

УТВЕРЖДЕНО

Генеральный директор

/Титова А.В./

«12» апреля 2021 г.



Методические рекомендации

по проектированию и строительству дорожных конструкций,
включающих Геооболочку и композиционные дорожные маты
КДМ-ЭКС

Москва 2021

Содержание

1. Область применения	3
2. Нормативные ссылки	3
3. Термины и определения	5
4. Общие положения	7
5 Проектирование дорожной конструкции	11
6 Технология производства работ	14
7. Контроль качества.....	15
8 Техника безопасности.....	15
Приложение А	16
Приложение Б	17
Приложение Г	19
Приложение Д.....	24

1. Область применения

Настоящий методический документ разработан для проектирования и строительства дорожной конструкции, включающей Геооболочку и композиционные дорожные плиты КДМ-ЭКС. Документ содержит методики расчетов, конструктивные решения, технологию производства работ.

Положения настоящего методического документа рекомендуются для применения организациями, выполняющими работы по проектированию, строительству промышленных и временных дорог.

Документ разработан с учетом ГОСТ 1.5, ГОСТ Р 1.5. Отдельные положения методического документа могут уточняться на основе опыта строительства с учетом региональных особенностей, новых результатов исследований, конструктивных решений, разработок расчетных методов.

2. Нормативные ссылки

ГОСТ 1.5-2001. Межгосударственный стандарт. Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению

ГОСТ 9.048-89. Государственный стандарт Союза ССР. Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов.

ГОСТ 2782-90 Ленты технические специальные. Технические условия

ГОСТ 6611.2-73* (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88). Государственный стандарт Союза ССР. Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве.

ГОСТ 26623-85. Межгосударственный стандарт. Материалы и изделия текстильные. Обозначения по содержанию сырья.

ГОСТ 29104.4-91. Межгосударственный стандарт. Ткани технические. Метод определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве.

ГОСТ 32804-2014 (EN 13251:2000). Межгосударственный стандарт. Материалы геосинтетические для фундаментов, опор и земляных работ. Общие технические требования.

ГОСТ Р 1.5-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

ГОСТ 32824-2014 Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования.

ГОСТ 32826-2014 Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования.

ГОСТ 33100-2014 Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог.

ГОСТ Р 50277-92 (ИСО 9864-90). Государственный стандарт Российской Федерации. Материалы геотекстильные. Метод определения поверхностной плотности.

ГОСТ Р 52608-2006. Национальный стандарт Российской Федерации. Материалы геотекстильные. Методы определения водопроницаемости.

ГОСТ Р 55030-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения прочности при растяжении.

ГОСТ Р 55031-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения устойчивости к ультрафиолетовому излучению.

ГОСТ Р 55032-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения устойчивости к многократному замораживанию и оттаиванию.

ГОСТ Р 55033-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения гибкости при отрицательных температурах.

ГОСТ Р 55035-2012. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения устойчивости к агрессивным средам.

ГОСТ Р 55990-2014 Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования.

ГОСТ Р 58770-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-песчаные шлаковые. Технические условия.

ГОСТ Р 58397-2019 Дороги автомобильные общего пользования. Правила производства работ.

ПНСТ 542-2021 Предварительный национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования.

СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85*.

СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*.

СП 37.13330.2012 Промышленный транспорт Актуализированная редакция СНиП 2.05.07-91.

СП 86.13330.2014 Магистральные трубопроводы Актуализированная редакция СНиП III-42-80.

СНиП 12-03-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования.

ОДМ 218.3.120-2020. Методические рекомендации по расчету насыпей автомобильных дорог на слабых грунтах основания с применением геоситетических материалов.

ОДМ 218.4.1.006 - 2021. Рекомендации по применению многосекционных геоболочек при сооружении земляного полотна.

Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. М., 2004 г. Росавтодор.

3. Термины и определения

3.1. **автомобильная дорога:** комплекс конструктивных элементов, предназначенных для движения с установленными скоростями, нагрузками и габаритами автомобилей и иных наземных транспортных средств, осуществляющих перевозки пассажиров и (или) грузов, а также участки земель, предоставленные для их размещения (ГОСТ 33100).

3.2. **автомобильная дорога временная:** Дорога, сооружаемая на срок службы менее 5 лет и обеспечивающая движение автомобилей или строительных транспортных средств по обслуживанию грузовых и пассажирских перевозок в

период сооружения новых объектов, реконструкции или ремонта (которая может переводиться в автомобильную дорогу общего пользования) (СП 34.13330.2021).

3.3. проезд вдольтрассовый: Объект магистрального трубопровода, предназначенный для перевозок грузов и персонала вдоль трассы магистрального трубопровода в период его строительства и эксплуатации. (СП36.13330.2012).

3.4. подъездная дорога: Дорога, сооружаемая 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 на трассе трубопровода.

3.5. внутриплощадочная дорога: Дорога, расположенная на территории промышленных площадок заводов, фабрик, промыслов, в карьерах, торфяных и лесных разработок и т.п. и обеспечивающая технологические и пассажирские перевозки;

3.6. межплощадочная дорога: Дорога, соединяющая отдельные обособленные производства промышленных предприятий (цехи заводов, месторождения открытых горных разработок с обогатительными и сортировочными фабриками) или промышленных районов, обеспечивающая наряду с технологическими перевозками, транспортирование хозяйственных грузов и пассажиров.

3.7. промысловая дорога: Дорога, связывающая между собой объекты нефтегазовой отрасли, соединяющие УКПГ, УППГ, ДНС, КНС и другие предприятия, состоящие в технологической связи между собой, а также дороги к кустам скважин от автомобильных дорог общего пользования;

3.3. 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.

3.4. 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 (СП 34.13330.2021).

3.5. 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 (СП 34.13330.2021).

3.6. 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) (СП 34.13330.2021).

3.7. дорожная одежда: Конструктивный элемент автомобильной дороги, воспринимающий нагрузку от транспортных средств и передающий ее на земляное полотно (ГОСТ33100-2014п.3.8).

