ОДМ 218.2.103-2020

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВСПЕНЕННОГО ПОЛИСТИРОЛА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЛЕГЧЕННЫХ НАСЫПЕЙ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН ООО «СПбГАСУ-Дорсервис» в соответствии с государственным контрактов от 25.12.2018 № ФДА 47/148

2 ВНЕСЕН Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения.

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от «14» августа 2020 г. № 2524-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1 Область применения 4
2 Нормативные ссылки 4
3 Термины и определения 5
4 Обозначения и сокращения 7
5 Общие положения 7
6 Требования к геометрическим характеристикам и физико-механическим свойствам ППБ 10
7 Методика проектирования и расчета облегченных насыпей на слабых грунтах с использованием ППБ 11
8 Рекомендации по применению ППБ при строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах 32
9 Рекомендации по технико-экономическому обоснованию 32
10Рекомендации по методам контроля и оценке соответствия 32
11Требования безопасности и охраны окружающей среды 34
Приложение А. Примеры расчетов облегченной насыпи с использованием ППБ 35
Библиография 41

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Методические рекомендации по применению вспененного полистирола при проектировании, строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах

1 Область применения

Настоящий отраслевой методический документ (далее – методический документ) устанавливает рекомендации по применению на автомобильных дорогах общего пользования блоков из вспененного пенополистирола при проектировании, строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах.

Методический документ содержит рекомендации, предъявляемые к инженерным свойствам блоков из вспененного пенополистирола, к методам проектирования, а также технологии производства работ для основных областей применения блоков в дорожном строительстве.

Положения настоящего методического документа предназначены для применения организациями, выполняющими работы по проектированию, строительству и реконструкции автомобильных дорог общего пользования. Они также могут использоваться производителями блоков из вспененного пенополистирола при разработке, производстве, контроле качества материалов и разработке стандартов организаций.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 32960-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения.

ГОСТ Р 55028-2012 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения.

ГОСТ Р 56148-2014 (ЕН 13163:2009) Изделия из пенополистирола ППС (EPS) теплоизоляционные, применяемые в строительстве. Технические условия.

ГОСТ Р (1.2.418-1.039.18) Дороги автомобильные общего пользования. Технические правила капитального ремонта, ремонта и содержания автомобильных дорог.

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

ГОСТ Р(1.13.144-1.124.19) Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ПЩС блоки). Правила применения.

ГОСТ Р (1.13.144-1.125.19) Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Общие технические требования.

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **автомобильная дорога**: Объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения автомобильных транспортных средств и включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода автомобильной дороги и расположенные на них или под ними конструктивные элементы (дорожное полотно, дорожное покрытие и подобные элементы) и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью, - защитные дорожные сооружения, искусственные дорожные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог.

3.2 **вспененный полистирол или пенополистирол:** Жесткий теплоизоляционный материал с закрытой, в основном ячеистой структурой, полученный путем спекания гранул вспененного полистирола или одного из его сополимеров.

3.3 **геомембрана**: Листы полиэтилена или композитного материала, скрепленные сварным швом, предназначенные для изоляции пенополистирола от внешних воздействий (свет, влага и т. п.)

3.4 **геосинтетический материал**: Материал из синтетических или природных полимеров, неорганических веществ, контактирующий с грунтом или другими средами, применяемый в дорожном строительстве.

3.5 **грунты слабые:** Связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки, при нагрузке 0,25 МПа более 50 мм/м (модуль деформации ниже 5 МПа).

3.6 **дорожная одежда**: Конструктивный элемент автомобильной дороги, воспринимающий нагрузку от транспортных средств и передающий ее на поверхность тела насыпи.

3.7 **комбинированная насыпь**: Инженерное сооружение из вспененных полистирольных блоков, с дополнительными прослойками из пенобетона, в пределах которого дорожная одежда расположена выше уровня земли.

3.8 **консолидация грунта**: Уплотнение водонасыщенного грунтового слоя во времени, происходящее за счет выжимания воды и сближения грунтовых частиц.

3.9 **легкая (облегченная) насыпь; НППБ**: Инженерное сооружение из вспененных полистирольных блоков, в пределах которого дорожная одежда расположена выше уровня земли, имеющее распределительную плиту, защиту откосов геокомпозитами и специально подготовленное основание.

3.10 **нормативные нагрузки**: Временные вертикальные нагрузки от транспортных средств и пешеходов, принимаемые в виде условных нагрузок для проектирования автомобильных дорог общего пользования и мостовых сооружений на них.

3.11 **пенополистирольные блоки; ППБ**: Блоки, изготовленные из вспененного пенополистирола.

3.12 **распределительная плита; РП**: Плита, предназначенная для равномерного распределения нагрузки от транспорта по поверхности ППБ.

3.13 **реконструкция автомобильной дороги**: Комплекс работ, при выполнении которых осуществляется изменение параметров автомобильной дороги, ее участков, ведущий к изменению класса и/или категории автомобильной дороги, либо влекущий за собой изменение границы полосы отвода автомобильной дороги.

3.14 **слабые основания**: Основания насыпи, в которых в пределах активной зоны имеются слои слабых грунтов мощностью более 0,5 м.

3.15 **устойчивость основания внешняя**: Способность грунта основания выдерживать максимальную нагрузку, передаваемую на него сооружением, без развития поверхностей скольжения, приводящих к разрушению оснований и полной непригодности сооружений к эксплуатации.

3.16 **устойчивость насыпи внутренняя:** Способность ППБ сопротивляться сдвигу и продавливанию при воздействии нагрузок.

4 Обозначения и сокращения

ППБ: пенополистирольные блоки;

НППБ: насыпь из пенополистирольных блоков;

РП: распределительная плита.

5 Общие положения

5.1 Основной идеей, заложенной в основу методического документа, является рекомендации к проектированию НППБ с целью недопущения достижения предельных состояний сооружения в процессе эксплуатации с учетом исключения влияния неблагоприятных гидрологических, сейсмологических условий.

5.2 Материалы, применяемые для изготовления ППБ, должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов.

5.3 Применяемые на автомобильных дорогах общего пользования при устройстве облегченных и комбинированных насыпей и сооружений на слабых грунтах ППБ должны иметь условное обозначение типоразмера по ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ПШС блоки). Общие технические требования.

5.4 Автомобильные дороги общего пользования с устройством облегченных и комбинированных насыпей и сооружений на слабых грунтах ППБ следует проектировать из условия безопасного и бесперебойного движения транспортных средств в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» [1], а также в соответствии с требованиями ГОСТ 27751 при проектировании НППБ в местах прилегания к мостам и иным строительным сооружениям.

5.5 При проектировании необходимо учитывать степень риска причинения вреда от воздействия установленных внешних и внутренних нагрузок на НППБ.

5.6 Расчеты насыпи должны осуществляться на основе достоверных результатов инженерно-геологических, инженерно-гидрометеорологических и гидрологических изысканий. При необходимости в трудных условиях дополнительно следует выполнять инженерно-сейсмологические и другие виды изысканий.

5.7 Расчеты устойчивости НППБ необходимо проводить для расчетных поперечных профилей. В качестве расчетных необходимо принимать поперечные профили с наиболее неблагоприятным сочетанием различных факторов, таких, как высота и крутизна откоса, физико-механические характеристики грунтов основания, мощность и расположение слабых прослоек, наклон слоев, наличие выходящих на поверхность грунтовых вод или подтоплений и т.п.

5.8 При учете динамических нагрузок в расчетах прочности, устойчивости насыпи из пенополистирола необходимо задаваться нормативными нагрузками и расчетными схемами нагружения в соответствии с ГОСТ 32960 с учетом динамического коэффициента.

5.9 Основные типы поперечного сечения облегченных насыпей с использованием ППБ:

1) Трапецеидальный (Рис. 1а)
2) Трапецеидальный с прослойками из пенобетона (Рис. 1б)
3) С вертикальными откосами (Рис. 1в)

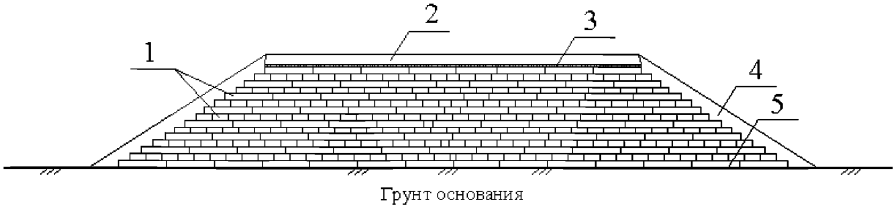


Рисунок 1а - Конструктивная схема НППБ трапецеидальной формы: 1 – ППБ, 2 – дорожная одежда, 3 – РП, 4 – грунтовое покрытие откосов, 5 – выравнивающий слой песка

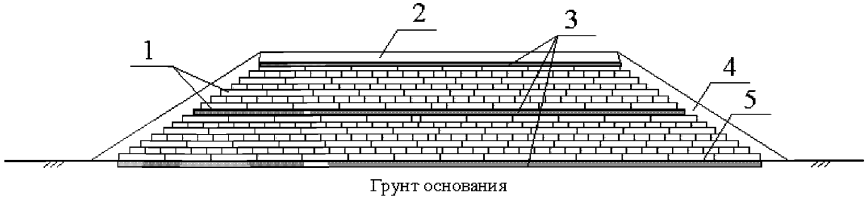


Рисунок 1 б - Конструктивная схема НППБ трапецеидальной формы с прослойками из пенобетона: 1 – ППБ, 2 – дорожная одежда, 3 – пенобетон, 4 – грунтовое покрытие откосов, 5 – выравнивающий слой песка

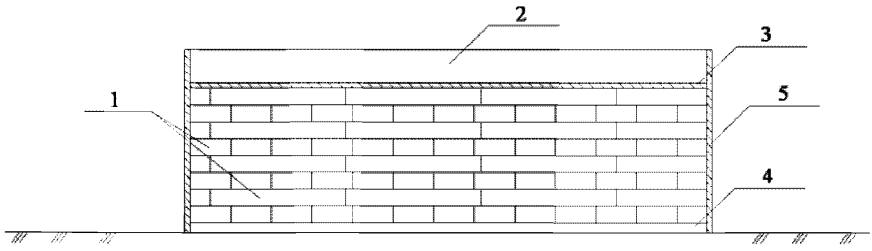


Рисунок 1 в - Конструктивная схема НППБ с вертикальными откосами: 1 – ППБ, 2 – дорожная одежда, 3 – РП, 4 – выравнивающий слой песка, 5 – облицовка

5.10 Примеры применения НППБ.

