Приложение 1. Статистическая обработка результатов вычислительных экспериментов

В соответствии с статистическая обработка вычислительных экспериментов осуществлялась в следующей последовательности:

1. Результаты расчета группировались в n разрядов. Количество разрядов определялось по формуле:

$$n = 1 + 3{,}2 \times \lg N\,, \qquad \text{(П.1.1.)}$$

где N – 5, количество обрабатываемых значений.

2. Определялась опытная частота (m_i^*) попадания случайной величины в разряды.

3. Определялась опытная частость (P_i^*) по формуле:

$$\mathrm{P}_i^* = \frac{m^*}{N}\,. \qquad \text{(П.1.2.)}$$

4. По результатам расчетов построена гистограмма.

5. На основе визуального анализа гистограммы выдвигается гипотеза о принадлежности случайной величины к определенному закону распределения.

6. Вычислялась статистическая дисперсия по формуле:

$$D(X) = \sum_{i=1}^{n} \left(X_i - \overline{X}\right)^2 \times P_i\,, \qquad \text{(П.1.3.)}$$

где X_i – случайная величина; $\overline{X}$ – среднее значение случайной величины; P_i – опытная частность.

7. Несмещенная оценка среднего квадратического отклонения определялась по формуле:

$$\sigma(x) = \sqrt{\left(\frac{n}{n-1}\right) \times D(X)}\,. \qquad \text{(П.1.4.)}$$

8. Определялась теоретическая частота (m_i) попадания случайной величины в разряды.

9. Проверка правильности принятой гипотезы осуществлялась по критериям согласия «хи-квадрат» Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left(m_i^* - m_i\right)^2}{m_1}; \qquad (П.1.5.)$$

$$\mathrm{P}\left(\chi^2;\tau\right) \geq \mathrm{P}\left(П\right) \qquad (П.1.6.)$$

и Романовского:

$$\frac{\chi^2 - \tau}{\sqrt{2\tau}} < 3, \qquad (П.1.7.)$$

где m_i^* – опытная частота попадания в разряд; m_i – теоретическая частота попадания в разряды; τ – число степеней свободы; $\mathrm{P}\left(П\right)$ – значение вероятности закона Пирсона.

10. Затем вычислялась величина доверительного интервала разброса среднего значения, отвечающего доверительной вероятности P=85 %, 90 %, 95 % по формуле:

$$\mathrm{I}_q = \left\{M_{(x)}^* - \delta < \overline{M}_{(x)} - \delta < M_{(x)}^* + \delta\right\}, \qquad (П.1.8.)$$

где $M_{(x)}^*$ – величина математического ожидания; δ – параметр, вычисленный по формуле:

$$\delta = \sigma \times \arg \Phi_{(p)}. \qquad (П.1.9.)$$

Приложение 2. Фрагмент журнала визуальной оценки состояния дорожной одежды на автомобильной дороге II технической категории

Таблица П.2.1. Фрагмент журнала визуальной оценки состояния дорожной одежды на автомобильной дороге II технической категории
П.2.1. lentelė. II techninės kategorijos automobilių kelio ruožo vizualaus kelio dangos būklės 2010 m. vertinimo žurnalo fragmentas
Table П.2.1. Fragment from the log of visual assessment of the pavement on the road of the II-nd technical category in 2010

Место испытания ПК+…	Вид дефекта	Расстояние между трещинами, м	Раскрытие трещин, мм	Балл участка на полосе движения		Средний балл участка	Средний балл однотипного участка	Примечание
				правая	левая			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПК 15+65 до ПК 16+00	Продольная трещина длиной 35–40 м	–	1–4	4,8	4,8	4,8	4,61	Участок находится в отличном состоянии. Поперечные трещины появились только на укрепительной полосе
	Поперечные трещины	2–5	1–6					
ПК 16+00 до ПК 16+20	Поперечные трещины	25–30	1–5	4,8	4,8	4,8		Поперечные трещины на всю ширину проезжей части
ПК 16+20 до ПК 16+45	Поперечные трещины	25–30	1–5	4,5	4,5	4,5		Продольные извилистые трещины и небольшая сетка трещин. На покрытии по левой стороне проезжей части – следы
	Продольные трещины	–	1–3	4,5	4,5	4,5		

								заливки поперечных трещин битумом
ПК 16+45 до ПК 16+85	Поперечные трещины	50–100	1–3	4,5	4,5	4,5		Поперечные трещины редкие, встречаются небольшие продольные трещины
ПК 16+85 до ПК 17+20	Поперечные трещины	30–50	1–3	4,5	4,5	4,5		Следы заливки битумом поперечных трещин
ПК 17+20 до ПК 17+35	Поперечные трещины	15	1–3	4,5	4,5	4,5		
ПК 17+35 до ПК 18+00	Поперечные трещины	10–15	1–3	3,9	4,1	4,0		Конец выемки. Наличие большого количества мелких извилистых, продольных и поперечных трещин
	Продольные трещины	–	1–3	3,3	3,7	3,5		
ПК 18+00 до ПК 19+00	Поперечные трещины	10–20	1–6	3,5	3,5	3,5		
	Продольные трещины	–	1–3	3,5	3,5	3,5		
ПК 21	Поперечные трещины	10–15	3–8	4,0	4,0	4,0	4,0	Начало кривой
	Продольные трещины	–	1–3	4,0	4,0	4,0		Ямочный ремонт по середине проезжей части
ПК 21+20 до ПК 21+30	Крупная поперечная	–	5–15	4,0	4,0	4,0		Наличие ямочного ремонта с левой стороны

	трещина, следы небольшого выкрашивания							проезжей части; карты ремонта повторяющиеся через 20 м, затем расстояние между ними сокращается до 1,5–3,0 м
	Большая продольная извилистая трещина 10–12 м	–	5–15	4,0	4,0	4,0		
ПК 21+30 до ПК 21+40	Небольшие извилистые трещины длиной до 0,5 м 10–12 м	–	1–3	4,0	4,0	4,0		
ПК 21+10	Продолговатый срез фрезы в виде прямоугольников	–	–	4,0	4,0	4,0		Слева проезжей части ямочный ремонт
ПК 21+75 до ПК 22+20	Мелкие продольные трещины длиной 0,3–0,6 м	–	1–2	4,5	4,5	4,5	4,37	Проезжая часть не имеет дефектов, температурных трещин нет

ПК 22+20	Выбоина	–	–	4,3	4,7	4,5		Над трубой небольшая просадка, следы ямочного ремонта
	Следы выкрашивания	–	–	4,3	4,7	4,5		
ПК 22+25 до ПК 22+80	Поперечные трещины	30-40	3–5	4,5	4,5	4,5		Поперечные трещины, редкие, следы ямочного ремонта; далее по правой стороне проезжей части продолговатый срез фрезой; через 50 м
	Замена слоя покрытия	–	–	4,5	4,5	4,5		
	Продолговатый срез в виде прямоугольника	–	–	4,0	4,0	4,0		
	Продольная трещина 40 м	–	1–10	4,5	4,5	4,5		
	Карты ремонта	-	-	4,0	4,0	4,0		
ПК 22+85	Небольшие выбоины	–	–	4,1	4,5	4,3	4,37	Участок за поворотом; наличие поперечных трещин на укрепительной полосе с правой стороны по ходу движения
	Продольные трещины на укрепительной полосе длиной 15–30 м	–	2–20	4,1	4,5	4,3		

ПК 22+85 до ПК 23+20	Продольные трещины длиной 0,5–3 м	–	1–5	4,3	4,3	4,3		Наличие продольных трещин с правой стороны проезжей части
ПК 23+20 до ПК 23+25	Продольная трещина (одна)	–	до 70	4,5	4,5	4,5		Участок над трубой. Продольная трещина в местах сопряжения асфальтобетона
ПК 23+25 до ПК 24+00	Небольшие продольные трещины	–	–	4,8	4,8	4,8	4,67	Встречаются редкие продольные трещины малой длины
ПК 24+00	Следы выкрашивания небольшими участками	–	–	4,1	4,0	4,05		Сопряжение мелкозернистого и крупнозернистого асфальтобетона
ПК 24+20	Следы выкрашивания	–	–	4,1	4,0	4,05		Участок над трубой. Поперечных трещин нет
	Выбоина глубиной 1,0–2,5 см	–	–	4,1	3,9	4,0		
ПК 24+25	Следы выкрашивания	–	–	4,0	4,1	4,05		
	Небольшие выбоины на	–	5–60	3,9	4,1	4,0		

	расстоянии 50 м друг от друга							
	Поперечные трещины	1–6	1,3	4,0	4,0	4,0		
ПК 24+30 до ПК 24+85	Продольные трещины длиной 0,4–1,0 м	–	1-3	4,5	4,5	4,5		В некоторых местах пятна битума, используемого для заливки трещин
ПК 24+85 до ПК 25+00	Поперечные трещины	25–30	1–3	4,8	4,8	4,8		Небольшие продольные трещины, в основном, с левой стороны

Приложение 3. Рекомендации по ремонту и эксплуатационному содержанию автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями со шлаковыми материалами

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт аэропортов

03680 г. Киев, проспект Космонавта Комарова,1

тел/факс (044)406-72-89, (044) 497-80-2
e-mail: nau.edu.ua

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
Института аэропортов НАУ
по научной работе
_____ А.А. Белятынский
"__" _____ 2011 г.

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РЕМОНТУ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОМУ СОДЕРЖАНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С ПОКРЫТИЯМИ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОНА СО ШЛАКОВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

РАЗРАБОТАНО

Соискатель кафедры реконструкции аэропортов и автодорог ИАП НАУ К.В. Краюшкина

Киев – 2011

Содержание

1. Общие положення
2. Капитальный ремонт
3. Текущий ремонт
4. Эксплуатационное содержание

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящие рекомендации предназначены для организаций, выполняющих работы по ремонту и эксплуатационному содержанию автомобильных дорог общего пользования Украины.

1.2 Настоящие рекомендации используются при ремонте и эксплуатационном содержании автомобильных дорог общего пользования Украины с асфальтобетонными покрытиями из асфальтобетона со шлаковыми материалами.

1.3 Рекомендации направлены на обеспечение основных транспортно-эксплуатационных показателей автомобильной дороги таких, как прочность дорожной одежды, ровность покрытия и величина коэффициента сцепления в период всего срока службы дорожной одежды.

1.4 Для сохранения и поддержания транспортно-эксплуатационного состояния дороги в течении всего срока эксплуатации на уровне, обеспечивающем установленные для данной категории дороги требования к потребительским свойствам необходимо проводить следующие виды работ: капитальный ремонт, текущий ремонт и эксплуатационное содержание.

1.5 К потребительским свойствам дороги, на которые непосредственно влияют прочность дорожной одежды, ровность покрытия и величина коэффициента сцепления, относят: обеспеченную скорость, непрерывность, безопасность и удобство движения, допустимую осевую нагрузку и грузоподъёмность транспортных средств.

1.6 Требуемый вид ремонта, состав и объёмы работ по ремонту каждой автомобильной дороги и участка дороги устанавливают на основании результатов диагностики и оценки их фактического состояния, инженерных изысканий, испытаний и обследований, ведомостей дефектов и других документов, содержащих оценку фактического состояния дорог в объёме, позволяющем сопоставить это состояние с критериями назначения соответствующего вида ремонта.

1.7 Для автомобильных дорог с асфальтобетонным покрытием из асфальтобетона со шлаковыми материалами из-за стабильных и высоких транспортно-эксплуатационных показателей в период длительной эксплуатации виды ремонтов и сроки их проведения будут отличаться по сравнению с автомобильными дорогами, на которых в верхних слоях покрытия уложен асфальтобетон с использованием традиционных материалов.

2 КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ

2.1 Под капитальным ремонтом автомобильной дороги подразумевается комплекс работ, при котором производится полное восстановление и повышение работоспособности дорожной одежды и покрытия.

2.2 Задача капитального ремонта состоит в полном восстановлении и повышении транспортно-эксплуатационного состояния дороги до уровня, позволяющего обеспечить нормативные требования в период до очередного капитального ремонта при интенсивности движения, соответствующей расчетной для данной категории дороги.

2.3 Критическим для назначения капитального ремонта является такое транспортно-эксплуатационное состояние дороги, при котором прочность дорожной одежды снизилась до предельно допустимого значения. Сроки между капитальными ремонтами автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями со шлаковыми материалами из-за возможной реконструкции дорожных одежд, связанной с изменением технической категории дороги необходимо назначать такими, как для автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями из асфальтобетона из традиционных материалов с учетом интенсивности движения транспортного потока, типа дорожной одежды, коэффициента надёжности и дорожно-климатической зоны в соответствии с ВБН Г.1-218-182-2006 «Классификация работ по ремонтам автомобильных дорог общего пользования».

2.4 категории дороги необходимо назначать такими, как для автомобильных дорог с асфальтобетонными покрытиями из асфальтобетона из традиционных материалов с учетом интенсивности движения транспортного потока, типа дорожной одежды, коэффициента надёжности и дорожно-климатической зоны в соответствии с ВБН Г.1-218-182-2006 «Классификация работ по ремонтам автомобильных дорог общего пользования».

2.5 Коэффициент надежности определяется как отношение протяжённости прочных участков с асфальтобетонными покрытиями из асфальтобетона из шлаковых материалов к общей протяжённости автомобильной дороги. Работы по капитальному ремонту назначаются при коэффициенте надёжности ниже 0,85.

2.6 При капитальном ремонте предусматривается:

- усиление дорожных одежд и исправление продольных и поперечных неровностей;
- укладка дополнительных слоев основания и покрытия;

- устройство более совершенных типов покрытий с использованием существующих дорожных одежд в качестве основания;
- уширение дорожной одежды до норм, соответствующих категорий ремонтируемой дороги и т.д.

3 ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ

3.1 Текущий ремонт автомобильных дорог включает комплекс работ по воспроизводству её первоначальных транспортно-эксплуатационных характеристик, при котором производится восстановление износа покрытия, улучшение его ровности, устранение всех остаточных деформаций и повреждений дорожного покрытия.

3.2 Срок службы асфальтобетонного покрытия ($T_п$) из асфальтобетона из шлаковых материалов необходимо оценивать не по величине коэффициента сцепления (она стабильна в период эксплуатации и имеет высокое значение), а по величине износа поверхности покрытия и снижения модуля упругости дорожной одежды более чем на 25 % от значений, полученных на основе диагностических испытаний. Восстановление слоя асфальтобетонного покрытия из шлаковых материалов целесообразно назначать при уменьшении толщины слоя более чем на 30% от первоначальной (проектной) величины.

3.3 Нормы межремонтных сроков службы асфальтобетонных покрытий из асфальтобетона со шлаковыми материалами ($T_п$) на дорогах с капитальными и облегченными дорожными одеждами из-за высоких показателей ровности и величины коэффициента сцепления увеличены по сравнению с асфальтобетонными покрытиями из асфальтобетона из традиционных материалов. Нормы межремонтных сроков службы асфальтобетонных покрытий из асфальтобетона со шлаковыми материалами представлены в табл. П.3.1. и зависят от интенсивности движения транспортных средств.

3.4 Для восстановления изношенных верхних слоев асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами нецелесообразно использовать способ устройства поверхностной обработки. Более целесообразно восстанавливать изношенный слой способами и методами, обеспечивающими повторное использование материала старого покрытия. Это позволит получить покрытие с первоначальными транспортно-эксплуатационными свойствами, присущими асфальтобетонам со шлаковыми материалами.

Таблица П.3.1. Межремонтные сроки службы асфальтобетонных покрытий из асфальтобетона со шлаковыми материалами для автомобильных дорог II и III дорожно-климатических зон

Интенсивность движения по наиболее загруженной полосе, авт./сутки	Нормы межремонтных сроков службы дорожных покрытий ($T_п$)
до 200	11
от 200 до 2000	9
от 2000 до 4000	7
от 4000 до 6000	6
> 6000	5

3.5 Для ремонта асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами рекомендуется использовать наиболее эффективные и экономически выгодные технологии, основанные на принципах регенерации (восстановление утраченных свойств), в соответствии с П-Г.1-218-113:2009 «Технические правила ремонта и содержания автомобильных дорог общего пользования Украины». Эта технология позволяет восстановить толщину изношенного слоя, его ровность и сплошность (устраняет трещины), а также позволяет усиливать дорожную одежду.

3.6 Регенерацию верхнего слоя асфальтобетонного покрытия со шлаковыми материалами рекомендуется выполнять способами термопрофилирования, при которых необходимо добавлять новую асфальтобетонную смесь, с целью возмещения изношенного слоя и сохранения прочностных качеств покрытия. К таким способам термопрофилирования можно отнести гомогенизацию, укладку и смешение.

3.7 При проведении данного вида работ следует использовать битумы пониженной вязкости по сравнению с рекомендованной для данной климатической зоны. Так для II и III дорожно-климатических зон желательно использовать битум БНД 90/130.

3.8 Допускается восстановление слоя покрытия на отдельных участках путём укладки новой асфальтобетонной смеси со шлаковыми материалами после снятия старого асфальтобетона методом фрезерования. Технология такого ремонта не отличается от традиционной.

4 ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДОРОГ

4.1 Эксплуатационное содержание дорог включает комплекс мероприятий, выполняемых в течении всего года (с учетом сезона) по

систематическому уходу за дорогой, по профилактике и устранению постоянно возникающих мелких повреждений, по организации и обеспечению непрерывности и безопасности движения.

4.2 Основным дефектом асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами являются трещины. В процессе эксплуатационного содержания необходимо в обязательном порядке осуществлять заливку трещин мастикой или вязким битумом при переходе от летнего к зимнему периоду эксплуатации.

4.3 Работы по эксплуатационному содержанию дорог с асфальтобетонными покрытиями со шлаковыми материалами в весенний, летний и осенний периоды направлены на устранение мелких повреждений в виде выбоин и трещин.

