сохранения грунтов основания и исключение возможности их выдавливания, и нарушение общей устойчивости земляного полотна. Это достигается назначением такой интенсивности отсыпки насыпи, при которой слабый грунт основания успевает с опережением увеличивать свою сдвиговую прочность за счет процессов уплотнения во времени (консолидации) под весом отсыпанного слоя грунта насыпи. Быстрая отсыпка соответствует схеме условно-мгновенного приложения нагрузки, а медленная – соответствует темпам нарастания прочности в процессе консолидации.

Соответственно, мощность первого слоя грунта отсыпаемой насыпи, а, следовательно, и

высота геоболочки «ГеоФРАМ», будет определяться прежде несущей способностью слабого основания в его природном состоянии по плотности-влажности. При этом она должна быть достаточной, чтобы выдержать давление слоя грунта, по крайней мере, мощностью 0,75 м с бульдозером, экскаватором и катком.

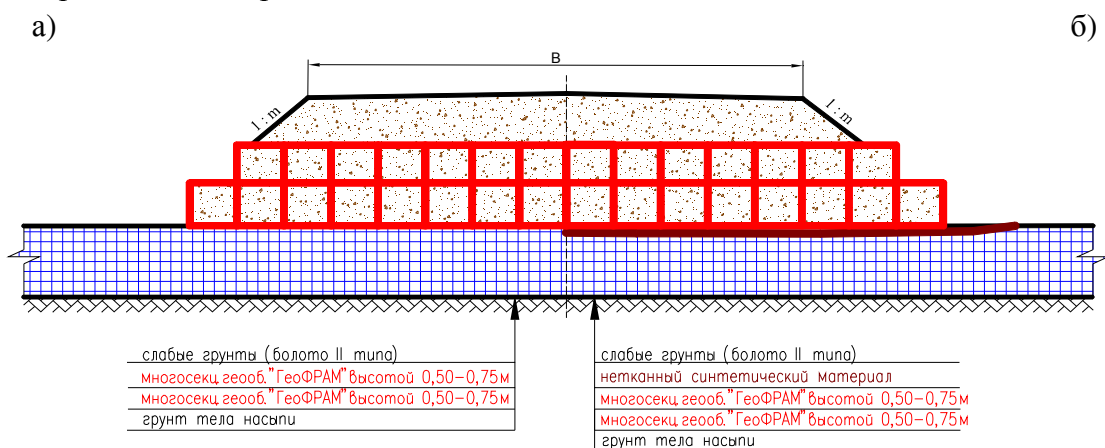


Рис. 4 Конструкция насыпи высотой более 1,50 м на слабом основании II-го типа  
 а) «ГеоФРАМ» с заполнением ячеек дренирующим грунтом  
 б) «ГеоФРАМ» с заполнением ячеек связным грунтом

На болотах II типа при учете допустимых темпов отсыпки грунта может использоваться и более жесткая конструкция насыпи (рис.4).

После набора необходимой прочности слабого основания в процессе консолидации первый слой геоболочек «ГеоФРАМ» может потерять свое горизонтальное положение (рис 5). Поэтому в случае, если разница в осадке слоя «ГеоФРАМ» по его центру и краю составит 0,30 м и более, то перед укладкой следующего слоя геоболочек «ГеоФРАМ» следует произвести подсыпку просевшей части площадки привозным грунтом с последующей его планировкой и уплотнением.

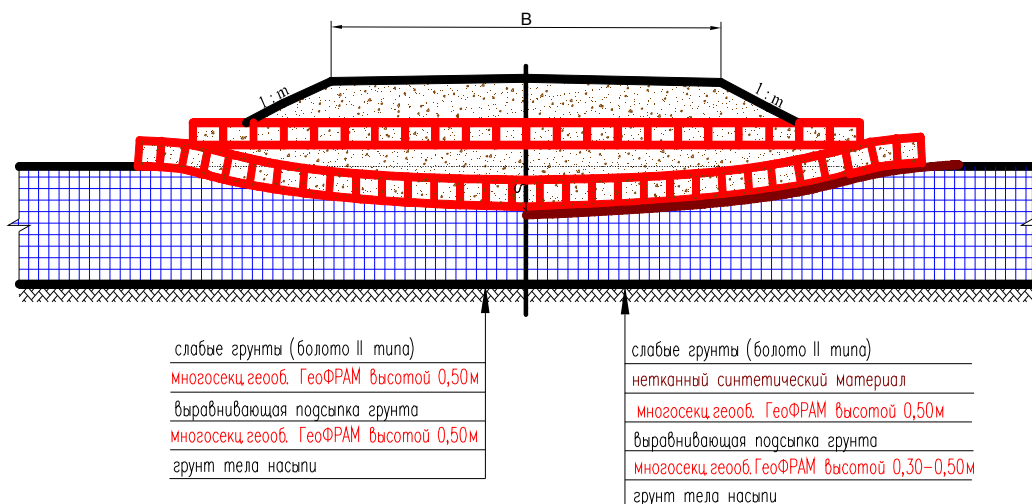


Рис. 5 Конструкция насыпи высотой более 2-х метров на слабых основаниях I-го типа сооружаемая в два этапа.

При опасности подтопления насыпи поверхность последнего слоя геоболочек «ГеоФРАМ» (считая от подошвы насыпи) после уплотнения и консолидации слоев грунта основания должна превышать прогнозируемый уровень ГВВ в пик паводкового периода не менее, чем на 0,10 м. На этих участках с необеспеченным поверхностным стоком (2 или 3 типы местности по условиям увлажнения) следует предусматривать защиту поверхностей откосов насыпи от размыва за счет укладки слоя многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» высотой до

0,30м (рис. 6) и заполнения секций обломочным материалом.

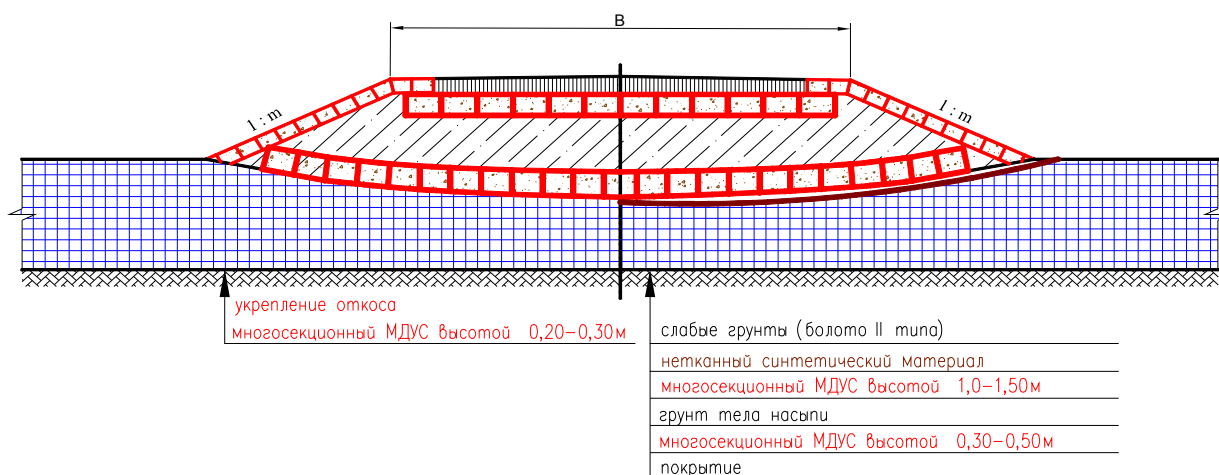


Рис. 6 Конструкция насыпи высотой более 2-х метров на слабых основаниях «в объеме»

## 5. Конструкции насыпей на слабых основаниях в условиях вечной мерзлоты

Проектирование и строительство автомобильных дорог ведут по следующим принципам:

1. Сохранение в природном состоянии многолетнемерзлых (вечномерзлых) грунтов в основании земляного полотна в течение всего периода эксплуатации дороги;
2. Предусматривает возможность частичного оттаивания грунтов основания исходя из допустимости осадок насыпи в зависимости от капитальности того или иного типа покрытия. Допустимая осадка для переходных покрытий принимается равной 0,10м, а для низших или временных проездов без покрытия – 0,15м.

При любом типе покрытий высота насыпи не должна быть меньше определенной величины  $H_{\min}^{\text{нз}}$ , при которой величина осадки покрытия, за счет возможного сезонного оттаивания основания, превысит 0,15м.

Несоблюдение этого условия приводит к разрушению земляного полотна из-за развития термокарстовых процессов.

3. Предусматривает предварительное оттаивание грунтов основания и осушение дорожной полосы до возведения насыпи. Необходимым условием обеспечения данного принципа является сохранение положительной среднегодовой температуры грунта в основании насыпи.

