СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖДНЕЖЕСТКОГО ТИПА

CONTEMPORARY TECHNOLOGIES IN THE CONSTRUCTION OF NON-RIGID TYPE PAVEMENTS

УДК: 625.76

Рязанцев Денис Сергеевич, бакалавр, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

Подгорный Артем Андреевич, бакалавр, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

Пирогов Павел Алексеевич, бакалавр, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

Ryazantsev.D.S. cr3w.ryazantsev@mail.ru

Podgornyj. A.A. rianigiani00@mail.ru

Pirogov. P.A. pirogov.pa@edu.spbstu.ru

Аннотация

В настоящее время при строительстве дорожных одежд нежесткого типа выявляется проблема качества. Интенсивность дорожного движения и нагрузки на транспортные сооружения требуют внедрения инновационных технологий, а также соблюдения технологий строительства. В статье приведен обзор технологий строительства, использование которых приводит к улучшению эксплуатационных показателей дороги. А также описана необходимость соблюдения температурного режима в процессе строительства дорожных одежд нежесткого типа. В статье было определено значение температурного режима при строительстве дорог, а также рассмотрены инновационные технологии:

технология «самоизлечивающегося асфальта», комплексная система проектирования составов смесей – «Superpave» и описано использование углеродных наномодификаторов.

Annotation

Nowadays, constructing non-rigid type road pavement, a quality problem is revealed. The intensity of traffic and the load on transportation facilities require the introduction of innovative technologies, as well as compliance with construction technologies. The article gives an overview of construction technologies, the use of which leads to improved road performance. And also the necessity of observing the temperature regime in the process of construction of road clothes of non-rigid type is described. The work describes the effect of air temperature, asphalt concrete layer thickness, wind speed, and initial mixture temperature on the quality of the road surface. The article determined the significance of the temperature regime in the construction of roads, and also considered innovative technologies. What is more, a brief review on self-healing asphalt concrete, «Superpave» technology, and carbon nanomodifiers is given.

Ключевые слова: асфальтовые покрытия; прочность материалов; температура; дороги и улицы; экономическая эффективность; характеристики теплопередачи; дорожное строительство.

Keywords: asphalt pavements, strength of materials, temperature, roads and streets, cost effectiveness, heat transfer characteristics, road construction

Введение

При строительстве дорожных покрытий нежесткого типа применяются современные строительные материалы и технологии. При этом учитывается интенсивность дорожного движения и нагрузки на транспортные сооружения. Качественный уровень строительства дорожных одежд нежесткого типа зависит не только от свойств используемого материала, но и от соблюдения технологии при укладке и уплотнении асфальтобетонных смесей. Опыт строительства дорог говорит о том, что темп охлаждения горячей смеси зависит от конкретных

условий, при которых производятся дорожные покрытия и от влияния погодных условий.

В данной статье рассмотрены технологии строительства дорожных одежд нежесткого типа и отмечена роль температурного режима при применении горячих смесей. Выдерживание температурного режима – путь к достижению качества, и, как следствие, безопасности на автомобильных дорогах.

Цель исследования: выявить способы достижения высокого качества дорожного полотна пристроительстве дорожных одежд нежесткого типа.

Методы

Выявлены способы достижения высокого качества дорожного полотна при строительстве дорожных одежд нежесткого типа.

Структура дорожной одежды:

- верхний слой – дорожное покрытие;
- нижний слой – дорожное основание;
- дополнительные слои.

К дорожной одежде предъявляются следующие требования:

1. прочность, шероховатость, ровность;
2. должна обеспечивать безопасность движения;
3. экономичность, включающая расходы на строительство, ремонт и содержание;
4. надежность.

Нежесткая дорожная одежда – это слоистая система бесконечных, в плане размеров, сплошных покрытий на упругом основании. Основные материалы дорожных покрытий:

- асфальтобетоны и дегтебетоны
- битумные эмульсии и цемент
- щебень, гравий и шлаки

Нежесткие одежды отличаются от жестких методами расчета и параметрами допустимых деформаций. Соотношение прочности и модуля

упругости материалов покрытия нежестких одежд выше, чем жестких. В среднем толщина асфальтобетонного покрытия равна 10-15 см, цементобетонного – 20-26 см. Также нежесткие имеют лучшую ремонтопригодность, поэтому нежесткие дорожные одежды получили широкое распространение.

