Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и тоннелей

УДК 625.7/.8.05

DOI 10.23968/1999-5571-2018-16-6-271-276

© С. А. Евтюков, д-р техн. наук, профессор

© S. A. Evtyukov, Dr. Sci. Tech., Professor

© Е. П. Медрес, канд. техн. наук

© E. P. Medres, PhD in Sci. Tech.

© Е. Е. Медрес, канд. экон. наук, доцент

© E. E. Medres, PhD in Sci. Ec., Associate Professor

© Е. Ю. Матюсова, канд. техн. наук

© E. U. Matyusova, PhD in Sci. Tech.

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: fire_21@mail.ru

E-mail: fire_21@mail.ru

О ПРОБЛЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИИ ОБЛЕГЧЕННЫХ НАСЫПЕЙ ИЗ ПЕНОПОЛИСТИРОЛЬНЫХ БЛОКОВ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ

ON THE PROBLEM OF DESIGN AND CALCULATION OF LIGHTWEIGHT EMBANKMENT STRUCTURES CONSTRUCTED OF POLYSTYRENE FOAM BLOCKS ON SOFT SOILS

Рассмотрена проблема применения пенополистирола при проектировании, строительстве и реконструкции облегченных насыпей автомобильных дорог общего назначения на слабых грунтах. Разработаны рекомендации по выбору конструкций и расчетов основных параметров насыпей автомобильных дорог с применением пенополистирольных блоков, которые могут войти в основу отраслевой дорожной методики. Представлены различные конструктивные решения применения пенополистирольных блоков, показана техническая и экономическая целесообразность их применения.

Ключевые слова: пенополистирол, блок, грунт, слабый, автомобильная, дорога, насыпь.

The article discusses the problem of using expanded polystyrene at design, construction and reconstruction of lightweight embankments of general purpose highways on soft soils. As a result of the investigations, there were worked out recommendations on the choice of designs and calculations of the main parameters of road embankments using polystyrene foam blocks, which can form the basis of the industry road building technique. Various design solutions for the use of polystyrene foam blocks are presented, and the technical and economic feasibility of using them is shown.

Keywords: polystyrene foam, block, soil, soft, automobile, highway, embankment.

15 февраля 2015 года в Российской Федерации вступил в силу технический регламент Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог», который изменил всю систему технического регулирования в дорожной отрасли Российской Федерации.

В частности, договором о Евразийском экономическом союзе не предусмотрено применение сводов правил, в связи с чем с 1 сентября 2016 года своды правил (СП) не являются доказательной базой ТР ТС 014/2011 и соответственно

не могут использоваться при проведении дорожных работ на автомобильных дорогах общего пользования.

Также следует отметить, что с введением в действие Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог», подкрепленного межгосударственными стандартами, существенно изменились требования к автомобильным дорогам, в том числе к транспортно-эксплуатационным характеристикам дорожной одежды, принципам

проектирования (конструирования), материалам конструктивных слоев дорожной одежды, методам их испытаний, подбору состава смесей и т. д.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 мая 2017 г. № 658 «О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения» закреплены увеличенные межремонтные сроки и сроки службы между капитальными ремонтами автомобильных дорог.

Для выполнения новых требований, особенно при строительстве на слабых грунтах, одним из эффективных путей повышения качества автомобильных дорог и повышения межремонтных сроков является применение вспененного полистирола при возведении насыпей.

Как показывает международная практика применения пенополистирольных блоков (ППБ), объем их использования постоянно увеличивается. При этом, например, в США, уже в 90-х годах прошлого века были разработаны нормативные документы по проектированию и расчету облегченных насыпей из таких блоков.

Как показали многолетние исследования американских специалистов, преобладающим материалом, успешно применяемым в дорожном строительстве и наиболее эффективным по критерию «цена – качество», является экспандированный полистирол [3].

