

Практическое применение системы IndorPavement для расчёта укрепления конструкции объёмной георешёткой

DOI: 10.17273/CADGIS.2019.1.4

Свеженцев Д.В., инженер ООО «Гекса-Инжиниринг» (г. Москва)
Савельева Т.Н., системный аналитик ООО «ИндорСофт» (г. Томск)
Лубкина К.А., ведущий программист ООО «ИндорСофт» (г. Томск)

В статье рассматриваются особенности расчёта конструкции дорожной одежды с объёмной георешёткой в системе IndorPavement на примере проекта капитального ремонта автодороги Р-257 «Енисей» на участке 600—615 км в Красноярском крае.

Проектирование конструкций дорожных одежд в условиях сурового климата или горной местности является задачей повышенной сложности в связи с увеличением требований к расчёту на сдвигустойчивость, сокращением срока службы дороги и т.д. В таких случаях на помощь приходят геосинтетические материалы, в частности объёмные георешётки (геосоты), увеличивающие прочность конструкции дорожной одежды.

Что такое объёмная георешётка?

Объёмная георешётка (геоячейки, пространственная георешётка) — это объёмная сотовая конструкция из полимерных или синтетических лент, скреплённых между собой в шахматном порядке. В рабочем состоянии она образует пространственную ячеистую конструкцию [1]. Материал георешётки не подвержен гниению, воздействию кислот и щелочей, поэтому срок её службы составляет не менее пятидесяти лет. Плюсом использования георешётки также является простота монтажа: для фиксации модуля применяются пластиковые или металлические анкера.

Для чего используется георешётка?

Основными задачами, решаемыми с помощью применения георешётки при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог, являются:

- укрепление подтопленных и неподопленных откосов и склонов вместо использования традиционных типов укрепления или

в сочетании с ними (например, с посевом многолетних трав);

- усиление насыпей земляного полотна в сложных условиях строительства (наличие слабых грунтов и грунтов повышенной влажности в основании земляного полотна, стеснённые условия строительства и необходимость возведения насыпей с откосами повышенной крутизны) и усиление рабочего слоя земляного полотна;
- укрепление сооружений поверхностного водоотвода;
- образование усиленных конструктивных слоёв дорожных одежд (несущих оснований, дополнительных слоёв оснований, покрытий переходного типа).

Применение георешётки позволяет усилить конструкцию дорожной одежды и обеспечить сдвигустойчивость слоёв основания. Усиление достигается благодаря совместной работе георешётки с зернистым материалом основания (покрытия переходного типа), приводящей к ограничению перемещений отдельных зёрен этого материала в ячейках геосотовой конструкции. В качестве заполнителя могут использоваться различные материалы: местные непучинистые или слабопучинистые грунты, щебень фракций от 10 до 40 мм, гравий, щебёночно-песчаные, гравийно-песчаные, щебёночно-песчано-гравийные смеси, а также грунты и материалы, укрепленные вяжущим. Образованный композитный слой «зернистый материал + георешётка» (рис. 1) обладает повышенной жёсткостью, прочностью, распределяющей способностью, стойкостью к воздействию динамических

нагрузок и неравномерных деформаций. При использовании в качестве заполнителя материалов и грунтов, укрепленных неорганическим вяжущим, обеспечивается регулируемое трещинообразование, что позволяет повысить трещиностойкость дорожной конструкции [1].

Как учесть влияние объёмной георешётки на характеристики конструкции дорожной одежды в системе IndorPavement?

Расчёт конструкции дорожной одежды — процесс непростой и трудоёмкий, а применение современных геосинтетических материалов усложняет его ещё больше. Гораздо удобнее и эффективнее воспользоваться для расчёта специализированным программным продуктом. Одним из таких продуктов является система расчёта дорожных одежд IndorPavement (ООО «ИндорСофт», г. Томск).

Система поддерживает все основные стандарты и методики России, Казахстана и СССР, что позволяет производить расчёты дорожных одежд для нового строительства, а также делать оценку существующих конструкций. С 2009 года система успешно используется в различных проектных институтах России и стран ближнего зарубежья [2]. Программа имеет удобный интерфейс, обширную постоянно расширяющуюся библиотеку материалов (более 1000 наименований), библиотеку транспортных средств для расчёта по условиям движения, возможности проектирования по типовым кон-



Рис. 1. Композитный слой «зернистый материал + георешётка»