Далее рассмотрим некоторые технологии строительства, которые были разработаны для увеличения прочности и надежности дорожных одежд.

Технология «самозалечивающегося» асфальта, используемая при строительстве дорог

Применение данной технологии заключается в добавлении токопроводящих углеродных многостенных нанотрубок «Таунит-М». Они имеют уникальные параметры, определяющими их высокую индукционную восприимчивость. Эти нанотрубки исключают долгую и неблагоприятную для водителей ремонтные работы по замене верхнего защитного слоя дорожного полотна, которые требуют долговременного перекрытия части трассы.

Добавка незначительно повысит стоимость дорог, так как на 50 кг битума достаточно использовать 17 г нанотрубок. Смеси хватает на тонну асфальтобетона.

Рассматриваемая технология также учитывает применение специальной техники, гибрида асфальтового катка и микроволновой печи, которое будет двигаться по покрытию, нагревая верхние слои и тем самым приводя в движение нанотрубки. Это поспособствует дефектам на дороге срастаться самостоятельно, что существенно может снизить продолжительность ремонтных работ. [25].

Влияние углеродных нано - модификаторов на физикомеханические свойства асфальтобетона

Для получения дорожно-строительных материалов используются углеродные нанотрубки, введение которых в состав асфальтобетона повышает прочность, водостойкость, морозостойкость и долговечность битума и асфальтобетона на его основе.

Исследуем влияния фуллерен-содержащихдобавок (ФСД) на свойства дорожно- строительных материалов, эксплуатируемых в условиях резко-континентального климата.

На начальном этапе работы происходят исследования свойства битума при введении углеродных модификаторов в количестве 0,1-0,5% от массы битума. Оптимальное количество добавки в состав вяжущего равно 0,1% по массе. Исследуются образцы плотного, горячего, мелкозернистого асфальтобетона типа «Б».

Установлено, что асфальтобетон на модифицированных битумах обладает большей прочностью во всем интервале температур, а также повышенной водостойкостью. Наблюдается значительное увеличение прочности при 50°С, особенно при введении большого количества добавки – 0,1%.

При повышении концентрации добавки в составе битума идет рост центров кластеров и, следовательно, рост и плотность образования полимерной матрицы, что в свою очередь и повышает прочностные характеристики.

Таким образом, фуллерен-содержащие модификаторы можно считать эффективными добавками для дорожно-строительных материалов. [26].

Применение системы SUPERPAVE

Особенностью данной технологии является совершенствование вяжущей битумной эмульсии на основе современных исследований физических свойств битума. На этапах разработки и тестирования покрытий технологии "superpave" они подвергались воздействию реальных температур повседневной эксплуатации асфальта. Также проверялся факт стойкости покрытия к возрастной деформации. Технология "superpave" превосходно справляется со следующими типами разрушения дорожных одежд: колееобразование, усталостное растрескивание, термическое растрескивание.

В систему «Superpave» вошли 3 взаимосвязанные компонента:

- SHARP - технические условия и методы испытаний битума;

- Superpave - технические условия и метод проектирования составов асфальтобетонных смесей с определением поровых характеристик уплотненных образцов асфальтобетона;
- методы испытаний и система анализа реологических свойств асфальтобетона с использованием математических моделей работоспособности и компьютерного программного обеспечения.

Марку битумного вяжущего PG grade определяют на основании результатов реологических испытаний, которые проводят при максимальной расчетной температуре и минимальной расчетной. Максимальная температура, характеризующая теплостойкость битумного вяжущего, может принимать значения с градацией 6 Cº в диапазоне от плюс 46 Cº до плюс 82 Cº. Минимальная температура, характеризующая низкотемпературные свойства, может принимать значения в диапазоне от минус10 Cº до минус 46 Cº при той же градации 6 Cº.

Таким образом, при проектировании составов асфальтобетонных смесей марка битумного вяжущего назначается по диапазону температур работоспособности исходя из климатических условий эксплуатации асфальтобетонного покрытия. [27].