1) Устройство насыпи на слабом основании;

2) Уширение существующей насыпи (с нарезкой уступов);

3) Устройство подхода к путепроводу или мостовому сооружению;

4) Возведение насыпи над существующими коммуникациями.

6 Требования к геометрическим характеристикам и физико-механическим свойствам ППБ

6.1 При проектировании, строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах с использованием ППБ, применяемые блоки по своим геометрическим и физико-механическим свойствам должны соответствовать требованиям ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Общие технические требования.

6.2 При входном контроле ППБ выполнятся проверка внешнего вида (на предмет вмятин, сколов) и геометрических характеристик блоков. При входном контроле допускается выборочная проверка соответствия физико-механических характеристик материала блоков в соответствии с ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Общие технические требования.

6.3 Допускается приемка блоков только с небольшими (объемом < 0,0035 м^3 размером в любом направлении < 300 мм) повреждениями. Предельные отклонения от номинальных размеров и геометрической формы блоков не должны превышать: по длине, ширине и толщине ±0,5% от номинального размера; отклонение от плоскостности граней ± 5 мм на 1000 мм длины грани; разность длин диагоналей граней ±2 мм на каждые 500 мм длины диагонали; отклонение от перпендикулярности смежных граней ≤ 3 мм на расстоянии 500 мм от ребра блока.

6.4 Не допускается укладка в насыпь блоков с повреждениями больше допустимых при приемке, согласно п.6.3. Поврежденная часть блока должна отрезаться, неповрежденную часть блока, удовлетворяющую прочим требованиям, допускается укладывать в насыпь.

6.5 К проведению контрольно-выборочной проверки соответствия физико-механических характеристик материала блоков может привлекаться производитель блоков или независимая лаборатория, которая должна применять методы контроля и испытаний, предусмотренные в ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Общие технические требования.

7 Методика проектирования и расчета облегченных насыпей на слабых грунтах с использованием ППБ

7.1 При выполнении расчетов НШПБ на слабом грунте требуется рассмотреть взаимодействие между тремя основными элементами насыпи: грунтом основания, ППБ и дорожной одеждой.

7.2 При проектировании НШПБ на слабом основании необходимо выполнить проверку расчетом:

– величины конечной осадки насыпи;

– соответствия величины конечной осадки насыпи допустимым значениям (при наличии ограничивающих факторов, таких как, например

наличие под проектируемой насыпью подземных сооружений, чувствительных к осадке);

– несущей способности основания;

– устойчивости откосов (внешнюю и внутреннюю);

– длительности завершения осадки насыпи;

– сопротивления насыпи гидростатическому всплытию с подбором необходимого пригруза;

– сопротивления насыпи сдвигу (опрокидыванию) от воздействия сейсмических нагрузок;

– сопротивления насыпи сдвигу (опрокидыванию) от воздействия ветровых нагрузок;

– несущей способности ППБ.

Общий алгоритм расчета насыпи представлен на Рис. 2.

7.3 Перед началом проектирования должна быть выполнены оценка условий строительства, произведен выбор поперечного профиля насыпи для предварительного расчета, а также осуществлен предварительный выбор типа ППБ и дорожной одежды.

При расчете необходимо оценить особенности района будущего строительства:

– Генеральный план;

– Ограничения по максимально возможным срокам строительства;

– Ограничения по календарным дням строительства (например, невозможность работы в выходные или праздничные дни);

– Наличие подъездных дорог с запрещенным движением построечного транспорта;

– Ограничения по возможности размещения в полосе отвода постоянных или временных сооружений;

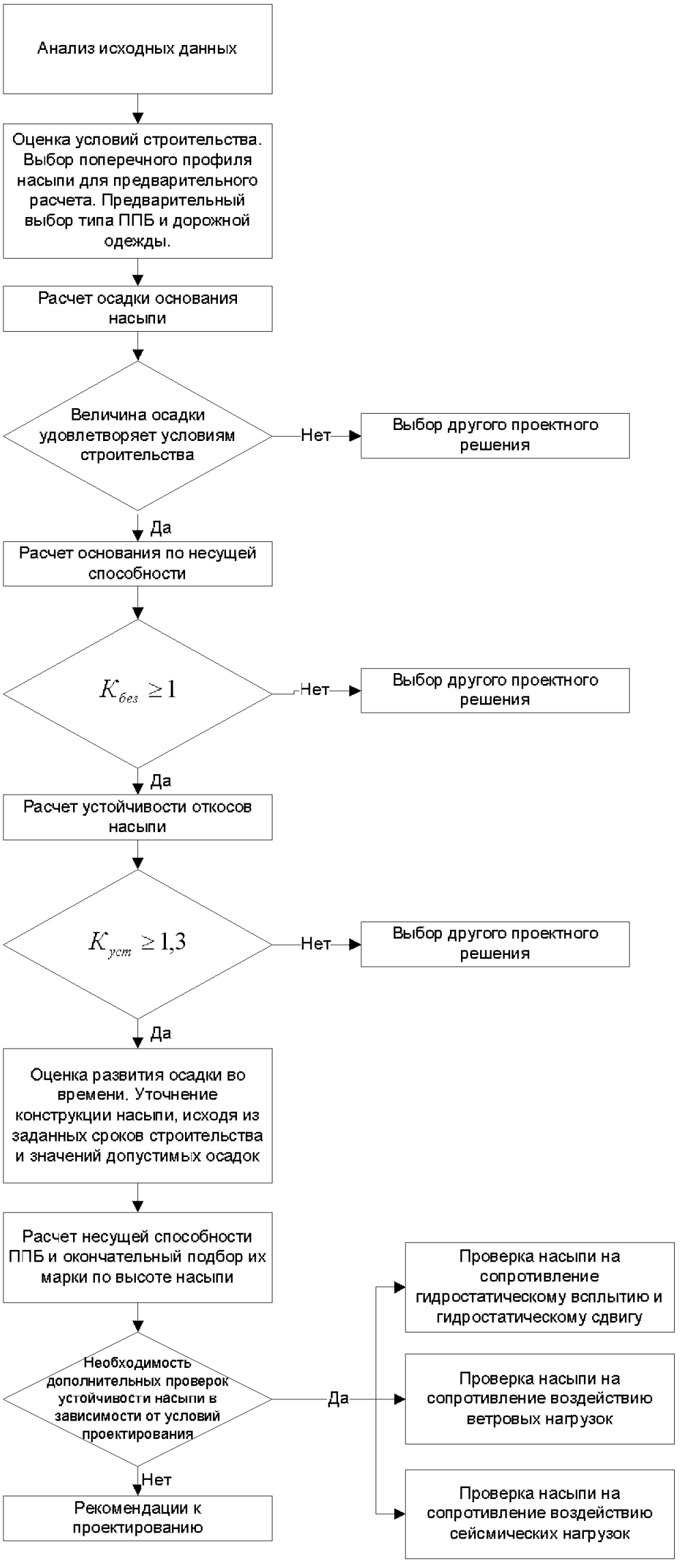


Рисунок 2 - Общий алгоритм расчета НППБ

– Наличие наземных и подземных сооружений (зданий, инженерных сетей и т.д.), в первую очередь тех, которые особенно чувствительны к осадке (например, газопроводы);

– Прогнозируемый подъем воды при наводнении.

7.4 При проектировании подхода к мостовому устою, следует уточнить тип пролетного строения моста, характеристики переходной плиты (если таковая применяется), и специальных геотехнических требований, относящихся к осадкам моста или переходной плиты.

Анализ исходных данных включает в себя:

– определение требуемых геометрических параметров насыпи: высота насыпи, заложение откосов, количество полос движения, ширина полос;

– оценка геотехнических характеристик участка строительства;

– определение основных расчетных нагрузок: напряжений от собственного веса, транспортных нагрузок, нагрузок от воздействия воды;

– оценка возможности разрушения от ветровой нагрузки;

– оценка возможности разрушения от сейсмических нагрузок.

7.5 Перед началом проектирования необходимо определить целесообразный тип поперечного сечения НППБ, исходя из условий строительства, в соответствии с п.5.9. После выбора типа поперечного сечения необходимо осуществить предварительный выбор типа ППБ и выполнить предварительное проектирование дорожной одежды.

Методика расчета основана на подборе такой дорожной одежды, которая будет оказывать наименьшее давление на поверхность НППБ, чтобы удовлетворить требованиям к внешней и внутренней устойчивости насыпи.

7.6 Расчетные нагрузки. При оценке устойчивости насыпи из пенополистирола на слабом основании необходимо учитывать, в первую очередь, напряжения от собственного веса, транспортные нагрузки и нагрузки от воздействия воды. При необходимости следует учесть воздействие сейсмических и ветровых нагрузок.

7.6.1 Напряжения от собственного веса. При расчете внешней и внутренней устойчивости принимаются во внимание следующие постоянные нагрузки:

– Вес дорожной одежды, включая вес РП;

– Вес грунтового покрытия откосов (для насыпи трапецеидальной формы) или вес элементов облицовки (для насыпи с вертикальными откосами);

– Вес грунта, укладываемого на существующее основание под ППБ.

