

УДК 625.8

ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА С БЛОЧНЫМ ПОКРЫТИЕМ: ВОПРОСЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА

Семенов Д.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: elfx@mail.ru

В статье рассмотрены актуальные вопросы необходимости разработки теоретических основ конструирования, расчета и оптимизации дорожных одежд с блочным покрытием, использование которых охватывает в настоящее время территории от покрытий благоустройства городов до территорий тяжелых дорожных конструкций складов, портов и контейнерных терминалов. Приведены типичные для блочных покрытий варианты раскладки камней, схема возникновения неровностей, схемы конструкций для разных параметров нагрузки. Решение проблемы обеспечения устойчивости и ровности и в итоге увеличение сроков службы дорожной конструкции требуют разработки адекватных данному типу покрытия расчетных схем с использованием теоретических решений, отражающих индивидуальные особенности таких конструкций. Для разработки теоретических решений расчета и конструирования дорожных одежд с блочным покрытием в статье предложены три новых дополнительных условия обеспечения устойчивости и ровности, важные для принятия эффективных инженерных решений.

Ключевые слова: блочные покрытия, камни мощения, формы камней, швы блочных покрытий, перевязка швов, технико-экономические показатели блочных покрытий, конструкция блочных покрытий, устойчивость и ровность блочных покрытий

BLOCK PAVING ROAD COVERS: DESIGN AND CALCULATION ISSUES

Semenov D.A.

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Professional Education Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, e-mail: elfx@mail.ru

The article deals with topical issues raised to develop the theoretical foundations of design, calculation and optimization of block paving road cover, the use of which now ranges from the urban areas coatings to warehouses, ports and container terminals heavy road structures. Showcased are typical for block paving road cover layouts, development patterns of uneven road cover, design schemes for different load settings. Addressing issues of steadiness and evenness resulting in extended road structure life requires development of adequate to the certain type of paving design schemes, using theoretical solutions which reflect the individual characteristics of such structures. For the development of theoretical solutions for design and calculation of block paving road covers, article proposes additional three new conditions for ensuring steadiness and evenness important for effective engineering solutions.

Keywords: block coverings, paving stones, stone shapes, block seams, joints bonding, technical and economic performance of block coverings, block covers design, steadiness and evenness block covers

Для решения проблемы увеличения межремонтных сроков дорожных одежд в условиях современного интенсивного и тяжелого движения подпрограммой «Автомобильные дороги» федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» предусмотрена корректировка технической политики в направлении более широкого использования цементобетонных и комбинированных покрытий и оснований [9]. Ошибочные решения отказа от строительства цементобетонных покрытий в 70-е годы подорвали традиционную производственную базу (заводы и укладчики цементобетона) и подготовку специалистов данного направления.

Требования благоустройства городских территорий способствовали возрождению в 90-х годах прошлого столетия на городских дорогах и тротуарах использования мелкоблочных конструктивных решений

сначала в опытном порядке (например, городская пешеходная зона на ул. Малая Коношенная), далее на тяжелозагруженных территориях складских и портовых объектов. При этом, естественно, возникла необходимость в проектировании усовершенствованных покрытий, которые должны надежно воспринимать значительные статические и динамические нагрузки от подвижных транспортных средств, хотя нормативная база на использование таких видов бетонных покрытий также и в настоящее время практически отсутствует.

Тем не менее, в последние годы развитие мелкоблочной производственной базы в городах РФ активно осуществляется на интуитивной основе, зачастую методом проб и ошибок.

В практике жестких цементобетонных покрытий их линейку представляют монолитные покрытия, сборные покрытия, сборно-монолитные покрытия и покрытия

из мелких бетонных блоков [4]. В ряду бетонных покрытий блочные покрытия самые старые, но теоретически и конструктивно самые неотработанные.