Таблица 1

Преимущества и недостатки рассматриваемых технологий

Название технологии	Преимущества	Недостатки
Технология «самозалечивающегося»асфальта	• сокращение срокаремонта до нескольких часов • сокращение затратдо 3 раз • незначительное увеличение	• необходимо использование специальной техники – асфальтовый каток с мобильной ВЧ/СВЧ-установкой

	стоимости смеси – небольшой расход нанотрубок • не требует изменения состава асфальтобетонной смеси • возможность использования переработанных строительных материалов вместо первичных связующих материалов	
Влияние углеродных нано-модификаторов	• асфальтобетон на модифицированных битумах обладает большей прочностью во всем интервале температур	• отсутствие повсеместного распространения данной технологии, соответственно, возможны дополнительные расходы на

	• повышенная водостойкость, морозостойкость и долговечность битума • небольшой расход углеродных модификаторов в количестве 0,1-0,5%от массы битума	транспортировку модифицированногобитума завода производителя до места проведения строительных работ
SUPERPAVE	• улучшение эксплуатационных характеристик покрытия • комплексный подход, объединяющий свыше 25 продуктовв единую систему проектирования ианализа смесей • предотвращение колееобразования	• не учитываются нелинейные свойства при испытании вяжущих • сложность эксплуатации, обслуживания и калибровки лабораторного оборудования • необходимость высококвалифицированных операторов и

	,усталостного и термического растрескивания • учет климатических условий эксплуатации асфальтобетонн огопокрытия, при подборе марки битума	лаборантов

По таблице 1 видно, что каждая технология имеет как преимущества, так и недостатки, но все три упомянутые технологии значительно повышают качество дорожных одежд и, соответственно, безопасность дорожного движения, а следовательно, в ближайшее время данные методы получат повсеместное применение.

Температурный режим при строительстве дорожных одежд нежесткого типа

Для достижения высокого качества дорожного полотна необходимо соблюдение температурного режима как при транспортировке смеси, так и в процессе её укладки.

Доставка горячей асфальтобетонной смеси осуществляется в самосвалах, дно которых обработано специальным раствором, для избегания прилипания смеси ко дну кузова. Это не содержащие нефть материалы: сульфитно-спиртовая барда, мыльный раствор, известковая суспензия.

Температура асфальтобетонной смеси по прибытии на место строительства должна быть не ниже 120°С.

Известно, что смесь остывает на 1°С при перевозке на 1км пути, или на 20°С за каждый час пути. Соответственно, в жаркую погоду допускается перевозка до 40-50км, а в холодную – до 20-30км.

Доставка осуществляется в специально оборудованных автомобилях, в которых смесь должна быть равномерно рассредоточена по кузову [28].

При укладке смеси требуется учитывать влияние различных факторов на процесс её охлаждения.

В таблице 2 описано влияние температуры воздуха и толщины укладываемого слоя на продолжительность выполнения работ.

Таблица 2.

Влияние температуры воздуха и толщины укладываемого слоя на продолжительность выполнения работ

Толщина слоя асфальтобетона,см	Максимальное время укладки и уплотнения при скорости ветра не 3-4м/с итемпературе воздуха, мин					
	0-2°C	4-5°C	8-10°C	13-15°C	18-20°C	23-25°C
3-4	13-15	16-18	19-21	22-24	25-27	30-32
5-6	18-22	24-27	28-30	32-35	37-40	42-45
8-10	43-46	52-58	63-68	71-77	80-90	95-110

В таблице учтено одновременное действие всех факторов, влияющих на строительство, при определенных фиксированных значениях температуры воздуха. На практике влияющие факторы могут колебаться в широких пределах, что будет отражаться на продолжительности выполнения работ.

Необходимо также учитывать темп охлаждения смеси. Зависимость распределения температуры при охлаждении горячей смеси во времени при разной температуре воздуха представлено в таблице 3.

Таблица 3.