В случае проектного решения с укладкой блоков в предварительно подготовленный котлован необходимо учесть это снижением нагрузки на подстилающие слои.

7.6.2 Транспортная нагрузка. Влияние транспортной нагрузки на прочность, устойчивость и деформативность НППБ необходимо учитывать в виде дополнительной статической нагрузки на поверхности насыпи с соответствии с ГОСТ 32960. При расчете необходимо принимать транспортную нагрузку с учетом динамического коэффициента $К_{дин} = 1,3$.

7.6.3 Нагрузки от воздействия воды. Как правило, участки со слабыми грунтами характеризуются высоким уровнем грунтовых вод, в том числе выходящим над поверхностью земли.

В связи с этим в расчете необходимо учитывать максимальный уровень подъема воды, наблюдающийся за многолетний период.

В расчете следует рассматривать три проблемы связанные с воздействием воды:

– увеличение общего объемного веса ППБ при насыщении водой;

– возможность гидростатического всплытия НППБ при повышении уровня воды;

– возможность гидростатического сдвига слоев НППБ вследствие неоднородности давления воды на откосы.

7.6.4 Сейсмическая нагрузка. Сейсмическая нагрузка может влиять на внешнюю и внутреннюю устойчивость НППБ. Большинство принципов

расчета статической и сейсмической внешней устойчивости одинаково как для НППБ, так и для насыпей из обычных грунтов.

7.6.5 Ветровая нагрузка. Смещение НППБ под воздействием ветровой нагрузки - механизм потери внешней устойчивости, присущий НППБ, ввиду низкой плотности блоков. В первую очередь возможность данного механизма разрушения необходимо учитывать при проектировании насыпи с вертикальными откосами.

7.7 Расчет основания по несущей способности. Расчет основания по несущей способности необходимо выполнять в соответствии с [6].

7.8 Расчет конечной величины осадки. Конечная осадка в пределах активной зоны рассчитывается в соответствии с [6].

Если в результате расчетов величина осадки превысит допустимое значение, необходимо принять меры по дополнительному снижению веса насыпи за счет частичной замены слабого грунта на ППБ.

Мощность слоя грунта, подлежащего замене, определяется из требуемого снижения вертикальных напряжений, которое позволит уменьшить величину осадки до требуемой величины.

При частичном удалении грунта основания, необходимо выполнить уширение котлована с целью обеспечения устойчивости его стен.

Также при применении данного решения, следует учесть необходимость устройства временного водоотвода или устройства пригруза ППБ во избежание вероятности гидростатического всплытия ППБ при относительно высоком уровне грунтовых вод или при накоплении поверхностных вод в котловане. Кроме того, частичное удаление грунта может оказаться нежелательным, если слабый грунт находится под слоем более прочного грунта.

7.9 Расчет устойчивости откосов. В расчетах устойчивости откосов требуемый коэффициент запаса устойчивости Куст рекомендуется принимать равным 1,3 в соответствии с [6]. Для повышения коэффициента устойчивости откосов возможно использование одного из известных

способов укрепления грунта основания для увеличения его сдвиговой прочности.

7.10 Оценка развития осадки во времени. Прогноз возрастания осадки во времени выполняется в рамках теории фильтрационной консолидации в соответствии с [6]. Консолидирующаяся толща рассматривается как однородный слой с приведенным коэффициентом консолидации. Интенсивная часть осадки должна завершиться в процессе устройства дорожной одежды. За завершение интенсивной части осадки допускается принимать момент достижения 90%-ной консолидации основания или интенсивности осадки не более 2см/год. Если данные условия не будут выполнены в процессе устройства дорожной одежды, необходимо применить метод ускорения консолидации с применением дополнительного пригруза.

Если условия строительства позволяют, можно снизить объем ППБ, приняв к разработке, например, насыпь из традиционного грунта и ППБ.

7.11 Расчет несущей способности ППБ. Расчет несущей способности включает в себя подбор типа ППБ, способного выдержать нагрузку от дорожной одежды и транспортные нагрузки без существенной деформации. В случае неправильного подбора блоков будет иметь место их деформация с дальнейшей просадкой дорожной одежды (Рис. 3).

Методику расчета несущей способности ППБ рекомендуется разделить на две части:

Первая часть заключается в определении напряжений от транспортных нагрузок и от собственного веса дорожной одежды, передающихся на верхнюю поверхность блоков, и в подборе типа ППБ, который будет укладываться непосредственно под системой дорожной одежды.

Вторая часть заключается в определении напряжений от транспортных нагрузок и напряжений от собственного веса дорожной одежды, распространяющихся на различной глубине насыпи, и в выборе подходящих ППБ для укладки на этой глубине.

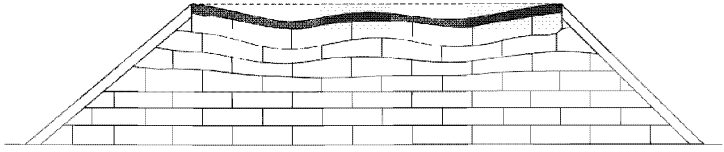


Рисунок 3 – Деформация насыпи и дорожной одежды

Основные подэтапы:

1) Оценка транспортных нагрузок;

2) Учет динамического действия транспортной нагрузки;

3) Оценка транспортных нагрузок на поверхности ППБ;

4) Оценка напряжений от собственного веса на поверхности ППБ;

5) Расчет общих напряжений на поверхности ППБ;

6) Определение минимального требуемого предела упругости ППБ, расположенных под дорожной одеждой;

7) Оценка транспортных нагрузок на различных глубинах НППБ;

8) Оценка напряжений от собственного веса на различных глубинах НППБ;

9) Расчет общих напряжений на различных глубинах НППБ;

10) Определение минимально требуемого предела упругости на различных глубинах.

11) Оценка транспортных нагрузок на различных глубинах НППБ.

12) Оценка напряжений от собственного веса на различной глубине внутри НППБ

13) Расчет общих напряжений на различных глубинах НППБ.

14) Определение минимально требуемого предела упругости на различных глубинах.

Пример расчета приведен в рекомендуемом Приложении А.

7.12 Расчет сопротивления насыпи гидростатическому всплытию.

7.12.1Расчет сопротивления гидростатическому всплытию насыпи с вертикальными откосами. Подбор пригруза.

Насыпь с вертикальными откосами наименее устойчива к всплытию, т. к. отсутствует дополнительный пригруз от грунтового покрытия откосов.

На Рис. 4. показаны силы и давления, действующие на насыпь с вертикальными откосами, высотой Н и шириной поверху $L_{Н.}$ Рассматривают только статическое давление воды. $Р_{Д.О.}$– это вес дополнительного пригруза верха ППБ, необходимый для получения требуемого коэффициента запаса. Обычно данная величина включает в себя вес дорожной одежды и грунтового покрытия откосов насыпи. В случае насыпи с вертикальными откосами учитывается только дорожная одежда, толщину которой необходимо рассчитать.

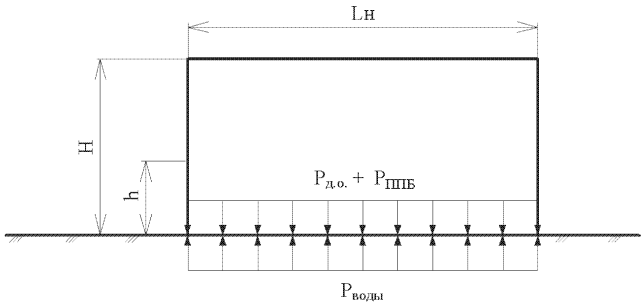


Рисунок 4 - Расчетная схема насыпи: Н – высота насыпи, м; h – уровень воды, м; $L_н$ – ширина насыпи, м; $Р_{воды}$ – подъемная сила воды, кН/м; $Р_{д.о.}$ – вес дорожной одежды, кН/м; $Р_{ППБ}$ – вес НППБ, кН/м

В расчет следует принять, что блоки уложены на поверхность грунта основания и всплытие будет происходить над поверхностью контакта, поэтому в дальнейшем расчете рассматривается только сама насыпь.

Насыпь будет устойчива по гидростатическому всплытию, если будет выполнено следующее условие:

$$\frac{Р_{д.о.} + Р_{ППБ}}{Р_{воды}} \geq К_{зап}, \quad (1)$$

где $К_{зап}$ – коэффициент запаса по всплытию;

$Р_{воды}$ – подъемная сила воды, кН/м;

$Р_{Д.О.}$ – вес дорожной одежды, кН/м;

$P_{ППБ}$ – вес НППБ, кН/м.

Дополнительная транспортная нагрузка не учитывается, т. к. она действует кратковременно и может отсутствовать в условиях гидростатического всплытия.

Ввиду того, что гидростатическое всплытие вызывается кратковременной нагрузкой, рекомендуется $К_{ЗАП}$ принимать равным 1,1, таким образом, условие устойчивости по гидростатическому всплытию будет иметь следующий вид:

$$\frac{h_{д.о.min} \cdot L_н \cdot \gamma_{д.о.} + H \cdot L_н \cdot \gamma_{ППБ}}{h \cdot L_н \cdot \gamma_{воды}} = 1,1, \quad (2)$$

где $h_{д.о.min}$ – минимальная требуемая толщина дорожной одежды, м;

H – высота насыпи, м;

$L_н$ – ширина насыпи, м;

h – уровень воды, м;

$\gamma_{д.о.}$ – объемный вес дорожной одежды, кН/м^3;

$\gamma_{ППБ}$ – объемный вес ППБ, кН/м^3;

$\gamma_{воды}$ – объемный вес воды, кН/м^3.

Таким образом, формула для определения минимальной требуемой толщины дорожной одежды будет следующей:

$$h_{д.о.min} = 1,1 \cdot h \cdot \frac{\gamma_{воды}}{\gamma_{д.о.}} - H \cdot \frac{\gamma_{ППБ}}{\gamma_{д.о.}}, \quad (3)$$

Расчетный график по гидростатическому всплытию насыпей различной высоты исходя из $h_{д.о.min}$, соответствующей коэффициенту запаса, равному 1,1 показан на Рис. 5.