Основными сферами применения облегченных насыпей из пенополистирольных блоков являются линейные участки автомобильных дорог на слабом основании, подходы к мостовым сооружениям на слабом основании, уширение насыпей на слабом основании, строительство автомобильных дорог на участках возможных оползней, устройство заполнения за мостовыми устоями [2, 5, 7, 8, 9].

Однако применение блоков из пенополистирола при строительстве дорог в России затруднено в связи с отсутствием соответствующих нормативных документов.

В рамках комплекса научно-исследовательских работ, выполненных МИП ООО «СПбГАСУ-Дорсервис» в 2019 году, были проведены исследования в целях разработки ОДМ Методические

рекомендации по применению вспененного полистирола при проектировании, строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах, в котором показаны основные принципы научно обоснованного выбора, расчета и устройства конструкции облегченных насыпей на слабых грунтах и их оптимального технического исполнения.

В российской практике опыт применения облегченных насыпей из пенополистирольных плит ограничен небольшими локальными объектами. Реализованные как за рубежом, так и в России насыпи с применением пенополистирольных плит и блоков эксплуатируются по настоящее время без капитального ремонта и реконструкции.

Практически во всех случаях величина конечной осадки и времени консолидации облегченных насыпей из пенополистирольных блоков была существенно меньше расчетных значений для традиционных решений. Несмотря на малую плотность пенополистирола — всего 1 % от плотности обычного грунта, он достаточно прочен, чтобы выдержать нагрузки от автотранспорта. Кроме того, ППБ необычайно легко и быстро укладывать, независимо от погодных условий [8].

Основываясь на опыте многочисленных зарубежных проектов, а также на опыте проектов, уже реализованных в Российской Федерации, можно сделать вывод о том, что общие ближайшие и долговременные преимущества, включая меньшую стоимость производства работ при использовании ППБ, с лихвой компенсируют более высокую стоимость ППБ по сравнению с обычным грунтом земляного полотна [2, 3, 4, 16].

Главной идеей, заложенной в основу методического документа, является требование к проектированию насыпей из ППБ в целях недопущения достижения предельных состояний сооружения в процессе эксплуатации с учетом исключения влияния неблагоприятных гидрологических и сейсмологических условий.

При проектировании необходимо учитывать степень риска причинения вреда от воздействия установленных внешних и внутренних нагрузок на насыпь из ППБ [1].

Расчеты насыпи должны осуществляться на основе достоверных результа-

тов инженерно-геологических, инженерно-гидрометеорологических и гидрологических изысканий. При необходимости в трудных условиях дополнительно следует выполнять инженерно-сейсмологические и другие виды изысканий.

Расчеты устойчивости насыпи из ППБ 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.

На рисунках представлены основные типы поперечного сечения облегченных насыпей с использованием ППБ: на рис. 1 — трапецеидальный, рис. 2 — трапецеидальный с прослойками из пенобетона, рис. 3 — с вертикальными откосами [5, 13, 15].

В результате проведенных МИП ООО «СПбГАСУ-Дорсервис» исследований были установлены требования к геометрическим и физико-механическим свойствам облегченных насыпей на слабых грунтах с использованием

ППБ и методика проектирования и расчета облегченных насыпей на слабых грунтах с использованием ППБ [6, 10, 11, 12, 15].

Разработанная методика проектирования и расчета облегченных насыпей на слабых грунтах с использованием ППБ предусматривает необходимость выполнения проверочных расчетов:

- 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 всплыванию с подбором необходимого пригруза;
- сопротивления насыпи сдвигу (опрокидыванию) от воздействия сейсмических нагрузок;
- сопротивления насыпи сдвигу (опрокидыванию) от воздействия ветровых нагрузок;
- несущей способности ППБ.

На рис. 4 представлен общий алгоритм расчета насыпи из ППБ.

Перед началом проектирования должна быть выполнена оценка условий строительства, выбран поперечный профиль насыпи для предварительного расчета, а также осуществлен предварительный выбор типа ППБ и дорожной одежды [13]. При расчете необходимо оценить особенности района будущего строительства [14].