4.4 В связи с тем, что вероятность образования зимней скользкости в виде стекловидного льда на асфальтобетонных покрытиях со шлаковыми материалами на 15% меньше, чем на асфальтобетонных покрытиях из асфальтобетона из традиционных материалов, общий расход соли за один зимний период для дорожно-эксплуатационных служб рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$Q_{(шлак)} = 0{,}85 \times B \times L \times \sum_{i=1}^{n} q_i \ , \qquad (П.3.1.)$$

где B – ширина обрабатываемого участка, м; L – длина обрабатываемого участка, м; n – количество обработок за зимний период; q_i – норма расхода противогололедного материала, г/м^2.

4.5 При борьбе со стекловидным льдом на асфальтобетонных покрытиях из мелкозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами из-за повышенной их шероховатости (свыше 0,3 мм) возможно применения хлористого кальция и хлористого магния, что не приведёт к резкому снижению коэффициента сцепления.

Приложение 4. Оценка динамики изменения транспортно-эксплуатационных показателей

Для проверки соответствия полученных математических моделей процессу изменения ТЭП, проведена оценка их адекватности, что представляет собой вычисление ошибки апроксимации. Для этого определялись опытные значения критерия Фишера по формуле:

$$F_{опытн} = \frac{S^2\{y\}_{зал.}}{S^2\{y\}} = \frac{\dfrac{m\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{y_i} - \tilde{y}_i\right)^2}{n-1}}{\dfrac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{u=1}^{m}\left(y_{iu} - \overline{y_i}\right)^2}{n(m-1)}}, \qquad (П.4.1.)$$

где $\tilde{y}_i$ – теоретическое значение исследуемого параметра; y_{iu} – опытное значение исследуемого параметра; $\overline{y_i}$ – среднее значение опытного параметра; l – число коэффициентов в уравнении регресии; n – порядковое число опыта; m – количество опытов.

Вычисленные значения сравнивались с теоретическими ($F_{теор}$), взятыми при заданном уровне значимости.

Условия адекватности математической модели определялось соотношением:

$$F_{опытн.} < F_{теор.}, \qquad (П.4.2.)$$

Показателем значимости является критерий Стьюдента, опытное значение котрого ($t_{опытн.}$) определялось по формуле:

$$t_{опытн.} = \frac{B_j \cdot \sqrt{n}}{S\{y\}}, \qquad (П.4.3.)$$

где B_j – расчетное значение уравнения регрессии; $S\{y\}$ – стандарное отклонение.

Условия для выяснения вопроса о статической значимости коэффициентов регрессии B_j имеет вид:

$$t_{опытн.}\begin{cases} > t_{теор.} - \text{коэффициент значимости;} \\ \le t_{теор.} - \text{коэффициент значимости.} \end{cases} \qquad (П.4.4.)$$

Статистическая оценка значения коэффициентов регрессии показала, что для всех коэффициентов полученных уравнений $t_{опытн.}$ превышает $t_{теор.}$, соответственно они есть значимыми.

Полученные теоретические значения динамики изменения ТЭП автомобильных дорог с покрытиями из асфальтобетона со шлаковыми материалами были сопоставлены с данными динамики изменений ТЭП автомобильных дорог с покрытиями из асфальтобетона из традиционных материалов.

В качестве одних из исходных данных для прогнозирования изменения ТЭП использовалась информация об интенсивности движения приведенная к расчетному автомобилю группы А и нагрузке Н-30, которая рассчитывалась в соответствии с данными об интенсивности движения на участке автомобильной дороги II технической категории «Подъездная автомобильная дорога к производственной базе ООО «Дорожное строительство «Альтком» в Донецкой области, полученными в Службе автомобильных дорог в Донецкой области (см. рис. П.4.1).

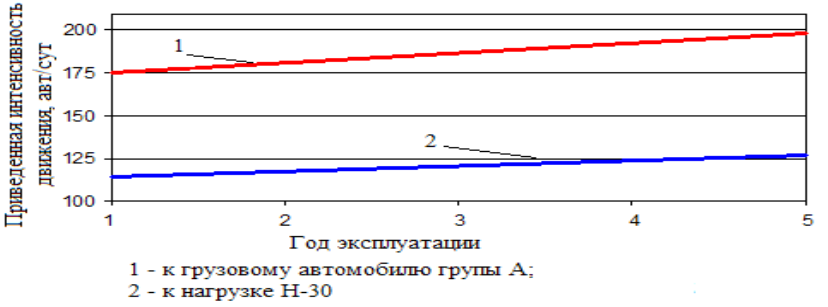


Рис. П.4.1. График приведенной интенсивности движения автомобилей на автомобильной дороге к производственной базе ООО «Дорожное строительство «Альтком» в Донецкой области

П.4.1 pav. Automobilių judėjimo privažiuojamuoju keliu prie UAB „Kelių statyba Altkom“ intensyvumo grafikas

Fig. П.4.1. Graph of traffic volume of vehicles on the road to production basis of ‘Road Construction Altcom’ in Donetsk region

Изменение прочности дорожной одежды

Для теоретического описания и прогнозирования во времени процесса изменения прочности дорожных одежд на опытном участе с покрытиями из мелкозернистых и крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами по результатам опытно-экспериментальных

исследований получены математические модели в виде уравнений регресии.

Соответствие полученных математических моделей явлению, которое изучается, определялось по критерию Фишера по формулам (П.4.1) и (П.4.2).

Для исключения из математической модели второстепенных факторов по формулам (П.4.3) и (П.4.4) была проведена статистическая оценка значимости коэффициентов уравнений регрессии по критерию Стьюдента.

Для конструкций дорожных одежд с покрытиями из мелкозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами уравнение регрессии, описывающее изменение модуля упругости во времени, имеет вид:

$$E_{м/з} = 10,54t^3 - 115,79t^2 + 428,55t - 80,05; \quad (П.4.5.)$$

$$R^2 = 0,89,$$

где t – разные моменты времени.

Для конструкции дорожных одежд с покрытиями из крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами уравнение регрессии, описывающее изменение модуля упругости, имеет вид:

$$E_{к/з} = 4б67t^3 - 52,15t^2 206,72t + 111,98; \quad (П.4.6.)$$

$$R^2 = 0,91,$$

где t – разные моменты времени.

Регрессионная зависимость значений модуля упругости дорожной одежды от времени t представлена в виде графика на рис. П.4.2.

По результатам моделирования динамики изменения модуля упругости дорожных одежд с покрытиями из традиционных крупнозернистых асфальтобетонов, а также учитывая связь между состоянием дорожной одежды и коэффициентом ее прочности был проведен прогноз состояния покрытия автомобильной дороги за пять лет эксплуатации с помощью балльной оценки представленный на рис. П.4.3.

Анализ полученных результатов показывает, что прочность дорожных одежд с конструктивными слоями из шлаковых минеральных материалов возрастает за счет развития хемосорбционных процессов в самом асфальтобетоне со шлаковыми материалами, а также упрочнения шлаковой основы вследствии процессов гидратации.

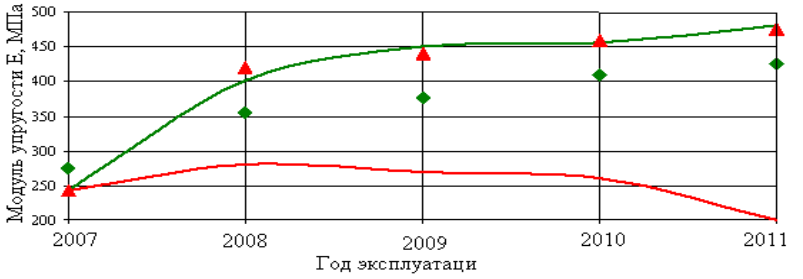


Рис. П.4.2. График изменения модуля упругости дорожных одежд на покрытиях из крупнозернистих, мелкозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами

П.4.2 pav. Stambiagrūdžių ir smulkiagrūdžių asfalto dangų su šlakais tamprumo modulio kitimo grafikas

Fig. П.4.2. Graph of road pavements elasticity modulus on fine and coarse bituminous concrete surfacing produced using slag materials



Рис. П.4.3. График динамики изменения состояния автомобильных дорог с покрытиями из традиционных мелкозернистых асфальтобетонов проведенный с помощью балльной оценки

П.4.3 pav. Automobilių kelių būklės vertinimas (balais), esant tradicinėms smulkiagrūdėms asfalto kelio dangoms

Fig. П.4.3. Graph of change dynamics of motor roads with the surfacing of fine traditional bituminous concrete conducted using scoring evaluation

Изменение ровности покрытия

Для описания процессов изменения ровности автомобильных дорог с покрытиями из мелкозернистых и крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами и прогнозирования изменения этих процессов во времени по результатам опытно-экспериментальных исследований получены математические модели в виде уравнений регрессии. Уравнения получены для значений, приведенных к показателям прибора ПКРС–2У.

Для автомобильных дорог с покрытиями из мелкозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами уравнение регрессии, описывающее изменение ровности во времени S имеет вид:

$$S_{м/з} = 0,35t^3 - 4,66t^2 + 23,32t + 255,24; \quad R^2 = 0,83, \tag{П.4.7.}$$

где t – разные моменты времени.

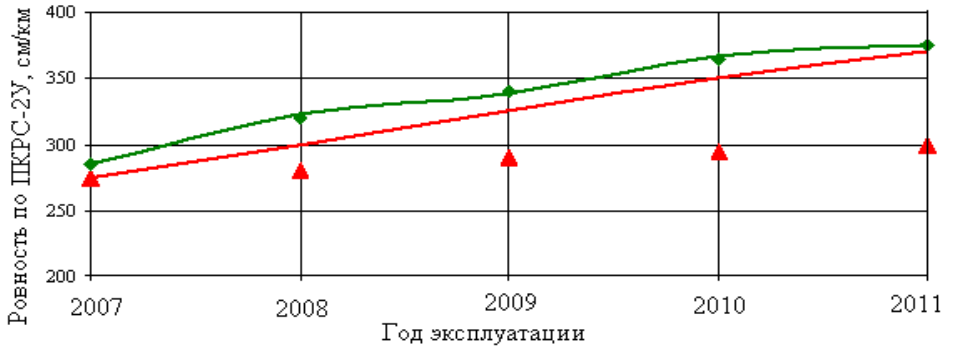
Для автомобильных дорог с покрытиями из крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами уравнение регрессии имеет вид:

$$S_{к/з} = -0,78t^3 + 4,27t^2 + 19,68t + 266,29; \quad R^2 = 0,85, \tag{П.4.8.}$$

где t – разные моменты времени.

Результаты динамики изменения ровности покрытий из мелкозернистых асфальтобетонов из традиционных материалов представлены на рис. П.4.4.

Анализ полученных результатов показывает, что ровность покрытий на основе мелкозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами ухудшается менее интенсивно по сравнению с ровностью покрытий из мелкозернистого асфальтобетона из традиционных материалов. При этом после третьего года эксплуатации на покрытиях из мелкозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами происходит стабилизация ровности. Характер изменения ровности покрытий из крупнозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами сопоставим с изменениями ровности для покрытий из асфальтобетона из традиционных материалов.



▲ Среднее экспериментальное значение для дорожных одежд с покрытием из мелкозернистых асфальтобетонов из шлаковых материалов

◆ Среднее экспериментальное значение для дорожных одежд с покрытием из крупнозернистого асфальтобетона из шлаковых материалов

— Теоретические значения для дорожных одежд с покрытием из мелкозернистых асфальтобетонов из традиционных материалов

— Теоретические значения для дорожных одежд с покрытием из мелкозернистых и крупнозернистых асфальтобетонов из шлаковых материалов

Рис. П.4.4. График изменения ровности покрытий из мелкозернистых, крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами и мелкозернистых асфальтобетонов из традиционных материалов

П.4.4 pav. Stambiagrūdžių ir smulkiagrūdžių asfalto dangų su šlakais bei smulkiagrūdžių tradicinių asfalto dangų tamprumo moduliai

Fig. П.4.4. Graph of evenness change of fine and coarse bituminous concrete surfacing using slag and fine bituminous concrete produced of traditional materials

Изменение коэффициента сцепления

С целью описания и прогнозирования во времени процесса изменения коэффициента сцепления как на опытном участке автомобильной дороги с покрытиями из мелкозернистого и крупнозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами по данным опытно-экспериментальных исследований получены математические модели в виде уравнений регрессии.

Для автомобильных дорог с покрытиями из мелкозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами уравнение регрессии имеет вид:

$$k_{сц(м/з)} = -0,0041t^2 + 0,046t + 0,329; \quad (П.4.9.)$$

$$R^2 = 0,9,$$

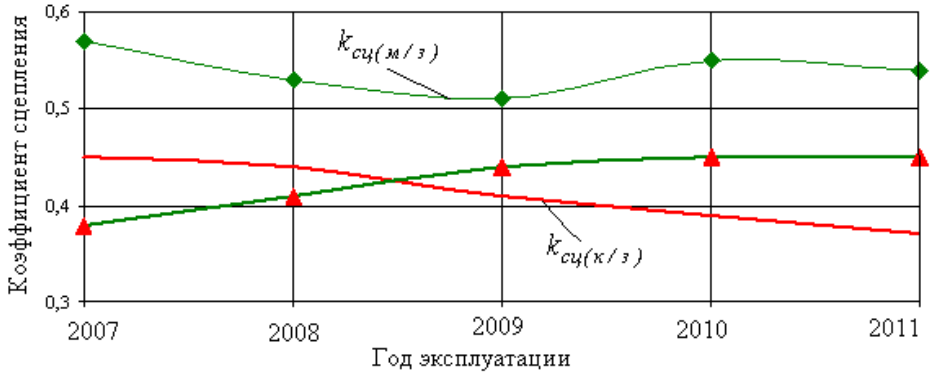
где t – разные моменты времени.

Для автомобильных дорог с покрытиями из крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами уравнение регрессии имеет вид:

$$k_{сц(к/з)} = -0,0042t^3 + 0,0485t^2 - 0,17t + 0,696; \quad (П.4.10.)$$

$$R^2 = 0,87,$$

где t – разные моменты времени.



Среднее экспериментальное значение для дорожных одежд с покрытием из мелкозернистых асфальтобетонов из шлаковых материалов

Среднее экспериментальное значение для дорожных одежд с покрытием из крупнозернистых асфальтобетонов из шлаковых материалов

Теоретические значения для дорожных одежд с покрытием из мелкозернистых асфальтобетонов из традиционных материалов

Теоретические значения для дорожных одежд с покрытием из мелкозернистых и крупнозернистых асфальтобетонов из шлаковых материалов

Рис. П.4.5. График изменения коэффициента сцепления на покрытиях из мелкозернистых, крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами и мелкозернистых асфальтобетонов с использованием традиционных материалов

П.4.5 pav. Stambiagrūdžių ir smulkiagrūdžių asfalto dangų su šlakais bei smulkiagrūdžių tradicinių asfalto dangų sukibimo koeficientai

Fig. П.4.5. Graph of friction coefficient change on the surfacing of fine and coarse bituminous concrete using slag and fine bituminous concrete using traditional materials

Регрессионная зависимость изменения коэффициента сцепления пневматической шины автомобиля с мелкозернистыми и крупнозернистыми асфальтобетонными покрытиями со шлаковыми материалами от времени представлена в виде графика на рис. П.4.5.

Анализ полученных данных показывает, что величина коэффициента сцепления на покрытиях из асфальтобетона со шлаковыми материалами остается достаточно высокой в первые пять лет эксплуатации. При этом наблюдается тенденция к стабилизации коэффициента сцепления в диапазоне 0,45–0,52.

Приложение 5. Результаты моделирования скорости движения транспортных потоков на автомобильных дорогах с асфальтобетонными покрытиями со шлаковыми и традиционными материалами

Исследование скорости движения транспортных потоков на участках дорог с мелкозернистым асфальтобетонным покрытием со шлаковыми материалами

Гистограммы распределения значений скорости движения транспортного потока представлены на рис. П.5.1. Анализ гистограмм позволяет выдвинуть гипотезу о том, что случайная величина, которая исследуется, для пяти лет эксплуатации автомобильной дороги распределяется по показательному закону.

Проверка правильности выдвинутой гипотезы проводилась по критерию согласия «хи-квадрат» Пирсона и Романовского по формулам, приведенным в Приложении 1. Результаты статистической обработки показали, что выдвинутая гипотеза не отклоняется при уровне значимости α =0,1 и распределение скорости движения описывается зависимостью:

$$f(x) = \mu \cdot e^{-\mu x} = \frac{1}{M^*(x)} e^{-\frac{x}{M^*(x)}}, \qquad (П.5.1.)$$

где μ – параметр закона; $M^*(x)$ – математическое ожидание.

Результаты статистической обработки изменения скорости движения транспортного потока на мелкозернистых асфальтобетонных покрытиях со шлаковыми материалами приведены в табл. П.5.1.

Анализ полученных данных показывает, что средняя скорость движения транспортных средств, в первый год эксплуатации, имеет меньшее значение, чем в последующие годы.

По теоретическим законам распределения (см. рис. П.5.1) были построены кумулятивные кривые изменения скорости движения транспортного потока в течении пяти лет эксплуатации автомобильной дороги рис. П.5.2.