Покрытия из мелких бетонных блоков достаточно технологичны. Камни мощения можно повторно использовать для ремонта и восстановления покрытия без применения специальных машин и оборудования, без широкого фронта работ. Такое покрытие можно разбирать, облегчая доступ к коммуникациям, причем при необходимости движение по отремонтированному участку можно открывать в кратчайшие сроки. Несущая способность блочного покрытия не зависит от погодных условий, покрытие не боится пучения грунтов. У такого покрытия работы по мощению могут выполняться круглогодично, даже в осенний период, когда проблематично обеспечить качество работ по бетонированию и асфальтированию. Мощение можно выполнять как вручную, так и с применением механизированных профилировщиков основания и укладчиков с производительностью до 1200 кв. м в смену. Покрытие экологично, так как бетон не выделяет в атмосферу вредных веществ, что важно на городских территориях, а также позволяет решать различные архитектурно-художественные задачи с применением камней мощения различных цветов. Покрытие обладает высокими и стабильными сцепными качествами, низкой энергоемкостью. В отличие от панельных сборных это покрытие удобно на кривых малых радиусах. Покрытие уже зарекомендовало себя при устройстве портов и логистических терминалов. На основе работы [3] приведено сравнение технико-экономических показателей разных дорожных покрытий для портов и логистических терминалов (см. табл. 1).

В настоящее время существует несколько десятков видов и форм бетонных камней мощения, производимых различными фирмами, отличающихся по физико-механическим характеристикам и размерам. Ландшафтные архитекторы и проектировщики в проекте назначают тот или иной вид камня, в основном руководствуясь архитектурными и эстетическими задачами. Однако расположение камней мощения в дорожном покрытии, их форма и размеры должны не только гармонизировать с окружающей застройкой, но и обеспечивать такие эксплуатационные показатели дорожной одежды, как устойчивость и ровность покрытия.

Дорожная одежда с покрытием из искусственных камней мощения представляет

многослойную конструкцию, состоящую из покрытия, несущего и (при необходимости) дополнительного слоя основания, подстилающего грунта земляного полотна. Дорожная одежда воспринимает внешнюю нагрузку и передает ее на подстилающий грунт. Ее считают устойчивой, если под воздействием движения и погодно-климатических факторов сохраняется прочность и ровность покрытия. Ровность блочного покрытия – это микро- и макропрофили его поверхности, характеризующиеся наличием и величиной различных отклонений от идеальной линии, зависящих от наличия выбоин, впадин, выступов, сдвигов, волн, ступенек. В свете обеспечения ровности и долговечности выбор и применение с разработкой новых видов бетонных камней мощения являются актуальными вопросами для производителей, проектировщиков, строителей.

Работами [2, 5, 7, 8] установлено, что максимальным сопротивлением внешним воздействиям обладают камни, по форме наиболее близкие к кругу: восьмиугольные, шестиугольные и квадратные. Максимальной устойчивостью к сдвигу обладают покрытия, состоящие из камней с горизонтальной (в плане) связью, в которых обеспечивается перевязка швов в прямом и перпендикулярном движению направления. Конструкции покрытий из фигурных элементов мощения передают силы от торможения не только в направлении движения, но и по ширине дорожного покрытия, чем значительно снижают нагрузку на основание и обеспечивают равномерное ее распределение.

В опытном порядке использовались камни толщиной более 100 мм с вертикальными шпунтовыми связями. Стыковые соединения таких камней образуются при помощи устройства на одной из сопрягаемых вертикальных граней гребня трапецеидальной, треугольной или полусферической форм, а на примыкающей к ней вертикальной грани другой плиты соответствующего паза. Стыки на боковых гранях препятствуют вертикальному смещению камней относительно друг друга и обеспечивают частичное или полное восприятие внешних горизонтальных или вертикальных усилий. Однако с применением элементов с наклонными гранями или фигурными выступами высокой точности осложняется вопрос устройства и разборки покрытия, поскольку при монтаже и демонтаже покрытия требуется определенная последовательность операций, и заклиненный элемент не всегда легко и без повреждения может быть извлечен из покрытия.