3.8. земляное полотно: Конструктивный элемент, служащий для размещения дорожной одежды, а также технических средств организации дорожного движения и обустройства автомобильной дороги (ГОСТ 33100).

3.9. основание дорожной одежды: Часть дорожной одежды автомобильной дороги, расположенной под покрытием и обеспечивающая совместно с покрытием перераспределение напряжений в конструкции и снижение их величины в грунте рабочего слоя земляного полотна (подстилающем грунте), а также морозоустойчивость и осушение конструкции (ГОСТ 33100).

3.10. покрытие дорожной одежды: Верхняя часть дорожной одежды, состоящая из одного или нескольких слоев, непосредственно воспринимающая усилия от колес транспортных средств и подвергающаяся прямому воздействию атмосферных факторов (ГОСТ 33100-2014).

3.11. слабые грунты: Связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания при испытании прибором вращательного среза не менее 0,075 МПа, удельное сопротивление статическому зондированию конусом с углом при вершине $\alpha = 30^\circ$ менее 0,02 МПа или модуль осадки при нагрузке 0,25 МПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 5 МПа) (СП 34.13330.2021).

3.12. первичная консолидация: Уплотнение грунта, происходящее за счет отжатия (фильтрации) поровой воды при уменьшении объема пор.

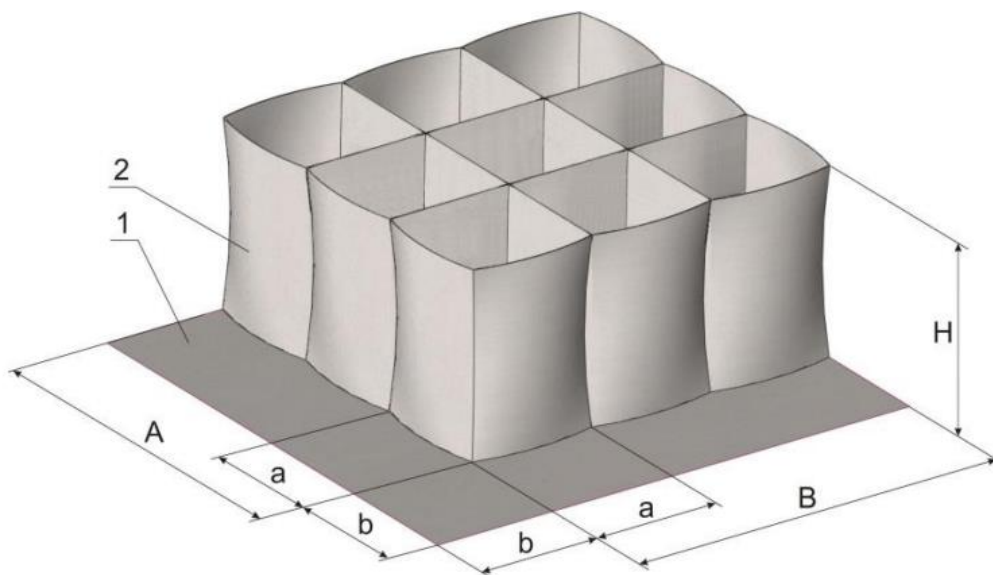
3.13. вторичная консолидация: Уплотнение грунта, происходящее за счет ползучести несущего каркаса (скелета грунта), обусловленной сдвигами частиц и их водно-коллоидных оболочек.

3.14 плита КДМ: композиционный дорожный мат, используемый для возведения дорожного полотна без применения специальной техники.

4. Общие положения

4.1. Промысловые и временные дороги, сооружаемые на болотах и др. слабых грунтах, должны обеспечивать требуемые транспортно-эксплуатационные показатели, в т.ч. устойчивость земляного полотна. При этом дороги должны сооружаться в короткие сроки с минимальными затратами. «Плавающая насыпь», т.е. насыпь, сооружаемая без посадки на минеральное дно – конструктивное решение, не требующее значительных материальных затрат и сложной технологии строительства. Применение конструкции «Геооболочка + плита КДМ» усиливает «плавающую насыпь» и повышает комфортность проезда.

4.2. Геооболочка представляет собой пространственную ячеистую конструкцию с линейно расположенными ячейками квадратной формы, с гибким основанием-дном, изготовленную методом сшивания из геополос в перпендикулярном направлении друг к другу и к основанию.



1 – днище; 2- боковые стенки; А, В – ширина и длина модуля соответственно; а – размер ячейки; b – вылет днища.

Рисунок 1 – Модель геооболочки

4.3. Для заполнения ячеек Геооболочки используют грунты и другие инертные материалы (щебень, песок, шлаки, гравий, различного вида песчано-гравийные смеси по ГОСТ 32703, ГОСТ 32826, ГОСТ Р 58770, ГОСТ 32824, ГОСТ Р 58397), а также другие материалы, рекомендуемые для применения в строительстве.

4.4. Композиционные дорожные маты КДМ представляют собой полимерные маты с установленными на них замковыми устройствами.

Композиционная дорожная плита серии ЭКС предназначена для строительства дорог с допустимой максимальной нагрузкой на плиту до 80 тонн. С применением в основании земляного полотна Геооболочки допустимая максимальная нагрузка на плиту КДМ возрастает в 2 раза.

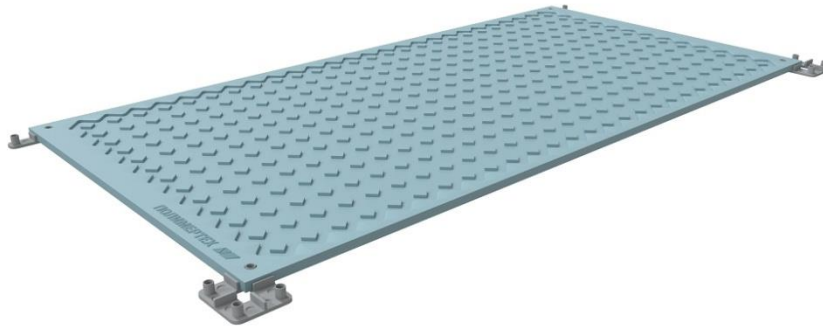


Рисунок 2 – Композиционные дорожные маты КДМ

4.5. Конструкция «Геооболочка + Композиционные дорожные плиты КДМ» предназначена для сооружения промышленных дорог, вдольтрассовых проездов, подъездных дорог, внутриплощадочных и межплощадочных дорог, площадок добычи полезных ископаемых, строительных площадок на слабых грунтах, в т.ч. болотах I, II, III типов, в короткие сроки. Геооболочка служит земляным полотном и основанием дорожной одежды, композиционные дорожные плиты КДМ – временным покрытием.