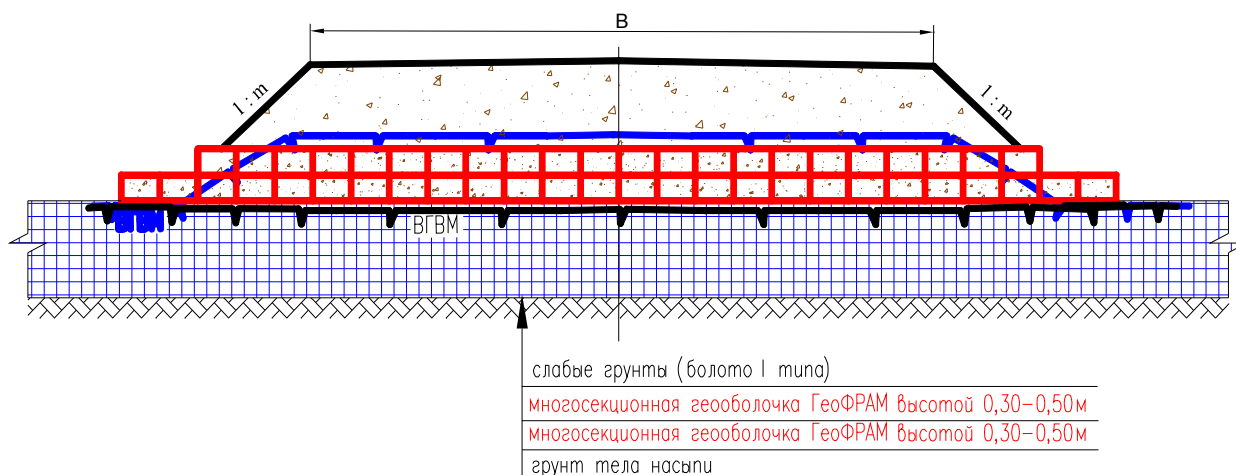


Рис. 7. Поперечный профиль дороги в условиях вечной мерзлоты с использованием многосекционной геооболочки «ГеоФРАМ», черная линия - верхний горизонт вечномерзлых грунтов до строительства;

При устройстве насыпи из мёрзлого грунта возможен вариант его сохранения в круглогодичном мёрзлом состоянии за счёт теплоизолирующего материала (Рис. 7).

Грунтовые насыпи, построенные в зимнее время, должны иметь высоту не менее 2,0 м, что позволит защитить сезонно-талый слой в основании насыпи от растекания.

При необходимости уменьшения высоты насыпи земляное полотно следует возводить с теплоизоляционными прослойками из материалов, обладающих пониженными коэффициентами теплопроводности: мох, сухой торф, древесина, шлаки, золы, пенопласты, полистиролы и другие материалы. Местоположение и толщина теплоизолирующей прослойки в конструкции насыпи следует назначать на основе теплотехнического расчета.

При сооружении насыпей из местного пылевато-глинистого грунта, характеризующегося слабой водоотдачей, требуется устройство дренажных каналов для отвода воды из тела насыпи.

На первом этапе строительства, заполнение ячеек в зимний период следует производить преимущественно из сыпучемерзлых привозных грунтов, разрабатываемых в сосредоточенных резервах, осушаемых предварительно в летний период. Запрещается брать грунт для насыпи в полосе отвода автомобильной дороги или трубопровода. При отсутствии сухомерзлых грунтов, заполнение многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» можно производить и твердомерзлым, но желательно, дренирующим грунтом. Это позволит в значительной степени ускорить процессы оттока воды и осушения переувлажненного грунта по мере его оттаивания весной.

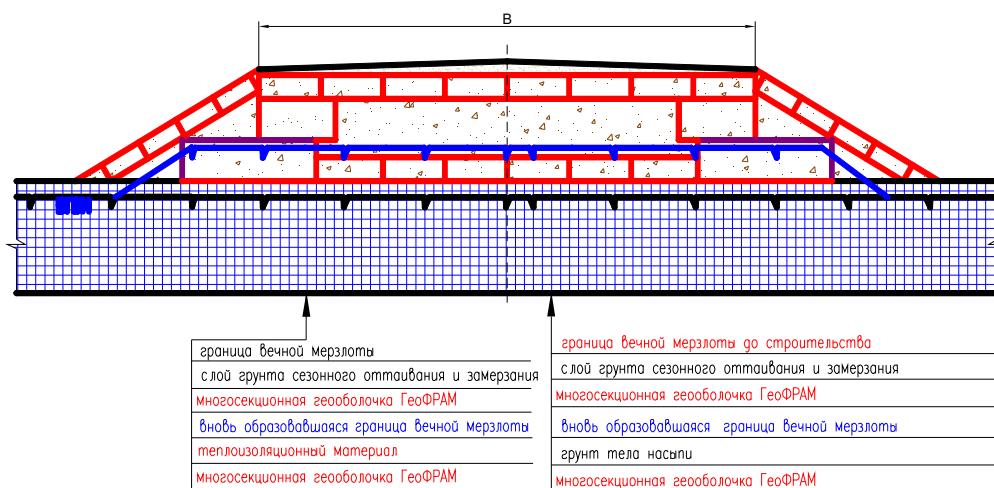


Рис. 8. Поперечный профиль дороги в условиях вечной мерзлоты, армогрунтовых подпорных стен из многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» и утеплителя из пеностирола.

В случае, если при разработке твердомерзлых грунтов выход крупных комьев оказывается значительным и их размер превосходит размер секций геоболочки «ГеоФРАМ», то в целях упрощения технологии отсыпки насыпи, можно рекомендовать конструкцию, представленную на рис. 9.

В этой конструкции на первый слой геоболочек «ГеоФРАМ» укладываются послойно два и более яруса по краевым зонам секционной геоболочки «ГеоФРАМ» размером в плане 1,5м и высотой до 0,50м. Пространство, которое образовано этими краевыми многосекционными геоболочками «ГеоФРАМ», также послойно заполняется твердомерзлым грунтом. Этот массив уложенного мерзлого грунта сверху перекрывается слоем многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ». Данная конструкция, как и предыдущая, позволяет предотвратить расплывание грунта при его оттаивании весной, но в отличие от неё дает возможность при отсыпке насыпи не ограничивать максимальный размер мерзлых комьев грунта геометрическими параметрами секций геоболочек «ГеоФРАМ».



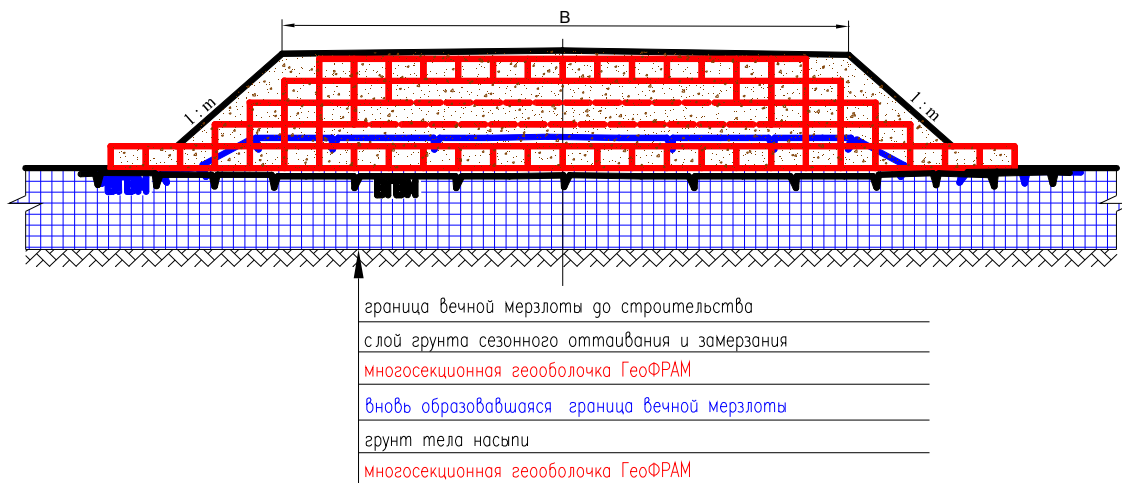


Рис. 9. Поперечный профиль конструкции земляного полотна сооруженной в зимнее время из твердомерзлых грунтов природной влажности в обойме с сохранением ВГМГ в основании.

На косогорных участках (не круче 1:5) земляное полотно строят в насыпи, иногда (на участках не положе 1:10) предусматривают полунасыпи-полувыемки. Во избежание нарушения мерзлотного режима местности, увеличения глубины оттаивания и снижения устойчивости сооружения уступы на косогоре не устраивают (рис. 10).