Распределение температуры при охлаждении горячей смеси во времени при разной температуре воздуха

Время, мин		0	5	10	20	30	40	50	60
Темп	-10	160	142	126	99	79	64	53	45

0	160	143	128	102	84	70	59	52
5	160	143	129	104	86	73	63	55
10	160	144	130	106	88	75	66	58
20	160	145	132	110	93	81	72	65
30	160	146	134	113	98	86	78	72
40	160	147	136	117	102	92	84	78
50	160	148	138	120	107	97	90	84

Из таблицы 3 видно, что характер распределения температуры подчиняется общей закономерности и, следовательно, может быть учтен при ведении строительных работ.

Также необходимо учитывать начальную температуру смеси при укладке, так как от этого зависит время и темп её остывания. Ниже приведено распределение температуры горячей смеси во времени при разной начальной температуре смеси.

Таблица 4.

Распределение температуры горячей смеси во времени при разной температуре смеси при укладке

Время, мин	0	5	10	20	30	40	50	60
Температура смеси при укладке, °С	180	162	147	120	100	87	77	69
	160	144	131	107	90	78	70	69
	140	126	115	95	80	70	63	57
	120	109	99	82	70	62	55	51
	100	91	83	70	60	53	48	44

Таким образом, мы видим зависимость темпа остывания смеси от её начальной температуры, что, безусловно, необходимо учитывать.

Для уточнения влияния скорости ветра на процесс охлаждения смеси представим таблицу 5.

Таблица 5.

Изменение температуры горячей смеси по времени при разных скоростях ветра

Время, мин		0	5	10	20	30	40	50	60
Скорость ветра, м/с	0	160	127	115	95	80	70	63	57
	2	160	122	110	89	75	65	58	53
	4	160	117	105	85	71	61	54	49
	6	160	113	100	80	67	58	51	46
	8	160	109	96	76	63	55	48	44
	10	160	106	92	73	60	52	46	42
	15	160	98	84	66	54	46	41	38

Из таблицы видно, что при возрастании скорости перемещения воздушных масс возрастает темп охлаждения смеси. Характер зависимости – экспоненциальный.

Результаты

В статье выявлены способы достижения высокого качества дорожного полотна при строительстве дорожных одежд нежесткого типа, которые заключаются в использовании современных технологий, а также в соблюдении температурного режима.

Описанные в данной статье технологии имеют ряд преимуществ.

Добавление токопроводящих углеродных многостенных нанотрубок позволит сократить срок ремонтных работ до нескольких часов, а также снизить затраты в 3 раза.

Углеродные нанотрубки значительно повышают прочность, водостойкость, морозостойкость и долговечность битума, а следовательно, и асфальтобетона.

Технология SUPERPAVE позволит облегчить выбор необходимого битума дляконкретных дорожно-климатических условий и соответственно повысить прочность и надежность конструкции.

Для достижения наивысшего качества работы по строительству дорожных одежд нежесткого типа следует проводить в сухую погоду при температуре воздуха от +5 °С в весенний период и от +10 °С в осенний период. Основание должно быть чистым, сухим, не промёрзшим. Холодные асфальтобетонные смеси следует заканчивать укладывать минимум за 15 дней до начала осенних дождей.

Заключение

Представленные правила и технологии не описывают весь спектр требований к данному технологическому процессу. Но наиболее значимым является то, что соблюдение этих правил, без дополнительного финансирования, позволит добиться высокого качества при строительстве дорожного полотна. Также это исключит множество сбоев, которые приводят к досрочным поломкам и разрушениям дорожной конструкции, которые, в свою очередь, становятся причинамиДТП на автомобильных дорогах.

Список литературы

1. [1]. Куприянов Р. В., Лузгачев В.А., Зубков А. Ф. Определение температуры асфальтобетонной смеси при строительстве дорожных покрытий нежесткого типа // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2015.№3. С. 68-77.
2. [2]. Евсеев Е. Ю., Матвеев В. Н., Зубков А. Ф. Расчет температурных режимов при производстве ямочного ремонта покрытий нежесткого типа // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. строительство и архитектура.2012. №3. С. 106-111.
3. [3]. Гиясов Б.И., Куприянов Р. В., Андрианов К. А., Зубков А. Ф. Расчет температуры асфальтобетона при устройстве стыков многополосных дорожных покрытий нежесткого типа // Вестник МГСУ. 2015. №3. С. 17-28.
4. [4]. Ватин Н. И., Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве / Н. И. Ватин, Д. В. Петросов, А. И. Калачев, П. В. Лехтонен // Инженерно-

строительный журнал. 2011. № 4. С. 16–21.