На болотах 1 типа конструкция может применяться при глубине более 2 м при несущей способности торфа не менее 0,6 кгс/м² и влажности не более 600%.

На болотах 2 типа конструкция может применяться при глубине менее 2 м.

На болотах 3 типа конструкция может применяться при глубине менее высоты геооболочки [ВСН 2–105–78].

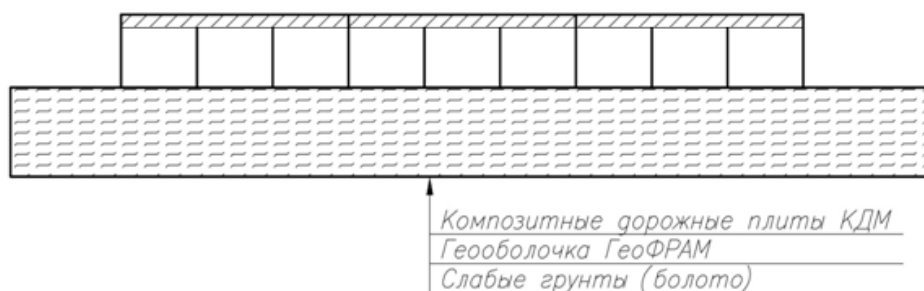


Рисунок 3 - Конструкция «Геооболочка + Композиционные дорожные плиты КДМ»

4.6. Конструкция «КДМ + Геооболочка» позволяет осуществить проезд сразу после окончания строительства, до завершения осадки слабого основания.

Применение плиты КДМ позволяет отказаться от операции уплотнения грунта в ячейках геооболочки. После завершения заполнения грунтом ячеек и демонтажа каркаса, при помощи которого была установлена геооболочка, устраивают покрытие из плит КДМ и открывают движение. Под действием автомобилей происходит уплотнение заполнителя ячеек. Плита распределяет нагрузку, препятствует горизонтальному перемещению частиц грунта и их выплеску из-под колеса автомобиля.

Высота Геооболочки должна назначаться таким образом, чтобы после завершения осадки основания и завершения уплотнения грунта в ячейках возвышение геооболочки над паводковыми водами было не менее 0,15 м.

4.7. После снижения скорости консолидации грунта основания до допустимой величины покрытие из плит может быть демонтировано. Если требуется, устраивают выравнивающий слой из песка поверх Геооболочки в некоторых случаях щебеночное покрытие, после чего дорога продолжает функционировать. Плиты КДМ могут быть использованы на другом объекте. Демонтаж плит осуществляют при соблюдении следующих условий: скорость осадки не должна быть более 7 см/мес., коэффициент уплотнения k_y грунта в ячейках должен быть не менее 0,95.

4.8. Технический эффект применения конструкции заключается в:

- обеспечивается возможность производства работ по строительству и капитальному ремонту объектов вне зависимости от времени года и климатических условий;

- обеспечивается возможность организации движения как автомобильного транспорта, так и тяжелых строительных машин и механизмов;

- многоразовом использовании плит КДМ;
- высокой скорости строительства;
- исключении технологической операции уплотнения заполнителя ячеек;
- упрощении технологии строительства по сравнению с выторфовыванием, устройством свайного основания;
- повышение уровня 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.

5 Проектирование дорожной конструкции

5.1. Проектирование осуществляют в следующем порядке:

- назначают размеры плиты КДМ и ширину геоболочки;
- оценивают устойчивость основания на сдвиг, определяют тип болота;
- предварительно назначают размер ячейки, прочность ткани геоболочки, исходя из действующей нагрузки и с учетом типа болота;
- оценивают прочность геоболочки, заполненной инертным материалом;
- оценивают осадку основания;
- оценивают время достижения допустимой скорости осадки и сроков демонтажа мата КДМ покрытия.

5.2. Прочность и размеры плиты КДМ ЭКС и Геоболочки назначают исходя из транспортной нагрузки и ширины проезжей части дороги.

5.3. Устойчивость основания на сдвиг оценивают в соответствии с нормативными документами (ОДН 218.3.120-2020).

В зависимости от результатов оценки устойчивость относят к одному из трех типов:

I – основания, не требующие специальных мер по обеспечению устойчивости;

II – основания, для обеспечения устойчивости которых достаточно ограничить скорость отсыпки насыпи;

III – основания, требующие применения специальных мероприятий для обеспечения их устойчивости (исключение бокового выпирания слабых грунтов).

5.4. Проверку прочности геоболочки выполняют в соответствии с ПНСТ 542-2021 и ОДМ 218.4.1.006 – 2021. Поскольку после завершения осадки основания Геоболочка будет работать без плиты КДМ, расчет на прочность выполняют без его учета. Пример расчета приведен в Приложении В.

5.5. Расчет осадки основания насыпи с учетом Геоболочки выполняют в соответствии с пп. 5.5.1 – 5.5.2 и Приложением Г.

5.5.1. Расчет осадки насыпи, армированной Геоболочкой, выполняют с учетом следующих предпосылок:

- устойчивость откосов и тела насыпи обеспечены;
- среднее натяжение ткани армирующей конструкции равно силе трения;
- реакция слабого основания определяется коэффициентом постели по Винклеру;
- сила натяжения ткани равна ее разрывной нагрузке, т.е. ткань начинает растягиваться тогда, когда нагрузка достигла разрывной;
- осадка определяется для вертикальных блоков, на которые разбивают поперечник, как вертикальное перемещение выделенного блока, при этом нижняя поверхность блока горизонтальна. С увеличением количества блоков точность расчета увеличивается.

