

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ УПЛОТНЕНИЯ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.И. Кромский, А.Р. Лебедь, И.Н. Гаврилина

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Современные дорожно-строительные машины при высоком уровне механизации не отвечают возросшим показателям качества строительства автомобильных дорог. Одной из главных причин низкого качества является недоуплотнение всех конструктивных слоев дорожного покрытия. Данная статья посвящена решению технических вопросов для улучшения качества автомобильных дорог. Рассматриваются особенности технологии укладки дорожно-строительных материалов, и предлагается техническое решение для получения высокоплотных структур из композиционных материалов. Представлена новая технология уплотнения дорожно-строительных материалов, которая основана на сдвиговых деформациях. Технические решения новых устройств рабочих органов машин (НТТ) обеспечивают более высокий коэффициент уплотнения различных дорожно-строительных материалов.

Ключевые слова: качество автомобильных дорог, новая технология уплотнения дорожно-строительных материалов, сдвиговые деформации, уплотняющие машины.

Современные дорожно-строительные машины отечественного и зарубежного производства обеспечивают высокий уровень механизации, но не в полной мере отвечают возросшим показателям качества строительства автомобильных дорог.

По таким показателям, как протяженность дорог с твердым покрытием на миллион населения, максимально допустимая нагрузка на ось транспортных средств, тонно-километры перевозимого груза на единицу автомобилей, Россия находится далеко не в первой десятке экономически развитых стран мира.

Народное хозяйство страны несет большие убытки от сезонного запрета проезда на 1–1,5 месяца большегрузных автомобилей в весенний период.

Эксперты отмечают, что одной из главных причин низкого качества автомобильных дорог в Российской Федерации является недоуплотнение всех конструктивных слоев: земляного полотна, цементобетонного и асфальтобетонного твердого покрытия.

Задачей уплотнения дорожно-строительных материалов является: сближение твердых частиц с целью увеличения контактных поверхностей между ними, удаления газовой фазы (воздуха) и избытка технологической жидкости. Последующего доуплотнения дорожно-строительных материалов от эксплуатационных нагрузок транспортных средств не должно быть.

Существующая техника и технология (СТТ) предполагают доставку и распределение материалов на заранее подготовленную поверхность, затем с помощью рабочих органов дорожно-строительных машин воздействуют усилиями сжатия на уплотняемый материал в направлении сверху вниз [1].

Численное значение давления убывает по высоте сечения слоя материала (рис. 1). Вектор градиента давления Δq направлен вниз. Компоненты многофазной системы композиционных материалов стремятся двигаться из зоны максимальных давлений в сторону минимальных, то есть вниз.

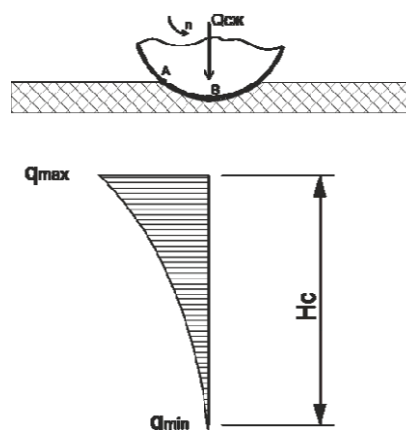


Рис. 1. Эпюра давлений. Традиционная технология уплотнения по предварительно уложенному материалу

В начале уплотнения часть воздуха выдавливается из рыхлого материала, но далее основная часть воздуха запрессовывается и остается внутри уплотняемого материала, создавая неустойчивую структуру, что в дальнейшем приводит к образованию неровностей поверхности в виде колеи и поперечных волн от воздействия внешних эксплуатационных нагрузок.

Если дорожно-строительные материалы не рассыпать на подготовленную поверхность, а равномерно подавать под рабочую поверхность уплотняющего устройства, то можно создать условия для

организованного и направленного движения компонентов смеси в тангенциальном направлении – это и будет новая техника и технология (НТТ).

На рис. 2 представлена схема нового уплотняющего устройства в виде плиты, совершающей угловые перемещения в вертикальной плоскости (рычаг Архимеда).