5. [5]. Павлова С. А., Шеина Т. В. Биопозитивные материалы в строительстве и эксплуатации автодорог // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. 2015. №1. С. 462-471.
6. [6]. Москалев О.Ю., Кокодеева Н.Е. Повышение долговечности дорожных одежд нежесткого типа с применением геосинтетических материалов (на основе теории риска) // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции фад тогу. 2012. №2. С. 239-243.
7. [7]. Инчикова В.В., Купчикова Н.В. Разработка эффективных технологических решений по армированию оснований геосинтетическими материалами со щебнем и закреплению химическими составами при строительстве и реконструкции автодорог // Труды ГАОУ АО ВПО «Астраханский инженерно-строительный институт». Астрахань: Изд-во ГАОУ АО ВПО, 2015. С. 107-109.
8. [8]. Лазарев Ю. Г., Петухов П. А., Зарецкая Е. Н. Обоснование деформационных характеристик укрепленных материалов дорожной одежды на участках построечных дорог // Вестник гражданских инженеров. 2015. №4(51). С. 140-146.
9. [9]. Лазарев Ю. Г., Петухов П. А., Широких М. В. Формирование методики оценки точности (надежности) проектирования дорожных одежд нежесткого типа // Вестник гражданских инженеров. 2016. №2. С. 38-46.
10. [10]. Лазарев Ю. Г., Собко Г. И. Реконструкция автомобильных дорог. Учебное пособие. СПб. СПбГАСУ. 2013. 93 с.
11. [11]. Лазарев Ю. Г., Громов В. А. Современные требования к обеспечению потребительских и эксплуатационных свойств автомобильных дорог // В сборнике: Инновационные технологии в мостостроении и дорожной инфраструктуре. Материалы межвузовской научно-практической конференции. 2014. С. 102–109.
12. [12]. Лазарев Ю. Г., Транспортная инфраструктура (автомобильные дороги): монография. Германия, LAP LAMBERT. 2015. 173 с.

13. [13]. Ермошин Н.А., Лазарев Ю. Г., Ибраева Ю. А., Синицына Е. Б. Управление техническими рисками при проектировании и строительстве автомобильных дорог // Евразийский союз ученых. ООО «Международный Образовательный Центр» (Москва), 2014. № 6-3. С. 73-77.
14. [14]. Ягофарова Е.В., Уразметов И.А. Некоторые геологические аспекты проектирования и строительства автодорог // Филология и культура. 2004. №2. С. 247-253.
15. [15]. Ma T., Geng L.,Ding X., Zhang D., Huang X. Experimental study of deicing asphalt mixture with anti-icing additives. Construction and building materials. 2016. No. 127. Pp. 653-662.
16. [16]. Chomicz-Kowalska A., Gardziejczyk, W., Iwanski, M. Moisture resistance and compactibility of asphalt concrete produced in half-warm mix asphalt technology with foamed bitumen. Construction and building materials. 2016. No. 126. Pp. 108-118.
17. [17]. Chong H., Lopez R., Wang, J., Wang X., Zhao Z. Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. Journal of management in engineering. 2016. No. 32.
18. [18]. Siriphun S., Chotisakul S., Horpibulsuk S. Skid Resistance of Asphalt Concrete at the Construction Stage Based on Thai Aggregates. Journal of materials in civil engineering. No.32(6).
19. [19]. Kuenzel R., Teizer, J., Mueller, M., Blickle A. SmartSite: Intelligent and autonomous environments, machinery, and processes to realize smart road construction projects. Automation in construction. 2016. No. 71. Pp. 21-33.
20. [20]. Iwanski M., Buczynski P., Mazurek G. Optimization of the road binder used in the base layer in the road construction. Construction and building materials. 2016. No. 125. Pp. 1044-1054.
21. [21]. Del R I., Ayuso J., Barbudo A., Galvin, A., Agrela F., de Brito J. Feasibility study of cement- treated 0-8mm recycled aggregates from construction and demolition waste as road base layer. Road materials and pavement design. 2016. No. 17. Pp. 678-692.