Таблица П.5.1. Результаты статистической обработки данных скоростей движения транспортного потока на мелкозернистых асфальтобетонных покрытиях со шлаковыми материалами

П.5.1 lentelė. Transporto srauto judėjimo smulkiagrūde asfalto su šlakais danga greičių statistinių duomenų apdorojimas

Table П.5.1. Results of statistical data processing on traffic flow speed on the pavements of fine bituminous concrete produced of slag materials

Год эксплуатации	Закон распределения	Параметры закона	Скорость движения транспортного потока			
			Среднее значение	Доверительный интервал разброса среднего значения для доверительной вероятности		
				0,85	0,90	0,95
2007	Показательный	μ=0,0135	73,9	63,5–84,3	62,0–85,8	59,8–88,0
2008	Показательный	μ=0,0126	79,5	67,4–91,5	65,7–93,3	63,1–95,9
2009	Показательный	μ=0,0126	79,5	67,4–91,5	65,7–93,3	63,1–95,9
2010	Показательный	μ=0,0126	79,5	67,4–91,5	65,7–93,3	63,1–95,9
2011	Показательный	μ=0,0126	79,3	67,1–91,5	65,4–93,2	62,8–95,9

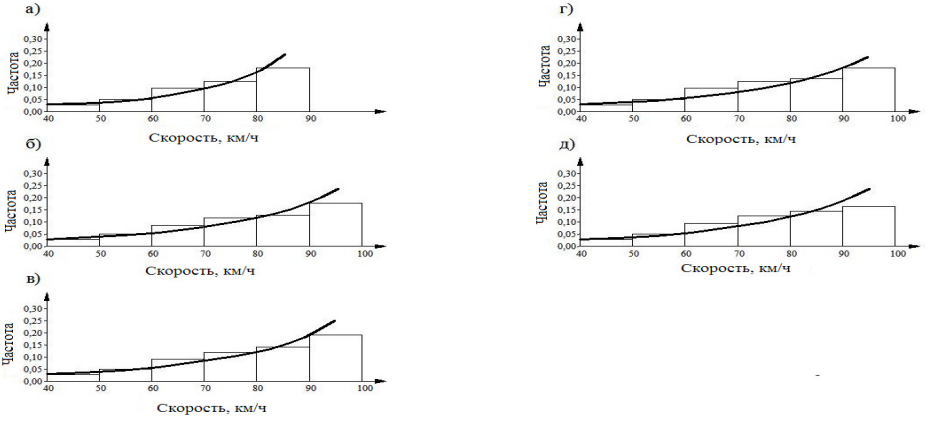


Рис. П.5.1. Гистограммы и законы распределения скорости движения транспортного потока на покрытиях из мелкозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами: а)для первого; б) для второго; в) для третьего; г) для четвертого; д) для пятого года эксплуатации

П.5.1 pav. Transporto srauto judėjimo greičio smulkiagrūde asfalto su šlakais danga histogramos ir skirstiniai kelio eksploatacijos metais:
a) pirmaisiais; b) antraisiais; c) trečiaisiais; d) ketvirtaisiais; e) penktaisiais

Fig. П.5.1. Histograms and laws of traffic flow velocity distributions on the surfacing of fine and coarse bituminous concrete produced of slag materials: a) for the first year; b) for the second year; c) for the third year; d) for the fourth year; e) for the fifth year of operation

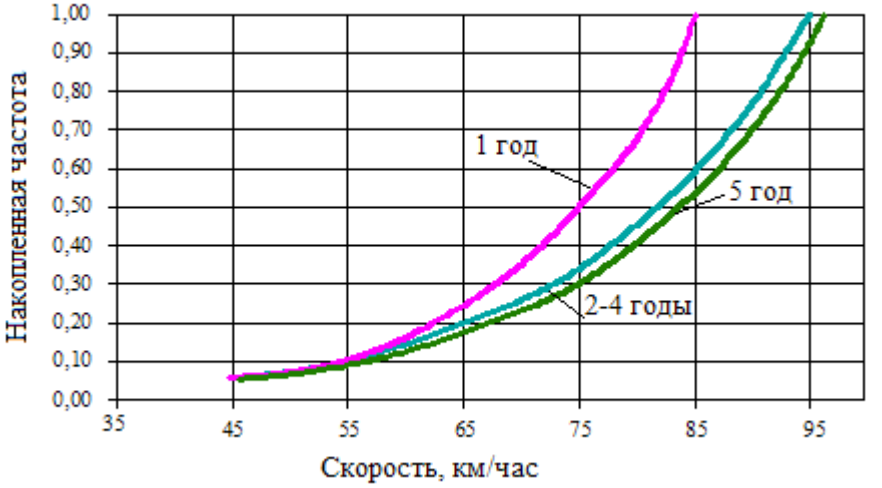


Рис. П.5.2. Кумулятивные кривые изменения скорости движения транспортного потока в течении пяти лет эксплуатации автомобильной дороги с покрытиями из мелкозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами

П.5.2 pav. Transporto srauto judėjimo smulkiagrūde asfalto su šlakais danga greičio kitimas skirtingais kelio eksploatacijos metais

Fig. П.5.2. Cumulative curves of traffic flow speed change during five years of operation of the road with fine bituminous concrete surfacing produced of slag materials

Исследование скорости движения транспортных потоков на участках дорог с покрытиями из крупнозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами

Гистограммы распределения скорости движения транспортных средств на крупнозернистых асфальтобетонных покрытиях со шлаковыми материалами представлены на рис. П.5.3.

Результаты статистической обработки скорости движения транспортного потока на крупнозернистых асфальтобетонных покрытиях со шлаковыми материалами приведены в табл. П.5.2.

Анализ полученных данных показывает, что среднее значение скорости движения транспортного потока за пять лет изменяется от 79,7 км/час до 65,7 км/час. Анализ результатов расчета по программе REGION показывает, что наибольшее влияние на изменение скорости оказывает частный коэффициент $K^{б}_{р.с.,}$ отвечающий за изменение ровности проезжей части. Влияние остальных частных коэффициентов обеспеченности расчетной скорости на результаты расчета незначительные.

Таблица П.5.2. Результаты статистической обработки данных скоростей движения транспортного потока на покрытиях из крупнозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами

П.5.2 lentele. Statistinių duomenų apdorojimo greitis eismo srauto apie šiurkščiavilnių asfaltbetonio viršelių su šlakas medžiagų

Table П.5.2. Results of statistical data processing on traffic flow speed on the pavements of coarse bituminous concrete produced of slag materials

Год эксплуатации	Закон распределения	Параметры закона	Скорость движения транспортного потока			
			Среднее значение	Доверительный интервал разброса среднего значения для доверительной вероятности		
				0,85	0,90	0,95
2007	Показательный	μ=0,0125	79,7	67,7–91,6	66,0–93,4	64,3–95,9
2008	Показательный	μ=0,0127	78,5	65,8–91,1	63,9–93,0	61,2–95,7
2009	Показательный	μ=0,0135	73,9	63,5–84,3	62,0–85,8	59,8–88,0
2010	Показательный	μ=0,0136	73,7	63,1–84,2	61,6–85,7	59,3–88,0
2011	Показательный	μ=0,0152	65,7	56,5–74,9	55,2–76,3	53,2–78,2

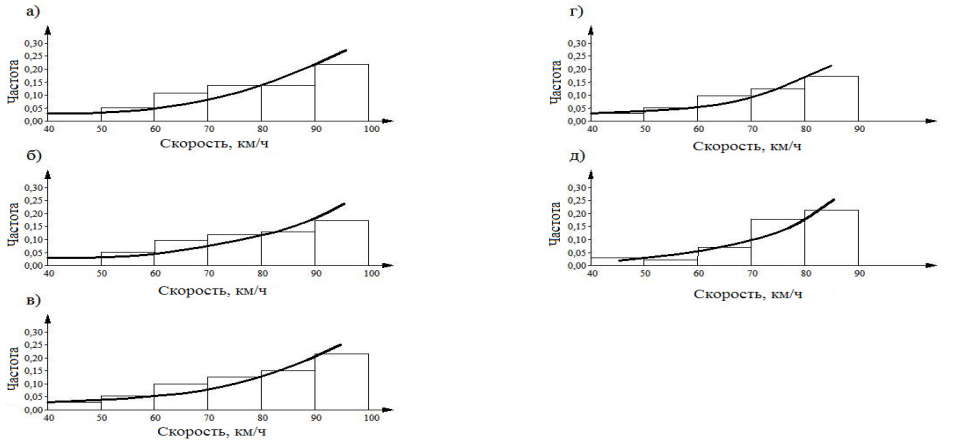


Рис. П.5.3. Гистограммы и законы распределения скорости движения транспортного потока на покрытиях из крупнозернистого асфальтобетона со шлаковыми материалами: а) для первого; б) для второго; в) для третьего; г) для четвертого; д) для пятого года эксплуатации

П.5.3 pav. Transporto srauto judėjimo greičio stalbiagrūde grūde asfalto su šlakais danga histogramos ir skirstiniai kelio eksploatacijos metais:
a) pirmaisiais; b) antraisiais; c) trečiaisiais; d) ketvirtaisiais; e) penktaisiais

Fig. П.5.3. Histograms and laws of traffic flow velocity distribution on the surfacing of coarse bituminous concrete produced of slag materials: a) for the first, and b) for the second, and c) for the third, and d) for the fourth, and e) for the fifth year of operation

В соответствии с теоретическими законами распределения (см. рис. П.5.3) были построены кумулятивные кривые изменения скорости движения транспортного потока в течении пяти лет эксплуатации автомобильной дороги рис. П.5.4.

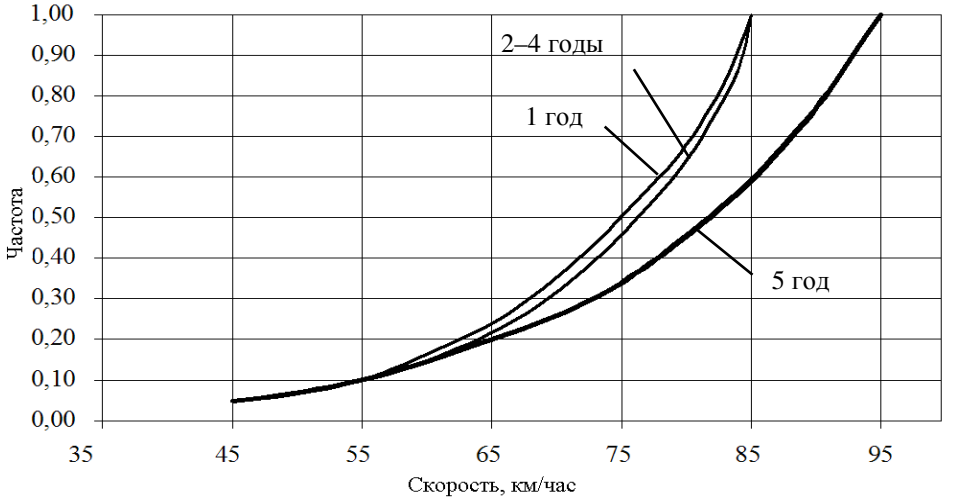


Рис. П.5.4. Кумулятивные кривые изменения скорости движения транспортного потока в течении пяти лет эксплуатации автомобильной дороги с покрытиями из крупнозернистых асфальтобетонов со шлаковыми материалами

П.5.4 pav. Transporto srauto judėjimo stambiagrūde asfalto su šlakais danga greičio kitimas skirtingais kelio eksploatacijos metais

Fig. П.5.4. Cumulative curves of traffic flow speed change during five years of operation of the road with coarse bituminous concrete surfacing produced of slag material

Исследование скорости движения транспортных потоков на участках дорог с покрытием из традиционного мелкозенистого асфальтобетона

Гистограммы распределения скоростей представлены на рис. П.5.5. Анализ гистограмм позволяет выдвинуть гипотезу о том, что случайная величина, которая рассматривается, распределяется по показательному закону. Проверка правильности выдвинутой гипотезы проводилась по формулами, приведенным в Приложении 1 по критериям согласия «хи-квадрат» Пирсона и Романовского при уровне значимости α=0,1.

Результаты статистической обработки приведены в табл. П.5.3.

Таблица П.5.3. Результаты статистической обработки данных скоростей движения транспортного потока на асфальтобетонном покрытии из традиционного мелкозернистого асфальтобетона

П.5.3 lentele. Transporto srauto judėjimo smulkiagrūde tradicine asfalto danga greičių statistinių duomenų apdorojimas

Table П.5.3. Results of statistical data processing on traffic flow speed on the pavements produced of traditional fine bituminous concrete

Год эксплуатации	Закон распределения	Параметры закона	Скорость движения транспортного потока			
			Среднее значение	Доверительный интервал разброса среднего значения для доверительной вероятности		
				0,85	0,90	0,95
2007	Показательный	μ=0,0126	79,3	67,1–91,5	65,4–93,2	62,8–95,9
2008	Показательный	μ=0,0126	79,1	66,9–91,4	65,1–93,2	62,4–95,8
2009	Показательный	μ=0,0135	73,9	63,5–84,3	62,0–85,8	59,8–88,0
2010	Показательный	μ=0,0145	69,2	61,5–77,0	60,4–78,1	58,7–79,8
2011	Показательный	μ=0,0146	68,7	60,6–76,8	59,5–78,0	57,7–79,8

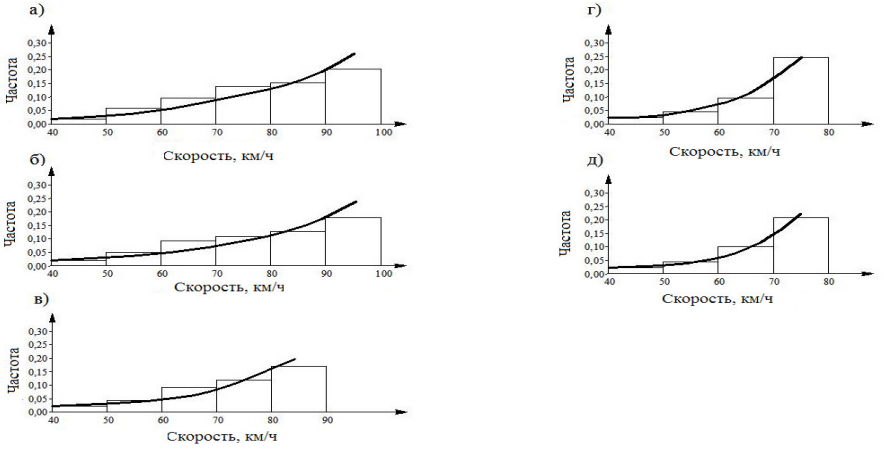


Рис. П.5.5. Гистограммы и законы распределения скорости движения транспортного потока на покрытиях из традиционного мелкозернистого асфальтобетона: а) для первого; б) для второго; в) для третьего; г) для четвертого; д) для пятого года эксплуатации

П.5.6 pav. Transporto srauto judėjimo greičio smulkiagrūde tradicine asfalto danga histogramos ir skirstiniai kelio eksploatacijos metais:
a) pirmaisiais; b) antraisiais; c) trečiaisiais; d) ketvirtaisiais; e) penktaisiais

Fig. П.5.6. Histograms and laws of traffic flow velocity distribution on the surfacing of traditional fine bituminous concrete: a) for the first, b) for the second, c) for the third, d) for the fourth, e) for the fifth year of operation

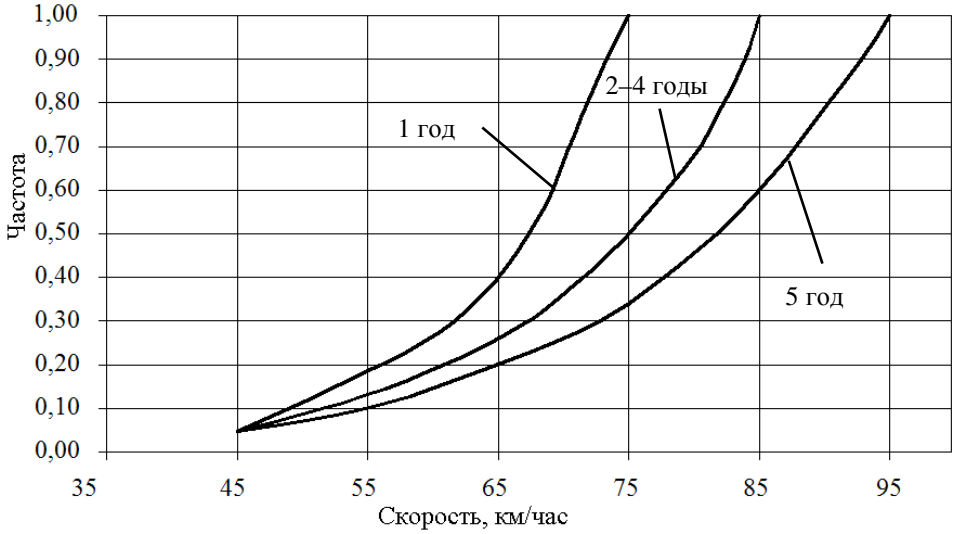


Рис. П.5.6. Кумулятивные кривые изменения скорости движения транспортного потока в течении пяти лет эксплуатации автомобильной дороги на покрытии из мелкозернистого асфальтобетона из традиционных материалов
П.5.6 pav. Transporto srauto judėjimo smulkiagrūde tradicine asfalto danga greičio kitimas skirtingais kelio eksploatacijos metais
Fig. П.5.6. Cumulative curves of traffic flow speed change during five years of operation of the road with fine bituminous concrete surfacing produced of traditional materials

Средняя скорость движения транспортного потока изменяется от 79,3 км/час до 68,7 км/час. При этом анализ расчетов показывает, что основное влияние на уменьшение скорости движения оказывает как ухудшение ровности проезжей части, так и снижение коэффициента сцепления вследствии шлифовки каменного материала под действием движущихся транспортных средств.

В соответствии с теоретическими законами распределения (рис. П.5.5) были построены кумулятивные кривые изменения скорости транспортного потока в течении пяти лет эксплуатации автомобильной дороги, представленные на рис. П.5.6.

Коэффициент загруженности автомобильной дороги (z=0,28), расчитан по формуле:

$$z = \frac{N_ч}{P_ф}, \qquad \text{(П.5.2.)}$$

где $N_ч$ – фактическая часовая интенсивность движения, авт/час; $P_ф$ – фактическая пропускная способность, авт/час.

Фактическая пропускная способность ($P_ф$) определялась по методике с учетом вида транспортных средств в потоке и коэффициентов приведения.

Приложение 6. Результаты моделирования процессов образования зимней скользкости

Определение скорости изменения температуры воздуха в период возможного образования зимней скользкости

Обработана информация по данным метеостанций за 15 зимних сезонов. При статистической обработке динамики изменения температуры воздуха выборка включала следующую информацию:

- дату (число, месяц, год) начала и окончания возможного случая образования зимней скользкости;
- вид зимней скользкости;
- температуру воздуха (за 9, 6, 3 часов до образования зимней скользкости и в момент ее образования).