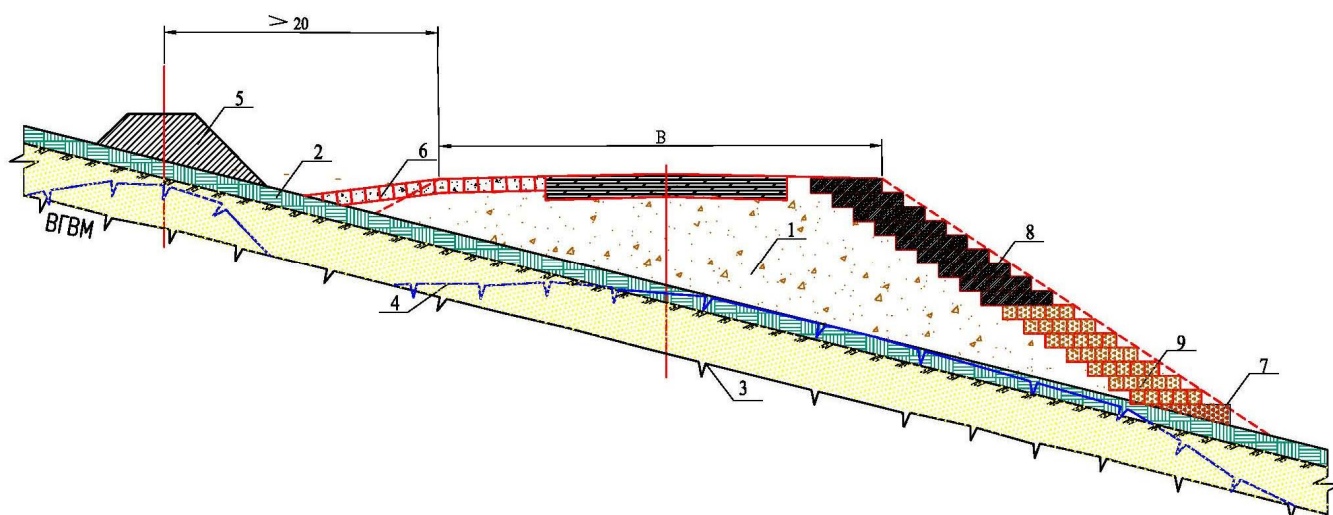


Рис. 10. Поперечный профиль земляного полотна на льдистонасыщенном косогоре крутизной менее 1:5  
 1 - несцементированный обломочный грунт; 2 - мохорастительный покров; 3 – верхняя граница вечной мерзлоты до постройки насыпи; 4- верхняя граница вечной мерзлоты после постройки насыпи; 5- нагорный мерзлый валик; 6- укрепление откоса многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» высотой 0,20-0,30м с заполнением ячеек грунтом; 7- щебеночная призма; 8 – армогрунтовая стенка из многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ» высотой до 0,50м с заполнением связным грунтом; 9- армогрунтовая стенка из многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ» высотой до 0,50м с заполнением дренирующим грунтом.

## 6. Конструкции насыпи в песках

При выборе конструкций земляного полотна в условиях распространения подвижных песков необходимо в первую очередь учитывать требования:

- беспрепятственного переноса песка через дорогу без его задержки на ней или вблизи нее;
- предохранения земляного полотна от выдувания;
- сохранения существующей растительности (в заросших песках).

Для предохранения земляного полотна от выдувания и сохранения проектных очертаний конструкции применяется многосекционная геоболочка «ГеоФРАМ» высотой 0,30-0,50м. Ниже

приведены несколько вариантов расположения многосекционной оболочки в конструкции земляного полотна (рис. 11).

Для возможности проезда, по готовому земляному полотну, автомобилями и дорожными машинами, а также для предотвращения погружения в песок частиц материала основания и улучшения условий его уплотнения, между земляным полотном и основанием дорожной одежды на насыпях и в выемках, устраивают защитный слой с применением многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ», высотой 0,30-0,50м укладываемой на всю ширину земляного полотна (рис. 12, 13).

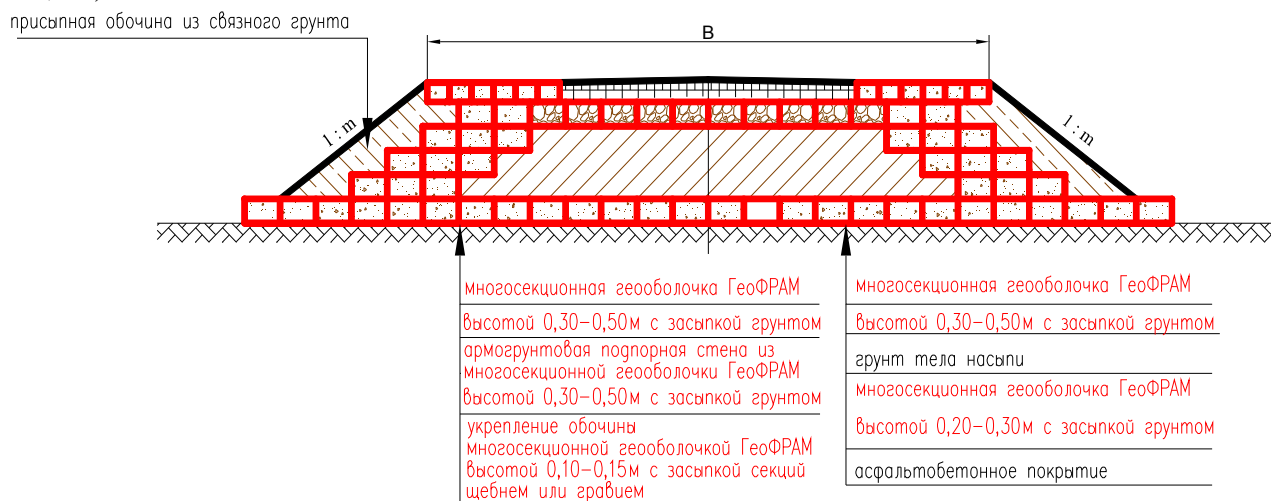


Рис. 11 Земляное полотно с устройством армогрунтовых стен

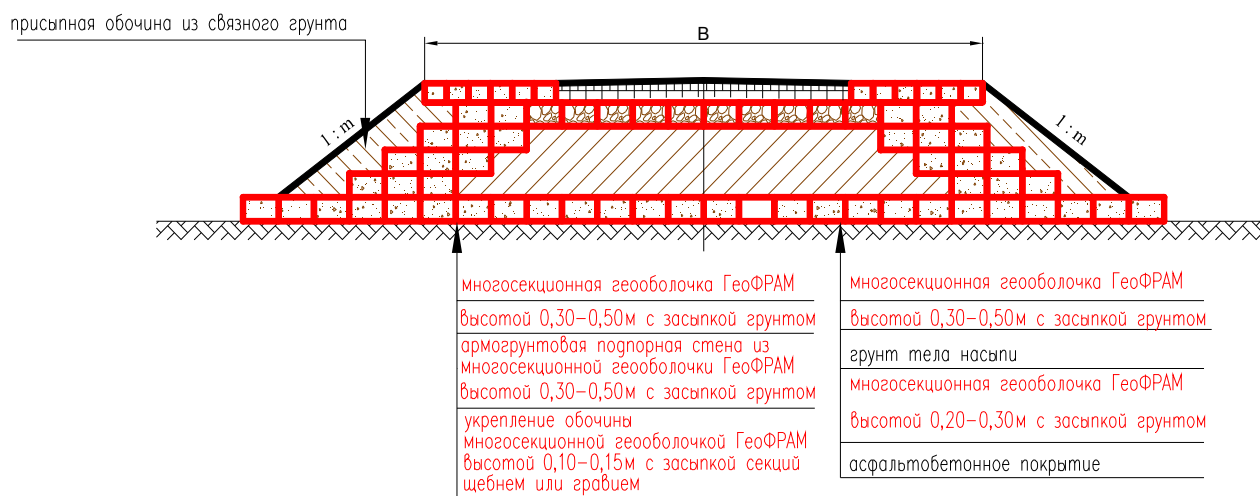


Рис. 12 Устройство земляного полотна в обойме из многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ»

Присыпные обочины отсыпают связным материалом. Наиболее приемлемым местным материалом, пригодным для устройства присыпных обочин и откосных частей земляного полотна, является глина и тяжелый суглинок.

В целях защиты откосов от выдувания и осыпания, а также для улучшения условий переноса песка через дорогу под действием ветра, рекомендуется применять многосекционную геоболочку «ГеоФРАМ» высотой 0,15-0,20м с заполнением секций из песка или мелкого гравия, укрепленных органическими вяжущими материалами.

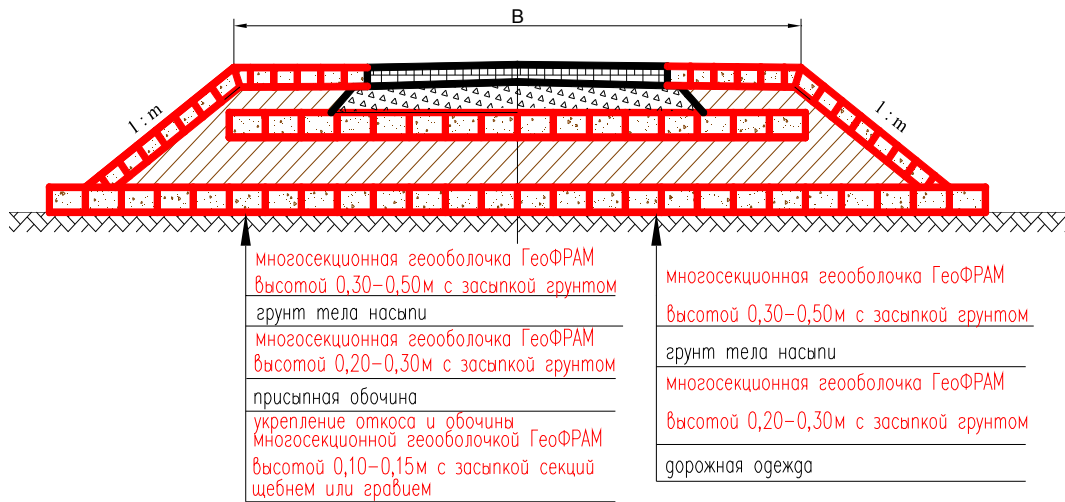


Рис. 13 Устройство дорожной конструкции и укрепление откосов с применением многосекционной геоблочки «ГеоФРАМ».

В целях снижения стоимости конструкции дорожной насыпи можно использовать вариант (рис. 14), где слой многосекционной геоблочки «ГеоФРАМ» укладывают только в подошве насыпи.