22. [22]. Nevalainen N., Pellinen, T. The use of a thermal camera for quality assurance of asphalt pavement construction. International journal of pavement engineering. 2016. No. 17. Pp. 626-636.
23. [23]. Bayzid S., Mohamed Y., Al-Hussein M. Prediction of maintenance cost for road construction equipment: a case study. Canadian journal of civil engineering.2016. No. 43. Pp. 480-492.
24. [24]. Kim, H., Shen Z., Moon H., Ju., K., Choi, W. Developing a 3D Intelligent Object Model for the Application of Construction Planning/Simulation in a Highway Project. Ksce journal of civil engineering. 2016. No. 20. Pp. 538-548.
25. [25]. Иванова О. И., Седов Д. В. Технология «самозалечивающегося» асфальта, используемая при строительстве дорог // В сборнике трудов конференции: Актуальные вопросы инженерно- технических экспертиз. 2018. С. 85-88.
26. [26]. Урханова Л. А., Шестаков Н. И., Семенов А. П., Смирнягина Н. Н., Семенова И. А., Цыренов Б. О., Дашеев Д.Э., Халтаров З. М. Влияние углеродных нано - модификаторов на физико- механические свойства асфальтобетона // Тезисы доклада на конференции: XX менделеевский съезд по общей и прикладной химии. 2016. С. 137.
27. [27]. Кретинина М.О., Орехов С. А., Дергунов С. А., Сатюков А. Б. Особенности системы SUPERPAVE В сборнике трудов конференции: Новое слово в науке и практике. 2017. С. 18-22.
28. [28]. Иванова А. А. Температурный режим и другие простые правила как залог успеха при строительстве дорожных одежд // Молодой ученый. 2016. №2. С. 155-161.

Bibliography

1. [1]. Kupriyanov R.V., Luzgachev V.A., Zubkov A.F. Determination of the temperature of asphalt concrete mixture during the construction of non-rigid road surfaces // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture. 2015. # 3. S. 68-77.
2. [2]. Evseev E. Yu., Matveev VN, Zubkov AF Calculation of temperature regimes

in the production of patching of non-rigid coatings // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. construction and architecture. 2012. Number 3. S. 106-111.

3. [3]. Giyasov B.I., Kupriyanov R.V., Andrianov K.A., Zubkov A.F. Calculation of the temperature of asphalt concrete when making joints of multi-lane road surfaces of non-rigid type. Vestnik MGSU. 2015. No. 3. S. 17-28.
4. [4]. Vatin N.I., Application of ash and ash and slag waste in construction / N.I. Vatin, D.V. Petrosov, A.I. Kalachev, P.V. Lekhtonen // Engineering and construction journal. 2011. No. 4. P. 16–21.
5. [5]. Pavlova S.A., Sheina T.V. Biopositive materials in the construction and operation of highways // Ecology and scientific and technical progress. Urban studies. 2015. No. 1. S. 462-471.
6. [6]. Moskalev O.Yu., Kokodeeva N.E. Increasing the durability of non-rigid road pavements using geosynthetic materials (based on risk theory) // New ideas of the new century: materials of the international scientific conference fad togu. 2012. No. 2. S. 239-243.
7. [7]. Inchikova V.V., Kupchikova N.V. Development of effective technological solutions for the reinforcement of foundations with geosynthetic materials with crushed stone and consolidation with chemical compounds during the construction and reconstruction of highways // Proceedings of the State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "Astrakhan Civil Engineering Institute". Astrakhan: Publishing house of GAOU JSC VPO, 2015.S. 107-109.
8. [8]. Lazarev Yu. G., Petukhov P. A., Zaretskaya E. N. Substantiation of deformation characteristics of reinforced pavement materials on sections of construction roads // Bulletin of civil engineers. 2015. No. 4 (51). S. 140-146.
9. [9]. Lazarev Yu. G., Petukhov P. A., Shirokikh M. V. Formation of methods for assessing the accuracy (reliability) of designing non-rigid road pavements // Bulletin of civil engineers. 2016. No. 2. S. 38-46.
10. [10]. Lazarev Yu. G., Sobko GI Reconstruction of highways. Tutorial. SPb.