Геоболочка защемляется крайними блоками, прогиба и растяжения геоболочки под ними не происходит, осадка возможна только в результате вертикального перемещения блока совместно с геоболочкой.

5.5.2. Для расчета осадки на поперечнике выделяют блоки шириной S , которые создают нагрузку $q_i = \gamma h_i$, кН/м² (рисунок 3). Нагрузку на блоки вычисляют с учетом транспортной нагрузки.

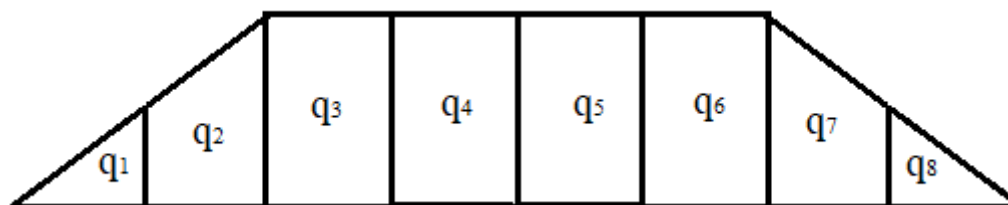


Рисунок 3– Схема разбивки насыпи на блоки ($q_1 \dots q_8$)

На основе формулы (5) составляют систему уравнений равновесия для трех блоков, принимая, что сумма действующих на них сил равна нулю

$$Z_{i+1} - 2Z_i + Z_{i-1} - \frac{k}{T} s^2 Z_i + \frac{q_i}{T} s^2 = 0; \quad (5)$$

где:

k – коэффициент постели;

где T – растягивающая сила;

$T = \varepsilon t_0$

ε – отношение площади всех стенок и дна секции геоболочки к площади дна секции

t_0 – разрывная нагрузка ткани геоболочки.

Пример расчета приведен в Приложении Г.

5.6. Прогноз хода осадки основания насыпи во времени выполняют на основе теории фильтрационной консолидации.

Целью расчета является оценка скорости осадки слабого основания и выявление времени, когда скорость осадки достигнет допустимую.

Для этого определяют конечную осадку S , затем осадку S_i на разные периоды времени T_i в зависимости от степени консолидации U_i , и вычисляют скорость осадки.

Степень консолидации определяют по формуле (6):

$$U_i = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N} \quad (6)$$

где:

$$- N_i = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{c}{H^2} T_i$$

- c - коэффициент консолидации,

$$c = \frac{k_f(1 + \varepsilon_{cp})}{a\gamma_v}$$

a – коэффициент сжимаемости, $a = \frac{\varepsilon_{нач} - \varepsilon_{кон}}{p}$

$\varepsilon_{нач}$ – начальный коэффициент пористости

$\varepsilon_{кон}$ – конечный коэффициент пористости

ε_{cp} – средний коэффициент пористости,

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon_{нач} + \varepsilon_{кон}}{2}$$

p – нагрузка, при которой произошло уменьшение пористости, МПа

Целесообразно начинать расчет с величины осадки при $U = 95\%$, при которой $N = 2,8$ по формуле (7)

$$T_{стаб} = 1,13 H^2/c \quad (7)$$

Пример расчета приведен в Приложении Д.

6 Технология производства работ

6.1. Работы по монтажу выполняют в последовательности, приведенной ниже с учетом положений СП48.133330.2019.

6.2. Работы по возведению дорог с применением Геооболочки и Композиционных дорожных матов КДМ выполняются в разработанной технологической последовательности процессов производства работ на захватках (Рис.4). Длина захватки зависит от вида выполняемых работ. Выполнение работ осуществляется поточным методом.

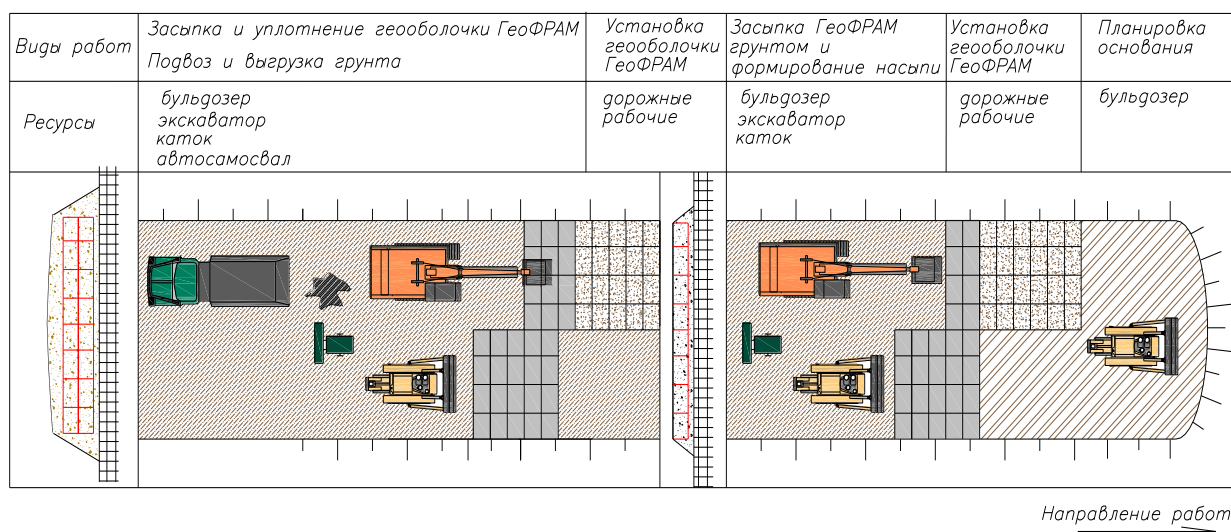


Рисунок 4 – Процесс производства работ на захватках

6.3. Подготовка к монтажу и монтаж состоят из следующих этапов:

- снятие растительного слоя (если имеется);
- планировка поверхности (если имеется);
- монтаж технологического каркаса многоразового использования и модуля Геооболочки;
- заполнение ячеек Геооболочки;
- после заполнения ячеек Геооболочки грунтом или другим материалом каркас демонтируют вручную или механизированным способом;
- на отсыпанное земляное полотно (толщина слоев этих материалов зависит от типа грунта и нагрузки на будущую дорогу) при помощи автокрана или экскаватора укладываются композиционные дорожные маты КДМ путем совмещения соответствующих частей замковых устройств.