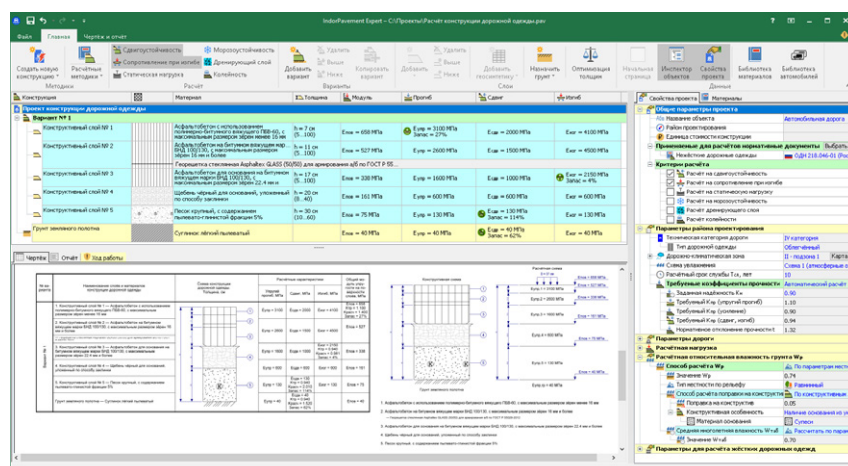


Рис. 2. Главное окно системы IndorPavement

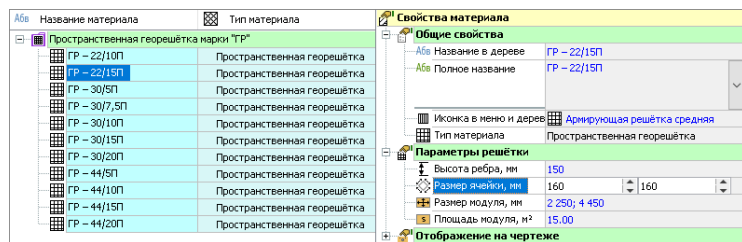


Рис. 3. Пространственные геосинтетические материалы в библиотеке IndorPavement

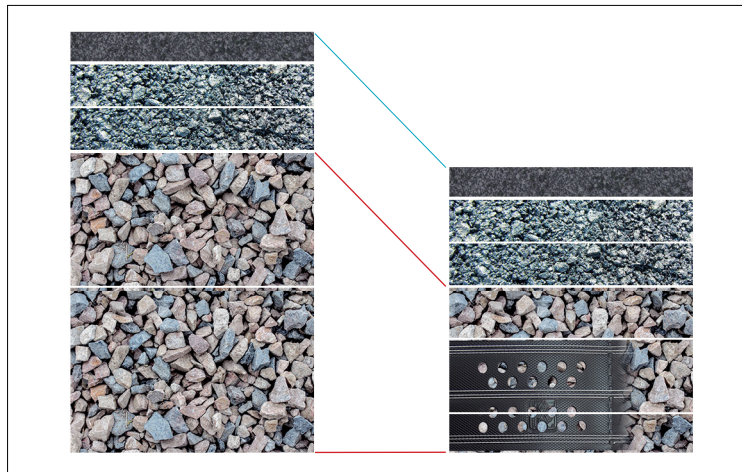


Рис. 4. Наглядное сравнение толщины конструкций с георешёткой (справа) и без (слева)

струкциям и оптимизации толщин слоёв дорожной одежды.

Для проектируемой конструкции в системе можно провести расчёт на упругий прогиб, сдвигоустойчивость, растяжение при изгибе, статическую нагрузку, колейность, а также оценить морозоустойчивость конструкции и, если это необходимо, вычислить толщины морозозащит-

ного и дренажного слоёв. При добавлении геосинтетических материалов запасы по критериям прочности (сдвигоустойчивость, упругий прогиб, в некоторых случаях сопротивление растяжению при изгибе) дорожной одежды возрастают. Для оценки степени этих улучшений в расчётах применяются методические рекомендации ОДМ 218.5.002-2008 [3], ОДМ 218.5.003-2010 [4], ОДМ 218.5.001-2009 [5] и ОДМ 218.3.032-2013 [1].

Библиотека материалов программы IndorPavement содержит все пространственные георешётки, перечисленные в ОДМ 218.3.032-2013 [1] (рис. 3), которые можно внести в конструкцию для повышения её прочностных характеристик. Кроме того, можно использовать геосетки других фирм и производителей: достаточно создать в библиотеке новый материал, заполнить его характеристики и сохранить, а затем при проектировании добавить в слой дорожной одежды.

Использование возможностей системы ускоряет процесс проектирования конструкции дорожной одежды и позволяет максимально оптимизировать её при соблюдении всех критериев расчёта (рис. 4).