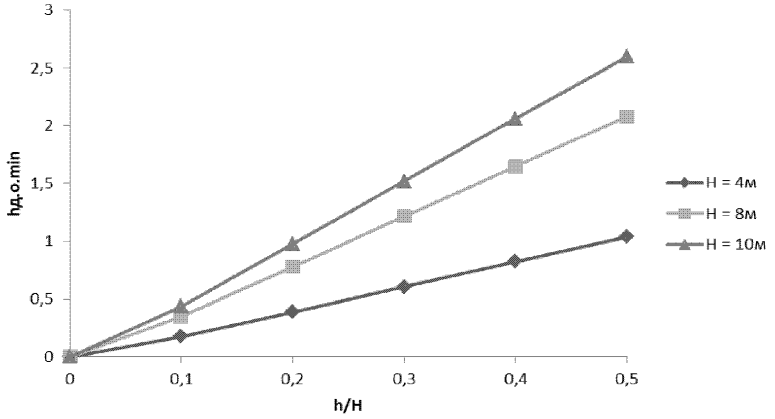


Рисунок 5 - Графическая зависимость минимальной толщины дорожной одежды $h_{д.o.min}$ при коэффициенте запаса по всплытию 1,1 от отношения уровня воды к высоте насыпи h/H

7.12.2Расчет сопротивления гидростатическому всплытию трапецеидальной насыпи. На Рис. 6. представлена расчетная схема насыпи. На схеме обозначены силы и давления, действующие на трапецеидальную насыпь с крутизной откосов θ, высотой H и шириной поверху $L_{н.}$ Предполагается, что одинаковый уровень воды с обеих сторон насыпи является наихудшим сценарием, т. к. на уровне основания обеих сторон насыпи действует одинаковая гидростатическая подъемная сила. В расчет принимались только статические давления воды.

Дополнительный пригруз верха ППБ Q, необходимый для получения требуемого коэффициента запаса включает в себя вес дорожной одежды и грунтового покрытия откосов насыпи.

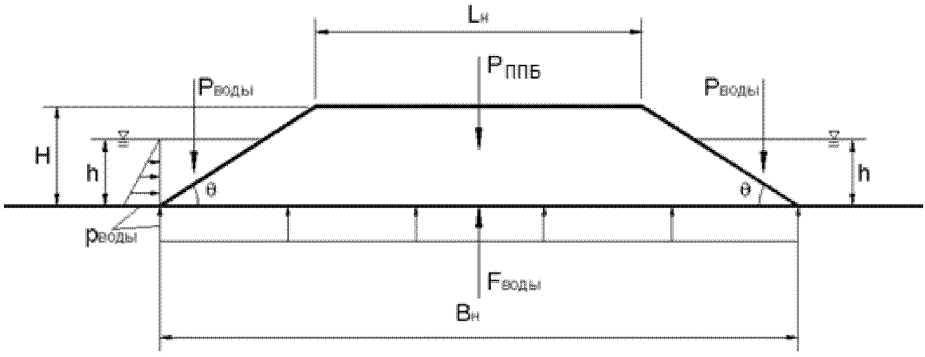


Рисунок 6 - Расчетная схема насыпи: H – высота насыпи, м; h – уровень воды, м; $L_н$ – ширина насыпи поверху, м; $B_н$ – ширина насыпи понизу, м; $F_{воды}$ – подъемная сила воды, кН/м; $P_{ППБ}$ – вес НППБ, кН/м; $P_{воды}$ – удерживающая сила воды, действующая на откосы, кН/м; θ – угол заложения откоса, град; $p_{воды}$ – давление воды, оказываемое на основание и поверхности откосов насыпи, кН

Необходимо учесть, что блоки уложены на поверхность грунта основания и всплытие будет происходить над поверхностью контакта, поэтому в дальнейшем расчете рекомендуется рассматривать только саму насыпь.

Насыпь будет устойчива по гидростатическому всплытию, если будет выполнено следующее условие:

$$\frac{P_{ППБ} + 2 \cdot P_{воды} + Q}{F_{воды}} \geq K_{зап}, \quad (4)$$

где $K_{зап}$ – коэффициент запаса по всплытию;

$F_{воды}$ – подъемная сила воды, кН/м;

$P_{воды}$ – удерживающая сила воды, действующая на откосы, кН/м;

$P_{ППБ}$ – вес НППБ, кН/м,

Q – вес дополнительного пригруза, кН/м.

Дополнительная транспортная нагрузка не учитывается, т. к. она действует кратковременно и может отсутствовать в условиях гидростатического всплытия.

Ввиду того, что гидростатическое всплытие вызывается кратковременной нагрузкой, рекомендуется $К_{ЗАП}$ принимать равным 1,1, таким образом, условие устойчивости по гидростатическому всплытию будет иметь следующий вид:

$$\frac{\frac{1}{2}\cdot \text{Н}\cdot (L_{\text{н}}+\text{В}_{\text{н}})\cdot \gamma_{\text{ППБ}}+2\cdot \gamma_{\text{воды}}\cdot \frac{h^2}{\text{tg}\,\theta}+Q}{\gamma_{\text{воды}}\cdot \text{В}_{\text{н}}\cdot h}=1{,}1, \quad (5)$$

где $\gamma_{\text{ППБ}}$ – объемный вес ППБ, кН/м^3;

Н – высота насыпи, м;

$L_{\text{н}}$ – ширина насыпи поверху, м;

$\text{В}_{\text{н}}$ – ширина насыпи понизу, м;

h – уровень воды, м;

θ – угол заложения откоса, град;

$\gamma_{\text{воды}}$ – объемный вес воды, кН/м^3;

Q - вес дополнительного пригруза, кН/м.

Таким образом, формула для определения минимально требуемого веса дополнительного пригруза будет следующей:

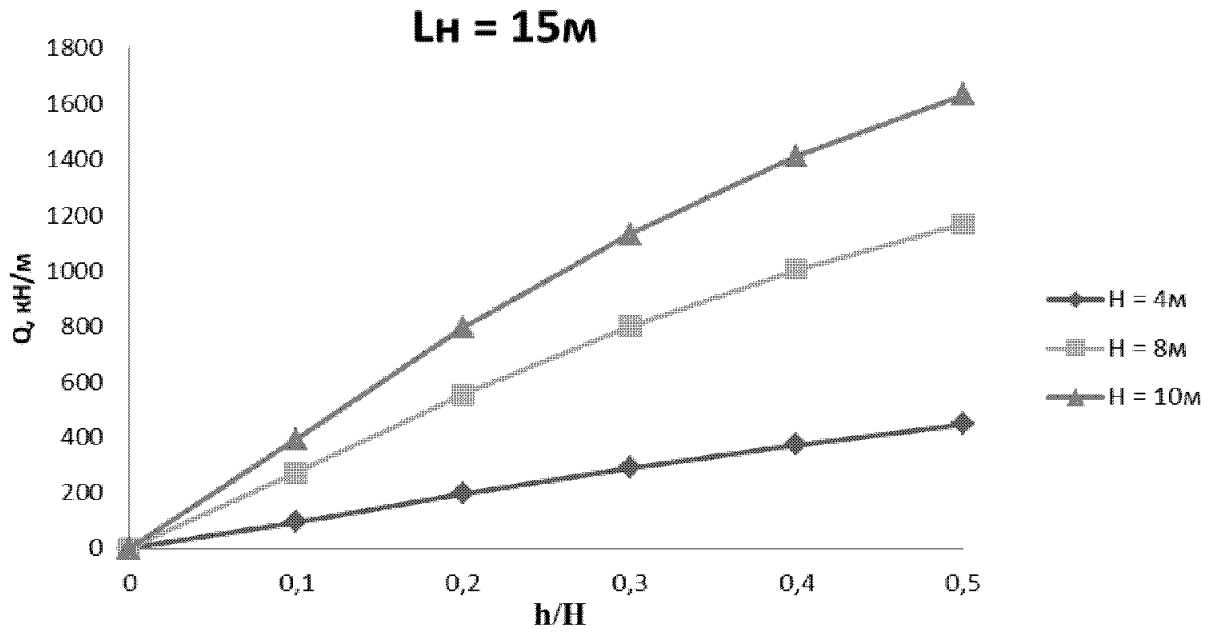
$$Q=1{,}1\cdot \gamma_{\text{воды}}\cdot \text{В}_{\text{н}}\cdot h-\frac{1}{2}\cdot \text{Н}\cdot (L_{\text{н}}+\text{В}_{\text{н}})\cdot \gamma_{\text{ППБ}}-2\cdot \gamma_{\text{воды}}\cdot \frac{h^2}{\text{tg}\,\theta}, \quad (6)$$