7. Контроль качества

7.1. Перед монтажом Геооболочки грунтовое основание выравнивают.

7.2. При поступлении на объект Геооболочки и Композиционных дорожных матов КДМ проверяют наличие сопроводительных документов, подтверждающих ее марку и качество (паспорт на партию, стандарт организации).

7.3. Перед монтажом визуально проверяют внешний вид Геооболочки и Композиционных дорожных матов КДМ, замеряют геометрические размеры, контролируя их соответствие сопроводительным документам.

7.4. В процессе монтажа Геооболочки контролируют расположение отдельных модулей друг относительно друга, соответствие проекту количества, мест расположения.

7.5. При производстве работ зимой в ячейки возможно попадание снега. Засыпку Геооболочки осуществляют при условии, что ячейки заполнены снегом не более чем на 10% их объема.

7.6. Результаты входного, операционного и приемочного контроля заносят в журналы работ, а также акты освидетельствования скрытых работ и приемки ответственных конструкций (по СНиП 12-03-2002[1]).

8 Техника безопасности

8.1. При проведении погрузочно-разгрузочных работ руководствуются ГОСТ 12.3.009-76 ССБТ, ГОСТ 12.3.002-75, Приказ Минтруда России от 28.10.2020 № 753н.

8.2. При монтаже соблюдают требования безопасности в соответствии со СНиП12-03-2002[1]; СНиП 12-04-2002 [2].

8.3. К работам по заполнению Геооболочки грунтом, такелажу и монтажу привлекают рабочих, обученных, аттестованных и допущенных к самостоятельной работе в соответствии с Приказом Минтруда России от 28.10.2020 № 753н.

8.4. На объектах, сооруженных с применением Геооболочки, не производятся земляные работы с применением острых и режущих инструментов и механизмов на глубину залегания Геооболочки без предварительного демонтажа конструкции. Проведение взрывных работ или прямое термическое воздействие на основание, сооружённое с использованием Геооболочки, может нанести вред сооружению и не гарантирует сохранности изделия.

Приложение А

Допустимые отклонения от номинальных размеров и параметров плит КДМ

Наименование параметра	Значение	Допуск
Длина, мм	от 500 до 1000	± 1%
	от 1000 до 6000	±2%
Ширина, мм	от 500 до 1000	± 1%
	от 1000 до 2000	±2%
Толщина, мм	от 5 до 20	±1 мм
	от 20 до 30	±1,5 мм
	от 30 до 40	±2 мм
	от 40 до 55	±2,5 мм
Масса, кг	от 10 до 100	±1 %
	от 100 до 700	±1,5%

Приложение Б

Свойства материалов, используемых при изготовлении многосекционной геооболочки

Т а б л и ц а А.1 – Свойства материалов, используемых при изготовлении многосекционной геооболочки

№	Показатель	Значение показателя	Нормативный документ
Физические свойства			
1	Состав сырья	Полиэфир Полиамид Полипропилен Поливинилспирто вые соединения	ГОСТ 26623-85
2	Коэффициент фильтрации, не менее м/сут.	5	ГОСТ Р 52608-2006
3	Стойкость при циклическом замораживании и оттаивании, %	90	ГОСТ Р 55032 -2012
4	Стойкость к действию химических агрессивных сред, %	96	ГОСТ Р 55035-2012
5	Гибкость (эластичность) при отрицательной температуре (минус 40 ⁰ С) на радиус 3 мм	отсутствие механических повреждений	ГОСТ Р 55033-2012
6	Стойкость к УФ-излучению, %	90	ГОСТ 55031-2012
7	Биостойкость, не ниже	ПГ ₁₁₃	ГОСТ 9.048-89 (оценивается по п. 8.4 ОДМ 218.5.006-2010 с учетом шкалы оценки ГОСТ 9.048) ГОСТ Р 58830 – 2020
Механические свойства			
8	Поверхностная плотность геополос (стенок ячейки), г/м ²	250 – 600	ГОСТ Р 50277-92 (ИСО 9864-90)

9	Разрывная нагрузка геополос (стенок ячейки) кН/м	60 – 200	ГОСТ Р 55030-2012
10	Относительное удлинение при разрыве геополос (стенок ячейки), %: в продольном направлении – в поперечном направлении –	15 – 28 15– 25	ГОСТ 29104.4-91
11	Разрывная нагрузка лент, кгс	300-3000	ГОСТ 2782-90
12	Разрывная нагрузка нитей, кгс	20	по ГОСТ 6611.2-73 (ИСО 2062-72, ИСО 6939-88) (с изменениями 1, 2, 3, 4, 5)
13	Разрывная нагрузка шва по отношению к максимальной разрывной нагрузке материала при одноосном растяжении, % от прочности полосы, не менее	60	ГОСТ 32804-2014 (EN 13251:2000) (приложение Г)
14	Циклическая нагрузка остаточная прочность, % - в продольном направлении - в поперечном направлении	72 64	ОДМ 218.5.006-2010

Расчет осадки слабого основания при применении Геооболочки

Исходные данные

Ширина геооболочки под насыпью соответствует ширине насыпи понизу.

Высота насыпи $H=6$ м.

Ширина насыпи поверху $B=12$ м.

Ширина полосы движения $b_0=3,5$ м.

Ширина обочины $b_{об}=2,5$ м.