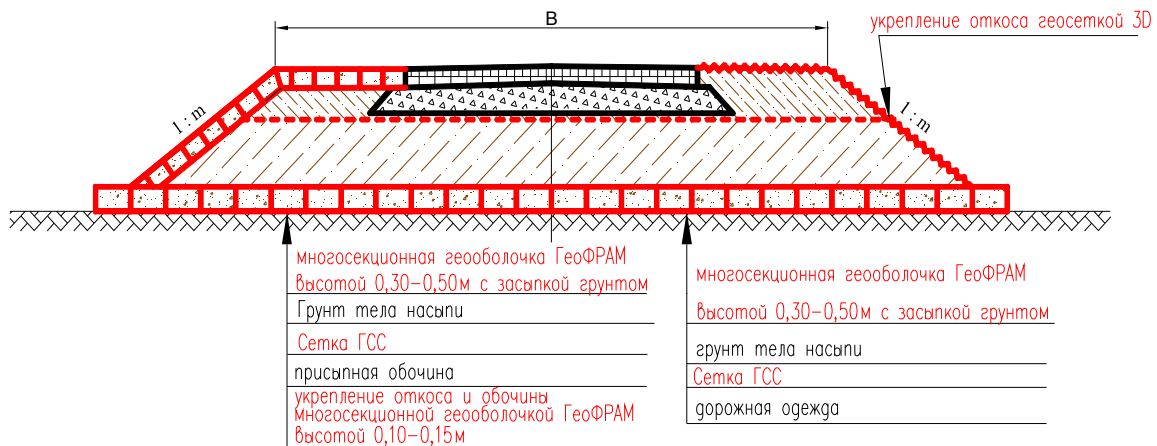


Рис. 14 Устройство дорожной конструкции и укрепление откосов с применением многосекционной геоблочки «ГеоФРАМ» и геосетки 3D.

## 7. Конструкции дорожных одежд

Конструкция дорожной одежды принимается в зависимости от назначения дороги, расчетных нагрузок, условий строительства и интенсивности движения автотранспорта, специальной строительной техники.

Для создания устойчивого земляного полотна в конструкциях дорожных одежд, а также в целях снижения толщины и повышения долговечности дорожных одежд применяют многосекционную геоблочку «ГеоФРАМ» (Рис. 15 а, б).

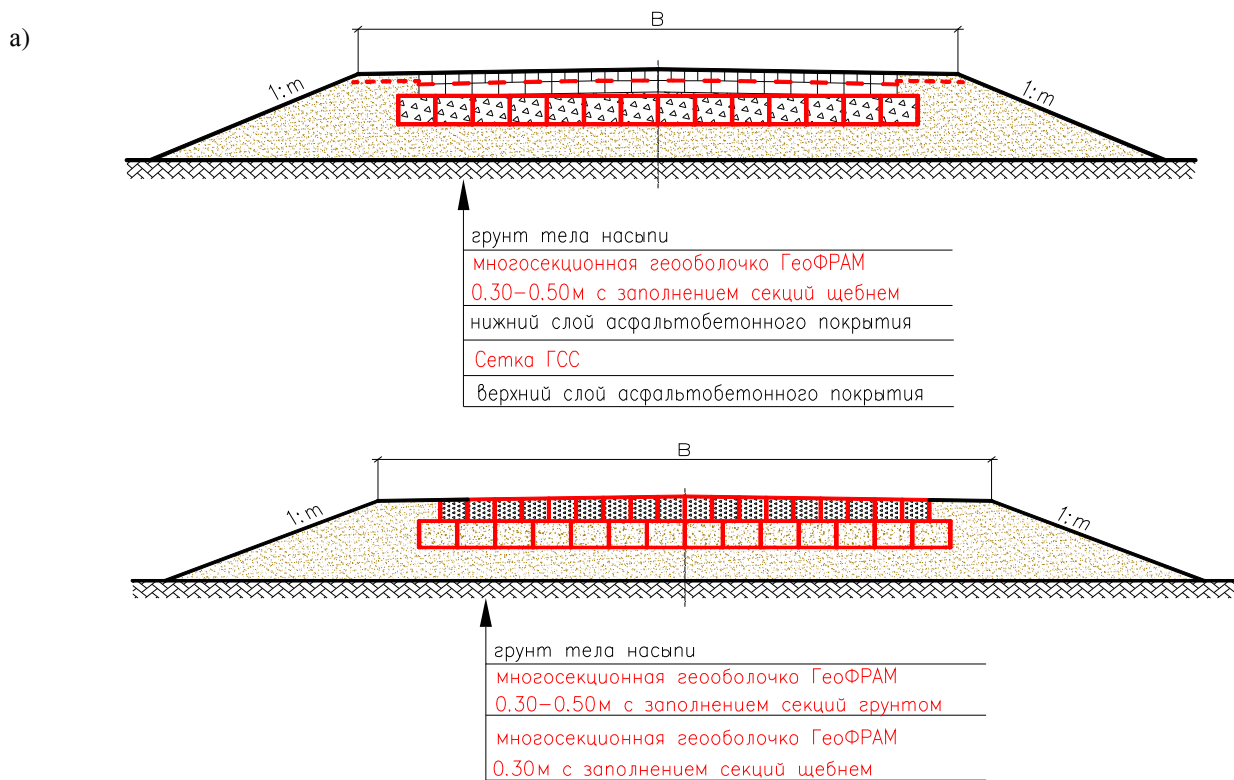


Рис. 15. Поперечный профиль конструкций дорог с применением многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ» в конструкции дорожных одежд

## 8. Двухэтапное сооружение автомобильной дороги с применением многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ»

В целях снижения стоимости конструкции дорожной насыпи геоболочки «ГеоФРАМ» можно укладывать в подошве насыпи и основании дорожной одежды. При этом конструкция дорожной одежды устраивается в два этапа. На первом этапе она обеспечивает проезд транспорта сразу же после строительства насыпи, когда процессы консолидации слабого основания только начались, а на втором – уже после полного завершения этих процессов, в целях ликвидации неравномерных ее деформаций, накопленных из-за осадки насыпи.

Также двухэтапное сооружение автомобильной дороги с помощью многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ» используется, если существует необходимость проезда специальной и строительной техники к месту производства строительных работ.

На первом этапе ведется сооружение автомобильной дороги из многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ» с заполнением различным строительным материалом, способным выдерживать нагрузку от проезда строительной и специальной техники (Рис. 16).

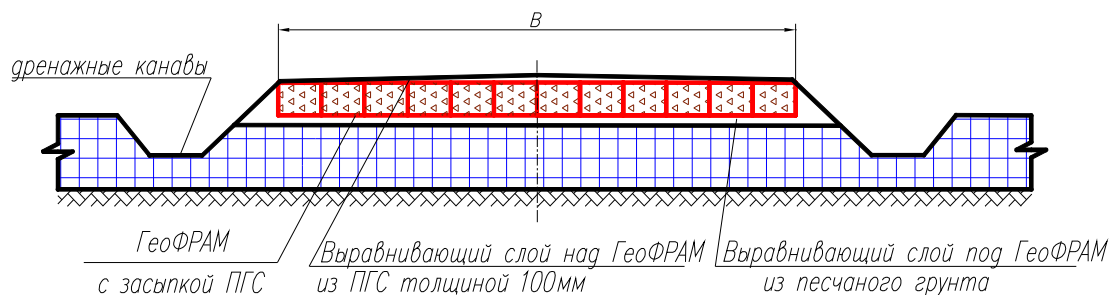


Рис. 16. Поперечный профиль автомобильной дороги сооруженной с применением многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ»

На втором этапе осуществляется сооружение автомобильной дороги с асфальтобетонным покрытием на базе существующей автомобильной дороги с применением нетканого синтетического материала для повышения несущей способности асфальтобетонного покрытия и разобщения слоев грунта засыпки и щебня (Рис. 17).

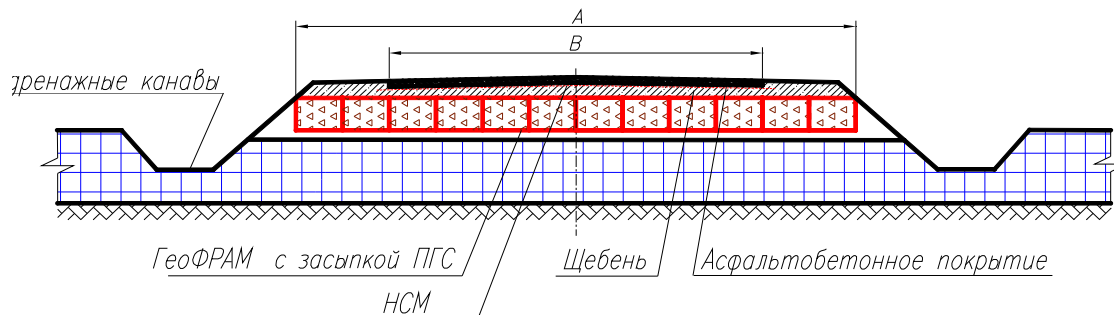


Рис.17. Поперечный профиль автомобильной дороги с асфальтобетонным покрытием, сооруженной при помощи многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» и нетканого синтетического материала

## 9. Армогрунтовые подпорные стенки из геоболочки «ГеоФРАМ»

Подпорные стенки из многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» применяются при строительстве противозерозионных сооружений, дорог, мостов, путепроводов, площадок, подъездов, берегоукреплений.