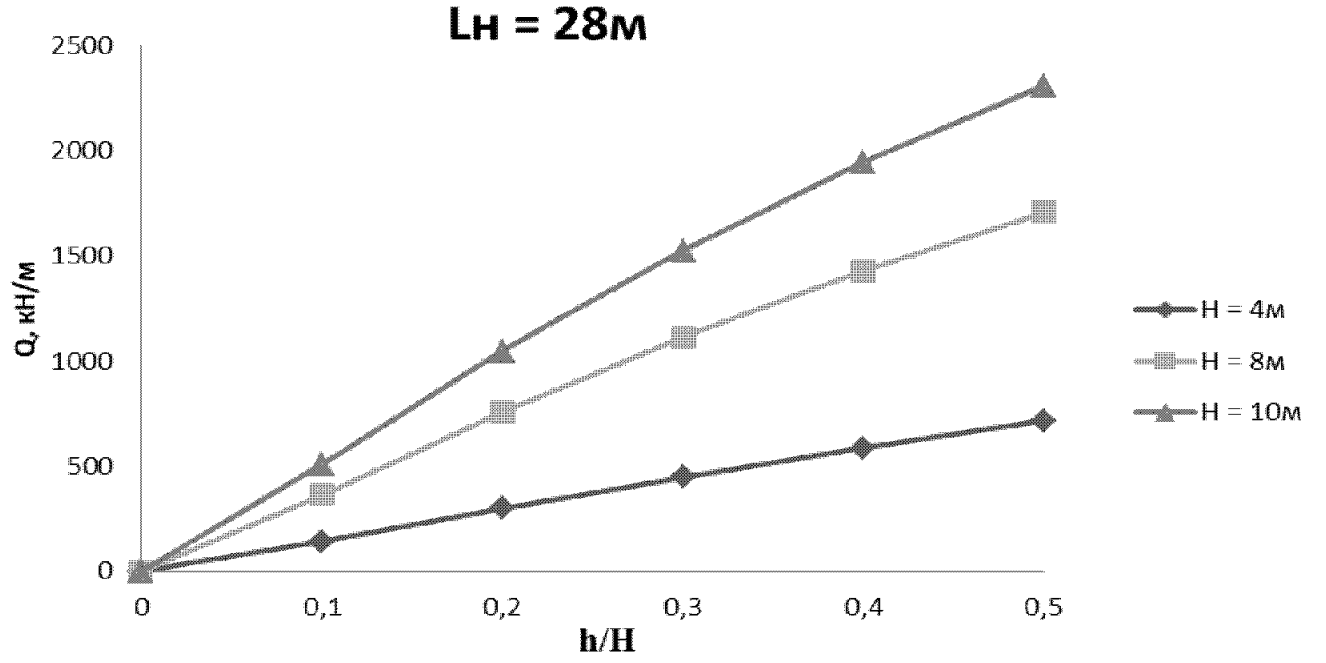
Поскольку для расчета изначально принимается, что насыпь сложена из ППБ на всю высоту, необходимо при окончательных расчетах уменьшить требуемый вес дорожной одежды на соответствующий вес ППБ.

В целях упрощения расчета далее приведены графические зависимости по гидростатическому всплытию насыпей различной высоты исходя из веса пригруза Q, соответствующего коэффициенту запаса, равному 1,1.

Значения Q, указанные на рисунках 7а, 7б, 7в, представляют собой требуемый вес материалов (в кН), которые необходимо уложить на ППБ, приходящийся на погонный метр длины насыпи. Расчетные графики

разработаны для насыпей со следующими характеристиками: ширина поверху 15 м, 28 м, и 36 м, заложение откосов 1:1,5, 1:1,75, 1:2 при трех параметрах высоты (4, 8 и 10 м).


Lн = 15м
1800
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0
Q, кН/м
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
h/H
H = 4м
H = 8м
H = 10м


Lн = 28м
2500
2000
1500
1000
500
0
Q, кН/м
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
h/H
H = 4м
H = 8м
H = 10м

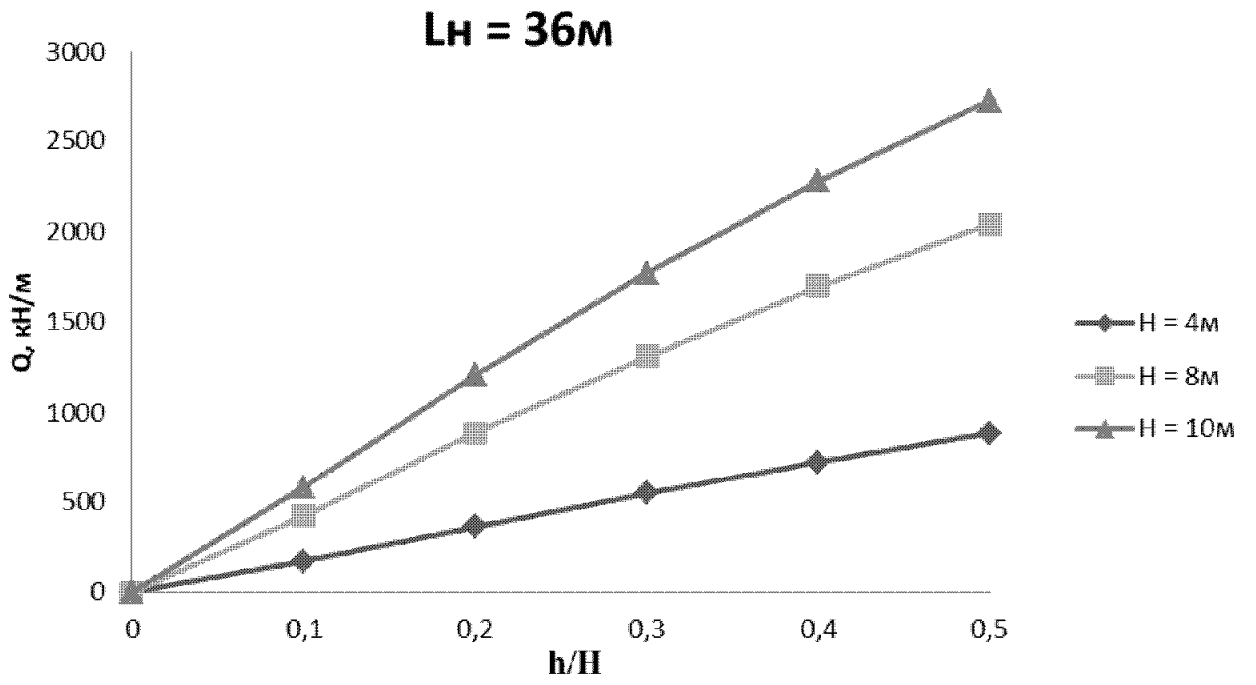
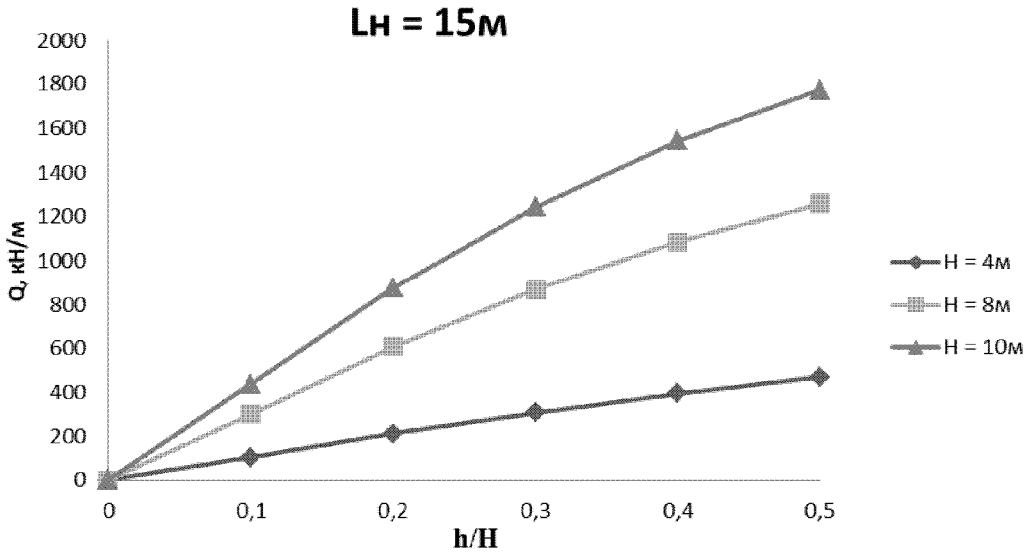
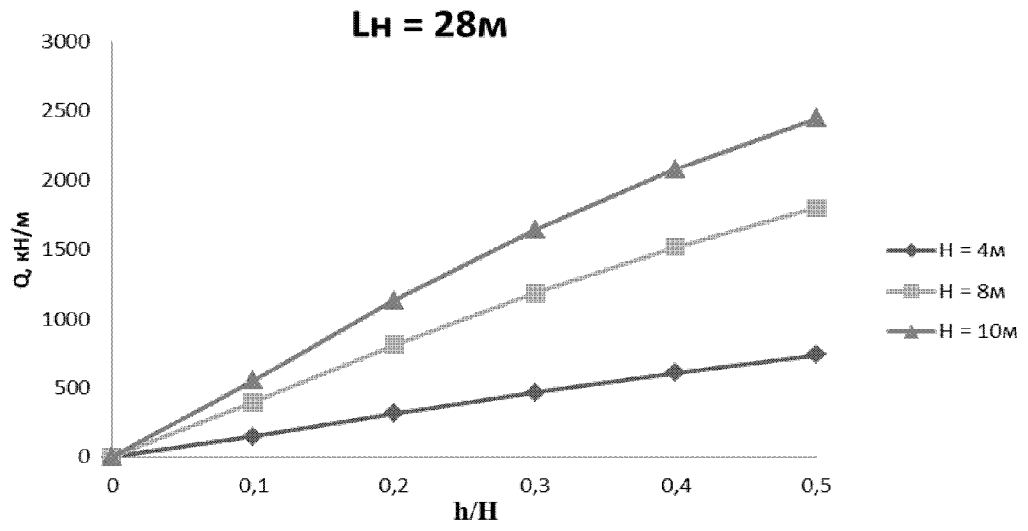

Lн = 36м
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
Q, кН/м
0
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
h/H
H = 4м
H = 8м
H = 10м

Рисунок 7а - Расчетные графики гидростатического всплытия насыпи с заложением откоса 1:1,5 при коэффициенте запаса 1,1, при трех параметрах ширины дороги