Заложение откоса $m= 1:1$

Ширина земляного полотна понизу $b = B + 2mH=12,00 + 2 \cdot 6,00=24,00$ (м)

Допустимое растяжение ткани геооболочки $[\varepsilon]=12$ %.

Давление от грунта насыпи $\gamma=18$ кН/м².

Высота ячейки геооболочки $h_{ст}=1$ м.

Длина и ширина секции геооболочки $l_4= 4$ м.

Длина и ширина ячейки $f = 1$ м.

Общее число продольных и поперечных стенок секции $n = 5+5 = 10$ шт.

Коэффициент постели торфа, соответствующий нагрузке на 1 пог. м, $k_0 = 90$ кН/м².

Коэффициент бокового давления $k_b=0,9$.

Коэффициент запаса $k_r=1,4$.

Нагрузка на ось автомобиля $Q_t = 115$ кН.

Разрывная нагрузка ткани геооболочки $t_0= 90$ т/м.

Обозначим осадку основания без учета геооболочки через y , осадку с учетом геооболочки через z .

Расчет

1. Определяем параметр ε по формуле

$$\varepsilon = \frac{S_{гр}}{S_b} = \frac{h_{ст} \left(\frac{l_2}{f} + 1 \right) l_1 + l_1 l_2}{l_1 l_2} = h_{ст} \left(\frac{1}{f} + \frac{1}{l_2} \right) + 1, \quad (Г.1)$$

$$\varepsilon = \frac{S_{см} n \cdot l \cdot h_{см} + l \cdot l}{l \cdot l} = \frac{10 \cdot 4 \cdot 1 + 4 \cdot 4}{4 \cdot 4} = 3,5$$

где:

- $S_{ст}$ —площадь всех стенок и дна секции геооболочки, м²;

- $S_{д}$ – площадь дна секции геооболочки, м².

Вычисляем растягивающую силу T_2 , кН/м действующую на 1 м² площади секции геооболочки с учетом ее стенок, по формуле

$$T_1 = \varepsilon t_0 \quad (Г.2)$$

$$T_1 = 3,5 \times 90 = 315.$$

Находим максимальное растягивающее усилие T , кН, приходящееся на 1 м ширины геоболочки, по формуле

$$T = T_1 \times 1 = 315 \quad (\text{Г.3})$$

4. Определяем согласно ГОСТ Р 52748 толщину эквивалентного слоя грунта $H_э$, м, соответствующего транспортной нагрузке вычисляются по формуле

$$H_э = \frac{18K}{(d+0,2)(c+0,8)} = \frac{18 \cdot 8,3}{(3,6+0,2)(2,7+0,8)} = 0,62 \text{ м} \quad (\text{Г.4})$$

где:

- 18K — нормативная нагрузка НК, кН. Для земляного полотна автомобильных дорог всех категорий $K = 8,3$;

- d — база нормативной нагрузки НК, м;

- c — колея нормативной нагрузки НК, м;

5. Для расчета осадки разбиваем поперечник на блоки шириной $L=3$ м, которые создают нагрузку q_i , кН/м². При ширине основания насыпи 24 м получаем восемь блоков (рисунок).

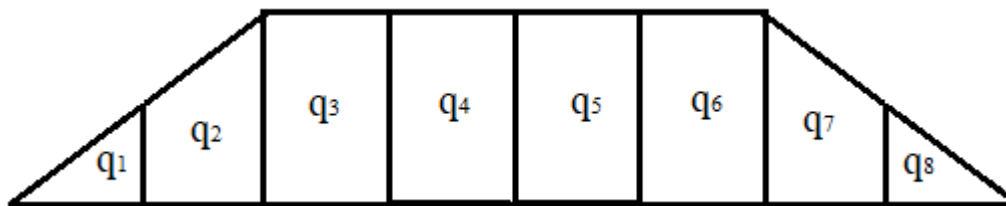


Рисунок Г.1 – Схема разбивки насыпи на блоки ($q_1 \dots q_8$)

6. Для расчета давления от веса блоков 1, 2, 7, 8 определяем их среднюю высоту. Поскольку заложение откоса 1:1, максимальная высота блоков будет равна:

$$h_{\max 1} = h_{\max 8} = 3 \text{ м}; \text{ средняя высота } h_{\text{ср}1} = h_{\text{ср}8} = h_{\max 8} \times 2 = 1,5 \text{ м.}$$

Максимальная высота блоков 2 и 7 из геометрических соображений:

$$h_{\max 2} = h_{\max 7} = 4,5 \text{ м.}$$

7. Определяем нагрузку q_i на 1 пог. м основания от веса блоков по формуле

$$q_i = \gamma h_i, \quad (\text{Г. 5})$$

где

- h_i — средняя высота i -го блока, м.

$$q_{1,8} = 18 \times 1,5 = 27;$$

$$q_{2,7} = 18 \times 4,5 = 81.$$

8. Нагрузку на блоки горизонтальной части насыпи на 1 пог.м вычисляем с учетом транспортной нагрузки, считая, что обочины также загружены, по формуле

$$q_i = \gamma (H + H_3) = 18(6 + 0,62) = 119,16 \quad (\Gamma.6)$$

$$q_{3,4,5,6} = 18 \times 6 + 19,2 = 127,2.$$

9. Находим осадки блоков y_i , м, без учета геоболочки по формуле

$$y_i = \frac{q_i}{k}. \quad (\Gamma.7)$$

$$y_{1,8} = \frac{27}{90} = 0,3;$$

$$y_{2,7} = \frac{81}{90} = 0,9;$$

$$y_{3,4,5,6} = \frac{119,16}{90} = 1,32$$

10. Для расчета осадки основания z_i , м, с учетом геоболочки на основе формулы (8) составляем систему уравнений равновесия для трех блоков (9), принимая, что сумма действующих на них сил равна нулю,

$$Z_{i+1} - 2z_i + z_{i-1} - \frac{k}{T} s^2 z_i + \frac{q_i}{T} s^2 = 0; \quad (\Gamma.8)$$

$$\begin{cases} Z_2 - 2z_1 - \frac{k}{T} s^2 z_1 + \frac{q_1}{T} s^2 = 0 \\ Z_3 - 2z_2 + z_1 - \frac{k}{T} s^2 z_2 + \frac{q_2}{T} s^2 = 0 \\ Z_4 - 2z_3 + z_2 - \frac{k}{T} s^2 z_3 + \frac{q_3}{T} s^2 = 0. \end{cases} \quad (\Gamma.9)$$