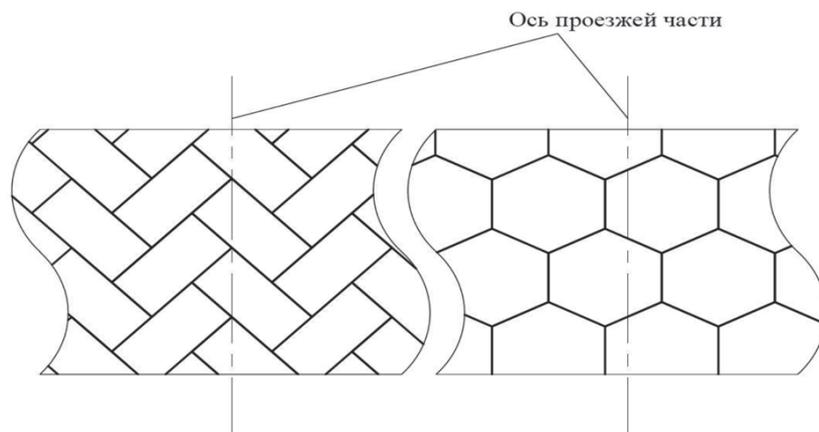


Рис. 1. Схема раскладки камней в покрытии с перевязкой швов

Таблица 1

Технико-экономические показатели дорожных покрытий для портов и логистических терминалов

Вид покрытия	Сравнительная стоимость	Проектный срок службы, лет		Трудоемкость и материалоемкость капремонта в % от начальной стоимости
		Общий	До капитального ремонта	
Блочные (из искусственных каменных мощения)	1	25	10	20
Монолитные железобетонные	1,37	15	10	75
Сборные железобетонные	1,63	20	10	30
Асфальтобетонные:				
– на цементобетонном основании;	0,99	15	10	50
– на щебеночном основании	0,97	7	5	75

Важное значение имеет схема расположения швов в покрытии. В случае интенсивного автомобильного движения для равномерного износа дорожного покрытия желательна такая раскладка швов, чтобы все места стыков каменной мощения подвергались примерно одинаковому воздействию транспорта. Для равномерной передачи нагрузки в покрытии лучше всего использовать шестиугольные камни мощения, где швы расположены под различными углами к оси дороги и более равномерно изнашиваются, или, в случае применения прямоугольных камней, вести их укладку под углом к оси дороги («елочкой») (рис. 1).

Стабильная во времени ровность блочных покрытий является одним из основных критериев их эксплуатационной надежности.

Возникновение неровностей может быть обусловлено плохой подготовкой основания и(или) отклонением толщины плит от проектных размеров (см. рис. 2). Нере-

ально получить требуемую ровность покрытия при допусках на толщину блоков и ровность основания ± 5 мм.

С нормативными допусками (± 5 мм) при совмещении подошвы блоков и поверхности основания неровности поверхности покрытия могут достигать 20 мм (табл. 2). Для снижения неровности до нормативных пределов используют выравнивающий упруго-пластичный слой как компенсатор при посадке блоков.

Так как в настоящее время не разработана единая методика расчета дорожных одежд с блочным покрытием, инженерный расчет конструкции с блочным покрытием выполняют по методике расчета нежесткой дорожной одежды. Также отсутствует алгоритм расчета блочных покрытий при использовании разных слоев дорожной одежды с разными характеристиками нагруженности: автомобильные дороги, аэропорты, промышленные территории, контейнер-

ные терминалы, порты, тротуары (рис. 3). При этом в современных условиях эксплуатации непрерывно возрастают нагрузки на дорожное покрытие и их интенсивность, и,

соответственно, повышается уровень ответственности заказчика и проектировщика за принятые решения по величине несущей способности конструкции.