Необходимость возведения таких сооружений возникает при строительстве дорог, мостов, путепроводов и других сооружений в вечной мерзлоте и в стесненных условиях, а также при укреплении неустойчивых крутых откосов, земляных подмываемых дамб и т.п.

Подпорные стенки применяют для увеличения крутизны откосов и сокращения объемов работ, они удерживают грунтовый массив, откос которого имеет крутизну большую, чем предельная, по условиям устойчивости. Иногда подпорные стены служат не только для закрепления откосов, но и для прокладки по ним автодороги (Рис. 18), являясь основной частью насыпи.

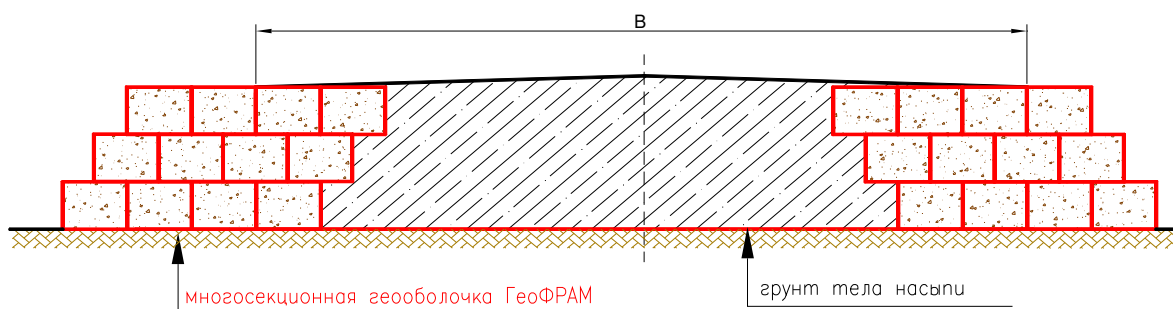


Рис. 18. Поперечный профиль автодороги укрепленной армогрунтовыми подпорными стенками из многосекционных геоболочек «ГеоФРАМ»

Конструкция армогрунтовой подпорной стенки с применением многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» представляет собой многослойную конструкцию, в которой геоболочки «ГеоФРАМ» расположены одна над другой со смещением на расстояние, равное половине ширины секции. Заполнение секций «ГеоФРАМ» производится песчаным грунтом, различным каменным материалом или смесью песчаного грунта с каменным материалом. Материал засыпки должен обладать хорошими дренирующими свойствами и иметь угол внутреннего трения не менее  $25^\circ$ . Подпорные стены с применением многосекционной

геоболочки «ГеоФРАМ» с заполнением секций грунтом характеризуются экономичностью и простотой возведения, причем эффективность их возрастает с увеличением высоты.

Податливость стен за счет деформативности грунта делает их нечувствительными к осадкам основания. Такие подпорные стены в большей степени приспособлены к неравномерным осадкам грунта, лучше компенсируют температурные и усадочные напряжения.



Фото 4. Строительство подпорной стены-дороги на склоне сопки в г. Находка.

## 10. Типовые конструкции вертолетных площадок

Для повышения надёжности работы вертолётных площадок на слабых грунтах предусматривают прослойки из многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» в основании площадок (Рис. 19).

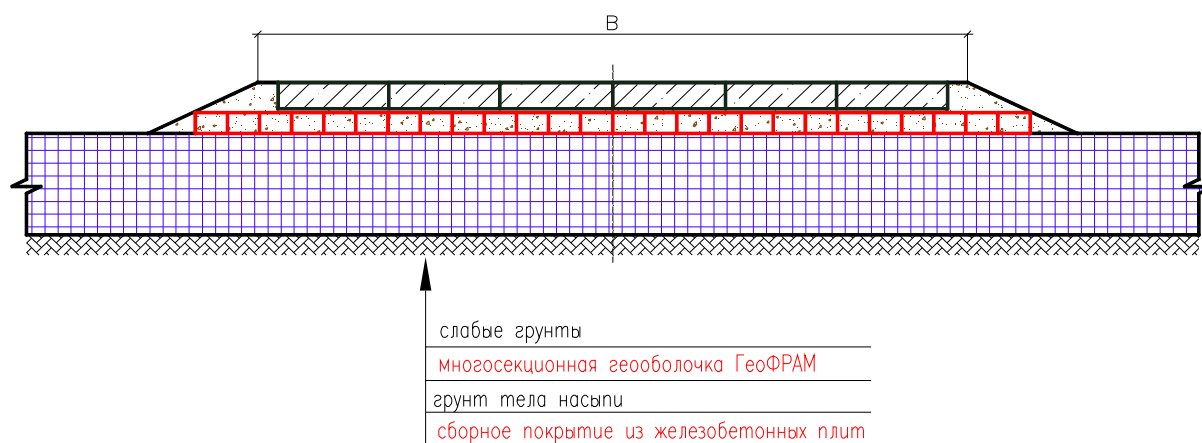


Рис. 19 – Поперечный профиль и конструкция вертолетной площадки с покрытием из железобетонных плит

Нежёсткие покрытия вертолётных площадок устраивают многослойными (Рис. 20).

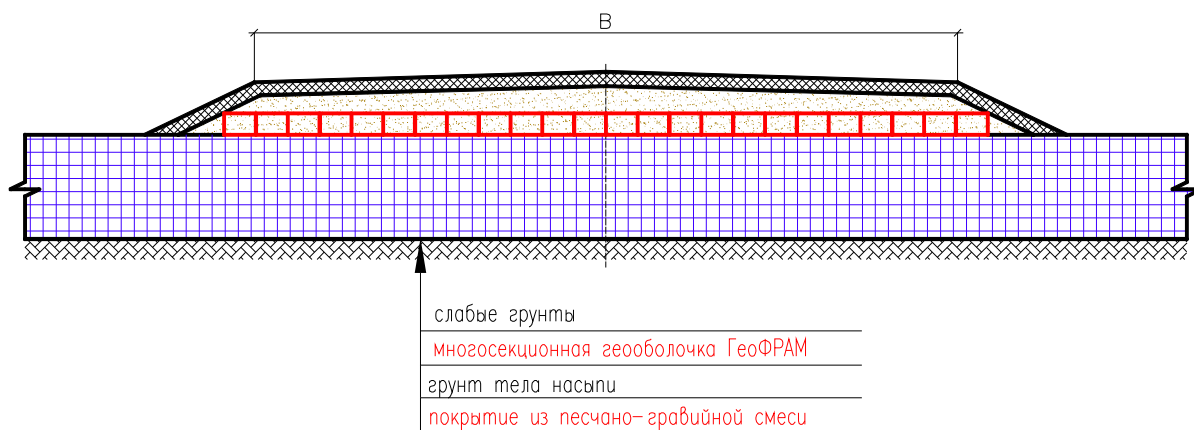


Рис. 20– Поперечный профиль конструкции вертолётной площадки, сооруженной с применением геоблочки «ГеоФРАМ», заполненной грунтом и ПГС

Требуемую толщину конструктивных слоёв вертолётных площадок обосновывают расчётом. Минимально допускаемую толщину конструктивного слоя вертолетных площадок (в уплотнённом состоянии) принимают согласно таблице 17 СНиП 32-03-96.

Т а б л и ц а 6.

Материал конструктивного слоя нежёсткого покрытия и искусственного основания	Минимальная толщина слоя, см
Асфальтобетон при внутреннем давлении воздуха в пневматиках колес воздушных судов, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ):	
менее 0,6 (6)	5
от 0,6 (6) до 0,7 (7)	7
св. 0,7 (7) « 1,0 (10)	9
« 1,0 (10)	12
Щебень, гравий, грунты, обработанные вяжущими	8
Щебень, обработанный органическими вяжущими по способу пропитки	8
Грунты и малопрочные каменные материалы, обработанные минеральными вяжущими	15
Щебень или гравий, не обработанные вяжущими и укладываемые на песчаное основание	15
<b>П р и м е ч а н и я:</b>	
1 Максимальный размер зерна крупной фракции, применяемого в слое минерального материала, должен быть не менее чем в 1,5 раза меньше толщины конструктивного слоя.	
2 Допускается устройство асфальтобетонных слоёв толщиной 9 – 12 см в два слоя из смеси того же качества при условии обеспечения сцепления между ними.	

## 11. Технология строительства

Состав и объем геодезической разбивочной основы, а также фактические отклонения при выполнении геодезических работ в процессе строительства должны соответствовать требованиям СНиП 3.01.03-84.

При строительстве вдольтрассовых и технологических проездов, площадок и подъездных дорог руководствоваться СНиП 3.06.03-85 [2], технологическими картами

производителя работ, а также рекомендациями производителя геосинтетических материалов.