SPbGASU. 2013.93 s.

11. [11]. Lazarev Yu. G., Gromov VA Modern requirements for ensuring consumer and operational properties of highways // In the collection: Innovative technologies in bridge construction and road infrastructure. Materials of the interuniversity scientific-practical conference. 2014.S. 102–109.
12. [12]. Lazarev Yu. G., Transport infrastructure (highways): monograph. Germany, LAP LAMBERT. 2015.173 p.
13. [13]. Ermoshin N.A., Lazarev Yu. G., Ibraeva Yu. A., Sinitsyna EB Management of technical risks in the design and construction of highways // Eurasian Union of Scientists. LLC "International Educational Center" (Moscow), 2014. No. 6-3. S. 73-77.
14. [14]. Yagofarova E.V., Urazmetov I.A. Some geological aspects of the design and construction of highways // Philology and culture. 2004. No. 2. S. 247-253.
15. [15]. Ma T., Geng L., Ding X., Zhang D., Huang X. Experimental study of deicing asphalt mixture with anti-icing additives. Construction and building materials. 2016. No. 127. Pp. 653-662.
16. [16]. Chomicz-Kowalska A., Gardziejczyk, W., Iwanski, M. Moisture resistance and compactibility of asphalt concrete produced in half-warm mix asphalt technology with foamed bitumen. Construction and building materials. 2016. No. 126. Pp. 108-118.
17. [17]. Chong H., Lopez R., Wang, J., Wang X., Zhao Z. Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. Journal of management in engineering. 2016. No. 32.
18. [18]. Siriphun S., Chotisakul S., Horpibulsuk S. Skid Resistance of Asphalt Concrete at the Construction Stage Based on Thai Aggregates. Journal of materials in civil engineering. No.32 (6).
19. [19]. Kuenzel R., Teizer, J., Mueller, M., Blickle A. SmartSite: Intelligent and autonomous environments, machinery, and processes to realize smart road construction projects. Automation in construction. 2016. No. 71. Pp. 21-33.
20. [20]. Iwanski M., Buczynski P., Mazurek G. Optimization of the road binder used

in the base layer in the road construction. Construction and building materials. 2016. No. 125. Pp. 1044-1054.

21. [21]. Del R I., Ayuso J., Barbudo A., Galvin, A., Agrela F., de Brito J. Feasibility study of cement- treated 0-8mm recycled aggregates from construction and demolition waste as road base layer. Road materials and pavement design. 2016. No. 17. Pp. 678-692.
22. [22]. Nevalainen N., Pellinen, T. The use of a thermal camera for quality assurance of asphalt pavement construction. International journal of pavement engineering. 2016. No. 17. Pp. 626-636.
23. [23]. Bayzid S., Mohamed Y., Al-Hussein M. Prediction of maintenance cost for road construction equipment: a case study. Can adian journal of civil engineering. 2016. No. 43. Pp. 480-492.
24. [24]. Kim, H., Shen Z., Moon H., Ju., K., Choi, W. Developing a 3D Intelligent Object Model for the Application of Construction Planning / Simulation in a Highway Project. Ksce journal of civil engineering. 2016. No. 20. Pp. 538-548.
25. [25]. Ivanova OI, Sedov DV Technology of "self-healing" asphalt used in road construction // In the conference proceedings: Actual issues of engineering and technical expertise. 2018.S. 85-88.
26. [26]. Urkhanova L.A., Shestakov N.I., Semenov A.P., Smirnyagina N.N., Semenova I.A., Tsyrenov B.O., Dasheev D.E., Khaltarov Z.M. - modifiers on the physical and mechanical properties of asphalt concrete // Abstracts of the conference: XX Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry. 2016.S. 137.
27. [27]. Kretinina MO, Orekhov SA, Dergunov SA, Satyukov AB Features of the SUPERPAVE system In the conference proceedings: A new word in science and practice. 2017.S. 18-22.
28. [28]. Ivanova A.A.Temperature conditions and other simple rules as a guarantee of success in the construction of road pavements // Young scientist. 2016. No. 2. S. 155-161.