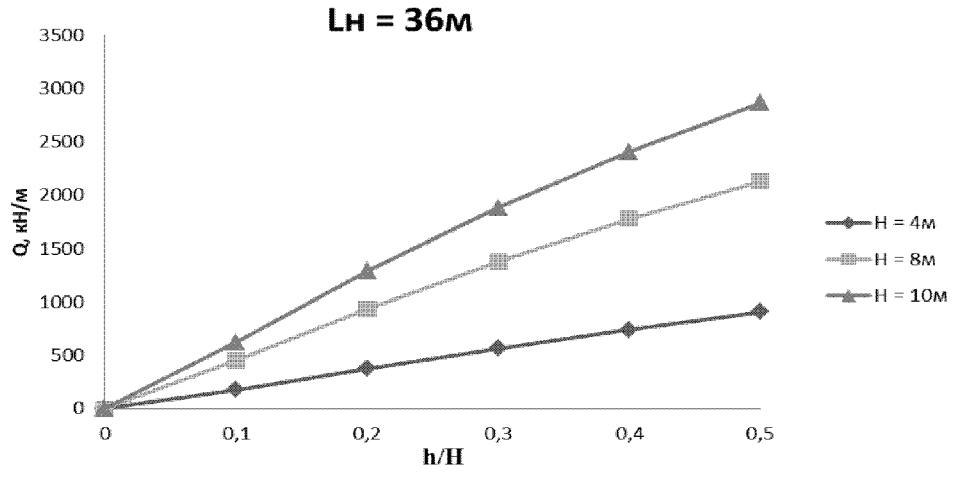


Рисунок 7б - Расчетные графики гидростатического всплытия насыпи с заложением откоса 1:1,75 при коэффициенте запаса 1,1, при трех параметрах ширины дороги

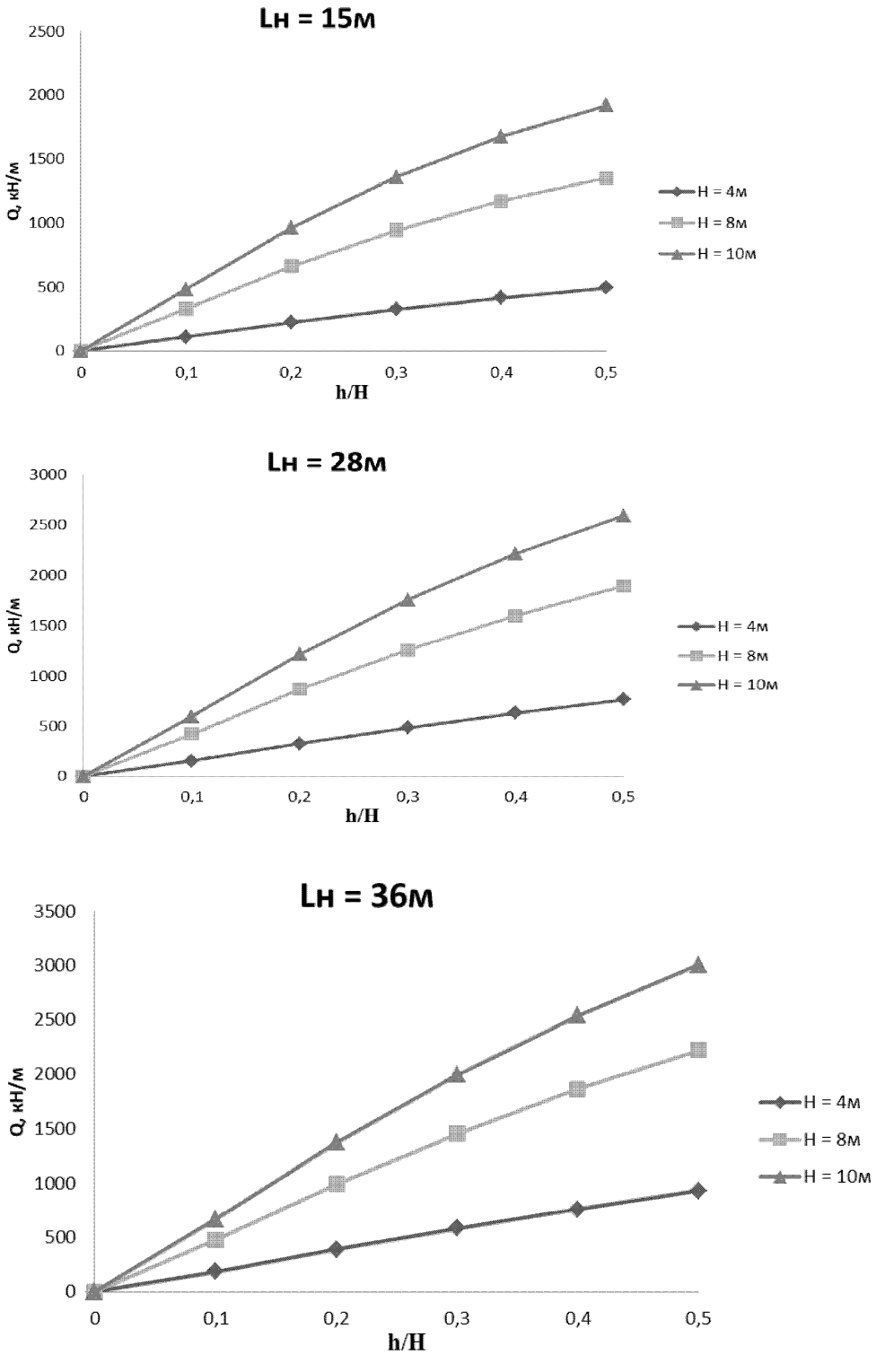


Рисунок 7в - Расчетные графики гидростатического всплытия насыпи с заложением откоса 1:2 при коэффициенте запаса 1,1, при трех параметрах ширины дороги

Расчетные графики действительны только в пределах отношения уровня воды к высоте насыпи равного 0,5, то есть глубина воды ограничена 50% высоты насыпи, так как насыпь с более высоким уровнем накопленной воды является, по сути, плотиной для которой потребуется уложить на ППБ чрезмерно большой пригруз, чтобы обеспечить требуемый коэффициент запаса.

Для повышения коэффициента запаса по сопротивлению гидростатическому всплытию насыпи можно применить следующие методы:

– При устройстве ППБ насыпи увеличить толщину дорожной одежды, укладываемой на ППБ, тем самым повысив вес пригруза ППБ (если такой вариант допустим по критерию осадки);

– Для уменьшения вероятности скопления воды у подножия насыпи необходимо устроить систему водоотвода.

7.13 Оценка сопротивления насыпи воздействию сейсмических нагрузок.

Сейсмическая нагрузка - краткосрочное явление, которое должно учитываться в составе геотехнических проблем проектирования автодорожных насыпей. Сейсмическая нагрузка может влиять как на внешнюю, так и на внутреннюю устойчивость НППБ.

Проектирование НППБ в сейсмоопасных районах рекомендуется выполнять с учетом требований СП 268.1325800.2016 [4].

При постройке насыпей на участках, сложенных илом, торфом, водонасыщенным рыхлым песком, текучепластичными глинистыми грунтами должны быть рассмотрены варианты замены или укрепления слабых грунтов армированием нижних слоев насыпи геосинтетическим материалом во избежание их разжижения.

7.13.1Типовые поперечные сечения насыпи с демонстрацией возможных видов разрушения под воздействием сейсмической нагрузки показаны на Рис. 8а и Рис. 8б.



Рисунок 8а - Типовое поперечное сечение насыпи трапецеидальной формы с учетом трех видов разрушения:I – поступательный сдвиг по поверхности контакта между системой дорожной одежды и ППБ; II – поступательный сдвиг смежных слоев ППБ; III - поступательный сдвиг по поверхности контакта ППБ и поверхности грунта основания.

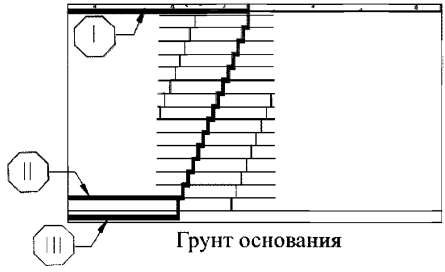


Рисунок 8б - Типовое поперечное сечение насыпи с вертикальными откосами с учетом трех видов разрушения:I – поступательный сдвиг по поверхности контакта между системой дорожной одежды и ППБ; II – поступательный сдвиг смежных слоев ППБ; III - поступательный сдвиг по поверхности контакта ППБ и поверхности грунта основания.

Для повышения внутренней сейсмической устойчивость ППБ насыпей рекомендуется установка между ППБ механических коннекторов в соответствии с ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Правила применения.

В конструкциях насыпей допускаются остаточные деформации и повреждения (осадки, смещения, трещины и др.), не приводящие к прекращению движения транспортных средств в результате землетрясения.

7.13.2 Оценка сопротивления ППБ насыпи воздействию ветровой нагрузки. Возможность потери устойчивости насыпи из ППБ под воздействием ветровой нагрузки необходимо рассматривать для насыпи с вертикальными откосами, т. к. при использовании такого проектного решения существует опасность опрокидывания всей насыпи относительно подошвы откоса, по поверхности контакта НППБ с грунтом основания.

Коэффициентом запаса по горизонтальному смещению всей насыпи от ветровых нагрузок является отношение сопротивления сдвигу по поверхности контакта ППБ /грунт основания к общей горизонтальной сдвигающей силе:

$$К_{зап.г.с.} = \frac{\sum Горизонтальные\ \ удерживающие\ \ силы}{\sum Горизонтальные\ \ сдвигающие\ \ силы}$$

$$К_{зап.г.с.} = \frac{c \cdot S\left(\sum F_{в} - \sum F_{п}\right)\mathrm{tg}\,\delta}{\sum F_{г}}, \qquad (7)$$

где c – сцепление по горизонтальной поверхности сдвига;

S – площадь рассматриваемой поверхности сдвига;

$\sum F_{в}$ – сумма нормальных сил;

$\sum F_{п}$ – сумма подъемных сил;

δ – угол трения на поверхности сдвига;

$\sum F_{г}$ – сумма горизонтальных сил, определяемая как:

$$\sum F_{г} = R_{н} + R_{п}, , \qquad (8)$$

где $R_{н}$ – сила с наветренной стороны;

$R_{п}$ – сила с подветренной стороны.