Один конец плиты закреплен к неподвижному шарниру, а другой конец плиты присоединен к подвижному шарниру. При движении плиты вверх под неё подсыпается материал, а при обратном движении плиты происходит нагнетание материала вниз. Давление на элементарные частицы под рабочей поверхностью плиты изменяется по гиперболе: минимальное давление находится у подвижного шарнира, а максимальное – вблизи неподвижного. Градиент давления Δq направлен в тангенциальном направлении, и движение частиц происходит в горизонтальном направлении. При сдвиговых деформациях не требуется больших усилий сжатия для обеспечения более плотной упаковки зёрен (рис. 3).

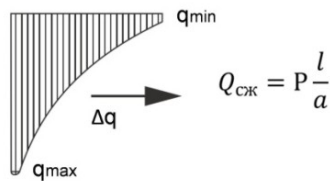
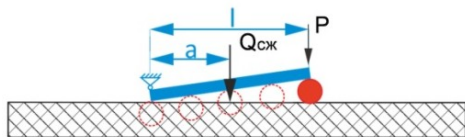


Рис. 2. Эпюра давлений. Плита уплотняющего механизма в виде рычага Архимеда (НТТ)

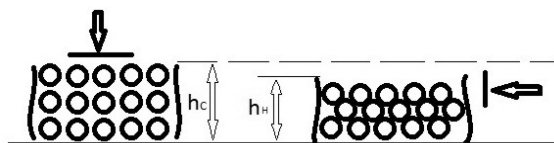


Рис. 3. Упаковка твердых частиц при деформациях сжатия и сдвига

Воздух и избыток технологической жидкости движутся из зоны высокого давления в сторону низкого давления, то есть в сторону открытого пространства, так как материал предварительно не рассыпают впереди уплотняющего устройства (НТТ).

Под новым рабочим органом уплотняющего устройства создается предельно плотная, жесткая и неизменяемая структура материала [2, 3].

На рис. 4 показан общий вид модернизированной машины на базе асфальтоукладчика (равнозначно и бетоноукладчика), у которой вместо

стандартного рабочего органа для виброуплотнения дорожных материалов используется уплотнитель с новыми конструктивными элементами.

Существенным преимуществом уплотняющей машины с новым рабочим органом является **двухступенчатое увеличение** движущей силы P (рис. 5). Усилие сжатия $Q_{сж}$, действующее на элементарную частицу, внедряемую в среду уплотняемого материала, определяется:

$$Q_{сж} = Pk_1k_2, \quad (1)$$

где P – усилие, развиваемое приводом КШМ, k_1 и k_2 – коэффициенты усиления.