Таблица 2

Размерные цепи при устройстве сборного покрытия с обычными допусками по ровности основания (± 5 мм) под 5-метровой рейкой и по толщине плит (± 5 мм)

№ п/п	Первая плита	Основание под первой плитой	Вторая смежная плита	Основание под второй плитой	Δh , мм, превышения или понижения	Примечание
1	+5	+5	+5	+5	0	–
2	+5	+5	+5	–5	+10	Необходима перекладка плит
3	+5	+5	–5	+5	+10	То же
4	+5	+5	–5	–5	+20	>>
5	+5	–5	+5	+5	+10	>>
6	+5	–5	+5	–5	0	–
7	+5	–5	–5	+5	0	–
8	+5	–5	–5	–5	–10	Необходима перекладка плит
9	–5	+5	+5	+5	+10	То же
10	–5	+5	+5	–5	0	–
11	–5	+5	–5	+5	0	–
12	–5	+5	–5	–5	–10	Необходима перекладка плит
13	–5	–5	+5	+5	–20	То же
14	–5	–5	+5	–5	–10	>>
15	–5	–5	–5	+5	–10	>>
16	–5	–5	–5	–5	0	–

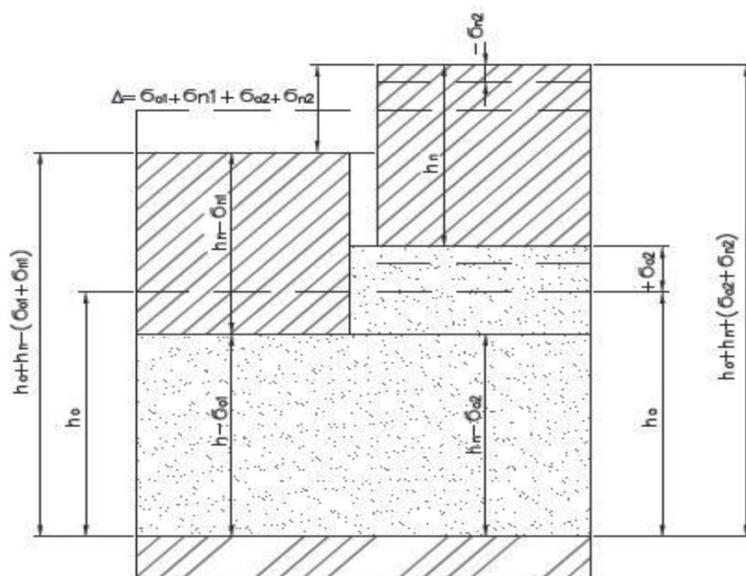


Рис. 2. Схема возникновения неровностей в сборных покрытиях: $b_{п1}$ – отклонение в толщине одной из плит сборного покрытия; $b_{о1}$ – отклонение в ровности основания под первой плитой; $b_{п2}$ – отклонение в толщине другой, примыкающей к первой плитой; $b_{о2}$ – отклонение в ровности основания под второй плитой; Δ – допустимые отклонения по ровности покрытия или уступов между плитами; h_p – высота плиты; h_o – высота подстилающего слоя основания