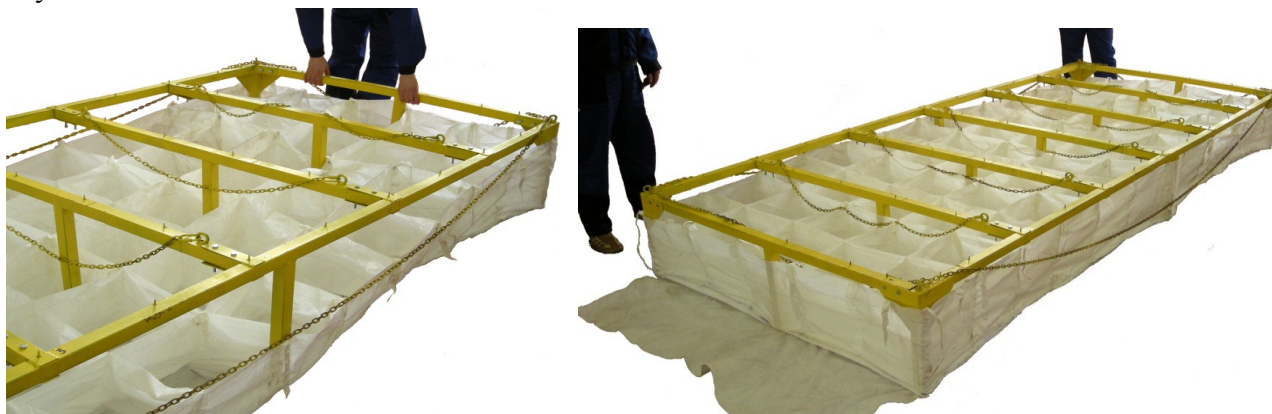
До начала укладки многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» следует выполнить все работы подготовительного периода: отвод поверхностных вод, инструментальная разбивка земляного полотна в плане и профиле, планировка и уплотнение основания насыпи земляного полотна, отсыпка (при необходимости) дренирующего песчаного слоя толщиной 0,20-0,30м или укладка слоя геотекстиля, устройство хворостяной выстилки и т.п. В частности, в качестве хворостяной выстилки под земляное полотно следует использовать вырубленные в полосе отвода деревья и кустарники.

### **11.1 Особенности технологии производства работ с использованием многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ»**

На подготовленную поверхность основания следует произвести установку предварительно собранного технологического каркаса.

Далее следует произвести укладку многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» на поверхность спланированного основания и ее растяжку на технологическом каркасе (фото 5).

Укладка «ГеоФРАМ» производится на всю ширину поперечника. Укладка геоболочек «ГеоФРАМ», растянутых на технологическом каркасе, может производиться непосредственно в воду.



*Фото 5. Растяжка «ГеоФРАМ» на технологический каркас.*

Засыпка секций «ГеоФРАМ» проводится экскаватором или ковшовым погрузчиком. «ГеоФРАМ» допускается заполнять: местным грунтом, песчаным грунтом, мелким щебнем, смесями различных грунтов, отходами производства и др. сыпучими строительными материалами. Грунт доставляется из карьера самосвалами и складировается на спланированной площадке или отстроеном участке. Отсыпку строительного материала или грунта в секции «ГеоФРАМ» ведут по способу «от себя» и «сверху».

При засыпке секций «ГеоФРАМ» строительным материалом или грунтом необходимо следить, чтобы высота слоя грунта над технологическим каркасом была не менее 10см.

При механических способах засыпки (экскаватором) необходимо произвести разравнивание поверхности, вручную досыпать и разровнять грунт до достижения равномерного слоя грунта над «ГеоФРАМ». По окончании засыпки откопать цепи, расположенные на всех ребрах технологического каркаса.





Фото 6. Засыпка многосекционного «ГеоФРАМ» грунтом при помощи экскаватора

С силой потянуть цепь вверх, перемещаясь вдоль цепи к противоположному концу, тем самым, обеспечивая снятие крепежных лент со штырей технологического каркаса (фото 7). Технологический каркас демонтируют вручную (при высоте геоболочки «ГеоФРАМ» до 500 мм включительно) или при помощи строительной техники (при высоте геоболочки «ГеоФРАМ» более 500 мм).

После сброса крепежных лент со штырей технологического каркаса, производится выемка вручную каркаса из тела заполненной грунтом геоболочки «ГеоФРАМ» и перестановка в место монтажа последующей геоболочки.



Фото 7 Выдергивание рамы из засыпанной грунтом геоболочки «ГеоФРАМ».

Через каждые 90 перестановок рамы монтажной РМ для укладки многосекционного «ГеоФРАМ» необходимо производить техническое обслуживание рамы с затяжкой крепежных элементов рамы. Увязка двух смежных геоболочек «ГеоФРАМ» производится с помощью лент, соединенных неразъемно с ячейками.

Весь процесс увязки «ГеоФРАМ» может быть разделен на следующие виды:

- установка нескольких геоболочек «ГеоФРАМ»;
- увязка смежных (пустых) геоболочек «ГеоФРАМ» между собой;
- увязка заполненных грунтом геоболочек «ГеоФРАМ»;
- увязка угловых ячеек смежных геоболочек «ГеоФРАМ».

После извлечения технологического каркаса необходимо создать слой насыпного грунта не менее 100 мм и утрамбовать его механическим способом.



*Фото 8 Связывание заполненных геоболочек «ГеоФРАМ» с незаполненными.*

Уплотнение грунта в секциях «ГеоФРАМ» и подсыпанного поверхностного слоя производят при помощи вибротрамбовок или катков (Фото 9).



*Фото 9 Уплотнение грунта в многосекционном «ГеоФРАМ» ручной трамбовкой и виброкатком.*

Утрамбованная поверхность над «ГеоФРАМ» обеспечивает работу, стоянку, движение тяжёлого пневмоколёсного и гусеничного транспорта. Поверхность насыпи над геоболочкой «ГеоФРАМ» может быть перекрыта другим рядом геосинтетического материала без создания прослойки из грунта.

Рекомендуется располагать слои многосекционного «ГеоФРАМ» по всей ширине дорожного полотна, путем скрепления смежных геоболочек между собой.

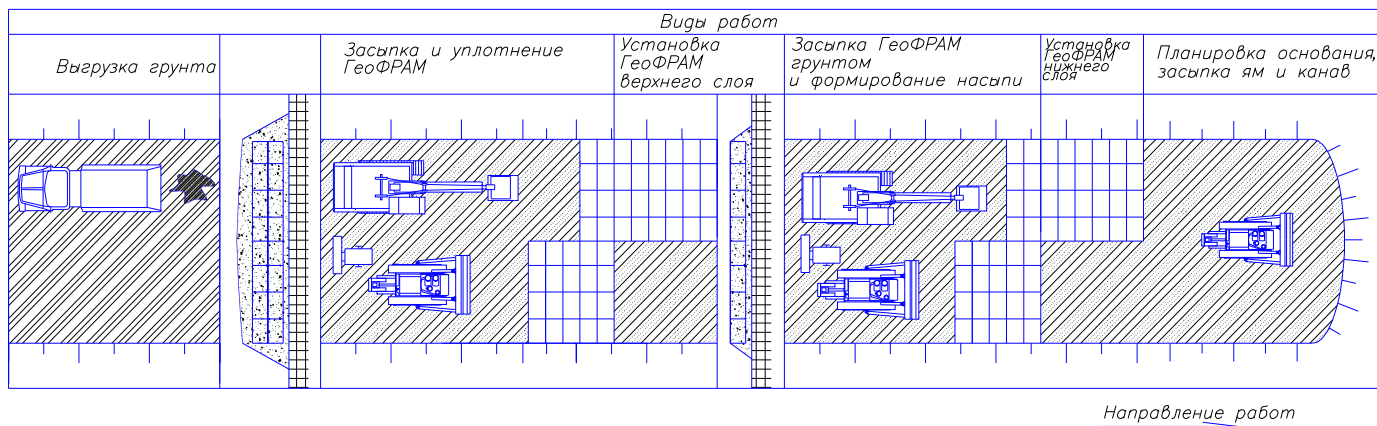


Рисунок 21. Типовая технологическая схема одно, двух и более ярусной укладки многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ»

## 11.2 Особенности технологии производства работ по укреплению откосов с помощью многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ».

Конструкция укрепления откоса геоболочкой «ГеоФРАМ» выбирается с учетом его геометрии, гидрогеологических условий и назначения сооружаемого объекта (Рис. 22). В комплексе с другими мероприятиями конструкция укрепления откоса должна обеспечить его местную и общую устойчивость при заданных условиях его эксплуатации.

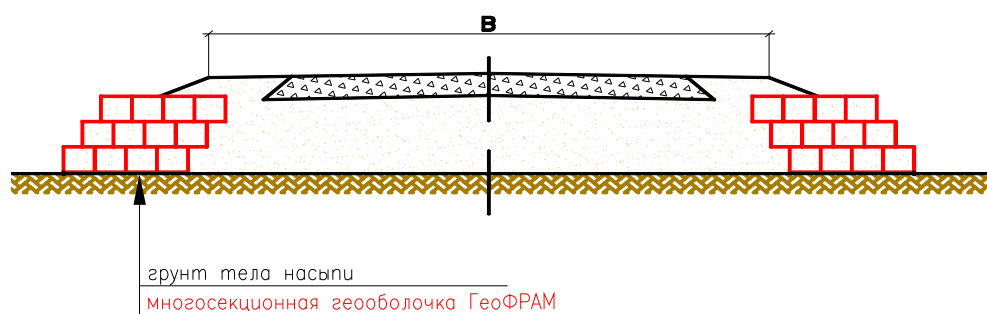


Рис. 22. Укрепление откосов с применением «ГеоФРАМ»

При перекрытии геоболочки «ГеоФРАМ» другим рядом геоболочки «ГеоФРАМ» подсыпка защитного слоя грунта первого ряда не производится.

Многосекционные геоболочки «ГеоФРАМ» высотой до 300 мм включительно закрепляются на откосах при помощи анкеров. Анкера устанавливаются в угловых и концевых ячейках в середине «ГеоФРАМ». Анкера вбиваются в грунт до засыпки секций геоболочки.