Гистограммы распределения температуры воздуха при образовании гололеда и снежного наката представлены на рис. П.6.1.

Распределение температуры воздуха описывается зависимостью:

$$f(x) = n\mu^n x^{n-1} e^{-\mu^n x^n}, \qquad (\text{П.6.1.})$$

где n, μ – параметры закона Вейбулла.

Результаты статистической обработки изменения температуры воздуха при образовании гололеда и снежного наката приведены в табл. П.6.2.

Момент образования гололеда описывается зависимостью (П.6.2.).

Результаты статистической обработки изменения температуры воздуха при образовании гололеда приведены в табл. П.6.1.

Гистограммы распределения температуры воздуха при образовании гололеда представлены на рис. П.6.3.

Температура воздуха за 3, 6 и 9 часов до образования гололеда описывается зависимостью:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(x - M^*(x))}{2\sigma^2}}, \qquad (\text{П.6.2.})$$

где σ – стандартное отклонение.

Построены кумулятивные кривые изменения температуры воздуха для гололеда, которые представлены на рис. П.6.4.

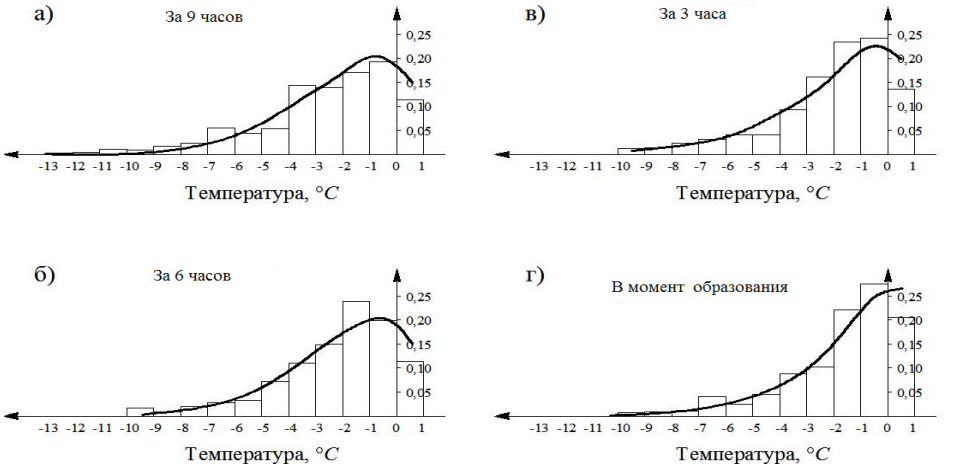
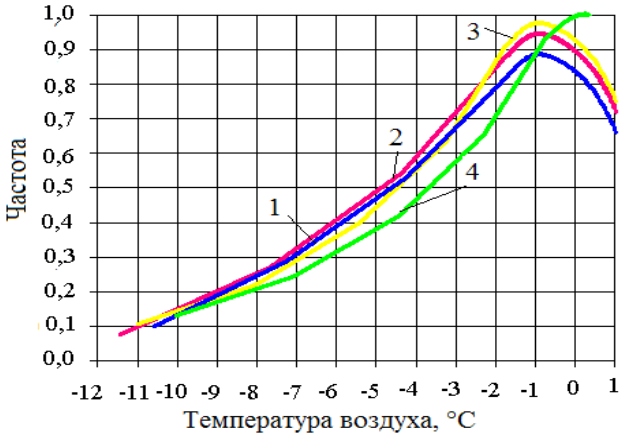


Рис. П.6.1. Гистограммы распределения температуры воздуха при гололеде и снежном накате

П.6.1 pav. Oro temperatūros pasiskirstymo histograma esant plikledžiui ir sniego sluoksniui kelyje

Fig. П.6.1. Histograms of air temperature distribution at icy conditions of road and rolled snow conditions of road



1 – за 9 часов; 2 –за 6 часов; 3 – за 3 часа; 4 – в момент образования.

Рис. П.6.2. Кумулятивные кривые изменения температуры воздуха при гололеде и снежном накате

П.6.2 pav. Oro temperatūros pokyčio kreivės esant plikledžiui ir sniego sluoksniui kelyje

Fig. П.6.2. Cumulative curves of air temperature change at icy and rolled snow conditions of road

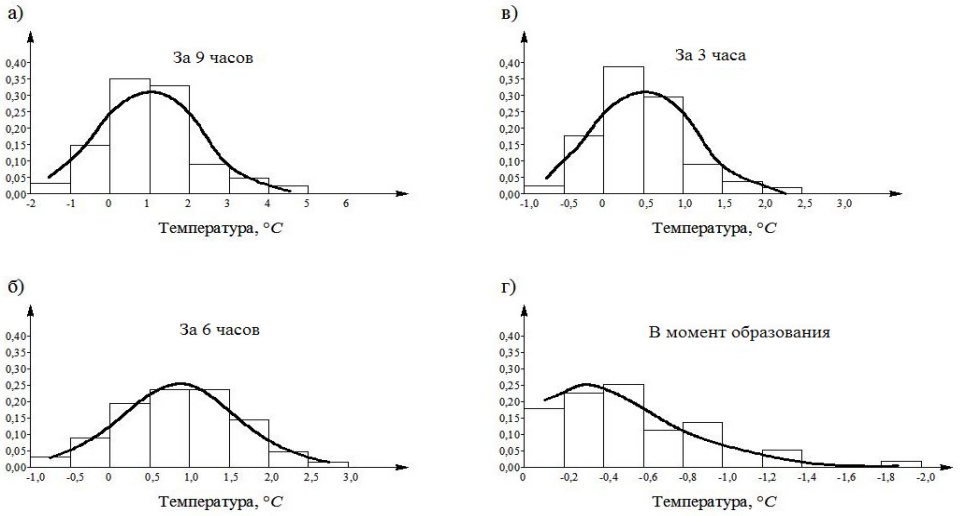
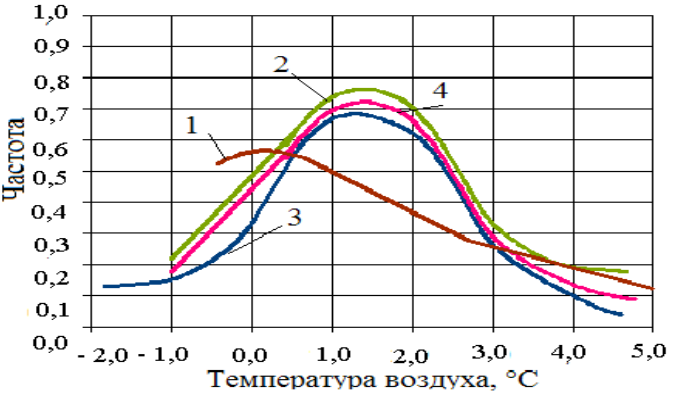


Рис. П.6.3. Гистограммы распределения температуры воздуха при гололеде
П.6.3 pav. Oro temperatūros histogramos esant plikledžiui kelyje
Fig. П.6.3. Histograms of air temperature distribution of at icy conditions of road



1 – в момент образования; 2 –за 3 часов; 3 – за 6 часа; 4 – за 9 часов.

Рис. П.6.4. Кумулятивные кривые изменения температуры воздуха при гололеде
П.6.4 pav. Oro temperatūros pokyčio kreivės esant plikledžiui kelyje
Fig. П.6.4. Cumulative curves of air temperature change at icy conditions of road

Таблица П.6.1. Результаты статистической обработки данных об изменении температуры воздуха при образовании разных видов зимней скользкости на дорожных покрытиях

П.6.1 lentelė. Oro temperatūros pokyčių, esant plikledžiui ir sniego sluoksniui kelyje, statistinių duomenų apdorojima

Table П.6.1. Results of statistical data processing on air temperature changes during formation of different kinds of slippery conditions in winter on road surfaces

Вид зимней скользкости	Время до начала образования скользкости	Закон распределения	Параметры закона	Числовые значения параметра, °С			
				Среднее значение	Доверительный интервал разброса среднего значения для доверительной вероятности		
					0,85	0,90	0,95
Иней и снежный накат	за 9 часов	Вейбулла	n=1,45 μ= –0,26	–2,47	–3,41 ÷ –1,54	–3,54 ÷ –1,41	–3,74 ÷ –1,20
	за 6 часов	Вейбулла	n=1,45 μ= –0,27	–2,35	–3,39 ÷ –1,32	–3,54 ÷ –1,17	–3,76 ÷ –0,94
	за 3 часов	Вейбулла	n=1,36 μ= –0,30	–2,00	–2,97 ÷ –1,03	–3,11 ÷ –0,90	–3,33 ÷ –0,69
	в момент образования	Вейбулла	n=1,25 μ= –0,37	–1,50	–2,37 ÷ –0,63	–2,49 ÷ –0,51	–2,68 ÷ –0,32
Гололед	за 9 часов	Нормальный	$\overline{X}$ =1,01 σ=0,29	1,01	0,30 ÷ 1,72	0,20 ÷ 1,82	0,05 ÷ 1,97
	за 6 часов	Нормальный	$\overline{X}$ =0,88 σ=0,82	0,88	0,46 ÷ 1,30	0,40 ÷ 1,36	0,31 ÷ 1,45
	за 3 часа	Нормальный	$\overline{X}$ =0,47 σ=0,61	0,47	0,14 ÷ 0,80	0,09 ÷ 0,85	0,02 ÷ 0,92
	в момент образования	Вейбулла	n=1,43 μ= –0,17	–0,53	–0,71 ÷ –0,36	–0,73 ÷ –0,33	–0,77 ÷ –0,29

При образовании гололеда и снежного наката изменение температуры воздуха $T_в$:

– для нижней границы доверительного интервала:

$$T_в = 0,0010t^3 + 0,0039t^2 - 0,2342t - 2,6691; \quad (П.6.3.)$$

$$R^2 = 0,87,$$

где t – разные моменты времени.

– для среднего значения:

$$T_в = 0,0003t^3 + 0,0061t^2 - 0,1853t - 1,4969; \quad (П.6.4.)$$

$$R^2 = 0,85,$$

где t – разные моменты времени;

– для верхней границы доверительного интервала:

$$T_в = -0,0005t^3 + 0,0099t^2 - 0,1461t - 0,3146; \quad (П.6.5.)$$

$$R^2 = 0,87,$$

где t – разные моменты времени;

При гололеде изменение температуры воздуха $T_в$:

– для нижней границы доверительного интервала:

$$T_в = -0,00017t^3 - 0,0255t^2 + 0,3345t - 0,789; \quad (П.6.6.)$$

$$R^2 = 083,$$

где t – разные моменты времени;

– для среднего значения:

$$T_в = 0,0013t^3 - 0,0407t^2 + 0,4334t - 0,5535; \quad (П.6.7.)$$

$$R^2 = 0,77,$$

где t – разные моменты времени;

– для верхней границы доверительного интервала:

$$T_в = 0,0027t^3 - 0,056t^2 + 0,532t - 0,318; \quad (П.6.8.)$$

$$R^2 = 0,8,$$

где t – разные моменты времени.

Распределение минимальной температуры воздуха и скорости ее понижения

Гистограмма распределения переходов температуры воздуха за 15 зимних сезонов по месяцам с октября по апрель, представлена на рис. П.6.5.

Гистограмма распределения минимальной температуры воздуха представлена на рис. П.6.6.

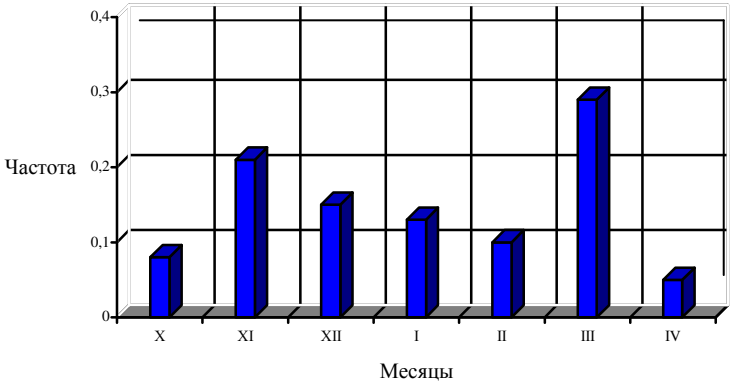


Рис. П.6.5. Гистограмма повторяемости перехода температуры воздуха через 0 °С
П.6.5 pav. Oro temperatūros svyravimo apie 0 °C temperatūroje pasikartojimo histograma
Fig. П.6.5. Histogram of frequency of temperature transition over 0 ° C

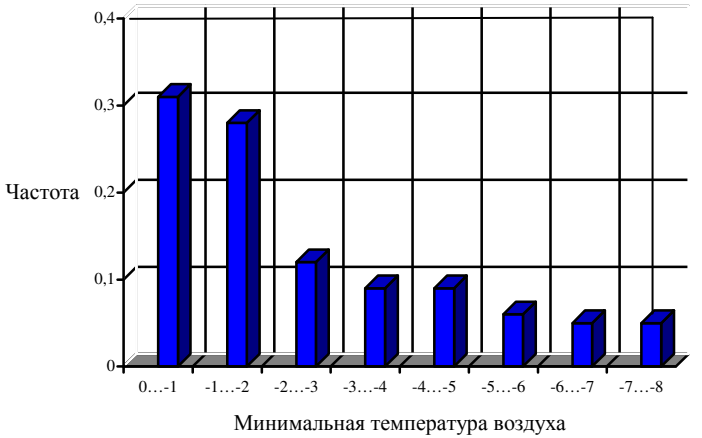


Рис. П.6.6. Гистограмма и закон распределения минимальной температуры воздуха
П.6.6 pav. Minimalios oro temperatūros histograma
Fig. П.6.6. Histogram and the law of minimum air temperature distribution

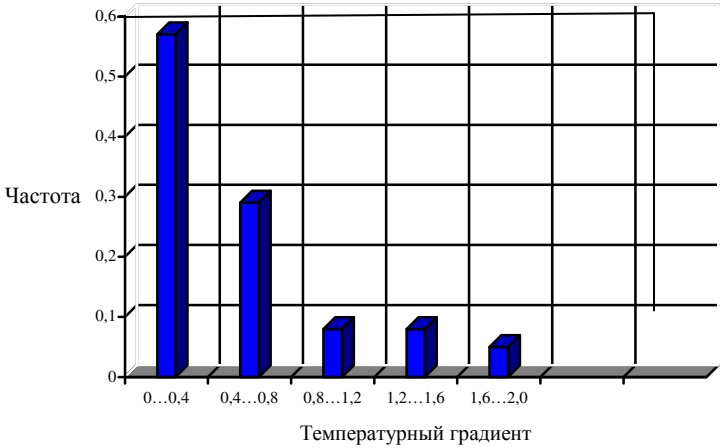


Рис. П.6.7. Гистограмма и закон распределения температурного градиента при образовании зимней скользкости
П.6.7 pav. Oro temperatūros gradiento histograma susidarant slidumui kelyje
Fig. П.6.7. Histogram and the law of temperature gradient distribution at winter slipperiness formation

Таблица П.6.2. Результаты статистической обработки данных перехода температуры воздуха через 0 °С
П.6.2 lentelė. Oro temperatūros svyravimo apie 0 °С temperatūroje statistinių duomenų apdorojimas
Table П.6.2. Results of statistical data processing on transition of air temperature over 0°С

Исследуемый параметр	Закон распределения	Пара-метры закона	Скорость движения транспортного потока			
			Сред-нее значе-ние	Доверительный интервал разброса среднего значения для доверительной вероятности		
				0,85	0,90	0,95
Минимальная температура воздуха	Показа-тельный	μ=0,423	–2,37	–1,16 ÷ –3,57	–0,99 ÷ –3,75	–0,73 ÷ –4,01
Темпера-турный градиент	Показа-тельный	μ=2,04	0,49	0,17 ÷ 0,81	0,13 ÷ 0,85	0,06 ÷ 0,92

Определение температурного режима асфальтобетонных покрытий

Обработав данные метеостанции Донецк за 15 зимних сезонов, была проведена работа в следующей последовательности:

– выявлены случаи перехода температуры воздуха через 0 °С;

– расчитано время, на протяжении которого температура воздуха была отрицательная ($T_в$ <0 °С);

– рассчитан градиент температуры воздуха ($\Delta T_в$) и по нему время, на протяжении которого температура покрытия остается положительной;

– определена возможность образования зимней скользкости на разных типах дорожных покрытий;

– рассчитана частота образования зимней скользкости для асфальтобетонного покрытия с традиционными и шлаковыми материалами, которая представлена на рис. П.6.8.

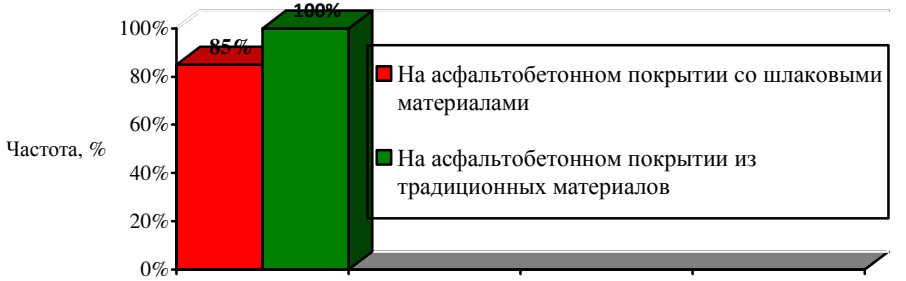


Рис. П.6.8. Диаграмма частоты случаев образования зимней скользкости на разных типах асфальтобетонных покрытий при переходе температуры воздуха от положительных значений к отрицательным

П.6.8 pav. Slydimo susidarymo keliuose su įvairiomis asfalto dangomis ir oro temperatūrai svyruojant nuo teigiamų iki neigiamų reikšmių dažnių diagrama

Fig. П.6.8. Diagram of winter slipperiness formation occurrence at different types of asphalt concrete pavements at the transition of air temperature from positive to negative values

Анализ диаграммы показывает, что количество случаев образования скользкости на покрытиях из асфальтобетонов со шлаковыми материалами на 15 % меньше, чем на покрытиях из традиционных материалов. Это происходит из-за большой тепловой инерции покрытий с использованием асфальтобетона со шлаковыми материалами, в сравнении с покрытиями из асфальтобетонов из традиционных материалов. При переходе температуры воздуха от положительных значений к

отрицательным покрытия, устроенные из асфальтобетона со шлаковыми материалами в 15 % случаев, не успевают остыть и температура покрытия остается положительной, что и предотвращает образование на них стекловидного льда.