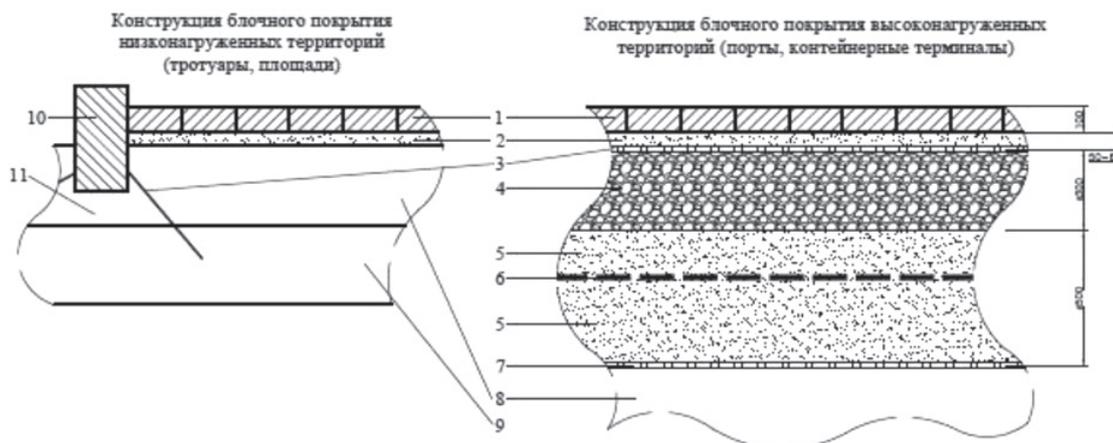


Рис. 3. Конструкции блочных покрытий высоко- и низконагруженных территорий:
 1 – камни мощения; 2 – прослойка песка; 3 и 7 – геотекстиль; 4 – щебень; 5 – песок;
 6 – геосетка (георешетка) для увеличения площади передачи нагрузки на грунтовое основание,
 ставится по расчету; 8 – слой основания; 9 – дополнительный слой основания;
 10 – бортовой камень; 11 – подушка под бортовым камнем

Основными предельными состояниями обеспечения долговечности блочной дорожной конструкции являются:

- устойчивость дорожной одежды с блочным покрытием;
- интенсивность в изменении (ухудшении) ровности, связанной с характером кинематического воздействия реального микропрофиля блочных покрытий.

Условия устойчивости положения блоков:

- первое условие устойчивости будет обеспечено, если по подошве всех блоков чаши прогиба напряжения будут сжимающими (положительными);
- второе условие состоит в том, что наибольшее по абсолютному значению напряжение (σ_v) не должно превосходить предельного ($\sigma_{пред}$) для данного вида грунта при сжатии:

$$|\sigma_v| = \sigma_{пред};$$

- по третьему условию вертикальное смещение наиболее нагруженного блока

$$W_v = |\sigma_v| K = W_{пред},$$

где K – коэффициент постели грунта; $W_{пред}$ – нормативный предельный упругий прогиб.

В соответствии с требованиями обеспечения устойчивости при интенсивном и тяжелом движении сборные дорожные покрытия устраивают на укрепленном (в том числе бетонном) основании.

Расчет основания в таких случаях целесообразно производить исходя из величины критических сжимающих напряжений, возникающих в основании жесткого дорож-

ного покрытия. Критическое напряжение для случая круглого гибкого штампа, при котором еще отсутствуют зоны разрушения (зоны сдвигов), определяется по формуле Н.П. Пузыревского:

$$p_{кр} = \pi \left(\gamma h + \frac{c}{tg(\phi)} \right) / (ctg(\phi) + \phi - \pi / 2) + \gamma h_m,$$

где γ – объемный вес грунта; h_m – величина заглубления штампа (γh – пригрузка); c – сцепление; ϕ – угол внутреннего трения.

При разработке метода расчета следует учесть, что в дорожном покрытии из искусственных камней мощения, как отмечает Н.С. Павлова [6], нагрузка не воспринимается швами, а за счет них она перераспределяется между камнями мощения и основанием, причем дорожное покрытие из камней мощения распределяет нагрузку на нижележащее грунтовое основание по отличающемуся от монолитных покрытий закону.

В диссертации [1], на основе экспериментальных данных, без учета факторов степени заклинивания швов установлено, какая часть нагрузки воспринимается слоем блоков, а какая передается на подстилающее грунтовое основание.

Предполагается, что если осадка одиночного блока и блока, загружаемого в составе покрытия, равны, то разница между величинами нагрузок, действующих в этих двух случаях, дает значение реакции слоя блоков. В результате были получены графики зависимости величины реакции слоя блоков от нагрузки, действующей на покры-