Разработанные предложения для методических рекомендаций по применению вспененного полистирола при проектировании, строитель-

Рис. 1. Конструктивная схема насыпи из ППБ трапецеидальной формы: 1 — ППБ; 2 — дорожная одежда; 3 — распределительная плита; 4 — грунтовое покрытие откосов; 5 — выравнивающий слой песка

Рис. 2. Конструктивная схема насыпи из ППБ трапецеидальной формы с прослойками из пенобетона: 1 — ППБ; 2 — дорожная одежда; 3 — пенобетон; 4 — грунтовое покрытие откосов; 5 — выравнивающий слой песка

Рис. 3. Конструктивная схема насыпи из ППБ с вертикальными откосами: 1 — ППБ; 2 — дорожная одежда; 3 — распределительная плита; 4 — выравнивающий слой песка; 5 — облицовка

Рис. 4. Общий алгоритм расчета насыпи из ППБ

стве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах включают следующие методики расчетов:

- расчет основания по несущей способности;
- расчет конечной величины осадки;
- расчет устойчивости откосов;

- оценка развития осадки во времени;
- расчет несущей способности ППБ;
- расчет сопротивления насыпи гидростатическому всплыванию;
- оценка сопротивления насыпи воздействию сейсмических нагрузок;
- оценка сопротивления насыпи из ППБ воздействию ветровой нагрузки.

Разработанные рекомендации по применению ППБ при строительстве и реконструкции облегченных насыпей на слабых грунтах включают технологии выполнения основных работ по строительству, капитальному ремонту и эксплуатации облегченных и комбинированных насыпей и сооружений на слабых грунтах с использованием вспененных полистирольных блоков, а также условия хранения ППБ, правила их укладки, правила устройства бетонной распределительной плиты, устройства дорожной одежды, устройства откосов.

Кроме того, в состав рекомендаций входят указания по технико-экономическому обоснованию, рекомендации по методам контроля и оценке соответствия, требования безопасности и охраны окружающей среды.

Практическая значимость исследований в данной области заключается в развитии нормативной базы и соблюдении требований к качеству проектируемых автомобильных дорог на слабых грунтах в условиях действия Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 014/2011 «Безопасность автомобильных дорог». Преимуществом данных исследований является создание комплекса методик расчетов для безопасного проектирования насыпей из пенополистирола.

Таким образом, разработанная методика позволит обеспечить проектирование конструкции облегченных насыпей из ППБ на слабых грунтах и снизить степень риска причинения вреда от воздействия внешних и внутренних нагрузок.

Библиографический список

1. Евтюков С. А., Матюсова Е. Ю. Несущая способность насыпи из EPS-блоков. Алгоритм подбора блоков с оптимальной плотностью // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 1. С. 127–130.
2. Евтюков С. А., Рябинин Г. А., Спектор А. Г. Строительство, расчет и проектирование облегчен-

ных насыпей / под ред. Е. П. Медреса. СПб.: ИД «Петрополис», 2009. 260 с.

3. Arellano D., Stark T. D., Horvath J. S., and Leshchinsky D. (2009a). "NCHRP Project 24-11(02), Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects: Interim Report." NCHRP Project No. 24-11(02), Transportation Research Board, Washington D.C.

4. Arellano D., Stark T. D., Horvath J. S., and Leshchinsky D. (2011). "NCHRP Project 24-11(02), Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects: Preliminary Draft Final Report." NCHRP Project No. 24-11(02), Transportation Research Board, Washington, D.C.

5. Медрес Е. П., Евтюков С. А. Проектирование и строительство облегченных насыпей с применением EPS-блоков // Автомобильные дороги. 2007. № 10. С. 73–75.

6. Медрес Е. П. Совершенствование технологии строительства комбинированной дорожной насыпи из ESP-блоков и пенобетона на слабых грунтах: дис. ... канд. техн. наук 05.23.11 / Медрес Евгений Петрович. Санкт-Петербург, 2013. 140 с.

7. Медрес Е. П. Комбинированная дорожная насыпь на слабых грунтах с применением EPS-блоков и пенобетона // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 5 (34). С. 199–203.