Пример практического применения объёмной георешётки и расчёта конструкции дорожной одежды с её использованием

Среди вопросов, возникающих при строительстве и ремонте дорог, особое место занимает проектирование дорожной одежды для условий горной местности. Задача такого рода — разработать эффективное конструктивное решение дорожной одежды на сложном участке федеральной автомобильной дороги Р-257 «Енисей» в Красноярском крае — была по-

| Конструкция | Материал | Толщина | Модуль | Прогиб | Сдвиг | Изгиб | Стат. нагрузка | Мороз |
|---|---|----------------------|----------------------------|---|---|--|---|--|
| Проект конструкции дорожной одежды | | | | | | | | |
| Вариант № 1 | | | | | | | | |
| Конструктивный слой № 1 | ЩМА-15 щебень из осадочных и метаморфических горных пород М1000-М1200, марка битума 90/130 | h = 4 см (4..20) | Е _{лов} = 388 МПа | Е _{упр} = 3300 МПа Запас = 0% | Е _{сдв} = 1600 МПа | Е _{изг} = 3400 МПа | Е _{стат} = 430 МПа | |
| Конструктивный слой № 2 | Асфальтобетон горячий укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной (гравийной) смеси марка битума БНД-90/130 | h = 6 см (6..15) | Е _{лов} = 310 МПа | Е _{упр} = 1400 МПа | Е _{сдв} = 612 МПа | Е _{изг} = 2200 МПа | Е _{стат} = 320 МПа | |
| Конструктивный слой № 3 | Асфальтобетон горячий укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной (гравийной) смеси марка битума БНД-90/130 | h = 6 см (6..15) | Е _{лов} = 243 МПа | Е _{упр} = 1400 МПа | Е _{сдв} = 612 МПа | Е _{изг} = 2200 МПа Запас = 18% | Е _{стат} = 320 МПа | |
| Конструктивный слой № 4 | Смеси щебеночные с непрерывной гранулометрией С5 - 40 мм (для оснований) | h = 18 см (7..40) | Е _{лов} = 185 МПа | Е _{упр} = 260 МПа | Е _{сдв} = 260 МПа | Е _{изг} = 260 МПа | Е _{стат} = 260 МПа | |
| Конструктивный слой № 5 | Смеси щебеночные с непрерывной гранулометрией С5 - 40 мм (для оснований) | h = 22 см (8..40) | Е _{лов} = 157 МПа | Е _{упр} = 260 МПа | Е _{сдв} = 260 МПа | Е _{изг} = 260 МПа | Е _{стат} = 260 МПа | |
| Грунт земляного полотна | Грунт земляного полотна | | Е _{лов} = 100 МПа | Е _{упр} = 100 МПа | Е _{сдв} = 100 МПа Запас = 99% | Е _{изг} = 100 МПа | Е _{стат} = 100 МПа Запас = 162% | И _{мх} = 2 см Запас = 1 см |

Рис. 5. Первоначальная схема конструкции в системе IndorPavement (без георешётки)

| Конструкция | Материал | Толщина | Модуль | Прогиб | Сдвиг | Изгиб | Стат. нагрузка | Мороз |
|---|---|----------------------|----------------------------|--|---|--|---|--|
| Проект конструкции дорожной одежды | | | | | | | | |
| Вариант № 1 (активный) | | | | | | | | |
| Конструктивный слой № 1 | ЩМА-15 щебень из осадочных и метаморфических горных пород М1000-М1200, марка битума 90/130 | h = 4 см (4..20) | Е _{лов} = 433 МПа | Е _{упр} = 3300 МПа Запас = 12% | Е _{сдв} = 1600 МПа | Е _{изг} = 3400 МПа | Е _{стат} = 430 МПа | |
| Конструктивный слой № 2 | Асфальтобетон горячий укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной (гравийной) смеси марка битума БНД-90/130 | h = 6 см (6..15) | Е _{лов} = 349 МПа | Е _{упр} = 1400 МПа | Е _{сдв} = 612 МПа | Е _{изг} = 2200 МПа | Е _{стат} = 320 МПа | |
| Конструктивный слой № 3 | Асфальтобетон горячий укладки пористый II марки из крупнозернистой щебеночной (гравийной) смеси марка битума БНД-90/130 | h = 6 см (6..15) | Е _{лов} = 278 МПа | Е _{упр} = 1400 МПа | Е _{сдв} = 612 МПа | Е _{изг} = 2200 МПа Запас = 27% | Е _{стат} = 320 МПа | |
| Конструктивный слой № 4 | Смеси щебеночные с непрерывной гранулометрией С5 - 40 мм (для оснований) | h = 7 см (7..40) | Е _{лов} = 215 МПа | Е _{упр} = 260 МПа | Е _{сдв} = 260 МПа | Е _{изг} = 260 МПа | Е _{стат} = 260 МПа | |
| Конструктивный слой № 5 (активный) | Смеси щебеночные с непрерывной гранулометрией С5 - 40 мм (для оснований) | h = 15 см (8..40) | Е _{лов} = 208 МПа | Е _{упр} = 1040 МПа | Е _{сдв} = 1040 МПа | Е _{изг} = 1040 МПа | Е _{стат} = 1040 МПа | |
| Грунт земляного полотна | Геоспан ОР 30/15 | | Е _{лов} = 100 МПа | Е _{упр} = 100 МПа | Е _{сдв} = 100 МПа Запас = 51% | Е _{изг} = 100 МПа | Е _{стат} = 100 МПа Запас = 135% | И _{мх} = 2 см Запас = 1 см |