11. Определяем значения свободных членов в уравнениях

$$\frac{q_1}{T} s^2 = \frac{27 \cdot 3^2}{315} = 0,77 \text{ м}$$

$$\frac{q_2}{T} s^2 = \frac{81 \cdot 3^2}{315} = 2,31 \text{ м}$$

$$\frac{k}{T} s^2 = \frac{90}{315} \cdot 3^2 = 2,57 \text{ м}$$

12. Решаем уравнения, учитывая, что согласно принятой модели Винклера,

$$z_3 = z_4$$

$$z_2 - 2z_1 - \frac{k}{T} s^2 z_1 + \frac{q_1}{T} s = 0;$$

$$z_3 - 2z_2 + z_1 - \frac{k}{T} s^2 z_2 + \frac{q_2}{T} s = 0;$$

$$-z_3 + z_2 - \frac{k}{T} s^2 z_3 + \frac{q_3}{T} s = 0;$$

$$z_2 - 2z_1 - \frac{k}{T} s^2 z_1 + \frac{q_1}{T} s^2 = 0$$

$$z_3 - 2z_2 + z_1 - \frac{k}{T} s^2 z_2 + \frac{q_2}{T} s^2 = 0$$

$$-z_3 + z_2 - \frac{k}{T} s^2 z_3 + \frac{q_2}{T} s^2 = 0$$

$$z_2 - 2z_1 - 2,57z_1 + 0,77 = 0$$

$$z_3 - 2z_2 + z_1 - 2,57z_2 + 2,31 = 0$$

$$-z_3 + z_2 - 2,57z_3 + 2,31 = 0$$

$$-4,57z_1 + z_2 = -0,77$$

$$z_1 - 4,57z_2 + z_3 = -2,31$$

$$z_2 - 3,57z_3 = -2,31$$

$$z_1 - 0,22z_2 = 0,17$$

$$z_1 - 4,57z_2 + z_3 = -2,31$$

$$z_2 - 3,57z_3 = -2,31$$

$$-4,35z_2 + z_3 = -2,48$$

$$4,35z_2 - 15,53z_3 = -10,05$$

$$-14,53z_3 = -12,53$$

$$z_3 = 0,86 \text{ (м)}$$

$$z_2 = 0,77 \text{ (м)}$$

$$z_1 = 0,34 \text{ (м)}$$

13. Удлинение ткани геоболочки определяем исходя из следующего. Величина осадок определялась в точках под центрами блоков, которые расположены на расстоянии $L = 3$ м друг от друга. Под действием нагрузки центр одного блока переместился относительно другого на расстояние $z_2 - z_1$. При этом ткань дна геоболочки удлинилась на величину δ , м (рисунок Г.2).

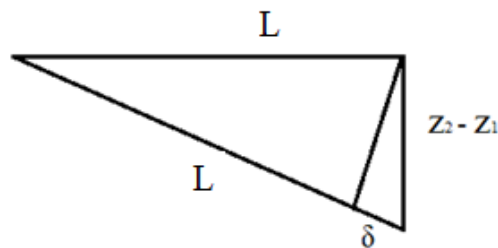


Рисунок Г2 – Схема растяжения дна многосекционной геоболочки
Составляем уравнение

$$L + \delta = \sqrt{L^2 + (z_2 - z_1)^2}; \quad (\Gamma.10)$$

$$[\varepsilon] = 12 \%;$$

$$\delta = \sqrt{(L)^2 + (z_2 - z_1)^2} - L = \sqrt{3,0^2 + (0,43)^2} - 3,0 = 3,03 - 3,00 = 0,03(\text{м})$$

$$\varepsilon = 100 \frac{\delta}{L} = 100 \frac{0,03}{3,00} = 1(\%)$$

По условию прочности

$$\varepsilon < [\varepsilon]; \quad (\Gamma.11)$$

$$[\varepsilon] = 12 \%;$$

$$1 \% < 12 \%.$$

Следовательно, условие прочности выполнено.

14 Оцениваем эффективность применения геоболочки, сравнивая вычисленные осадки основания с применением и без применения геоболочки, по формуле

$$k_3 = \frac{y_{\max}}{z_{\max}}; \quad (\Gamma.12)$$

$$y_{\max} = 1,32;$$

$$z_{\max} = 0,86;$$

$$k_3 = \frac{1,32}{0,86} = 1,53$$

Пример расчета времени консолидации грунта основания

Исходные данные:

Глубина торфяного массива $h = 4$ (м);

Нагрузка от веса насыпи $p = 4$ (т/м²);

Объемный вес скелета торфа $\gamma_{ск} = 0,1$ г/см³ = 0,1 (т/м³);

Удельный вес торфа $\gamma_0 = 0,6$ г/см³; = 0,6(т/м³);

Коэффициент фильтрации для среднеразложившегося торфа $k_f = 0,3$ (м/сут.), сильно разложившегося торфа $k_f = 0,01$ (м/сут.).

Относительная осадка, соответствующая нагрузке $p = 4$ т/м² по компрессионной кривой (рисунок Д.1), $e = 0,45$.