8. Медрес Е. П., Евтюков С. А. Подходы и методы к строительству дорожных насыпей на слабых грунтах // Наука и транспорт. 2012. № 4. С. 20–22.

9. Кочетков А. В., Янковский Л. В., Кокодеева Н. Е., Валиев Ш. Н. Проектирование легких насыпей на слабых основаниях с применением геокомпозиционных материалов для строительства транспортных сооружений // Строительные материалы. 2015. № 11(731). С. 33–37.

10. Медрес Е. П., Васильев Я. В. Применение блоков из экспандированного полистирола при строительстве и реконструкции автомобильных дорог на участках со слабым грунтовым основанием // Автомобильные дороги, транспорт и экология: сб. науч.-практ. трудов группы предприятий «Дорсервис». СПб.: Изд-во ДНК, 2006. С. 21–40.

11. Медрес Е. П. Применение геопен-полистирольных блоков при возведении насыпей на участках со слабым грунтовым основанием // Вестник строительного комплекса. 2008. № 5. С. 69–70.

12. Медрес Е. П., Евтюков С. А. Современные технологии строительства дорожных насыпей на слабых грунтах // сб. докладов X Международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. Инновации: ресурс и возможности». СПб., 2012. С. 291–297.

13. Медрес Е. П., Матюсова Е. Ю. Экспандированный пенополистирол (EPS) как легкий наполнитель для насыпи. Несущая способность. Алгоритм подбо-

ра EPS-блоков с оптимальной плотностью. *Zwiskzenie efektywnosci procesow Budowlanych przemyslowych*, Czstochowa 2012. S.129–133.

14. Vegdirektoratet Internal Report 1885 'Expanded Polystyrene – The Light Solution', 1996.

15. Евтюков С. А., Медрес Е. П. Строительство дорожных насыпей на слабых грунтах: подходы и методы // Наука и транспорт. 2012. № 4/12. С. 31–33.

16. Медрес Е. П., Евтюков С. А. Эффективность применения технологий строительства дорожных насыпей на слабых грунтах // Мир дорог. 2013. № 66. С. 32–34.

References

1. Evtyukov S. A., Matyusova E. Yu. *Nesushchaya sposobnost' nasypi iz EPS-blokov. Algoritm podbora blokov s optimal'noy plotnost'yu* [Bearing capacity of EPS-block geofoam embankments. Selection algorithm at choice of optimal density blocks]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2012, no. 1, pp. 127–130.

2. Evtyukov S. A., Ryabinin G. A., Spektor A. G. *Stroitel'stvo, raschet i proektirovanie oblegchennykh nasypey* [Construction, calculation and design of lightweight embankments]. Ed. by Medres E. P. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2009, 260 p.

3. Arellano D., Stark T. D., Horvath J. S., Leshchinsky D. (2009a). "NCHRP Project 24-11(02), Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects: Interim Report." NCHRP Project no. 24-11 (02), Transportation Research Board, Washington D.C.

4. Arellano D., Stark T. D., Horvath J. S., Leshchinsky D. (2011). "NCHRP Project 24-11(02), Guidelines for Geofoam Applications in Slope Stability Projects: Preliminary Draft Final Report." NCHRP Project no. 24-11(02), Transportation Research Board, Washington, D.C.

5. Medres E. P., Evtyukov S. A. *Proektirovanie i stroitel'stvo oblegchennykh nasypey s primeneniem EPS-blokov* [Design and construction of lightweight embankments using EPS-blocks]. *Avtomobil'nye dorogi – Motor roads*, 2007, no. 10, pp. 73–75.

6. Medres E. P. *Sovershenstvovanie tekhnologii stroitel'stva kombinirovannoy dorozhnoy nasypi iz ESP – blokov i penobetona na slabykh gruntakh. Diss. na soisk. uchen. kand. tekhn. nauk* [Improvement of technology of construction of the combined road embankment from ESP-blocks and foam concrete on weak soils. PhD of Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2013, 140 p.