Приложение 7. Результаты измерений и оценка ровности асфальтобетонного покрытия со шлаковыми материалами

Таблица П.7.1. Результаты измерений и оценка ровности асфальтобетонного покрытия со шлаковыми материалами
П.7.1. lentelė. Asfalto dangų su šlaku lygumo matavimų rezultatai ir vertinimas
Table П.7.1. Results of measurements and evaluation of smoothness of asphalt pavements produced using slag materials

Место расположения участка от ПК… до ПК	Величина максимальних просветов под рейкой, мм	% от общего числа измерений	Оценка результатов, балл
2007 год			
ПК 0+00 ПК 2+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 8 +00 ПК 12+00	от 0 до 5	98,0	5
	от 5 до 10	2,0	
	больше 10	0	
ПК 17+00 ПК 20+00	от 0 до 5	98,0	5
	от 5 до 10	2,0	
	больше 10	0	
ПК 23+00 ПК 25+00	от 0 до 5	98,0	5
	от 5 до 10	2,0	
	больше 10	0	
2008 год			
ПК 0+00 ПК 2+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 4+00 ПК 7+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 8+00 ПК 12+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	

	больше 10	0	
ПК 17+00 ПК 21+00	от 0 до 5	99,0	5
	от 5 до 10	1,0	
	больше 10	0	
1	2	3	4
ПК 21+00 ПК 23+00	от 0 до 5	97,0	4
	от 5 до 10	3,0	
	больше 10	0	
ПК 23+00 ПК 25+00	от 0 до 5	97,5	4
	от 5 до 10	2,5	
	больше 10	0	
2009 год			
ПК 0+00 ПК 2+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 4+00 ПК 7+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 8+00 ПК 12+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 14+00 ПК 16+00	от 0 до 5	99,0	5
	от 5 до 10	1,0	
	больше 10	0	
ПК 21+00 ПК 23+00	от 0 до 5	97,0	4
	от 5 до 10	3,0	
	больше 10	0	
ПК 23+00 ПК 25+00	от 0 до 5	97,5	4
	от 5 до 10	2,5	
	больше 10	0	
2010 год			
ПК 0+00 ПК 2+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 4+00 ПК 7+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	

ПК 8+00 ПК 12+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 14+00 ПК 16+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 21+00 ПК 23+00	вид 0 до 5	94,5	3
	вид 5 до 10	5,5	
	больше 10	0	
ПК 23+00 ПК 25+00	от 0 до 5	94,3	3
	от 5 до 10	5,7	
	больше 10	0	
2011 год			
ПК 0+00 ПК 2+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 4+00 ПК 7+00	от 0 до 5	98,5	5
	от 5 до 10	1,5	
	больше 10	0	
ПК 8+00 ПК 12+00	от 0 до 5	98,0	5
	от 5 до 10	2,0	
	больше 10	0	
ПК 14+00 ПК 16+00	от 0 до 5	98,0	5
	от 5 до 10	2,0	
	больше 10	0	
ПК 21+00 ПК 23+00	от 0 до 5	93,5	3
	от 5 до 10	6,5	
	больше 10	0	
ПК 23+00 ПК 25+00	от 0 до 5	93,5	3
	от 5 до 10	6,7	
	больше 10	0	

Приложение 8. Результаты измерений величины коэффициента сцепления покрытия на опытном участке автомобильной дороги II технической категории

Таблица П.8.1. Результаты измерений величины коэффициента сцепления покрытия на опытном участке автомобильной дороги II технической категории
П.8.1. lentelė. II techninės kategorijos automobilių kelio ruožo dangos sukibimo koeficiento dydžio matavimų rezultatai
Table П.8.1. Results of measurements of friction coefficient of pavement on the test section of the road of the II-nd technical category

Место измерения ПК+…	Значение коэффициента сцепления по направлению движения				Среднее значение коэффициента сцепления участка
	в прямом		в обратном		
	f_1	f_2	f_1	f_2	
МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ АСФАЛЬТОБЕТОН					
Через 3 дня после укладки (2006 год)					
ПК 0+00	0,30	0,30	0,30	0,29	0,34
ПК 3+00	0,29	0,30	0,31	0,33	
ПК 7+00	0,32	0,33	0,38	0,45	
ПК 9+00	0,30	0,27	0,34	0,32	
ПК 12+00	0,31	0,29	0,35	0,36	
ПК 15+00	0,32	0,33	0,45	0,42	
ПК 18+00	0,31	0,29	0,30	0,30	
Через 10 дней после укладки (2006 год)					
ПК 19+00	0,37	0,39	0,37	0,38	0,37
ПК 20+00	0,33	0,37	0,35	0,36	
2007 год					
ПК 3+00	0,40	0,41	0,40	0,39	0,41
ПК 9+00	0,38	0,42	0,41	0,44	
ПК 15+00	0,41	0,44	0,39	0,40	
ПК 19+00	0,41	0,44	0,40	0,41	

2008 год					
ПК 1+00	0,42	0,43	0,40	0,41	0,43
ПК 2+00	0,42	0,43	0,41	0,42	
ПК 2+50	0,43	0,44	0,42	0,43	
ПК 3+00	0,42	0,44	0,43	0,41	
ПК 7+00	0,45	0,45	0,45	0,44	
ПК 9+00	0,40	0,42	0,41	0,42	
ПК 11+00	0,46	0,45	0,46	0,47	
ПК 14+00	0,46	0,45	0,49	0,48	
1	2	3	4	5	6
2009 год					
ПК 1+50	0,43	0,44	0,42	0,43	0,45
ПК 2+00	0,43	0,43	0,43	0,43	
ПК 2+50	0,45	0,45	0,44	0,45	
ПК 3+00	0,44	0,45	0,45	0,44	
ПК 7+00	0,47	0,47	0,47	0,47	
ПК 9+00	0,43	0,44	0,43	0,44	
ПК 11+00	0,50	0,50	0,50	0,50	
ПК 14+00	0,49	0,48	0,51	0,50	
2010 год					
ПК 1+50	0,43	0,42	0,43	0,44	0,46
ПК 2+00	0,44	0,43	0,43	0,44	
ПК 2+50	0,46	0,45	0,45	0,46	
ПК 3+00	0,45	0,46	0,45	0,45	
ПК 7+00	0,48	0,47	0,48	0,47	
ПК 9+00	0,44	0,44	0,44	0,45	
ПК 11+00	0,51	0,50	0,50	0,51	
ПК 14+00	0,51	0,50	0,51	0,50	
2010 год					
ПК 10+00	0,54	0,52	0,53	0,52	0,52
ПК 12+00	0,53	0,52	0,53	0,53	
ПК 15+00	0,52	0,52	0,51	0,52	
ПК 18+00	0,52	0,53	0,51	0,51	
ПК 20+00	0,52	0,51	0,52	0,51	
КРУПНОЗЕРНИСТЫЙ АСФАЛЬТОБЕН Участок с ПК 20+00 по ПК 25+00					
Через 1 месяц после укладки (2006 год)					
ПК 21+00	0,58	0,55	0,56	0,58	0,57
ПК 22+00	0,55	0,57	0,58	0,59	
ПК 23+00	0,58	0,58	0,58	0,57	

ПК 24+00	0,58	0,56	0,56	0,55	
ПК 25+00	0,55	0,57	0,58	0,55	
2007 год					
ПК 21+00	0,50	0,50	0,51	0,50	
ПК 22+00	0,52	0,50	0,50	0,51	
ПК 23+00	0,51	0,52	0,51	0,51	0,51
ПК 24+00	0,51	0,52	0,51	0,51	
ПК 25+00	0,50	0,50	0,52	0,50	
1	2	3	4	5	6
2008 год					
ПК 21+00	0,51	0,52	0,50	0,51	
ПК 22+00	0,52	0,50	0,52	0,51	
ПК 23+00	0,51	0,51	0,50	0,52	0,51
ПК 24+00	0,51	0,50	0,51	0,52	
ПК 25+00	0,50	0,50	0,51	0,50	
2009 год					
ПК 21+00	0,53	0,53	0,53	0,54	
ПК 22+00	0,52	0,51	0,50	0,51	
ПК 23+00	0,52	0,52	0,53	0,52	0,52
ПК 24+00	0,51	0,51	0,52	0,53	
ПК 25+00	0,52	0,52	0,53	0,52	
2010 год					
ПК 21+00	0,55	0,54	0,54	0,53	
ПК 22+00	0,50	0,51	0,50	0,52	0,53
ПК 23+00	0,52	0,53	0,52	0,52	
ПК 24+00	0,53	0,53	0,53	0,54	

Примечание. $f1$ – левая полоса наката, (1,0 м от оси проезжей части); $f2$ – правая полоса наката (2,6 м от оси проезжей части).

Приложение 9. Согласие соавторов научных публикаций

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS
СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Olegas Prentkovskis**, publikacijos – **Use of steel slags in automobile road construction** – bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transporto ir kelių eksploataciniams rodikliams**.

Я, **Олег Прентковский**, соавтор научной публикации – **Use of steel slags in automobile road construction** – признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог**.

Olegas Prentkovskis / *Олег Прентковский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. balandžio 15 d. / *15 апреля 2013 г.*

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS
СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Raimundas Junevičius**, publikacijos – **Use of steel slags in automobile road construction** – bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transporto ir kelių eksploataciniams rodikliams**.

Я, **Раймундас Юнявичюс**, соавтор научной публикации – **Use of steel slags in automobile road construction** – признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог**.

Raimundas Junevičius / *Раймундас Юнявичюс*

(parašas / *подпись*)

2013 m. balandžio 15 d. / *15 апреля 2013 г.*

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Татьяна Химерик**, publikacijos - **Деякі особливості використання хлоридів при зимовому утриманні автомобільних доріг** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Татьяна Химерик**, соавтор научной публикации - **Деякі особливості використання хлоридів при зимовому утриманні автомобільних доріг** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Татьяна Химерик / *Татьяна Химерик*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 29 d. / 29 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Татьяна Химерик**, publikacijos - **Підвищення транспортно-експлуатаційного стану доріг шляхом використання сучасних матеріалів** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Татьяна Химерик**, соавтор научной публикации - **Підвищення транспортно-експлуатаційного стану доріг шляхом використання сучасних матеріалів** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Татьяна Химерик / *Татьяна Химерик*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 29 d. / 29 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Татьяна Химерик**, publikacijos - **Повышение трещиностойкости и шероховатости дорожных покрытий путем использования битумно-полимерных композиции** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Татьяна Химерик**, соавтор научной публикации - **Повышение трещиностойкости и шероховатости дорожных покрытий путем использования битумно-полимерных композиции** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Татьяна Химерик / *Татьяна Химерик*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 29 d. / 29 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Татьяна Химерик**, publikacijos - **Базальтоволоконні сітчасті прошарки для підсилення проїзної частини і узбіч** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я,**Татьяна Химерик**, соавтор научной публикации - **Базальтоволоконні сітчасті прошарки для підсилення проїзної частини і узбіч** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Татьяна Химерик / *Татьяна Химерик*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 29 d. / 29 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Вадим Кожушко**, publikacijos - **Деякі особливості використання хлоридів при зимовому утриманні автомобільних доріг** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Вадим Кожушко**, соавтор научной публикации - **Деякі особливості використання хлоридів при зимовому утриманні автомобільних доріг** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Вадим Кожушко / *Вадим Кожушко*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 28 d. / 28 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Виктор Рева**, publikacijos - **Підвищення транспортно-експлуатаційного стану доріг шляхом використання сучасних матеріалів** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Виктор Рева**, соавтор научной публикации - **Підвищення транспортно-експлуатаційного стану доріг шляхом використання сучасних матеріалів** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Виктор Рева / *Виктор Рева*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 29 d. / 29 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Валерий Вырожемский**, publikacijos - **Повышение трещиностойкости и шероховатости дорожных покрытий путем использования битумно-полимерных композиции** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Валерий Вырожемский**, соавтор научной публикации - **Повышение трещиностойкости и шероховатости дорожных покрытий путем использования битумно-полимерных композиции** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Валерий Вырожемский / *Валерий Вырожемский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 28 d. / 28 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Валерий Вырожемский**, publikacijos - **Поверхневі обробки з армованих цементобетонних сумішей типу НРСМ** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Валерий Вырожемский**, соавтор научной публикации - **Поверхневі обробки з армованих цементобетонних сумішей типу НРСМ** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Валерий Вырожемский / *Валерий Вырожемский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 28 d. / 28 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Валерий Вырожемский**, publikacijos - **Деякі особливості використання хлоридів при зимовому утриманні автомобільних доріг** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Валерий Вырожемский**, соавтор научной публикации - **Деякі особливості використання хлоридів при зимовому утриманні автомобільних доріг** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Валерий Вырожемский / *Валерий Вырожемский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 28 d. / 28 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS
СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Andrii Bieliatynskyi**, publikacijos – **Use of steel slags in automobile road construction** – bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transporto ir kelių eksploataciniams rodikliams**.

Я, **Андрей Белятынский**, соавтор научной публикации – **Use of steel slags in automobile road construction** – признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог**.

Andrii Bieliatynskyi / *Андрей Белятынский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kovo 26 d. / *26 марта 2013 г.*

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Andrii Bieliatynskyi**, publikacijos - **Исследование транспортно-эксплуатационных показателей дорожных покрытий из асфальтобетона из шлаковых материалов в зимний период** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Андрей Белятынский**, соавтор научной публикации - **Исследование транспортно-эксплуатационных показателей дорожных покрытий из асфальтобетона из шлаковых материалов в зимний период** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Andrii Bieliatynskyi / *Андрей Белятынский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 26 d. / 26 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Andrii Bieliatynskyi**, publikacijos - **Використання відвальних шлаків різних виробництв в дорожньому будівництві** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Андрей Белятынский**, соавтор научной публикации - **Використання відвальних шлаків різних виробництв в дорожньому будівництві** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Andrii Bieliatynskyi / *Андрей Белятынский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 26 d. / 26 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Andrii Bieliatynskyi**, publikacijos - **Применение трехмерных георешеток для стабилизации переувлажненных грунтов на Украине** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Андрей Белятынский**, соавтор научной публикации - **Применение трехмерных георешеток для стабилизации переувлажненных грунтов на Украине** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Andrii Bieliatynskyi / *Андрей Белятынский*

(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 26 d. / 26 марта 2013 г.

MOKSLO PUBLIKACIJOS BENDRAAUTORIAUS SUTIKIMAS

СОГЛАСИЕ СОАВТОРА НАУЧНОЙ ПУБЛИКАЦИИ

Aš, **Andrii Bieliatynskyi**, publikacijos - **Использование отвальных шлаков разных производств в дорожном строительстве** - bendraautorius, pripažįstu **Katerynos Krayushkinos** autorinį indėlį bendroje publikacijoje ir neprieštarauju, kad bendraautorius publikacijoje skelbtą medžiagą jo autorinio indėlio ribose teiktų savo mokslo daktaro disertacijoje – **Asfalto dangų su šlakais savybių įtaka automobilių transport ir kelių eksploataciniams rodikliams.**

Я, **Андрей Белятынский**, соавтор научной публикации - **Использование отвальных шлаков разных производств в дорожном строительстве** - признаю и подтверждаю авторский вклад **Екатерины Краюшкиной** в научную публикацию и не возражаю, чтобы соавтор использовал материалы совместной публикации в своей диссертации доктора наук – **Влияние свойств асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами на транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог.**

Andrii Bieliatynskyi / *Андрей Белятынский*

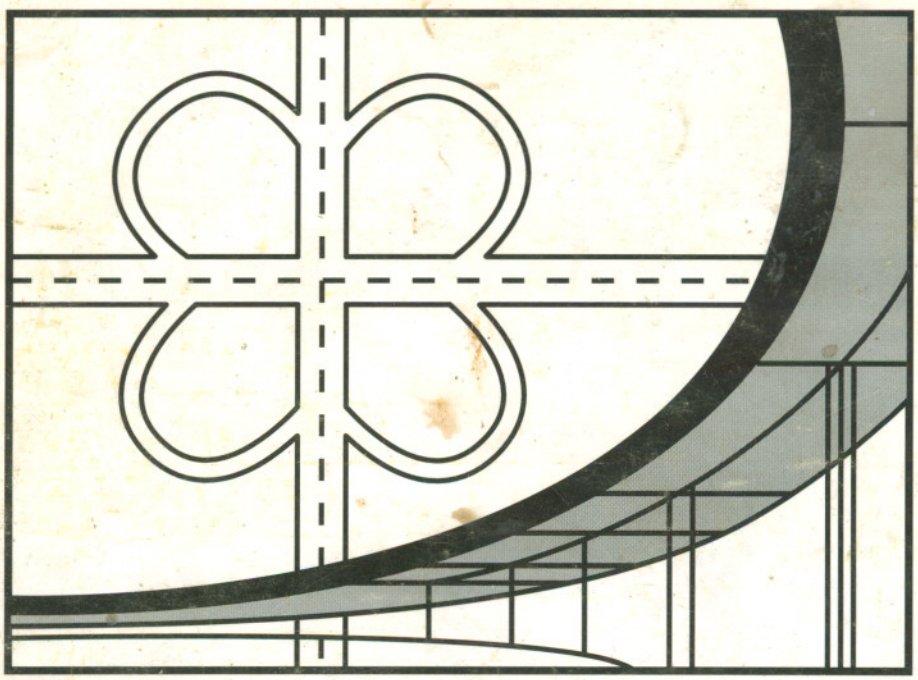
(parašas / *подпись*)

2013 m. kolo 26 d. / 26 марта 2013 г.