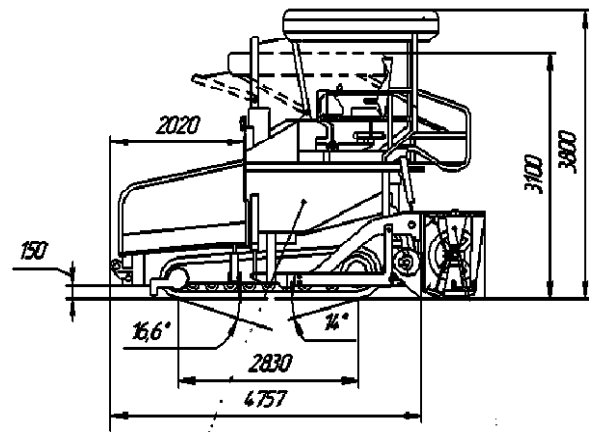


Рис. 4. Асфальтоукладчик с новым рабочим органом

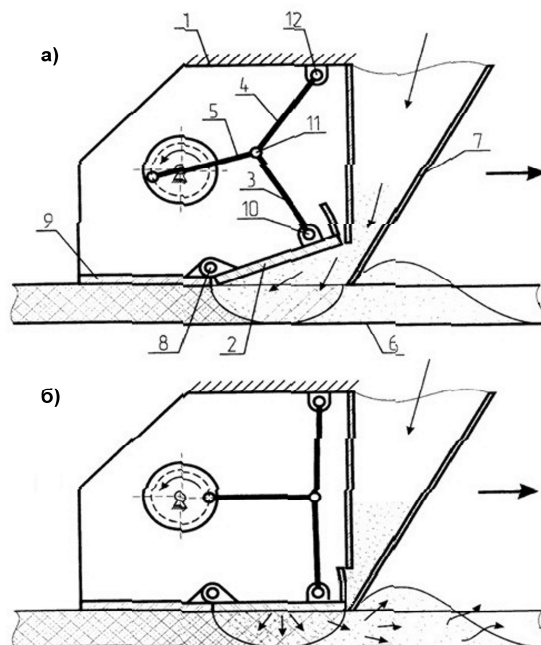


Рис. 5. Схема устройства для получения высокоплотных структур из композиционных материалов: а – верхнее положение платформы нагнетателя (засыпка материала); б – нижнее положение платформы нагнетателя (прессование)

Коэффициент усиления k_1 определяется из параллелограмма сил с углом α между рычагами (рис. 6):

$$\frac{P}{2} = T \cos \frac{\alpha}{2}; \quad (2)$$

$$T = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} = Pk_1, \quad (3)$$

где $k_1 = \frac{1}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$; $k_1 \gg 1$.

Коэффициент усиления k_1 стремится к бесконечно большой величине при угле α приближающемся к 180° , так как $\cos \frac{\alpha}{2}$ стремится к нулю.

Коэффициент усиления k_2 определяется из равенства

$$Q_{сж} = \frac{b}{a} T = Tk_2, \quad (4)$$

где $k_2 = \frac{b}{a}$; $k_2 > 1$; a – расстояние от элементарной частицы материала до неподвижной шарнирной опоры; b – вылет (длина) плиты платформы.

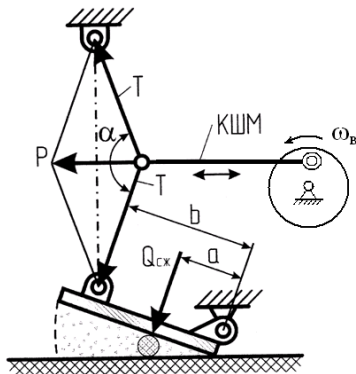


Рис. 6. Схема действующих сил на элементарную частицу прессуемого материала

Отсюда следует вывод: даже при небольшой движущей силе P усилие сжатия $Q_{сж}$ прессуемого материала может достигать любых численных величин, что существенно расширяет технологические возможности машин для уплотнения дорожно-строительных материалов, делает технологию малочувствительной к расширенному диапазону температур асфальтобетона и водоцементному отношению цементбетона. При этом перепрессовочные трещины в уплотняемом материале отсутствуют, так как созданы условия для организованного движения избытка твердых частиц, воздуха и технологической жидкости в тангенциальном направлении (от зоны высокого в сторону низкого давления).

Укладка и уплотнение асфальтобетонной смеси по существующей технологии осуществляется звеном дорожно-строительных машин [5, 6, 8] и

при этом коэффициент уплотнения достигает значений 0,98–0,99 (СТТ), а по новой технологии (НТТ) одним модернизированным асфальтоукладчиком – 1,05–1,10 (рис. 7).

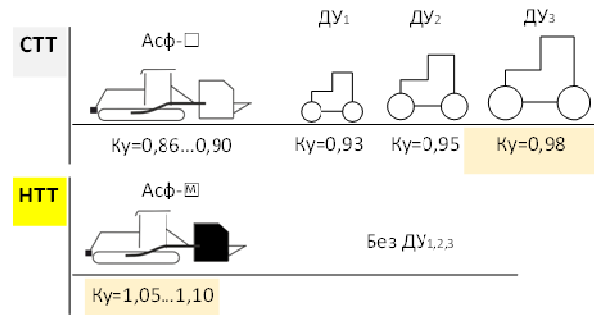


Рис. 7. Коэффициенты уплотнения асфальтобетона для различных технологий

Современные бетоноукладчики уплотняют бетонную смесь с использованием виброметода (СТТ), а это всегда предполагает наличие в бетонной смеси избыточного количества воды. В зависимости от рецептуры товарного бетона в одном кубометре приготовленной бетонной смеси находится 50–100 л мобильной, химически не связанной с цементом, воды. Под воздействием вибрации все компоненты смеси приходят в движение. При этом вода (наиболее легкая составляющая) движется снизу вверх, а более тяжелые частицы перемещаются вниз, что приводит к неоднородности прочности бетона.