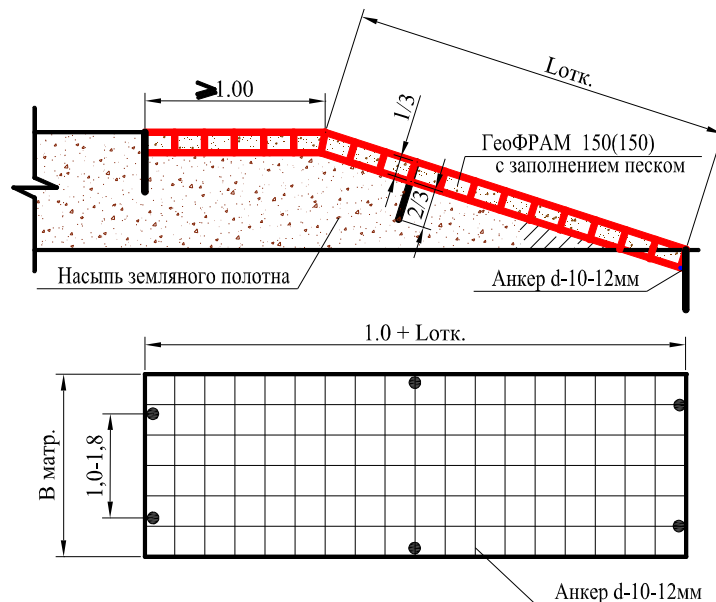


Рис. 23. Расположение геоблочков «ГеоФРАМ» и анкеров на откосе

Укрепление откосов многосекционной геоболочкой «ГеоФРАМ» включает в себя следующие основные операции:

- устройство выравнивающего слоя грунта под геоболочку «ГеоФРАМ»;
- укладка геоболочки «ГеоФРАМ» на спланированную поверхность и соединение между собой в соответствии с технологической картой;
- засыпка секций геоболочки «ГеоФРАМ» требуемым количеством грунта, определённым проектом и его уплотнение;
- создание над геоболочкой «ГеоФРАМ» насыпного слоя грунта, высотой определённой проектом, его распределение и уплотнение.

## 12. Дренажные конструкции

Анализ эффективности применения различных типов геосинтетических материалов для дренажных конструкций показал, что многосекционная геоболочка «ГеоФРАМ» в наибольшей степени подходит для обеспечения антикольматационной защиты элементов дренажа, а также может служить оболочкой (формой) новых типов дренажей без укладки водоотводящих труб.

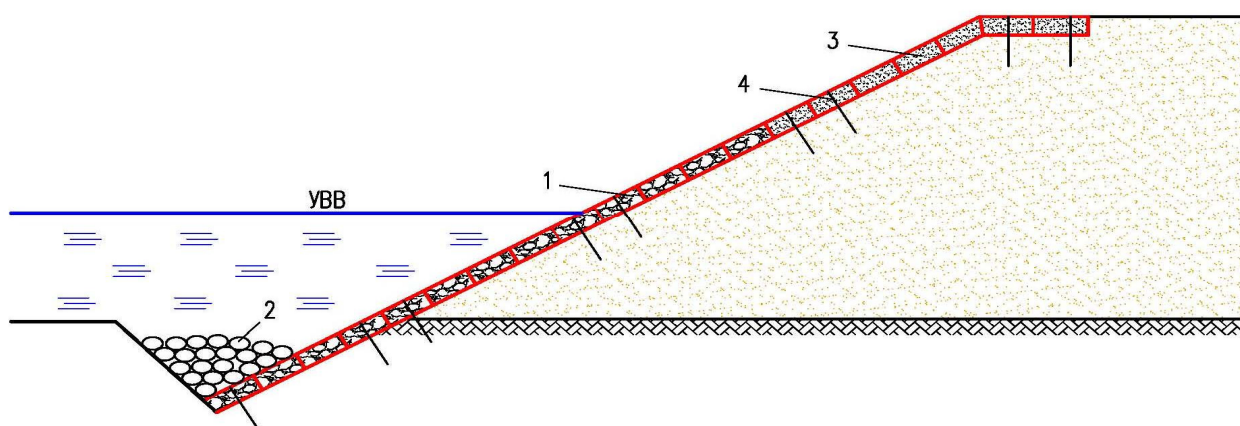


Рис. 24. Откосный дренаж 1– многосекционная геоболочка «ГеоФРАМ» высотой до 0,30м (включительно) с заполнением ячеек щебнем; 2 – каменная наброска; 3 – секции геоболочки «ГеоФРАМ» заполненные грунтом; 4- металлические анкера для крепления геоболочки к откосу земляного полотна;

В проектах с использованием многосекционной геоболочки «ГеоФРАМ» при необходимости следует предусматривать дренажные сооружения для перехвата и отвода поверхностных и грунтовых вод. Одним из самых простых решений является конструкция пластового дренажа. Возможно применение более сложных видов дренажных конструкций, а именно: перехватывающие (подкуветные, закуветные, в пределах откосных частей выемок); откосные застенные с использованием геосинтетических материалов различных типов. При этом для отвода воды могут использоваться асбоцементные, пластиковые, металлические трубы.

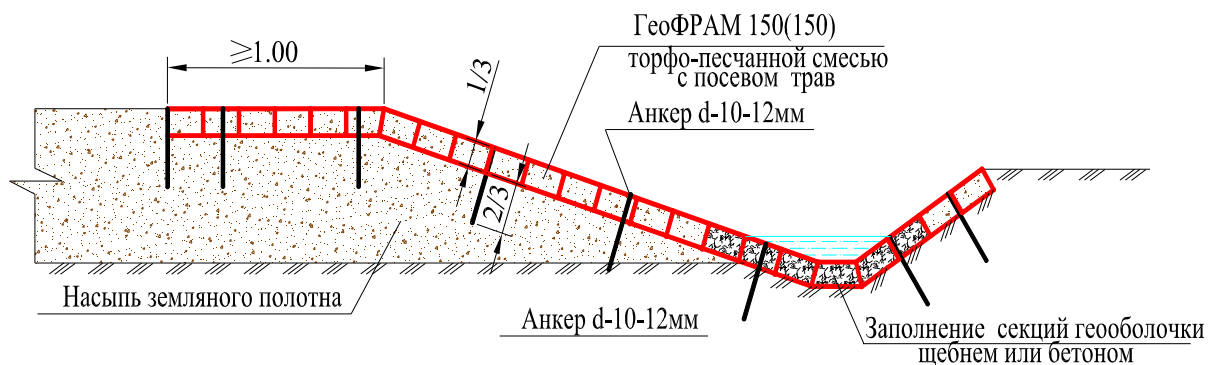


Рис. 25. Укрепление откоса геоболочкой «ГеоФРАМ» с устройством дренажа.

Наиболее эффективными решениями являются следующие дренажные конструкции:

- горизонтальные дренажные устройства под дорожной одеждой с заменой части подстилающего слоя из песка;
- пластовые дренажи в основаниях земляного полотна;
- перехватывающие траншейные дренажи всех типов;
- откосные дренажи.

#### **Применение данной технологии на Ваших объектах позволит:**

- Увеличить срок эксплуатации (без проведения капитального ремонта) за счёт надёжной защиты земляного полотна от водной и ветровой эрозии;
- Обеспечить возможность производства работ по строительству и капитальному ремонту объектов расположенных на слабых неустойчивых грунтах в независимости от времени года и климатических условий;
- Обеспечить надёжное и безопасное функционирование объектов построенных на обводнённых территориях, в том числе на болотах I - II типов;
- Увеличить темпы строительства и ремонта, сократить сроки ввода объектов строительства в эксплуатацию за счёт отказа от применения более сложных и дорогостоящих технологий;
- В будущем, при ремонте и обслуживании, добиться экономии капитальных вложений при производстве работ по строительству и капитальному ремонту объектов, за счёт уменьшения высоты насыпей и сокращения объёмов применяемых материалов, использования широкой гаммы материалов (в качестве материала заполнения секций «ГеоФРАМ», возможно применение не только песка, щебня, бетона, но и различных смесей грунтов, в том числе местного грунта);
  - Добиться экономии средств, в процессе эксплуатации объектов, так как использование указанной технологии позволит, в несколько раз увеличить ресурс земляного полотна учитывая, что срок службы «ГеоФРАМ» не менее 50 лет.
- Позволит производить работы по строительству насыпи на обводнённой территории без предварительной осушки;
- Обеспечит надёжное и безопасное функционирование основания земляного полотна автодорог построенных на слабых неустойчивых грунтах, в том числе на болотах I - III-го типов;

Данная технология применяется на объектах крупнейших нефтегазовых компаний ОАО «Газпром» и ОАО «АК «Транснефть». Также широкое применение технология нашла при строительстве коттеджных поселков и объектов ЖКХ, при возведении сооружений спортивного комплекса, при строительстве автодорог, проездов, площадок промышленных объектов и стоянок автотранспорта, укреплении откосов насыпей, возведении противоэрозионных сооружений, объектов ландшафтного дизайна и озеленения.

Приложение 1

### Расчет насыпного основания под буровую установку на болоте с применением геоболочки ГеоФРАМ.

Исходные данные.

Буровая установка монтируется на «жесткой» платформе размером 13x15 метров, высота установки 45,3 метра, масса установки 1000 тонн, динамический коэффициент – 1,5. (расчетная масса установки равна 1500 тонн).