Приложение 10. Копии публикаций автора

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ І ДОРОЖНЄ БУДІВНИЦТВО

2001 ВИПУСК 62



УДК 625.7/8
© 2001

Краюшкіна К.В.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО СТАНУ ПОВЕРХОНЬ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ РУХУ ПІШОХОДІВ

В містах пішохідні поверхні займають значні території і складаються з тротуарів, пішохідних і велосипедних доріжок.

Головним експлуатаційним показником поверхонь, призначених для руху пішоходів є шорсткість, яка забезпечує зчеплення з підошвою взуття людини і тим самим безпеку та комфортність руху.

Забезпечення шорсткості напротязі всього нормативного строку служби складна задача, вирішення якої залежить від вибору раціональної конструкції дорожнього одягу тротуарів, пішохідних та велосипедних доріжок, та матеріалу з якого вони виготовлені.

Найбільш розповсюдженим матеріалом для влаштування пішохідних поверхонь в містах був асфальтовий бетон, який використовувався на 90 % території.

Але в наш час поступово збільшуються обсяги улаштування тротуарів з бетонних плит марки ФЕМ різної форми та кольору.

Укладання плит на перший погляд має свої переваги в порівнянні з асфальтобетоном — це естетичний зовнішній вигляд, більш екологічно чистий спосіб укладання і ремонту, можливість вторинного використання і т. інш. Але відповідність плит марки ФЕМ умовам безпеки руху пішоходів не вивчилась.

Мета даної роботи полягає у встановленні шорсткості плит ФЕМ, укладених на тротуарі по вул. Січневого повстання в залежності від погодних умов.

Авторами при проведенні досліджень визначався коефіцієнт зчеплення плит ФЕМ сірого та червоного кольорів, що виготовляються на ЗБІ ім. С.Ковальської та були укладені восени 1998 року.

Вимірювання проводились за допомогою маятникового приладу типу МП-3. Для визначення динаміки змін шорсткості плит ФЕМ перші вимірювання були проведені в січні місяці 2000 р. (перший етап).

Плити ФЕМ укладались без урахування вихідного коефіцієнта зчеплення. Враховуючи те, що в діючих нормативних документах для

міських доріг та вулиць [1] відсутній показник коефіцієнта зчеплення φ для тротуарів, у своїх вимірах автори порівнювали отримані значення з показником коефіцієнта зчеплення для покриттів автомобільних доріг [2].

На першому етапі вимірювання коефіцієнта зчеплення проводились на плитах ФЕМ з різним станом поверхні, а саме: мокра від відтавання

Таблиця 1

Результати вимірювання коефіцієнта зчеплення плит ФЕМ (перший етап)

№ п/п	Тип і стан покриття	φ
	Поверхня мокра від відтавання снігу	<0,2
	Поверхня вкрита мокрим піском товщиною 1—2 мм	<<0,2
	Поверхня вкрита мокрим піском товщиною в 1 зерно	0,3
	Поверхня витерта до сухого стану, є мокрий пісок	0,28
	Поверхня з намерзлим льодом	0,2
	Поверхня посипана свіжим піском	<<0,2
	Поверхня протерта ганчіркою до майже сухого стану	<<0,2
	Асфальтобетон дрібнозернистий	0,4

Таблиця 2

Результати вимірювання коефіцієнта зчеплення плит ФЕМ (другий етап)

№ п/п	Тип і стан покриття	φ
1	Поверхня мокра від відтавання снігу	<0,2
2	Поверхня вкрита мокрим снігом товщиною 0,5 мм	<<0,2
3	Поверхня вкрита мокрим ущільненим піском	0,28
4	Поверхня мокра від відтавання снігу	0,30
5	Поверхня з намерзлим льодом	0,2
6	Поверхня посипана свіжим піском	<<0,2
7	Поверхня протерта ганчіркою до майже сухого стану	<<0,2
8	Поверхня вимита від бруду	0,2

снігу, вкрита мокрим снігом, намерзлий лід, посипана свіжим піском, витерта ганчіркою, але з наявністю мокрого піску , витерта ганчіркою до майже сухого стану.

Аналіз табл. 1, виявив, що показник зчеплення плит ФЕМ, які досліджувались, значно менший нормативного і знаходиться в межах 0,2—0,3.

Деяке підвищення φ спостерігається на плитах ФЕМ, вкритих мокрим піском 0,2—0,28, що перевищує значення на плитах, витертих ганчіркою до майже сухого стану, < 0,2. Але при зменшенні товщини шару піску приблизно до одного зерна виникає ефект прокочування між поверхнею приладу і поверхнею плити, що призводить до зниження φ.

Для мокрої поверхні плит ФЕМ сірого і червоного кольорів $\varphi <$ 0,2, що збігається з значенням показника зчеплення на поверхні, яка вкрита мокрим піском. Тобто влітку від дощу плити є такими ж небезпечними для руху пішоходів, як і зимою від снігу.

Подібне значення $\varphi < 0,2$ отримане на поверхні з намерзлим льодом, але небезпека, яку створює льодова поверхня для руху пішоходів, підвищується в декілька разів.

Навіть поверхня плит, витерта ганчіркою до майже сухого стану, має значно меншу шорсткість $\varphi < 0,2$ ніж традиційний матеріал — асфальтобетон $\varphi = 0,4$.

Другий етап вимірювань проводили через рік, у січні 2001 р. Результати дослідів наведені в табл. 2.

З табл. 2 видно, що значення показника зчеплення з часом значно не змінилося, тобто плити є достатньо кліматично-зносостійкими.

Значення φ більше на плитах червоного кольору. Підвищилось значення φ на плитах, що витерті ганчіркою до майже сухого стану.

Для виявлення шляхів підвищення шорсткості плит ФЕМ авторами були проведені також виміри φ на стиках плит. Незалежно від кольору плит $\varphi = 0,3$—$0,35$.

Це підтверджує припущення авторів, що збільшити шорсткість плит можна за рахунок нанесення рифлення визначеної форми та розміру.

Література:

1. *Технічні* правила ремонту та утримання міських вулиць та доріг.- Держ. Комітет України по житлово-комунальному господарству.-Київ, 1995.
2. ДСТУ 3587—97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Державний стандарт України. — Київ, 1997.

ISSN 1648-4142 print

Volume 27 Number 2 June 2012

TRANSPORT

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

TRANSPORT
ISSN 1648-4142 print / ISSN 1648-3480 online
2012 Volume 27(2): 129–137
doi:10.3846/16484142.2012.690093

USE OF STEEL SLAGS IN AUTOMOBILE ROAD CONSTRUCTION

Kateryna Krayushkina[1], Olegas Prentkovskis[2], Andrii Bieliatynskyi[3], Raimundas Junevičius[4]

[1,3]Dept of Airport Reconstruction and Automobile Roads, Institute of Airports, National Aviation University, Kosmonavta Komarova ave 1, 03680 Kiev, Ukraine
[2,4]Dept of Transport Technological Equipment, Vilnius Gediminas Technical University, Plytinės g. 27, LT-10105 Vilnius, Lithuania
E-mails: [1]ekrayushkina@yandex.ua (corresponding author); [2]olegas.prentkovskis@vgtu.lt; [3]beljatynskij@mail.ru; [4]raimundas.junevicius@vgtu.lt

Submitted 16 January 2012; accepted 7 March 2012

Abstract. Building and, especially, reconstruction and repairs of highways, call for the development of stone materials manufacturing industry. Increasing need for stone materials may be satisfied by a wide use of industrial waste and secondary resources. In road building, slag of ferrous and nonferrous metallurgy is one of the most popular wastes which are increasingly widespread with every year. Such slag is a valuable raw material for preparation of macadam materials and mineral binders serving as a base for asphalt concrete mixtures and manufacturing of cement emulsions, which are widely used in road paving. The research focused on the use of different types of slag in road construction in Ukraine. Possibilities of using crushed rock and sand as recrement slag of different production for preparation of asphalt concrete and cement mixtures to be used for road-base was studied, as well as the use of slag materials for construction of lower category roads. In the given work, the opportunity to recycle electric furnace steel-smelting slag for preparation of asphalt concrete mixtures was defined.

Keywords: automobile road, construction, slag, asphalt concrete, mixture.

1. Introduction

As a constituent part of the national infrastructure, transport has to satisfy human and economic needs in terms of freight transportation and passenger carriage. The transport sector is the underpinning element of supply chains of all industries. Transport services are used by all economic and non-productive activity sectors without any exception.

Development of the transport system is a positive factor for social and economic development of a country. Presently, economic development is hardly possible without an efficient transport system (providing both local and international services). Elements of the transport system and their interaction are described by Sivilevičius (2011).

Sustainable functionality of the transport system is not possible without the following three key components:

- traffic (or freight) participants;
- vehicles;
- transport infrastructure (roads and terminals).

Traffic safety largely depends on vehicles, traffic participants and road infrastructure (Lazda, Smirnovs 2011; Wang *et al.* 2011; Dargužis *et al.* 2011; Sapragonas, Makaras 2011; Zariņš 2011; Keršys *et al.* 2011; Sapragonas, Dargužis 2011; Discetti 2010; Černiauskas *et al.* 2010; Haritonovs *et al.* 2010; Prentkovskis *et al.* 2010; Antov *et al.* 2009; Sokolovskij *et al.* 2007; Pečeliūnas, Prentkovskis 2006; Ibitoye *et al.* 2006, etc.).

As mentioned above, the transport system is inconceivable without a properly developed road network (Dell'Acqua, Russo 2011; Miandoabchi, Farahani 2011; Sohn 2011; Gintalas 2010; Santos *et al.* 2010; Jia *et al.* 2009, etc.) with high-quality coverings (Sivilevičius *et al.* 2011; Sivilevičius 2011; Sivilevičius, Vislavičius 2008, etc.), which deteriorate over time and must be maintained using properly selected technologies and materials (Čygas *et al.* 2011; Mučinis *et al.* 2009; Sivilevičius, Šukevičius 2007, etc.).

Building and, especially, reconstruction and repairs of highways call for the development of stone materials manufacturing industry.

Copyright © 2012 Vilnius Gediminas Technical University (VGTU) Press Technika
http://www.tandfonline.com/TRAN

Increasing need for stone materials may be satisfied by a wide use of industrial waste and secondary resources. In road building, slag of ferrous and nonferrous metallurgy is one of the most popular wastes which are increasingly widespread with every year.

Accumulation of a considerable quantity of secondary materials in the form of slag and the necessity to utilise this slag resulted in a number of works seeking for possibilities to use such slag for road construction.

Due to certain properties (chemical, mineralogical structure and frost resistance), slag is a valuable raw material for preparation of macadam materials and mineral binders serving as a base for asphalt concrete mixtures and manufacturing of cement emulsions, which are widely used in road paving.

As cement, crushed materials and mineral powder require considerable material and energy resources at production, use of slag as replacement material will result in considerable reduction in fuel, electric power and manpower costs. In general, the cost price of road-building materials manufactured from slag is 2 times lower in comparison to similar products manufactured from natural rock materials.

Thus, the necessity and urgency for slag recycling in the area of road construction involving considerable materials consumption is beyond question.

2. Literature Review

The problem of utilising (or using) steel (or other metal) slag as an aggregate in asphalt mixtures or for road construction has been investigated by researchers of various countries for many years now. A survey of some papers, dealing with the mentioned problem directly or in-directly, is provided below.

A research carried out in the USA by Hunt and Boyle (2000) described that in 1994, steel slag test and control sections were constructed in Oregon to evaluate the use of steel slag in hot mix asphalt concrete (HMAC). The research covers the construction and five-year performance of a pavement constructed with 30% steel slag. Asphalt concrete can be produced and the pavement constructed readily when crushed steel slag is used as a portion of the aggregate. If the unit cost of steel slag modified mixes is the same as conventional dense graded mixes, overall project costs may increase because of the decrease in coverage by the heavier steel slag mix. For the test section of HMAC constructed with 30% steel slag, the coverage was 15% less than a conventional 'B' mix. Reported increased resistance to rutting and improved skid resistance was not measured during the five years the pavements have been monitored. The differences between the two sections may not be measurable because only 30% steel slag was used in the test mix and the slag was finer than the conventional ½- to ¼-inch (12.7÷6.3 mm) material it replaced. To date, both the control and test sections are performing satisfactorily.

Another research carried out in Turkey by Ahmedzade and Sengoz (2009) presents the impact of steel slag as a coarse aggregate on the properties of hot mix asphalt. Four different asphalt mixtures containing two types of asphalt cement (AC-5 and AC-10) and coarse aggregate (limestone and steel slag) were used to prepare Marshall specimens and to determine the optimum bitumen content. Mechanical properties of all mixtures were evaluated by Marshall stability, indirect tensile stiffness modulus, creep stiffness, and indirect tensile strength tests. The electrical sensitivity of the specimens was also investigated in accordance with ASTM D257-91. It was observed that steel slag used as a coarse aggregate improved the mechanical properties of asphalt mixtures. Moreover, volume resistivity values demonstrated that the electrical conductivity of steel slag mixtures was better than that of limestone mixtures.

A research carried out by a group of Slovenian and Croatian scientists (Sofilić *et al.* 2011) aimed to explore the feasibility of utilising steel slag as aggregates in asphalt mixtures. Characterisation of electric arc furnace slag was carried out through examination of its physical and chemical properties with a special emphasis on chemical and structural characteristics. Optical microscopy, x-ray diffraction, scanning electron microscopy, energy dispersive spectrometry and γ-spectrometric analysis were employed to study the texture, morphology and composition of steel slag. Volume properties of steel slag were also evaluated as compared to those of natural aggregates. For this purpose, the specimens of electric arc furnace slag were taken from the regular production processes in Croatian steel mill. The results which were obtained by testing geometric, physical-mechanic properties, as well as the properties of duration on the specimen of electric furnace steel slag of Croatian steel mill, when compared to steel slag properties of other steel producers (steel mills in Slovenia) and with properties of natural aggregates, have satisfied the conditions for manufacturing mixtures of the tested steel slag and natural stone, which can be used in asphalt production. In comparison to the natural aggregates, which are used in asphalt mixtures on highways and roads with heavy traffic, the examined steel slag has equally good physical and mechanical properties, while it is significantly better when it comes to resistance to polishing. Special attention has been given to the free CaO and free MgO, which can cause volume instability, thus limiting the use of steel slag in road construction.

A research carried out by Jordanian researchers (Asi *et al.* 2007) was intended to study the effectiveness of using steel slag aggregate in improving the engineering properties of locally produced asphalt concrete mixtures. There are three major steel-manufacturing factories in Jordan. All of their by-product – steel slag – is dumped randomly in open areas, causing many environmental hazards. The research started by evaluating the toxicity and chemical as well as physical properties of the steel slag. Then 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% of the limestone coarse aggregate in the asphalt concrete mixtures was replaced by the steel slag aggregate. The effectiveness of the steel slag aggregate was judged by the improvement in indirect tensile strength, resilient modulus, rutting resistance, fatigue life, creep modulus, and stripping

resistance of the asphalt concrete samples. It was found that replacing up to 75% of the limestone coarse aggregate by SSA improved the mechanical properties of the asphalt concrete mixtures. The results also showed that the 25% replacement was the optimal replacement level.

In a research, which was carried out by American and Australian researchers (Wang *et al.* 2011), air-cooled nickel slag was evaluated for highway construction applications as an aggregate in hot-mix asphalt. The air-cooled nickel slag is a liquid co-product of nickel production that is solidified under ambient conditions. The laboratory evaluation programme, which was carried out to determine the characteristics of the air-cooled nickel slag, included testing of physical and mechanical properties, petrographic examinations, and hot-mix asphalt mixture designs. Accelerated laboratory testing was completed on the mixtures by using an asphalt pavement analyser to assess their performance characteristics. Additional testing included autoclave disruption tests for free lime and free magnesia, chemical and mineralogical analyses, polished stone value, and aggregate abrasion value. This study indicated that suitably processed nickel slag was environmentally, mineralogically, and physically stable. From the accelerated laboratory testing that was completed, it was concluded that the air-cooled nickel slag was suitable for use as coarse and fine aggregates in hot-mix asphalt. The research also presents the use of nickel slag in highway construction.

A research carried out by Omani scientists (Hassan, Al-Jabri 2011) reports a laboratory study investigating the use of granulated copper slag as a fine aggregate in hot-mix asphalt concrete. Marshall-mix design was performed on different blends of aggregate containing up to 40% copper slag. The dynamic modulus E* test, as a primary material property input in the Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide (ME-PDG), was conducted at different frequencies (0.1 to 16 Hz) and temperatures (25 to 60°C). E* master curves and shift factors were developed for the control and slag mixes. The developed curves were compared with the Witczak predictive E* model for Levels 2 and 3 of the ME-PDG. The results indicated strength reduction as slag content increases in the mixtures compared to the control mixture. The developed master curves and shift factors were compared with the Witczak predictive model. The results of stripping potential evaluated by the indirect tensile strength indicated a reduction in strength, but the tensile-strength ratio was superior to that of the control mixture. The results indicated a good potential for using copper slag as an aggregate in asphalt mixtures and provided the essential material characterisation for using the material in the ME-PDG method.

Summarising, steel slag aggregate is a 100% recycled and engineered product with a great potential as replacement to naturally occurring aggregates in road construction projects due to its physical and chemical properties. Most projects involving steel slag aggregate were incorporating this aggregate type in lower quality applications such as road-base rather than wearing course. However, steel slag aggregate was reported to exhibit higher porosity, superior adhesion with binder due to its surface structure and chemical content, and favourable shapes. Pore continuity in steel slag aggregate may improve water permeability in asphalt mixtures and improve skid resistance and aquaplaning, while the superior adhesion with bitumen may address the problem of stripping and moisture related damage on pavement. These characteristics may improve the performance of asphalt mixtures and road safety level. Carried out studies also suggested that asphalt mixtures incorporating steel slag aggregate may also improve rutting and cracking resistance. From the economic point of view, utilisation of steel slag as road construction aggregate may reduce the cost of extracting and processing naturally occurring aggregates. The steel industry may also reduce costs for treatment and disposing of a vast number of steel slag stockpiles. With increasing pavement lifespan, the maintenance cost might also reduce, thus providing more funds for other development projects. On its impact at preserving the environment, utilisation of steel slag aggregate in various ways may directly reduce both the dependence on naturally occurring aggregate and the number of raw material-extracting projects. On the other hand, incorporating steel slag in road construction projects may reduce areas required for landfilling (Li *et al.* 2012; Takahashi *et al.* 2011; Schram 2011; Haritonovs *et al.* 2010; Deniz *et al.* 2010; Shen *et al.* 2009; Shatnawi *et al.* 2008; Chaurand *et al.* 2007; Wu *et al.* 2007; Yeremin 2000; Kandhal, Hoffman 1997).