$R_{н}$ и $R_{п}$ необходимо принимать в соответствии с СП 20.13330.2016 [2] с учетом данных метеостанций, расположенных в зоне строительства.

Угол трения на поверхности сдвига δ необходимо принимать на основании лабораторных исследований образцов блоков, предназначенных для укладки в насыпь.

В расчетах рекомендуется принимать требуемый коэффициент запаса по ветровому сдвигу 1,1, т. к. сдвиг от действия ветра вызывается временными нагрузками так же, как и в других случаях действия временных нагрузок таких, как сейсмические и гидростатические нагрузки.

Для повышения коэффициента запаса по сопротивлению горизонтальному сдвигу насыпи можно применить следующие методы:

– При устройстве НППБ увеличить толщину дорожной одежды, укладываемой на блоки, тем самым повысив вес пригруза ППБ (если такой вариант допустим по критерию осадки);

Допускается применение системы анкеров для ППБ, позволяющей сцепить блоки с грунтовым основанием насыпи.

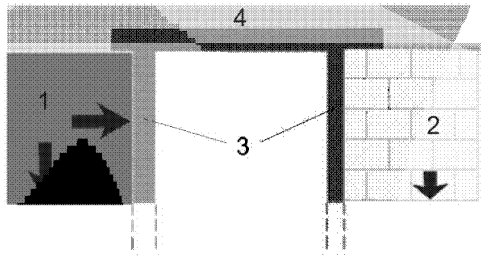


Рисунок 9 - Схема распределения давлений от грунтовой засыпки и засыпки из ППБ . 1 – обратная засыпка грунтом, 2 – укрепление мостового устоя ППБ, 3 – опоры моста, 4 – система дорожной одежды. Стрелками показано распределение давления от грунта обратной засыпки и от ППБ на грунтовое основание и на мостовой устой

7.14 Применение НППБ в местах примыкания к мостовым устоям. Ввиду того, что пенополистиролу придают форму блоков, использование их в качестве обратной засыпки мостового устоя позволяет исключить боковое давление на устои (Рис. 9.) и соответственно вести расчет как в случае насыпи с вертикальными откосами.

8 Рекомендации по применению ППБ при строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах

8.1 Применение вспененных полистирольных блоков определяется требованиями, содержащимися в ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Правила применения. и в ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Общие технические требования.

8.2 Капитальный ремонт и эксплуатация облегченных насыпей и насыпей из грунта и ППБ на слабых грунтах с использованием вспененных полистирольных блоков осуществляется по ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Технические правила капитального ремонта, ремонта и содержания.

9 Рекомендации по технико-экономическому обоснованию

Технико-экономическое сравнение вариантов при проектировании конструкций земляного полотна автомобильных дорог на слабых основаниях с использованием облегченных насыпей из ППБ необходимо осуществлять на основании разработанной и утвержденной методики, изложенной в ОДМ 218.2.067-2016 [5].

Для облегченных насыпей из ППБ при технико-экономическом сравнении вариантов конструкций земляного полотна рекомендуется дополнительно учитывать увеличение социально-экономического эффекта от повышения транспортно-эксплуатационных показателей автомобильной дороги.

10 Рекомендации по методам контроля и оценке соответствия

10.1 Входной контроль ППБ осуществляет организация, выполняющая строительно-монтажные работы до применения в процессе строительства и включает проверку наличия и содержания документов поставщиков, содержащих сведения о качестве поставленной ими продукции, ее соответствия требованиям рабочей документации,

технических регламентов, и действующих документов технического регулирования.

10.2 Входной контроль осуществляется в соответствии с ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Общие технические требования.

10.3 Строительный контроль при выполнении работ по устройству ограничивающих и защитных ограждений осуществляют в соответствии с ГОСТ Р 58397.

10.4 Сроки и интенсивность контроля осадок необходимо назначать в соответствии с программой мониторинга, которая должна учитывать расчетные сроки консолидации основания и прочие индивидуальные параметры участка слабых оснований. В течение срока строительства подрядчик должен контролировать величину осадки легкой насыпи и ее затухание во времени. Величина осадки должна измеряться еженедельно. Результаты измерений должны заноситься в Журнал контроля осадок.

10.5 Поперечники для контроля осадок размещают на пикетах указанных проектной организацией.

10.6 Для измерения осадок устанавливаются осадочные марки (пример на Рис. 10). Места установки марок должны быть указаны в проекте. Марки изготавливаются из стальной трубы диаметром 50 мм, разрезанной на секции длиной 1300 мм. Нижнюю секцию марки устанавливают на поверхности основания насыпи. Секции наращиваются по мере укладки блоков путем свинчивания муфтовых соединений. К нижней поверхности стального листа приваривается заостренный штырь длиной 300 мм, диаметром 200 мм (на рисунке не показан) для фиксирования в основании насыпи.

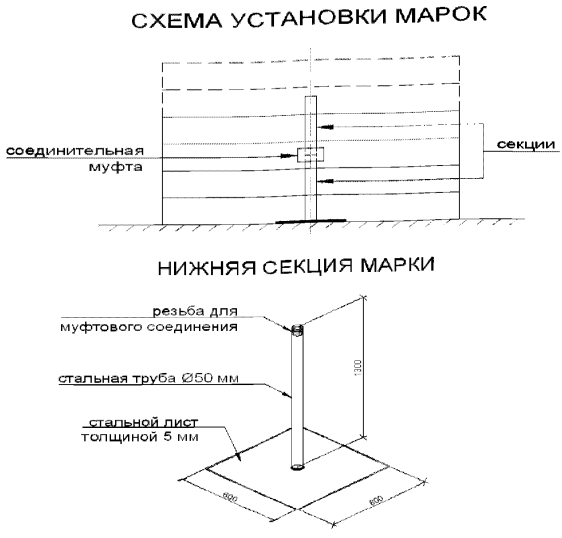


Рисунок 10 – Вариант схемы установки марок

10.7 Конструкция марки должна позволять снимать высотные отметки после укладки дорожной конструкции, устраиваемой над распределительной плитой.

10.8 По окончании строительства осадочные марки и копия журнала контроля осадок передаются проектной организации для продолжения измерений.

10.9 В местах размещения марок устанавливается хорошо заметное ограждение, чтобы исключить случайное повреждение марок.

11 Требования безопасности и охраны окружающей среды

При проведении работ по устройству облегченных и комбинированных насыпей с использованием ППБ необходимо соблюдать требования ГОСТ Р 58397, ГОСТ Р Дороги автомобильные общего пользования. Блоки полистирольные вспененные (ППС блоки). Правила применения, а также руководствоваться типовыми инструкциями по охране труда.

Приложение А

Примеры расчетов облегченной насыпи с использованием ППБ

А.1. Расчет сопротивления гидростатическому всплытию. Подбор требуемого веса пригруза.

Исходные данные для расчетов:

Объемный вес ППБ $\gamma_{\text{ППБ}} = 0{,}2$кН/м^3

Высота насыпи $H = 6$м

Заложение откосов 1:1,75

Ширина насыпи поверху $L_{н} = 28$м

Ширина насыпи понизу $B_{н} = 49$м

Уровень воды $h = 1$м

Условие устойчивости по гидростатическому всплытию:

$$\frac{\frac{1}{2}\cdot H\cdot (L_{н}+B_{н})\cdot \gamma_{\text{ППБ}}+\gamma_{\text{воды}}\cdot \frac{h^2}{\operatorname{tg}\theta}+Q}{\gamma_{\text{воды}}\cdot B_{н}\cdot h}=1{,}1 \qquad (А.1)$$

Минимально требуемый вес дополнительного пригруза Q:

$$Q=1{,}1\cdot \gamma_{\text{воды}}\cdot B_{н}\cdot h-\frac{1}{2}\cdot H\cdot (L_{н}+B_{н})\cdot \gamma_{\text{ППБ}}-\cdot \gamma_{\text{воды}}\cdot \frac{h^2}{\operatorname{tg}\theta}=$$

$$=1{,}1\cdot 9{,}81\cdot 49\cdot 1-\frac{1}{2}\cdot 6\cdot (28+49)\cdot 0{,}2-\cdot 9{,}81\cdot \frac{1^2}{0{,}57}=465{,}35\text{кН} \qquad (А.2)$$

А.2 Расчет несущей способности ППБ.

Оценка транспортных нагрузок.

Из ГОСТ 32960:

Нормативная нагрузка от автотранспортных средств АК (включает в себя одну двухосную тележку с нагрузкой на ось 10К (кН), и равномерно распределенную вдоль оси нагрузку q интенсивностью К (кн/м). Класс нагрузки для автомобильных дорог с капитальными дорожными одеждами – 11,5.

Нагрузка на одно колесо $Q_к$:

$$Q_к = 5 \cdot 11,5 = 57,5кН \quad (А.3)$$

Учет динамического коэффициент $К_{дин}$ = 1,3 при определении транспортной нагрузки $Q_{дин}$:

$$Q_{дин} = Q_к \cdot 1,3 = 57,5 \cdot 1,3 = 74,8кН \quad (А.4)$$

Определение напряжений на верхней поверхности ППБ от транспортной нагрузки

Вертикальное напряжение от транспортной нагрузки σ_q на верхней поверхности ППБ можно принять по Рис. А.1. Для асфальтобетонной дорожной одежды с распределительной плитой толщиной 102 мм.