тие, которые методом наименьших квадратов были аппроксимированы линейной зависимостью при:

$$h_{\text{оп}} = 60 \text{ мм} \rightarrow R_{\text{оп}} = 0,50 P;$$

$$h_{\text{оп}} = 80 \text{ мм} \rightarrow R_{\text{оп}} = 0,62 P;$$

$$h_{\text{оп}} = 100 \text{ мм} \rightarrow R_{\text{оп}} = 0,74 P.$$

Согласно данным исследований Ассоциации цемента и бетона Великобритании, блочное покрытие распределяет прикладываемую нагрузку P на нижележащее грунтовое основание под углом ϵ по площади F_1 . Интенсивность нагрузки, действующей на грунтовое основание, учитывая реакцию слоя блоков $R_{\text{оп}}$, равна

$$p = (P - R_{\text{оп}}) / F_1$$

Диаметр передачи нагрузки на основание

$$D_p = D + 2(h_{\text{ик}} + h_{\text{в}}),$$

где D_p – диаметр передачи нагрузки, м; D – диаметр следа колеса, м; $h_{\text{ик}}$ – высота камня мощения, м; $h_{\text{в}}$ – толщина выравнивающего (монтажного) слоя, м.

При расчете дорожной одежды с покрытием из камней мощения, она приводится к жесткой дорожной одежде, на поверхности которой действует нагрузка интенсивностью p , распределенная по кругу площадью F_1 .

Данный метод приведения нагрузки устанавливает связь между внешней нагрузкой и толщиной (высотой) покрытия из камней мощения.

Выводы

Недостатки используемых решений теории упругости и упрощающие предпосылки в части передачи напряжений через искусственные камни мощения не позволяют достоверно оценивать НДС конструкции покрытия под нагрузкой и, как следствие, назначать эффективные инженерные решения по повышению устойчивости. В связи с этим актуальными вопросами остаются исследования:

– характера перераспределения статической нагрузки в основании по радиусу чаши прогиба в зависимости от величины транспортной нагрузки, а также оценка распределяющей способности в зависимости от размеров и формы блоков;

– распределяющей способности нагруженных бетонных блоков в зависимости от модуля упругости основания;

– осадки и радиуса чаши прогиба от характеристик материала расклиновки швов.

Необходимо иметь в виду, что обеспечение устойчивости покрытия определяется не только величина внешней нагрузки,

свойства материалов, условия работы покрытия, основания и земляного полотна при воздействии природно-климатических факторов, но и размеры и форма несущих элементов, форма и направление разрезов-швов, материалы и технология расклиновки швов, геометрия элементов покрытия, характер связей блоков и слоев дорожной конструкции.

Дополнительные условия устойчивости, специфичные для блочных покрытий, основаны на характере взаимодействия колеса движущегося автомобиля одновременно с группой блоков (отпечаток колеса захватывает несколько блоков). При движении по блочному покрытию характер устойчивости фактически не изменяется и имеет установившийся характер. Для других сборных покрытий проход колеса идет по неоднородной схеме «плита – шов – плита».

В такой постановке для разработки теоретических решений расчета и конструирования дорожных покрытий необходимо дополнительно ввести три новых условия обеспечения устойчивости и соответственной ровности:

– оценка особой роли соединения блоков в покрытии (для активного вовлечения в совместную работу большего числа смежных блоков) с помощью расклиновки (расшивки) швов материалом по составу одинаковым с составом минеральной части блока (бетона);

– укладка одинаковых по форме и размерам блоков в разбежку с перевязкой швов, обеспечивающих не линейное (со сквозными швами), а площадное НДС;

– заключение любых по ширине полос покрытия в обойму с помощью бортовых камней (анкеров) для обеспечения устойчивого положения кромки.