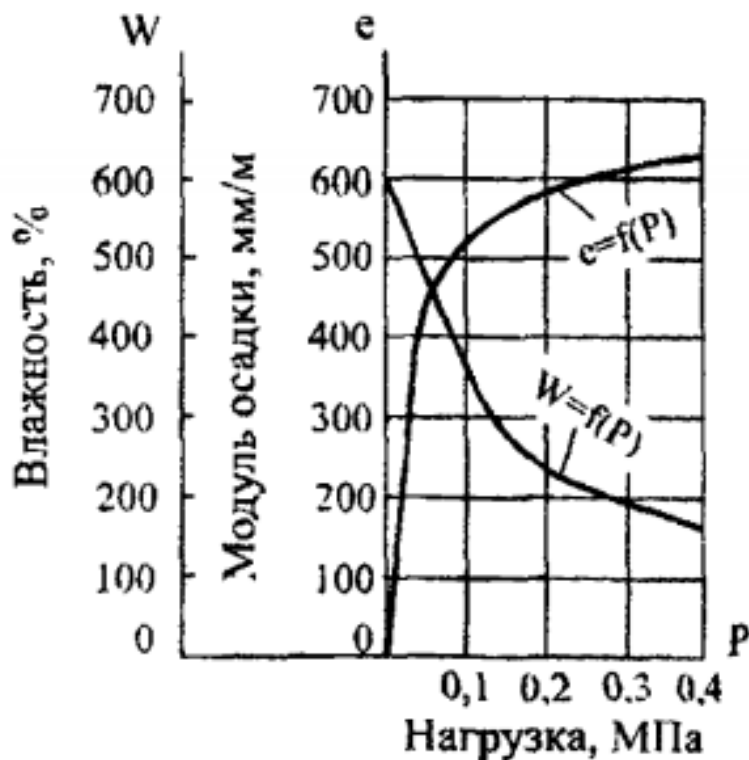


Рисунок Д.1 Компрессионная кривая торфа («Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах, 2004»)

Требуется определить период времени, когда скорость осадки уменьшится до 7 см/мес., и будет выполнено условие демонтажа покрытия (п.4.7).

Д1 Расчет консолидации при залегании среднеразложившегося торфа

1. Определяем конечную осадку основания, соответствующую действующей нагрузке:

$$S = eh = 0,45 \cdot 4 = 1,8 \text{ (м);}$$

2. Определяем начальный коэффициент пористости:

$$\varepsilon_H = \frac{\gamma_0 - \gamma_{ск}}{\gamma_{ск}} = (0,6 - 0,1) : 0,1 = 5;$$

3. Определяем конечный коэффициент пористости:

$$\begin{aligned} \varepsilon_K &= \varepsilon_0 - e(1 + \varepsilon_0) \\ \varepsilon_K &= 5 - 0,45(1+5) = 2,3 \end{aligned}$$

4. Определяем средний коэффициент пористости ε_{cp} :

$$\varepsilon_{cp} = \frac{\varepsilon_H + \varepsilon_K}{2} = \frac{5+2,3}{2} = 3,6$$

5. Определяем коэффициент уплотнения, а:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\varepsilon_H - \varepsilon_K}{P} \\ a &= \frac{5 - 2,3}{4} = 0,675 \text{ (м}^2/\text{т);} \end{aligned}$$

6. Определяем коэффициент консолидации:

$$c = \frac{k_{\phi}(1 + \varepsilon_{cp})}{a \gamma_B}$$

где:

- γ_B – плотность воды, т/м³

$$c = \frac{0,3(1+3,6)}{0,675 \cdot 1} = 2,04 \text{ (м}^2/\text{сут.)}$$

Определяем время стабилизации 95% осадки, т.е. $U = 0,95$, по формуле:

$$\begin{aligned} T_{95\%} &= 1,13 H^2/c \\ T_{95\%} &= 1,13 \cdot 4^2 / 2,02 = 8,95 \text{ (сут.)} \end{aligned}$$

7. Определяем величину осадки на период времени $T_{95\%}$:

$$\begin{aligned} S_{95\%} &= S \cdot 95\% \\ S_{95\%} &= 1,8 \cdot 0,95 = 1,71 \text{ (м)} \end{aligned}$$

8. Определяем осадку на период времени T спустя месяц после достижения $T_{95\%}$:

$$T = 8,8 + 30 = 48,8 \text{ (сут.)}$$

9. Определяем параметр N для $T = 48,8$ (сут.).

$$N = \frac{\pi^2}{4} \cdot \frac{c}{H^2} T_i = \frac{3,14^2}{4} \cdot \frac{2,04}{4^2} 48,8 = 15,03$$

10. Определяем параметр e^{-N}

$$e^{-N} = e^{-15,3} = 2,3 \cdot 10^{-7}$$

11. Вычисляем степень консолидации U_i :

$$U_i = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-N} = 1 - \frac{8}{3,14^2} 2,3 \cdot 10^{-7} \approx 100\%$$

12. Величина осадки на момент времени T_i составляет 100%, т.е 1,8 (м).

Вывод: осадка среднеразложившегося торфа протекает достаточно быстро, поскольку указанный грунт обладает высоким коэффициентом фильтрации. За 48 суток степень консолидации практически достигла 100%, осадка завершена.

Д2. Расчет консолидации при залегании в основании сильноразложившегося торфа

Рассматриваем сильноразложившийся торф, обладающий наиболее низким коэффициентом фильтрации (самый худший вариант), $k_f = 0,01$, остальные характеристики те же, что и в предыдущем примере.

1. По формуле (3) определяем коэффициент консолидации:

$$c = \frac{0,01(1 + 3,6)}{0,675 \cdot 1} = 0,068 \text{ (м}^2\text{/сут.)}$$

2. По формуле (7):

$$T_{95\%} = 1,13 \cdot 4^2 / 0,068 = 266 \text{ (сут.)} = 8,8 \text{ (мес.)}$$

Определяем время достижения скорости осадки 7 см/мес. подбором, уменьшая период времени T на 30 суток и сводим результаты в табл. Д 1.

Табл. Д 1

Период времени T , сут	N	e^{-N}	Степень консолидации U , %	Осадка S , см	Осадка за 1 месяц Δs , см
266			95	171	
236	2,47	0,08	93	167	4
206	2,16	0,11	90	162	5
176	1,76	0,17	86	155	7

Вывод: спустя 176 суток или 5,9 мес. после завершения работ по устройству дорожной конструкции скорость осадки составляет 7 см/мес. Условие демонтажа плит покрытия соблюдено.