3. Experience of Ukraine and the Research by Authors

In the previous century, the *Draft State National Program* on slag recycling to be applied in road construction was developed in Ukraine.

Since then, slag wastes have been actively used in other industry branches; however the road construction sector had practically no access to these materials. Nowadays, the use of slag materials in road construction and road repair is gaining urgency again.

During the recent years, metallurgical and phosphoric slag has been increasingly used in road construction. Metallurgical slag is usually classified into ferrous (black) and nonferrous slag. Ferrous metallurgical slag is classified into blast-furnace, steel-smelting and ferroalloy types.

The slag structure is the principal factor defining properties of slag, depending on the chemical compound and the cooling mode.

In blast furnace, the crystallised part of slag is presented by more than twenty minerals, with their density exceeding 3 g/cm^3.

Electric steel-smelting slag has a dense micro-porphyric structure, and basically consists of silicates with admixtures of other minerals. Nonferrous metallurgical slag has a vitreous crystallised structure. Phosphoric slag is of a light grey colour. The slag mass is completely crystallised.

The research focused on the use of different types of slag in road construction in Ukraine.

Possibilities of using crushed rock and sand as recrement slag of different production for preparation of asphalt concrete and cement mixtures to be used for road-base was studied, as well as the use of slag materials for construction of lower category roads.

In the given work, the opportunity to recycle electric furnace steel-smelting slag for preparation of asphalt concrete mixtures was defined.

The research was conducted in the following direction:

- the entire mineral part of mixture was replaced with slag materials, i. e. crushed material of 5÷15 grading fraction;
- chipping of 0÷5 grading fraction and mineral powder;
- crushed material and chipping of granite material, slag mineral powder.

The tests were executed using asphalt concrete of type 'B', as the most widespread raw material used for arrangement of wearing surface of road pavement for highways of 1-st and 2-nd categories.

The research was conducted using the following scheme:

- definition of physical and mechanical properties and chemical compound of electric steel-smelting slag of both, crushed material and mineral powder;
- adhesion to bitumen;
- physical and mechanical properties of asphalt concrete.

4. Experimental Research

Experimental research was performed in the laboratory. Chemical compound of electric furnace steel-smelting slag is presented in Table 1 and Fig. 1.

On the basis of chemical compound data, lime factor (M_o), activity module (M_a) and quality factor (K), characterising the hydraulic activity of slag, are estimated:

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{31.0 + 9.0}{28.3 + 12.0} = 0.99;$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} = \frac{12.0}{28.3} = 0.42;$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2} = \frac{31.0 + 12.0 + 9.0}{28.3} = 1.84.$$

Depending on the quality factor and content of compounds, all kinds of slag are divided into three grades, according to the Ukrainian Standard GOST 3476-74 (Table 2 and Fig. 2).

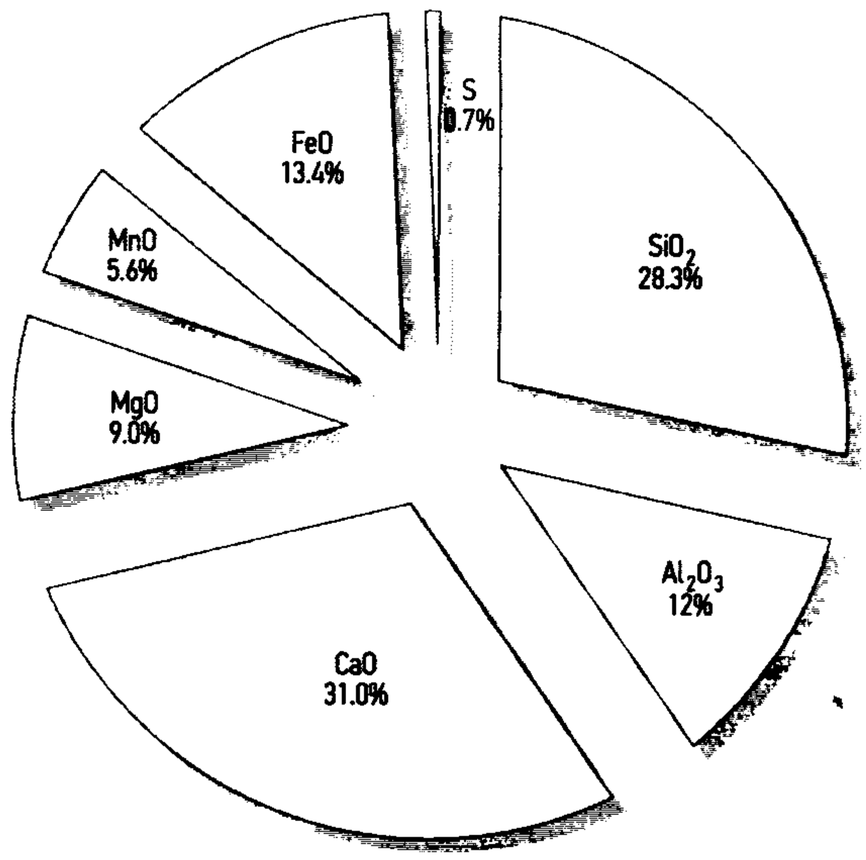


Fig. 1. Chemical compound of electric furnace steel-smelting slag

Table 2. Slag grades

Indicator	Grade		
	1-st	2-nd	3-rd
Quality factor K (Fig. 3), not less than	1.65	1.45	1.20
Content of Al_2O_3 [%], not less than	8.00	7.00	not normalised
Content of MgO [%], not more than	15.00	15.00	15.00
Content of TiO_2 [%], not more than	4.00	4.00	4.00
Content of MnO [%], not more than	2.00	4.00	4.00

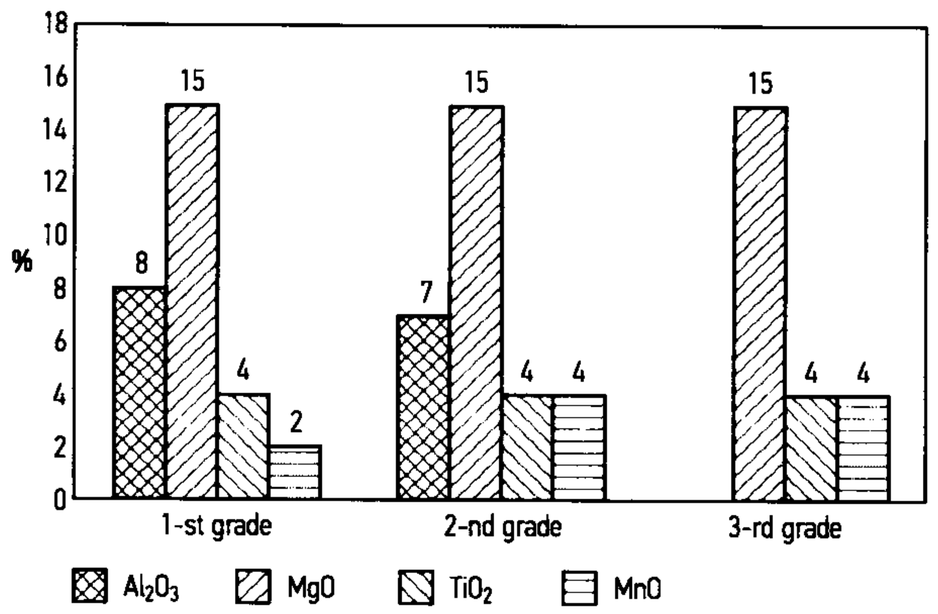


Fig. 2. Slag analysis depending on compounds inclusion, according to the Ukrainian Standard GOST 3476-74

Table 1. Chemical compound of electric furnace steel-smelting slag

Material	Chemical compound [%]							Lime factor, M_o
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	S	
Electric furnace steel-smelting slag, dense fine-grained material of grey colour	28.3	12.0	31.0	9.0	5.6	13.4	0.7	1.1

urnace

3-rd
1.20
not normalised
15.00
4.00
4.00



nclusion,
476-74

me factor, M_0
1.1

ving analysed the data given in Tables 1 and 2, come to a conclusion, that for research pur- basic electric steel-smelting slag (SiO_2 < 28.3%, with a surface specific for igneous rocks, as well stant chemical compound, is agreeable. Neither products or metal granules nor other impurity ces were revealed. As a whole, the chemical com- of electric steel-smelting slag is similar to natural stone materials of basaltic type. According to lity factor (K = 1.84), the material corresponds 1-st grade, except for MnO content (5.6%) that is tficantly increased.

According to the Departmental Building Rules V.2.3-218-189:2005, electric steel-smelting slag sted for the research represents a mixture of e-grained crushed material and is considered as c material, which can be used in road construc- r arrangement of road pavement reinforced with , inorganic (cement and lime) and organic (bitu-) binders.

At the use of electric steel-smelting slag with a high enting capacity and ability to create a monolithic rproof basis at compaction and humidifying, ce- t and lime react as activators.

Physical and mechanical properties of crushed terial produced from electric steel-smelting slag are presented in Table 3. For comparison, parallel trials of granite crushed material, taken from the *Klesivsky Quarry* (Ukraine) were executed.

Having analysed the data presented in Table 3, we may come to a conclusion, that physical and mechanical properties (strength, crushability and water absorption) of crushed material produced from recrement slag are higher, than the ones of granite, and they meet the requirements of the Ukrainian Standard DSTU B V.2.7-74-98, which means that this material can be used for arrangement of pavement layers and for road-base manufacturing.

It is known that binding properties of slag produced by metallurgical plants are characterised and defined using the following indicators:

- hydraulicity – strength at compression of samples produced by tamping the mix of crushed slag and water;
- resistance to disintegration of slag mix samples in water;
- swelling of slag (mineral) powder;
- hardening time.

Definition of these indicators was carried out and the research results are presented in Table 4.

Having analysed the data presented in Table 4, we may come to a conclusion, that electric steel-smelting slag has sufficient binding properties, which will prolong working life and enhance strength of constructive layers of road pavements when applied.

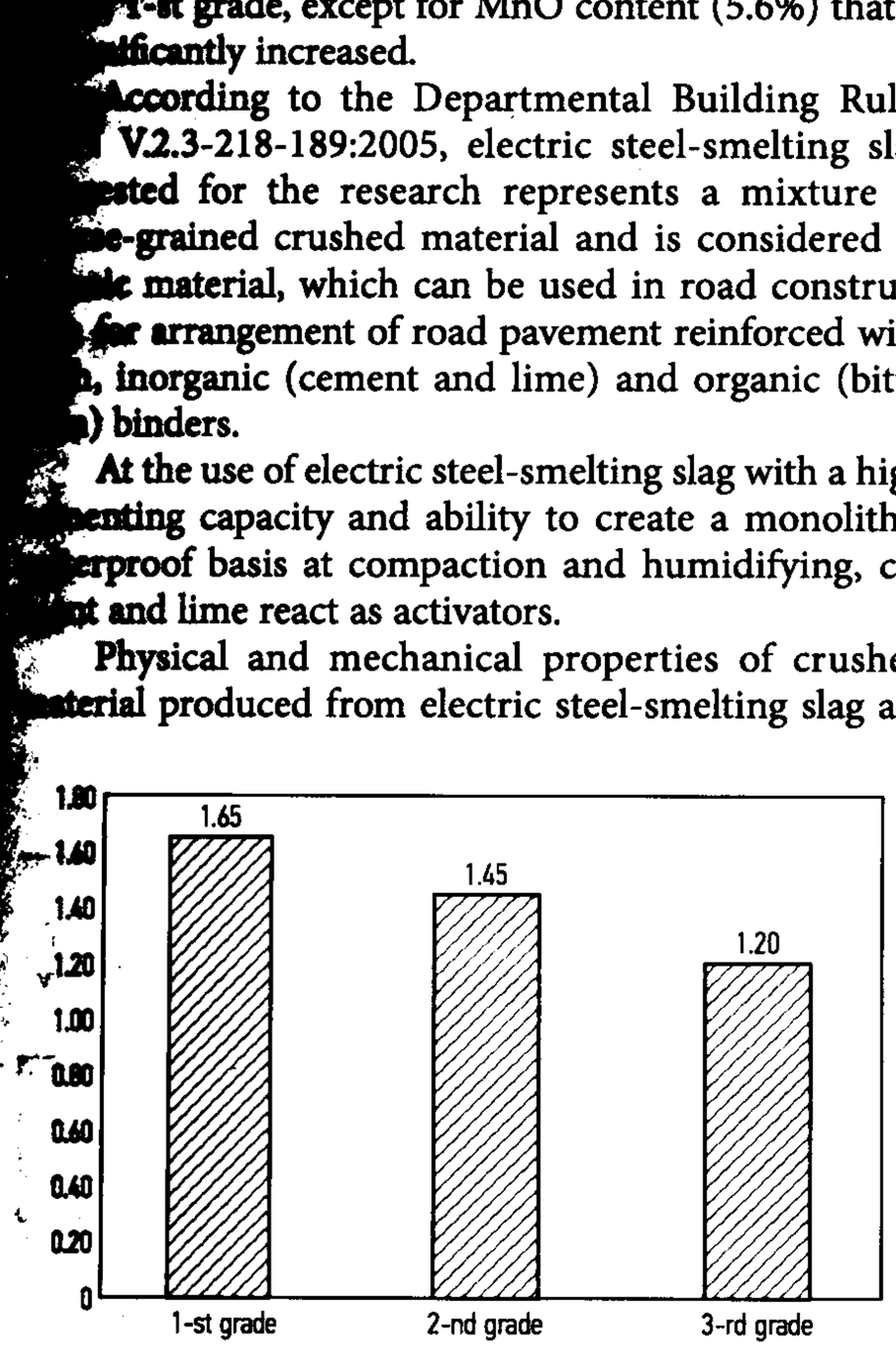


Fig. 3. Quality factor of slags by grades, according to the Ukrainian Standard GOST 3476-74

Table 4. Binding properties of electric steel-smelting slag

Indicators	Test results
Strength at compression [MPa]	8.5
Resistance to disintegration [%]	
Silicate steel-smelting slag	0.9
Ferrous steel-smelting slag	1.8
Swelling [%], not less than	58
Hardening time (the beginning of hardening), in minutes	14

Table 3. Physical and mechanical characteristics of crushed material produced from electric steel-smelting slag

Indicator	Crushed material produced from electric steel-smelting slag	Granite crushed material (*Klesivsky Quarry*)
Real density [g/cm^3]	3.45	4.20
Average density [g/cm^3]	3.84	4.35
Bulk density [kg/m^3]	1800.00	1850.00
Porosity [%]	5.40	7.50
Water absorption [%]	2.10	3.40
Grade according to frost resistance	High, F 150	High, F 150
Grade according to crushability	M 1200	M 1000
Hardness in 10-point scale [points]	6÷7	–
Grade according to abradability	High, ST-1	High, ST-1
Strength at compression in the cylinder [MPa]	7.40	5.40
Content of lamellar (hearth bottom) and needle-shaped grain	Cube-shaped group, 12	Cube-shaped group, 15
Clay content in clots	–	–

Due to the fact that crushed material and mineral powder produced from slag will be used for preparation of asphalt concrete mixtures, the research of organic binder (bitumen) adhesion properties was carried out.

The research results are presented in Table 5.

According to Table 5, it is obvious that high adhesion of a binder film is retained not at all crushed material surfaces (5 points).

It should also be noted that in case of granite crushed material, the indicator of adhesion is lower.

The procedure of defining physical and mechanical properties of mineral powder produced from slag was carried out according to the Ukrainian Standard DSTU B V.2.7-121-2003.

The research results are presented in Table 6 and Fig 4.

According to the Ukrainian Standard DSTU B V.2.7-121-2003, mineral powder produced from electric steel-smelting slag meets the requirements for powders of 1-st grade, as not activated.

Then, the research on physical and mechanical properties of asphalt concrete of types 'A' and 'B', of asphalt concrete (1-st grade and 2-nd grade) mixture was conducted:

- includes the entire mineral part of slag material (1-st grade);
- crushed material produced from slag, mineral powder produced from electric steel-smelting slag (2-nd grade).

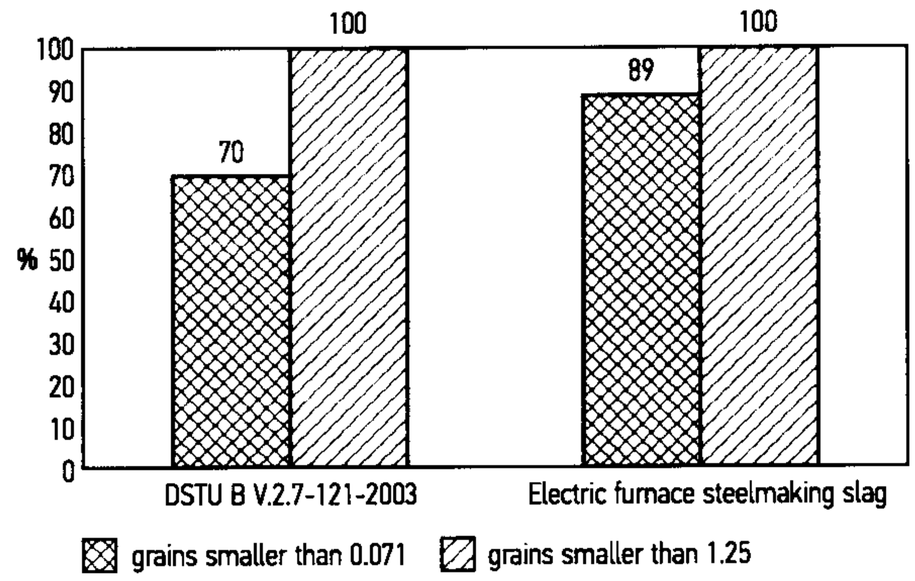


Fig. 4. Content of particles [% of mass] according to the Ukrainian Standard DSTU B V.2.7-119-2003

The research results are presented in Table 7 and Fig. 5.