Платформа уложена на песчаный насыпи толщиной 4,5 м, уложенной на торфяное болото толщиной 9,0 метров. Предполагается, что торфяник находится в текучепластичном состоянии, подстилающий слой на глубине 9 м – суглинки плотные средней влажности.

Расчет.

Площадь операния платформы равна:

$$F_{\text{платф}} = 130 \times 150 = 195000 \text{ см}^2$$

Удельное давление на грунт (q) насыпи равно:

$$q = \frac{1500000}{1950000} = 0,8 \text{ кгс/см}^2, \text{ т.е. весьма незначительное.}$$

Жесткость насыпного песчаного слоя  $D_{\text{п.с.}}$  равна:

$$D = \frac{bh^2}{12} E \text{ (b- полоса шириной 100 см, } E = 50 \text{ кгс/см}^2)$$

$$D_{\text{песч. слоя}} = \frac{100 \cdot 450 \cdot 450 \cdot 450}{12} \cdot 50 = 37\,968\,750\,000 \text{ кгс} \cdot \text{см}^2$$

Прогиб насыпного слоя W под давлением платформы может быть определен по формуле:

$$W_{\text{max}} = 0,0443 \frac{q \cdot b_1^4}{E h^3}; \quad b_1 = 1300 \text{ см, } h = 450 \text{ см}$$

$$W_{\text{max}} = 0,0443 \frac{0,8 \cdot 1300^4}{50 \cdot 450^3} = 21,6 \text{ см}$$

Усиливаем насыпь геоболочкой ГеоФРАМ высотой 0,5 м с ячейками 0,3x0,3 м, и определяем значение общей жесткости

Жесткость геоболочки D может быть определена по формуле:  $D = D_1 + D_{\text{ср}} + B_1 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2$ ; где:

$D_1$  – жесткость при изгибе нижнего слоя геоболочки ГеоФРАМ;

$B_1$  – жесткость при растяжении нижнего слоя,

$D_{\text{ср}}$  – жесткость среднего слоя (ячейки с уплотненным песком) при изгибе.

$$D_1 = \left( \frac{E_1 \cdot \delta_1^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} + \frac{b \cdot \delta \cdot h^2}{4} \right) \cdot 2 \cdot 100;$$

$$B_1 = \frac{E_1 \cdot \delta_1}{1 - \mu^2}; \text{ где}$$

$E_1$  и  $\mu_1$  –

модуль деформаций и коэффициент Пуассона полимерных материалов, из которых изготовлена геоболочка, которые определялись опытным путем.

$$E_1 \approx 150 \frac{\text{кгс}}{\text{см}}, \quad \mu_1 \approx 0,4;$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{E_0 \left[ \left( \frac{h_1}{2} \right)^3 + \left( \frac{h_2}{2} \right)^3 \right]}{3 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot 2 \cdot 100 \text{ см};$$

где  $E_0$  – модуль деформаций стенок геоболочки перед наступлением их потери устойчивости.

$E_0 = \frac{E_x}{(1 - \mu^2)}$ ; где  $E_x$  – модуль деформаций среднего слоя заполненной геоболочки в горизонтальном направлении.

$$E_x = \frac{2 \cdot E_3 \cdot \delta_3 + (t - \delta_3) \cdot E_{\text{гр}}}{t};$$

где  $E_3$  – модуль деформаций материала стенок геоболочки,  $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ;

$\delta_3$  – толщина стенок, см;

$E_{\text{гр}}$  – модуль деформаций материала засыпки,  $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ ;

$$E_x = \frac{2 \cdot 150 \cdot 0,3 + (29,7 - 0,3) \cdot 300}{29,7} = 300 \text{ кгс/см}^2$$

$$E_0 = \frac{30}{1 - 0,4^2} = 357 \text{ кгс/см}^2$$

$$D_{\text{ср}} = \frac{357 \cdot [25^3 + (25)^3]}{3 \cdot (1 - 0,4^2)} \cdot 2 \cdot 100 = 885\,416\,667 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$B_1 = \frac{150 \cdot 0,3}{1 - 0,4^2} = 54 \text{ кг} \cdot \text{см} \quad B_{\text{песч}} = 54 \cdot 100 = 5400 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

$$D_1 = \left( \frac{150 \cdot 0,3^3}{12 \cdot (1 - 0,4^2)} + \frac{100 \cdot 0,3 \cdot 50^2}{4} \right) = 937\,500 \text{ кг} \cdot \text{см};$$

$$D = 937\,500 + 885\,416\,667 + 5400 \cdot \left( \frac{50}{2} \right)^2 = 970\,729\,170 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

Если сравнить жесткости геоболочки ГеоФРАМ и просто песчаной подсыпки такой же толщины при  $E=250$ , то получаем:

$$D_{\text{подсыпки}} = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot 250 = \frac{100 \cdot 50^3}{12} \cdot 250 = 260\,416\,667 \text{ кг} \cdot \text{см}.$$

$$n = \frac{D_{\text{геоб} 0,5}}{D_{\text{подс} 0,5}} = \frac{970729170}{260416667} = 3,7 \text{ раза}$$

При  $E_{\text{нас}} = 150$ ,  $n \cong 6$  раз,

Жесткость геоболочки в 3,7 раза выше жесткости песчаной прослойки такой же высоты. (Грунт в секциях геоболочки имеет модуль деформации более  $1000 \text{ кгс/см}^2$ , а насыпной укатанный грунт – максимум  $\approx 250 \text{ кгс/см}^2$ ).

Общая жесткость насыпи увеличивается в 1,21 раза, т.к. она возрастает от  $37\,968\,750\,000 \text{ кг} \cdot \text{см}$  до  $45\,848\,750\,000 \text{ кг} \cdot \text{см}$ .

Просадка торфяника  $W_1$  при нагрузке на платформу  $1\,500 \text{ тс}$  и площади равной  $11 \text{ м} \times 13 \text{ м}$ , составит:

$$W_1 = \frac{0,0443 \cdot q \cdot a^4}{E \cdot h^3} = \frac{0,0443 \cdot 0,8 \cdot 1300^4}{50 \cdot 450^3} = 21,6 \text{ см};$$

Просадка торфяника  $W_2$  при наличии насыпи и геоболочки составит:

$$h_{\text{привед}} = h_{\text{насыпи}} + h_{\text{геоб}} \times \frac{E_{\text{геоб}}}{E_{\text{нас}}} = 4,5 + 0,5 \times \text{---} = 5,5 \text{ метра}$$

Соответственно,

$$W_2 = 0,0443 \cdot \frac{0,8 \cdot 1300^4}{50 \cdot 550^3} = 9,7 \text{ см};$$

$$n = \frac{21,6}{9,7} = 2,22, \text{ т.е., просадка платформы без геоболочки в 2,22 раза больше}$$

## **Выводы:**

**1. Применение геоболочки ГеоФРАМ на кусте скважин повысит несущую способность площадки и выполнит следующие функции: армирования, фильтрации, защиты от водной эрозии слабых грунтов основания, сохранит геометрию площадки. Поверхность над геоболочкой ГеоФРАМ обеспечит работу, стоянку, движение тяжёлого пневмоколёсного и гусеничного транспорта.**

**2. В результате упрощенного расчета видно, что применение геоболочек ГЕОФРАМ повышает жесткость (модуль упругости) слабого основания и уменьшает просадку буровой платформы.**

### **Применение данной технологии на Ваших объектах позволит:**

- Увеличить срок эксплуатации (без проведения капитального ремонта) за счёт надёжной защиты земляного полотна от водной и ветровой эрозии;
- Обеспечить возможность производства работ по строительству и капитальному ремонту объектов расположенных на слабых неустойчивых грунтах в независимости от времени года и климатических условий;
- Обеспечить надёжное и безопасное функционирование объектов построенных на обводнённых территориях, в том числе на болотах I - II типов;
- Увеличить темпы строительства и ремонта, сократить сроки ввода объектов строительства в эксплуатацию за счёт отказа от применения более сложных и дорогостоящих технологий;
- В будущем, при ремонте и обслуживании, добиться экономии капитальных вложений при производстве работ по строительству и капитальному ремонту объектов, за счёт уменьшения высоты насыпей и сокращения объёмов применяемых материалов, использования широкой гаммы материалов (в качестве материала заполнения секций геоболочки возможно применение не только песка, щебня, бетона, но и различных смесей грунтов, в том числе местного грунта);
- Добиться экономии средств, в процессе эксплуатации объектов, так как использование указанной технологии позволит, в несколько раз увеличить ресурс земляного полотна учитывая, что срок службы геоболочки не менее 50 лет.
- Позволит производить работы по строительству насыпи на обводнённой территории без предварительной осушки;
- Обеспечит надёжное и безопасное функционирование основания земляного полотна автодорог построенных на слабых неустойчивых грунтах, в том числе на болотах I - III-го типов;

**Данная технология применяется на объектах крупнейших нефтегазовых компаний ОАО «Газпром» и ОАО «АК «Транснефть». Также широкое применение технология нашла при строительстве коттеджных поселков и объектов ЖКХ, при возведении сооружений спортивного комплекса, при строительстве автодорог, проездов, площадок промышленных объектов и стоянок автотранспорта, укреплении откосов насыпей, возведении противозерозионных сооружений, объектов ландшафтного дизайна и, озеленения.**