7. Medres E. P. *Kombinirovannaya dorozhnaya nasyp' na slabykh gruntakh s primeneniem EPS – blokov i penobetona* [Combined road embankment on weak soils with the use of EPS-blocks and foam concrete]. *Vestnik*

grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers, 2012, no.5 (34), pp. 199–203.

8. Medres E. P., Evtyukov S. A. *Podkhody i metody k stroitel'stvu dorozhnykh nasypey na slabykh gruntakh* [Approaches and methods to the construction of road embankments on weak soils]. *Nauka i transport – Science and transport*, 2012, no. 4, pp. 20–22.

9. Kochetkov A. V., Yankovskiy L. V., Kokodeeva N. E., Valiev Sh. N. *Proektirovanie legkikh nasypey na slabykh osnovaniyakh s primeneniem geokompozitsionnykh materialov dlya stroitel'stva transportnykh sooruzheniy* [Design of light embankments on weak bases with the use of geocompositional materials for the construction of transport structures]. *Stroitel'nye materialy – Building materials*, 2015, no. 11(731), pp. 33–37.

10. Medres E. P., Vasil'ev Ya. V. *Primenenie blokov iz ehkspandirovannogo polistirola pri stroitel'stve i rekonstruktsii avtomobil'nykh dorog na uchastkakh so slabym gruntovym osnovaniem* [Application of expanded polystyrene blocks in the construction and reconstruction of roads in areas with a weak soil base]. *Avtomobil'nye dorogi, transport i ehkologiya* [Highways, transport and ecology]. *Sbornik nauchno-prakticheskikh trudov gruppy predpriyatiy «Dorservis»* [Coll. works of the group of enterprises “Dorservice”]. St. Petersburg, DNK Publ., 2006, pp. 21–40.

11. Medres E. P. *Primenenie geopen-polistirol'nykh blokov pri vozvedenii nasypey na uchastkakh so slabym gruntovym osnovaniem* [Application of geopen-polystyrene blocks in the construction of embankments in areas with a weak soil base]. *Vestnik stroitel'nogo*

kompleksa – Bulletin of the construction complex, 2008, no. 5, pp. 69–70.

12. Medres E. P., Evtyukov S. A. *Sovremennye tekhnologii stroitel'stva dorozhnykh nasypey na slabykh gruntakh* [Modern technologies of construction of road embankments on weak soils]. *Trudy 10-oymezhdunarodnoy konferentsii: «Organizatsiya i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnykh gorodakh. Innovatsii: resursy i vozmozhnosti»* [Proc. of the X international conference: “Organization and safety of road traffic in large cities. Innovation: resources and opportunities”]. St. Petersburg, 2012, pp. 291–297.

13. Medres E. P., Matyusova E. Yu. *Ehkspandirovannyy penopolistirol (EPS) kak legkiy zapolnitel' dlya nasypi. Nesushchaya sposobnost'. Algoritm podbora EPS - blokov s optimal'noy plotnost'yu* [Expanded polystyrene expanded polystyrene (EPS) as a lightweight filler for embankments. Bearing capacity. Algorithm for selection of EPS-blocks with optimal density]. In: *Increasing the Efficiency of Production Processes*, Czstochowa, 2012, pp. 129–133.

14. Vegdirektoratet Internal Report 1885 ‘Expanded Polystyrene – The Light Solution’, 1996.

15. Evtyukov S. A., Medres E. P. *Stroitel'stvo dorozhnykh nasypey na slabykh gruntakh: podkhody i metody* [Construction of road embankments on weak soils: approaches and methods]. *Nauka i transport – Science and transport*, 2012, no. 4/12, pp. 31–33.

16. Medres E. P., Evtyukov S. A. *Ehffektivnost' primeneniya tekhnologiy stroitel'stva dorozhnykh nasypey na slabykh gruntakh* [Efficiency of application of technologies of construction of road embankments on weak soils]. *Mir dorog – World of roads*, 2013, no. 66, pp. 32–34.