Физико-механические свойства бетона (прочность, износостойкость, морозостойкость и др.) существенно зависят от водоцементного отношения (В/Ц) [7]. Формула прочности бетона показывает зависимость от соотношения количества воды (В) и цемента (Ц): $R_6 = A_1 \cdot A_2 \cdot K \cdot (Ц/В - C) \cdot R_{ц}$, а графическая интерпретация представлена рис. 8.

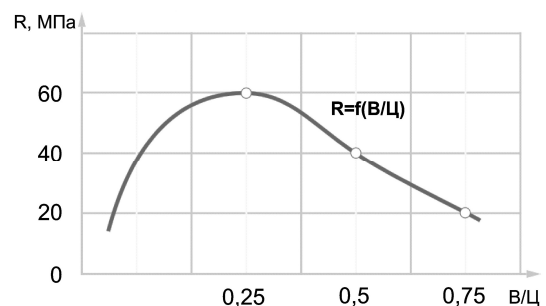


Рис. 8. График прочности бетона в зависимости от В/Ц-отношения

Если вырезать керн из бетонного покрытия дороги и распилить его по высоте на отдельные образцы, то после испытаний получаем следующую картину (рис. 9). Минимальная прочность бетона находится в поверхностном (эксплуатационном) слое, что крайне нежелательно.

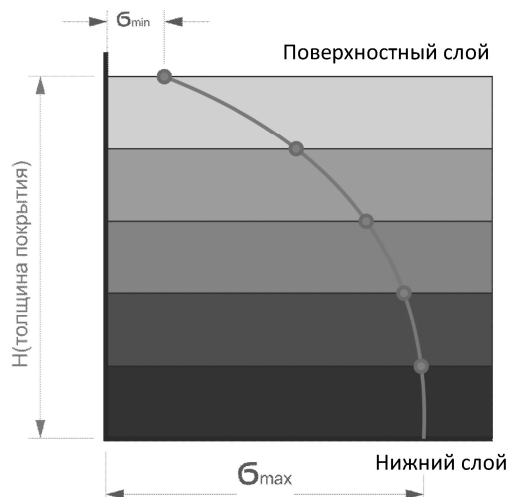


Рис. 9. Распределение прочности бетона по высоте сечения (СТТ) ($\sigma = f(H)$)

Вывод: необходимо переходить к новым технологиям, например, вакуумированию свежеложенной бетонной смеси или к новой технике и технологии (НТТ) [4].

При вакуумировании свежеложенной бетонной смеси часть свободной воды (20–30 %) удаляется, и однородность прочности бетона в некоторой степени выравнивается (кривая 2, рис. 10). Используя уплотняющее устройство в виде рычага Архимеда (НТТ), количество отжатой свободной воды увеличивается до 80–90 %, и новый результат представлен в виде кривой 3 (рис. 9). В нижних слоях бетона прочность выше на 30–40 %, а в верхнем (эксплуатационном) слое – в несколько раз!

Потребительские свойства бетонного покрытия такие как прочность, морозостойкость, исти-

раемость, значительно улучшаются. Прочная беспоровая структура бетонного покрытия позволит во многих случаях отказаться от асфальтобетонного верхнего покрытия автомобильных дорог, что приведет к существенному снижению стоимости строительства. Удаление свободной воды из массива свежеложенной бетонной смеси устраняет главную причину образования льдистости, поэтому строительный сезон может увеличиться в область более низких температур. Дорожная отрасль, используя НТТ, при прочих равных условиях может строить в два раза больше автомобильных дорог и с более высоким качеством.

Заключение. Существующая технология уплотнения дорожно-строительных материалов, основанная на деформациях сжатия, является «воздухозапрессовочной», так как значительная часть воздуха остается в объеме уплотняемого материала, что в дальнейшем приводит к образованию неровностей поверхности в виде колеи и поперечных волн от воздействия внешних эксплуатационных нагрузок.

Новая технология уплотнения дорожно-строительных материалов основана на сдвиговых деформациях и названа нами «воздухоудаляющей». Технические решения новых устройств рабочих органов машин (НТТ) обеспечивают более высокий коэффициент уплотнения различных дорожно-строительных материалов.