Рис. 6. Схема окончательного варианта конструкции в системе IndorPavement (с георешёткой)



Рис. 7. Процесс укладки георешётки на участке 600—615 км автодороги Р-257 «Енисей»

ставлена перед проектной организацией ООО «Автодорпроект «Трасса». Данный участок характеризуется резкими перепадами высот, имеет большие продольные уклоны, что затрудняет решение задачи и значительно увеличивает толщину конструкции, а следовательно, и её стоимость. Толщина дорожной одежды в первом варианте составляла 56 см (рис. 5). Данный вариант подразумевал большой расход материала для укладки основания и превышал требуемую стоимость.

Тем не менее решение было найдено. Сотрудниками «Автодорпроект «Трасса» совместно с инженерами компании «Гекса» в программе IndorPavement была рассчитана конструкция с применением объёмных геоячеек (георешётки) Геоспан ОР 30/15. В качестве заполнителя использовался нижний слой основания — щебёночная смесь с непрерывной гранулометрией с размером зёрен 40 мм. По итогам подбора различных вариантов и поиска оптимального решения удалось добиться существенного сокращения толщины дорожной одежды до 38 см за счёт уменьшения слоя щебёночной смеси (рис. 6). Предложенная конструкция обладала повышенной сдвигоустойчивостью на продольных уклонах и соответствовала всем нормативным требованиям прочности.

Итоговый расчёт был проведён согласно методике МОДН 2-2001 «Проектирование нежестких дорожных одежд» [6] с учётом методических рекомендаций по применению пространственных георешёток ОДМ 218.3.032-2013 [1] и по критериям на

упругий прогиб, сопротивление сдвигу, растяжение при изгибе, статическую нагрузку соответствует нормам. Также данная конструкция была оценена как морозоустойчивая для заданных климатических условий.

Итоговое конструктивное решение получило положительную оценку ФАУ «РОСДОРНИИ». Капитальный ремонт указанного участка согласно разработанному проекту был завершён в 2016 году, а дорога до сих пор успешно эксплуатируется без серьёзных нарушений целостности дорожной одежды. На рис. 7 представлен процесс укладки объёмной георешётки на этом участке.

Вывод: почему IndorPavement?

В дорожной отрасли для увеличения прочности конструкции дорожной одежды, а также снижения затрат и оптимизации работ часто используются различные плоские и объёмные геосинтетические материалы. Система IndorPavement предоставляет возможность проведения всех необходимых расчётов для таких конструкций с учётом специальных методик по использованию геосинтетики, а также позволяет рассчитать сразу несколько возможных вариантов дорожной одежды и выбрать оптимальный. Это существенно экономит время разработчика, позволяя легко и быстро находить решения даже в сложных ситуациях. ■

Литература:

1. ОДМ 218.3.032-2013. Методические рекомендации по усилению конструктивных

элементов автомобильных дорог пространственными георешётками (геосотами). М., 2013. 75 с.

2. Рукавишников Е.Е., Лубкина К.А., Скворцов А.В. Проектирование, расчёт и контроль дорожных одежд // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2013. № 1(1). С. 33–35. DOI: 10.17273/CADGIS.2013.1.7
3. ОДМ 218.5.002-2008. Методические рекомендации по применению полимерных геосеток (георешёток) для усиления слоёв дорожной одежды из зернистых материалов. М.: Информавтодор, 2008. 113 с.
4. ОДМ 218.5.003-2010. Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве автомобильных дорог. М.: Информавтодор, 2010. 141 с.
5. ОДМ 218.5.001-2009. Методические рекомендации по применению геосеток и плоских георешёток для армирования асфальтобетонных слоёв усовершенствованных видов покрытий при капитальном ремонте и ремонте автомобильных дорог. М.: Информавтодор, 2010. 82 с.
6. МОДН 2-2001. Проектирование нежестких дорожных одежд. М.: Союздорнии, 2002. 154 с.