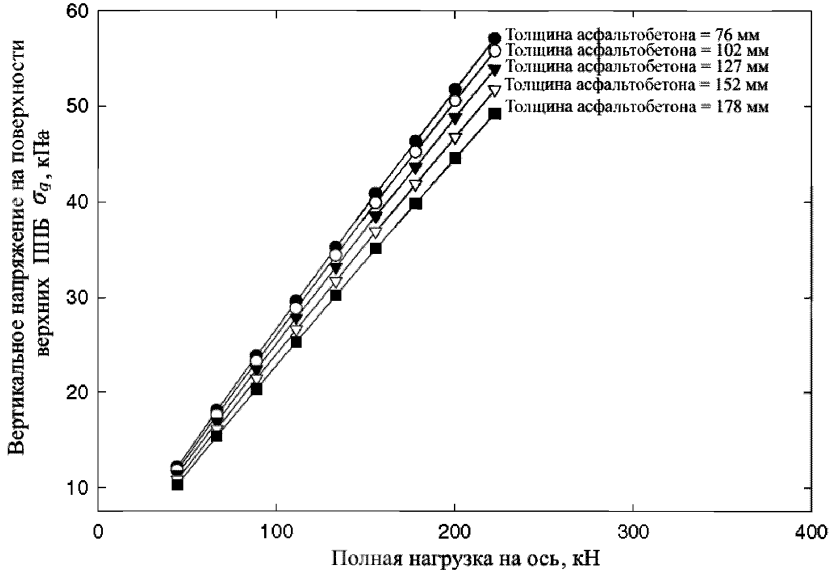


Рисунок А.1 - Вертикальные напряжения на верхней поверхности ППБ (σ_q) от транспортной нагрузки, приложенной на поверхность асфальтобетонной дорожной одежды толщиной 610 мм, с распределительной плитой толщиной 102 мм, расположенной между дорожной одеждой и ППБ.

Для полной нагрузки на ось в 149,6 кН:

σ_q =29кПа

Определим, происходит ли взаимное наложение вертикальных напряжений от шин

$Q_{дин}$ = 74,8 кН и σ_q =29кПа

Определим площадь контакта круглой формы:

$$S = \frac{Q_{дин}}{\sigma_q} = \frac{74.8}{29} = 2.58 м^2. \quad (A.5)$$

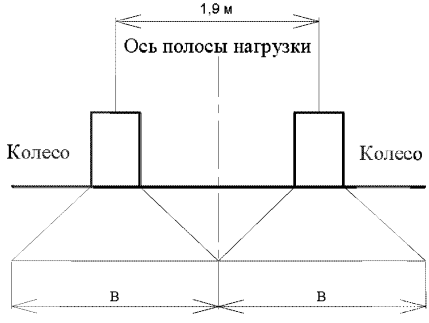


Рисунок А.2 - Схема взаимного наложения напряжений от шин транспортного средства. В – ширина эквивалентной площадки нагружения.

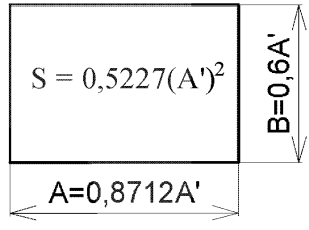


Рисунок А.3 - Схема эквивалентной, прямоугольной загруженной площадки.

Определим размеры эквивалентной, прямоугольной загруженной площадки по Рис. А.3:

$$A' = \sqrt{\frac{S}{0,5227}} = \sqrt{\frac{2,58}{0,5227}} = 2,22 м; \quad (A.6)$$

$$A = 0,8712 \cdot A' = 0,8712 \cdot 2,22 м = 1,93 м;$$

$$B = 0,6 \cdot A' = 0,6 \cdot 2,22 = 1,33 \text{ м.}$$

Наложение напряжений происходит, если расстояние между центрами колес ≤ B (Рис. А.3), где B = 0,6 · A' или, для данного примера, 1,33 м.

В расчете принято:

расстояние между центами колес оси = 1,9 м

межосевое расстояние и расстояние между осями полос наката, движущихся рядом транспортных средств = 1,30 м

В данном примере, наложение напряжений происходит от колес движущихся рядом транспортных средств.

Ширина наложения: 1,33-1,30 = 0,03 м.

Общая ширина прямоугольной площадки: (2 ·B) – 0,22 = 2 · 1,33 – 0,03 = 2,63м

Общая площадь прямоугольной площадки = 2,63 · 1,93 = 5,08 м^2

Общее вертикальное напряжение $\sigma = \frac{149,6}{5,08} = 29,4$ кПа

Вертикальное напряжение σ_q =29,4 кПа

Оценка напряжений от веса дорожной одежды $\sigma_{до}$, передаваемых на поверхность верхнего слоя ППБ.

- Толщина слоя асфальтобетона $h_{аб}$ = 0,23 м
- Объемный вес асфальтобетона $\gamma_{аб}$ = 23 кН/м^3
- Толщина слоя щебня $h_{щеб}$ = 0,69 м
- Объемный вес щебня $\gamma_{щеб}$ = 18 кН/м^3
- Толщина слоя распределительной плиты $h_{рп}$ = 0,18 м
- Объемный вес распределительной плиты $\gamma_{рп}$ = 25 кН/м^3

$$\sigma_{до} = 0,23 \text{ м} \cdot 23 \text{ кН/м}^3 + 0,69 \text{ м} \cdot 18 \text{ кН/м}^3 + 0,18 \text{ м} \cdot 25 \text{ кН/м}^3 = 22,21 \text{ кПа}$$

Вычисление полных вертикальных напряжений $\sigma_{общ}$ на верхней поверхности ППБ

$$\sigma_{общ} = \sigma_q + \sigma_{до} = 29,40 + 22,21 = 51,61 \text{ кПа} \quad (А.8)$$

Определение минимально требуемого предела упругости ППБ $\sigma_{ппб}$, расположенного под системой дорожной одеждой.

Принимаем коэффициент запаса, $К_{зап} = 1,2$.

Условие внутренней устойчивости:

$$\sigma_{ппб} = \sigma_{общ} \cdot К_{зап} \quad (А.9)$$

$$\sigma_{ппб} = \sigma_{общ} \cdot 1,2 = 51,61 \cdot 1,2 = 61,93 \text{ кПа}.$$

Оценка напряжений от транспортных нагрузок в ППБ на разной глубине Z.

$$Z = 0,75\text{м}$$

$$\sigma_z = \frac{Q_{дин}}{(B+Z)(A+Z)} = \frac{74,8}{(1,33+0,75)(1,93+0,75)} = 13,40\text{кПа}. \quad (А.10)$$

Оценка напряжений от собственного веса дорожной одежды на различной глубине внутри НППБ

$$Z = 0,75 \text{ м}.$$

$$\sigma_{до} = 22,21 \text{ кПа}.$$

Общее напряжение от веса дорожной одежды и ППБ:

$$\sigma_{ZДО} = \sigma_{до} + (Z \cdot \gamma_{ППБ}^{*}) = (22,21 \text{ кПа}) + (0,75 \text{ м} \cdot 1 \text{ кН/м}^3) = 22,96 \text{ кПа}.$$

(А.11)

При расчете несущей способности блоков рекомендуется принимать объемный вес водонасыщенного ППБ, равный 1 кН/м^3.

Вычисление общих напряжений на различной глубине НППБ $\sigma_{Zобщ}$

$$Z = 0,75 \text{ м}$$

$$\sigma_{Zобщ} = \sigma_Z + \sigma_{до} = 13,4 \text{ кПа} + 22,96 \text{ кПа} = 36,36 \text{ кПа} \quad (А.12)$$

Определение минимально требуемого предела упругости ППБ на различных глубинах НППБ.

$$Z = 0,75 \text{ м}$$

$$\sigma_{Zппб} = \sigma_{Zобщ} \cdot 1,2 = 36,36 \text{ кПа} \cdot 1,2 = 43,63 \text{ кПа}. \quad (А.13)$$

Оценка напряжений от транспортных нагрузок в ППБ на разной глубине.

$$Z = 1м$$

$$\sigma_z = \frac{Q_{дин}}{(B+Z)(A+Z)} = \frac{74,8}{(1,33+1)(1,93+1)} = 10,96кПа.$$

Оценка напряжений от собственного веса на различной глубине внутри НППБ.

$$Z = 1 м.$$

$$\sigma_{до} = 22,21 кПа.$$

Общее напряжение от веса дорожной одежды и ППБ:

$$\sigma_{ZДО} = \sigma_{до} + (Z \cdot \gamma_{ППБ}^{*}) = (22,21 кПа) + (1 м \cdot 1 кН/м^3) = 23,21 кПа.$$

Вычисление общих напряжений на различной глубине НППБ

$$Z = 1 м$$

$$\sigma_{Zобщ} = \sigma_Z + \sigma_{до} = 10,96кПа + 23,21 кПа = 34,17 кПа$$

Определение минимально требуемого предела упругости ППБ на различных глубинах НППБ

$$Z = 1 м$$

$$\sigma_{Zппб} = \sigma_{Zобщ} \cdot 1,2 = 34,17 кПа \cdot 1,2 = 41 кПа.$$

Вывод: По расчету для обеспечения достаточной несущей способности НППБ, необходимо использовать блоки двух типов: для слоя под дорожной одеждой – с пределом упругости 70 кПа, для нижележащих – с переделом упругости 50 кПа. Из консервативных соображений рекомендуется укладывать два верхних слоя ППБ с пределом упругости 70 кПа.

Библиография

[1] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог».

[2] СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.

[3] СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*

[4] СП 268.1325800.2016 Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования.

[5] ОДМ 218.2.067-2016 Методические рекомендации по выбору рациональных конструкций земляного полотна на слабых основаниях и их технико-экономическому обоснованию.

[6] Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах.

ОКС 93.080.99

Ключевые слова: автомобильные дороги, насыпь, пенополистирол, проектирование, расчет, устойчивость насыпи, всплытие насыпи, строительство на слабых грунтах

Руководитель организации-разработчика
ООО «СПбГАСУ-Дорсервис»

Генеральный директор, доцент, к.э.н. _____ Е.Е. Медрес

gost.e-ecolog.ru