Потребительские свойства новых дорожно-строительных машин на базе НТТ значительно расширены, а строительный сезон может увеличиться вплоть до круглогодичного, что в сочетании с возросшим качеством строительства обеспечит народному хозяйству большой экономический эффект.

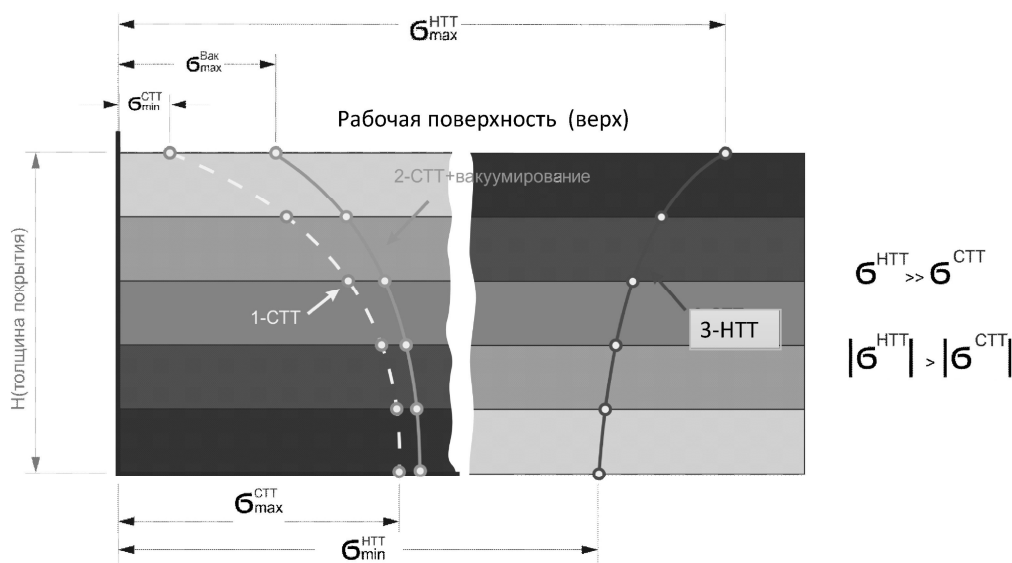


Рис. 10. Сравнение технологий уплотнения бетона: 1 – виброуплотнение (СТТ); 2 – вибровакуумирование, 3 – новая техника и технология (НТТ)

Литература

1. Кромский, Е.И. Новая техника для уплотнения дорожно-строительных материалов / Е.И. Кромский, А.В. Безбородов, О.А. Ефимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2011. – Вып. 17. – № 11 (228). – С. 26–29.
2. Руководство по применению зонного нагнетания при формировании бетонных и железобетонных изделий посредством нагнетателей сыпучих сред типа «Русские качели». – М.: ОАО ЦНИС, 2003. – 40 с.
3. Патент ПМ РФ RU № 93320. Устройство для получения изделий из композиционных материалов / Е.И. Кромский, В.Н. Бондарь, А.В. Свирид и др. – опубл. БИ № 12.
4. Кромский, Е.И. Вакуумирование бетонных смесей в дорожном строительстве / Е.И. Кромский // Сб. научных трудов Уральского филиала МАДИ (ГТУ). – Челябинск, 2000. – 210 с.
5. Справочник дорожного мастера. Строительство, эксплуатация и ремонт автомобильных дорог / под ред. С.Г. Цупкиова. – М.: Инфра-Инженерия, 2005. – 925 с.
6. Истомин, В.С. Практическое руководство по текущему ремонту асфальтобетонных покрытий городской дорожной сети / В.С. Истомин. – М.: Прима-Пресс, 2001. – 110 с.
7. Цупиков, С.Г. Основы дорожно-строительных материалов / С.Г. Цупиков. – Иваново: ИГАСА, 2002. – 150 с.
8. Машины для земляных работ. Конструкция. Расчет. Потребительские свойства: в 2 кн. Кн. 2. Погрузочно-разгрузочные и уплотняющие машины: учебное пособие для вузов / В.И. Баловнев, С.Н. Глаголев, Р.Г. Данилов и др.; под общ. ред. В.И. Баловнева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – 464 с.