Список литературы

1. Горенко А.В. Исследование прочностных и деформационных свойств покрытий из бетонных блоков при проектировании, строительстве и эксплуатации портовых территорий: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Горенко Александр Викторович. – Одесса, 1994. – 208 с. – (ОГАСА).
2. Карпов Б.Н. Сборные многокомпонентные дорожные покрытия: диссертация ... доктора технических наук: 05.23.01, 05.23.11. – Санкт-Петербург, 2000. – 330 с.
3. Костиков Ю.Б. Мощение: теория и практика / Ю.Б. Костиков. – Санкт-Петербург: Отдельное издание ОАО «Стройдеталь», 2008.
4. Немчинов М.В., Рудакова В.В. Строительство городских улиц и дорог. Часть 2. Технологии строительства дорожных одежд, инженерного оборудования и благоустройства городских улиц и дорог: Учебник для вузов / под ред. М.В. Немчинова. – М.: Экон-Информ, 2010. – 330 с., 32 с. илл.
5. Орловский В.С. Проектирование и строительство сборных дорожных покрытий / В.С. Орловский. – М.: Транспорт, 1978. – 288 с.
6. Павлова Н.С. Особенности работы тротуаров с покрытиями из сборных бетонных элементов. // Совершен-

ствование методов строительства и эксплуатации автодорог: Сб. науч. тр. МАДИ. – М., 1982.

7. Руководство по конструкциям, технологии устройства и требованиям к дорожным покрытиям из искусственных камней в Санкт-Петербурге / ответственный исполнитель Симановский А.М. – СПб., Мэрия СПб., 1996.

8. Тимофеев А.А. Сборные бетонные и железобетонные покрытия городских дорог и тротуаров. – М.: Стройиздат, 1986. – 313 с.

9. Шумейко А.Н. Автомобильные дороги России: состояние и перспективы / А.Н. Шумейко, И.М. Юрковский, М.В. Немчинов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. автомобил.-дорож. ин-т (гос. техн. ун-т). – Москва: МАДИ (ГТУ), 2007. – 267 с.

References

1. Gorenko A.V. Issledovanie prochnostnyh i deformatsionnyh svoystv pokrytij iz betonnyh blokov pri proektirovanii, stroitelstve i jekspluatacii portovyh territorij: Dis. na soisk. uchen. step. kand. tehn. nauk / Gorenko Aleksandr Viktorovich. Odessa, 1994. 208 p. (OGASA).

2. Karpov B.N. Sbornye mnogokomponentnye dorozhnye pokrytija: dissertacija ... doktora tehniceskich nauk: 05.23.01, 05.23.11. Sankt-Peterburg, 2000. 330 p.

3. Kostikov Ju.B. Moshhenie: teorija i praktika. / Ju.B. Kostikov. Sankt-Peterburg: Otdelnoe izdanie OAO «Strojdetal», 2008.

4. Nemchinov M.V., Rudakova V.V. Stroitelstvo gorodskih ulic i dorog. Chast 2. Tehnologii stroitelstva dorozhnyh odezhd, inzhenerного oborudovanija i blagoustrojstva gorodskih ulic i dorog: Uchebnik dlja VUZov / pod red. M.V. Nemchinova. M.: Jekon-Inform, 2010. 330 p., 32 p. ill.

5. Orlovskij V.S. Proektirovanie i stroitelstvo sbornyh dorozhnyh pokrytij / V.S. Orlovskij. M.: Transport, 1978. 288 p.

6. Pavlova N.S. Osobennosti raboty trotuarov s pokrytijami iz sbornyh betonnyh jelementov. // Sovershenstvovanie metodov stroitelstva i jekspluatacii avtodorog: Сb. науч. тр. МАДИ. М., 1982.

7. Rukovodstvo po konstrukcijam, tehnologii ustrojstva i trebovanijam k dorozhnym pokrytijam iz iskusstvennyh kamnej v Sankt-Peterburge. / otvetstvennyj ispolnitel Simanovskij A.M. SPb., Mjerija SPb., 1996.

8. Timofeev A.A. Sbornye betonnye i zhelezobetonnye pokrytija gorodskih dorog i trotuarov. M.: Strojizdat, 1986. 313 p.

9. Shumejko A.N. Avtomobilnye dorogi Rossii: sostojanie i perspektivy / A.N. Shumejko, I.M. Jurkovskij, M.V. Nemchinov; M-vo obrazovanija i nauki Ros. Federacii, Mosk. avtomobil.-dorozh. in-t (gos. teh. un-t). Moskva: MADI (GTU), 2007. 267 p.