Кромский Евгений Ильич, доцент кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ekromskiy@mail.ru

Лебедь Анна Рафиковна, ст. преподаватель кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), lebedanna@mail.ru

Гаврилина Ирина Николаевна, ст. преподаватель кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), gavrilinain@susu.ac.ru

Поступила в редакцию 12 января 2016 г.

DOI: 10.14529/build160204

TECHNOLOGICAL IMPROVEMENTS FOR COMPACTION OF ROAD-BUILDING MATERIALS

E.I. Kromsky, ekromskiy@mail.ru

A.R. Lebed, lebedanna@mail.ru

I.N. Gavrilina, gavrilinain@susu.ac.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The modern road construction equipment in terms of a high level of mechanization doesn't conform to the increased road construction quality level. One of the main reasons of poor quality is insufficient compaction of all structural layers of road surface. The paper deals with technical issues of roads quality improvement. The specific features of road materials placement technology are considered. The authors suggest an engineering solution to get high-density structures made of composite materials. The new technology of road materials compaction based on shear deformations is introduced. The engineering solutions of new devices of operating elements of machines ensure a higher factor of compaction of road-building materials.

Keywords: quality of roads, new technology of road-building materials compaction, shear deformations, tamping machines.

References

1. Kromskiy E.I., Bezborodov A.V., Efimov O.A. [New equipment for compaction of road-building materials]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical engineering industry*, 2011, iss. 17, no. 11 (228), pp. 26–29. (in Russ.)
2. [Manual on the application of the band discharge guide in forming concrete products by supercharger granular media such as "Russian swing"]. Moscow, 2003. 40 p. (in Russ.)
3. Kromskiy E.I., Bondar' V.N., Svirid A.V. *Ustroystvo dlya polucheniya izdeliy iz kompozitsionnykh materialov* [The device for receiving products from composite materials]. Patent RF, no. 93320, 2010.
4. Kromskiy E.I. *Vakuumirovanie betonnykh smesey v dorozhnom stroitel'stve* [Evacuation of concrete mixtures in road construction] *Sb. nauchnykh trudov Ural'skogo filiala MADI (GTU)* [Collection of scientific works of the Ural branch of MARI]. Chelyabinsk, 2000. 210 p.
5. Tsupikova S.G. *Spravochnik dorozhnogo мастера. Stroitel'stvo, ekspluatatsiya i remont avtomobil'nykh dorog* [Reference book of the road master. Construction, maintenance and repair of roads]. Moscow, Infra-Engineering Publ., 2005. 925 p.
6. Istomin V.S. *Prakticheskoe rukovodstvo po tekushchemu remontu asfal'tobetonnykh pokrytiy gorodskoy dorozhnoy seti* [Practical Guide for current repair of urban road network of asphalt concrete coatings]. Moscow, Prima-Press Publ., 2001. 110 p.
7. Tsupikov S.G. *Osnovy dorozhno-stroitel'nykh materialov* [Bases of road-building materials]. Ivanovo, IGASA Publ., 2002. 150 p.
8. Balovnev V.I., Glagolev S.N., Danilov R.G. *Mashiny dlya zemlyanykh rabot. Konstruktsiya. Raschet. Potrebitel'skie svoystva: v 2 kn. Kn. 2. Pogruzochno-razgruzochnye i uplotnyayushchie mashiny: uchebnoe posobie dlya vuzov* [Earth-moving machines. Design. Calculation. Consumer properties. Book 2. Handling and sealing machines : textbook for universities]. Belgorod, BGTU Publ., 2011. 464 p.

Received 12 January 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кромский, Е.И. Совершенствование техники и технологии уплотнения дорожно-строительных материалов / Е.И. Кромский, А.Р. Лебедь, И.Н. Гаврилина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 22–27. DOI: 10.14529/build160204

FOR CITATION

Kromsky E.I., Lebed A.R., Gavrilina I.N. Technological Improvements for Compaction of Road-Building Materials. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2016, vol. 16, no. 2, pp. 22–27. (in Russ.). DOI: 10.14529/build160204