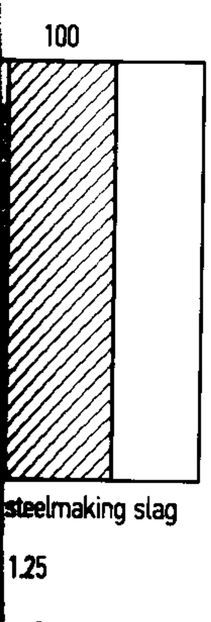
The research results proved that the asphalt concrete mixture with its mineral part produced from slag is characterised by higher strength indicators but lower water saturation and swelling quality indicators.

Table 5. Definition of cohesion ability of the surface of crushed material produced from slag with bitumen binder (bitumen grade – BND 90/130)

Properties of slag grain surface	Mass of slag grain [g]	Mass of slag grain [g]		Properties of bitumen surface film of rock		Assessment of cohesion ability
		Crushed material with binder film	Including binder film after test	Integrity of film binder, [%] of mass	Integrity degree of binder film	
Thoroughly vitreous	104.2	106.5	106.0	48.5	Binder film remained on the crushed material surface over 50%, in some places the thickness reduced	Satisfactory (3 points)
50% of surface is vitreous	56.3	58.2	57.9	49.5	Binder film remained on the crushed material surface over 50%	Satisfactory (3 points)
Rough, partially vitreous	84.5	88.4	88.0	81.0	Binder film remained on the surface of crushed material	Perfectly (5 points)
Thoroughly rough	45.6	45.9	45.8	96.5	Binder film partially disintegrated from the crushed material surface	Perfectly (5 points)

Table 6. Physical and mechanical properties of mineral powder produced from electric steel-smelting slag

Indicators	Requirements according to the Ukrainian Standard DSTU B V.2.7-121-2003	Results obtained
Content of particles [% of mass], not less than grains smaller than 0.071 mm grains smaller than 1.25 mm	 70 100	 89 100
Porosity at compaction of 40 MPa, [% of volume], not more than	35.0	26.4
Swelling of samples produced of powder and bitumen mix [% of volume], not more than	2.5	1.8
Bitumen content indicator[g], not more than	65.0	59.0
Moisture content [% of mass], not more than	1.0	0.8
Density [g/cm^3]	–	2.74
Water repellency factor	–	0.96
Quantity of argillaceous admixture [%], not more than	5.0	4.9



rding to the
9-2003

slag, mineral
-smelting slag

Table 7 and

asphalt con-
ced from slag
ors but lower
tors.

binder

ssessment of
hesion ability

atisfactory
(3 points)

atisfactory
(3 points)

Perfectly
(5 points)

Perfectly
(5 points)

g

Results
obtained

89
100

26.4

1.8

59.0

0.8

2.74

0.96

4.9

Table 7. Physical and mechanical properties of asphalt concrete of the I and II compound

Asphalt concrete mixture	Average density [g/cm^3]	Porosity of mineral skeleton [% of volume]	Water saturation [% of volume]	Swelling [% of volume], not more than	Strength limit at compression [MPa], at temperatures			Water resistance factor
					50°C, not less than	20°C, not less than	0°C, not more than	
1-st grade	2.44	14.2	2.8	0.3	0.9	3.8	9.6	0.98
2-nd grade	2.39	16.1	3.1	0.5	0.6	3.2	10.8	0.92
Requirements according to the Ukrainian Standard DSTU B V.2.7-119-2003	–	15÷19	1.5÷3.5	0.5	1.2	2.5	12.0	0.9

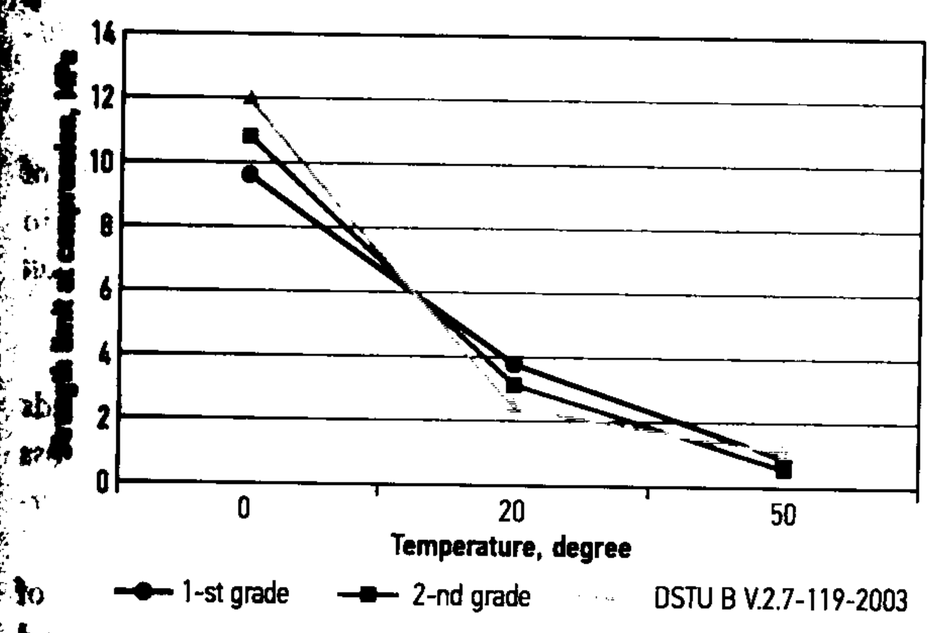


Fig. 5. Changes in compressive strength limit of asphalt concrete of 1-st grade and 2-nd grade, depending on temperature

According to the results of the research, the material may be recommended for preparation of asphalt concrete mixtures to be laid into the base courses of highways of the 1-st and 2-nd categories and for top layers of local roads of the 3-rd and 4-th categories.

5. Conclusions

1. The research showed that the electric furnace steel slag can be used as crushed rock aggregate and mineral powder in road structures for preparation of asphalt mixture. Sufficiently high hydraulic activity allows recommending its use as an inorganic binder with addition of portland cement and lime.
2. Crushed slag, compared with crushed granite, ensures better performance indicators pertaining to road structure layers. For this reason, increase in service life (especially during the first five years) is observed. Thus, due to the use of electric furnace steel slag, durability of road structures can be increased, their cost – significantly reduced, and the construction season – extended.

References

Ahmedzade, P.; Sengoz, B. 2009. Evaluation of steel slag coarse aggregate in hot mix asphalt concrete, *Journal of Hazardous Materials* 165(1–3): 300–305. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.105

Antov, D.; Abel, K.; Sürje, P.; Rõuk, H.; Rõivas, T. 2009. Speed reduction effects of urban roundabouts, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 4(1): 22–26. http://dx.doi.org/10.3846/1822-427X.2009.4.22-26

Asi, I. M.; Qasrawi, H. Y.; Shalabi, F. I. 2007. Use of steel slag aggregate in asphalt concrete mixes, *Canadian Journal of Civil Engineering* 34(8): 902–911. http://dx.doi.org/10.1139/l07-025

Chaurand, P.; Rose, J.; Briois, V.; Olivi, L.; Hazemann, J.-L.; Proux, O.; Domas, J.; Bottero J.-Y. 2007. Environmental impacts of steel slag reused in road construction: A crystallographic and molecular (XANES) approach, *Journal of Hazardous Materials* 139(3): 537–542. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.060

Cristoforou, Z.; Cohen, S.; Karlaftis, M. G. 2010. Vehicle occupant injury severity on highways: an empirical investigation, *Accident Analysis and Prevention* 42(6): 1606–1620. http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.019

Černiauskas, E.; Keršys, A.; Lukoševičius, V.; Sapragonas, J. 2010. Investigation of anti-intrusion beams in vehicle side doors, *Mechanika* (6): 11–16.

Čygas, D.; Mučinis, D.; Sivilevičius, H.; Abukauskas, N. 2011. Dependence of the recycled asphalt mixture physical and mechanical properties on the grade and amount of rejuvenating bitumen, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(2): 124–134. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2011.17

Dargužis, A.; Sapragonas, J.; Pilkauskas, K. 2011. Dynamic processes of a vehicle moving over step-shaped obstacles, *Journal of Vibroengineering* 13(3): 536–543.

Dell'Acqua, G.; Russo, F. 2011. Safety performance functions for low-volume roads, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(4): 225–234. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2011.29

Deniz, D.; Tutumluer, E.; Popovics, J. S. 2010. Evaluation of expansive characteristics of reclaimed asphalt pavement and virgin aggregate used as base materials, *Transportation Research Record* 2167: 10–17. http://dx.doi.org/10.3141/2167-02

Discetti, P. 2010. Experimental analysis on hairpin curves, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 5(3): 148–155. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2010.21

DSTU B V.2.7-74-98. *Krupni zapovniuvachi pryrodni, z vidchodiv promyslovosti, shtuchni dlia budivel'nych materialiv, vyrobiv, konstrukcij i robit* (in Ukrainian).

DSTU B V.2.7-121-2003. *Poroshok mineral'nyj dlia asfaltobetonnych sumishej. Tehnichni umovi* (in Ukrainian).

DSTU B V.2.7-119-2003. *Sumishi asfal'tobetonni i asfaltobeton dorozhnij ta aerodromnyj. Tehnichni umovi* (in Ukrainian).

Gintalas, V. 2010. Possibilities for the improvement of the quality of design solutions in the gravel road reconstruction projects, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 5(3): 177–184. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2010.25

GOST 3476-74. *Shlaki domenni i elektrotermofosforni granul'ovani dlia vyrobnyc'tva cementu* (in Ukrainian).

Haritonovs, V.; Smirnovs, J.; Naudžuns, J. 2010. Prediction of rutting formation in asphalt concrete pavement, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 5(1): 38–42. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2010.05

Hassan, H. F.; Al-Jabri, K. 2011. Laboratory evaluation of hot-mix asphalt concrete containing copper slag aggregate, *Journal of Materials in Civil Engineering* 23(6): 879–885. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000246

Hunt, L.; Boyle, G. E. 2000. *Steel Slag in Hot Mix Asphalt Concrete*. Final Report State Research Project #511. Oregon Department of Transportation. USA. 19 p. Available from Internet: http://www.oregon.gov/ODOT/TD/TP_RES/docs/Reports/SteelSlagHotMix.pdf?ga=t

Ibitoye, A. B.; Hamouda, A. M. S.; Wong, S. V.; Radin, R. S. 2006. Simulation of motorcyclist's kinematics during impact with W-beam guardrail, *Advances in Engineering Software* 37(1): 56–61. http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2004.12.002

Jia, P.; Kato, H.; Hayashi, Y. 2009. Network impact evaluation of the introduction of road and rail to a transport corridor for developing cities, *International Journal of Urban Sciences* 13(1): 81–101. http://dx.doi.org/10.1080/12265934.2009.9693647

Kandhal, P. S.; Hoffman, G. L. 1997. Evaluation of steel slag fine aggregate in hot-mix asphalt mixtures, *Transportation Research Record* 1583: 28–36. http://dx.doi.org/10.3141/1583-04

Keršys, A.; Pakalnis, A.; Lukoševičius, V. 2011. Investigation of occupant fatalities and injuries during the impact of vehicle and road safety barrier, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1): 5–11. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2011.01

Lazda, Z.; Smirnovs, J. 2011. Impact of permitted driving speed on the design of urban street network in Latvia, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(4): 283–288. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2011.36

Li, W.; Sun, P.; Zhang, C. 2012. Laboratory test study on asphalt concrete with steel slag aggregates, *Applied Mechanics and Materials* 152–154: 117–120. http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.117

Miandoabchi, E.; Farahani, R. Z. 2011. Optimizing reserve capacity of urban road networks in a discrete network design problem, *Advances in Engineering Software* 42(12): 1041–1050. http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2011.07.005

Mučinis, D.; Sivilevičius, H.; Oginskas, R. 2009. Factors determining the inhomogeneity of reclaimed asphalt pavement and estimation of its components content variation parameters, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 4(2): 69–79. http://dx.doi.org/10.3846/1822-427X.2009.4.69-79

Pečeliūnas, R.; Prentkovskis, O. 2006. Influence of shock-absorber parameters on vehicle vibrations during braking, *Solid State Phenomena* 113: 235–240. http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.113.235

Prentkovskis, O.; Beljatynskij, A.; Juodvalkienė, E.; Prentkovskienė, R. 2010. A study of the deflections of metal road guardrail post, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 5(2): 104–109. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2010.15

Santos, B. F.; Antunes, A. P.; Miller, E. J. 2010. Interurban road network planning model with accessibility and robustness objectives, *Transportation Planning and Technology* 33(3): 297–313. http://dx.doi.org/10.1080/03081061003732375

Sapragonas, J.; Dargužis, A. 2011. Model of radial deformations of protector of vehicle tire, *Mechanika* 17(1): 21–29. http://dx.doi.org/10.5755/j01.mech.17.1.199

Sapragonas, J.; Makaras, R. 2011. Investigation of movement of the off-road vehicles under roadless conditions, *Journal of Vibroengineering* 13(2): 334–341.

Sivilevičius, H. 2011. Application of expert evaluation method to determine the importance of operating asphalt mixing plant quality criteria and rank correlation, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1): 48–58. http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2011.07

Sivilevičius, H.; Podvezko, V.; Vakrinienė, S. 2011. The use of constrained and unconstrained optimization models in gradation design of hot mix asphalt mixture, *Construction and Building Materials* 25(1): 115–122. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.050

Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š. 2007. Dynamics of vehicle loads on the asphalt pavement of european roads which cross Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(4): 147–154.

Sivilevičius, H.; Vislavičius, K. 2008. Stochastic simulation of the influence of variation of mineral material grading and dose weight on the homogeneity of hot-mix asphalt, *Construction and Building Materials* 22(9): 2007–2014. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.07.001

Schram, S. 2011. Specifications for aggregate frictional qualities in flexible pavements, *Transportation Research Record* 2209: 18–25. http://dx.doi.org/10.3141/2209-03

Shatnawi, A. S.; Abdel-Jaber, M. S.; Abdel-Jaber, M. S.; Ramadan, K. Z. 2008. Effect of Jordanian steel blast furnace slag on asphalt concrete hot mixes, *Jordan Journal of Civil Engineering* 2(3): 197–207.

Shen, D.-H.; Wu, C.-M.; Du, J.-C. 2009. Laboratory investigation of basic oxygen furnace slag for substitution of aggregate in porous asphalt mixture, *Construction and Building Materials* 23(1): 453–461. http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.11.001

Sofilić, T.; Mladenovič, A.; Sofilić, U. 2011. Defining of EAF steel slag application possibilities in asphalt mixture production, *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 19(2): 148–157. http://dx.doi.org/10.3846/16486897.2011.580910

Sohn, K. 2011. Multi-objective optimization of a road diet network design, *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 45(6): 499–511. http://dx.doi.org/10.1016/j.tra.2011.03.005

Sokolovskij, E.; Prentkovskis, O.; Pečeliūnas, R.; Kinderytė-Poškienė, J. 2007. Investigation of automobile wheel impact on the road border, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(3): 119–123.

Takahashi, F.; Shimaoka, T.; Gardner, K.; Kida, A. 2011. Size-dependent enrichment of waste slag aggregate fragments abraded from asphalt concrete, *Journal of Hazardous Materials* 194: 209–215. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.07.086

2.3-218-189:2005. *Sporudy transportu. Vashtuvan'nia ne nych ta ukriplenych schebenevych ta gravijnych shariv dorozhnich odiagiv* (in Ukrainian).

G.; Thompson, R. G.; Wang, Y. 2011. Hot-mix asphalt contains nickel slag aggregate, *Transportation Research* 2208: 1–8. http://dx.doi.org/10.3141/2208-01

Y.-G.; Bai, H.; Xiang, W.-S. 2011. Traffic safety performance assessment and multivariate treatments for intersection locations, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1): 30–38.
p://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2011.05

; Xue, Y.; Ye, Q.; Chen, Y. 2007. Utilization of steel slag as regates for stone mastic asphalt (SMA) mixtures, *Build- and Environment* 42(7): 2580–2585.
ttp://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.008

min, A. V. 2000. *Ekspluatacionno-prochnostnyje svojstva lakovych asfaltobetonnych pokrytij avtomobilnych dorog.* Dissertacija na soiskanije stepeni kandidata technicheskich nauk (05.23.11 – Stroitel'stvo avtomobil'nych dorog i aerodromov). Voronezh: Voronezhskaja Gosudarstvennaja Architekturno-Stroitel'naja Akademija. 201 p. (in Russian).

tpl, A. 2011. System analysis of information reception and processing for driving task, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1): 12–16.
http://dx.doi.org/10.3846/bjrbe.2011.02

ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ДОРОГИ

№25 январь / 2013

www.techinform-press.ru

Геосинтетические материалы. Спецвыпуск



ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ГЕОРЕШЕТОК ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ГРУНТОВ НА УКРАИНЕ



Проблемой стабилизации и стойкости природных склонов и откосов искусственных сооружений уже более ста лет занимаются ученые во всем мире, в том числе специалисты научно-исследовательских и проектных организаций Украины. Они предлагают различные способы, касающиеся формы и размещения потенциальной поверхности скольжения, разрабатывают методы стабилизации сдвигоопасных участков, внедряют эффективные материалы, способные улучшить прочностные свойства грунтовых сооружений.

Среди большого количества материалов, которые повышают прочность грунтовых сооружений, одним из самых перспективных считается геотекстиль, в частности трехмерные георешетки. Актуальность применения армирующих прослоек из геотканей в данной области обусловлена значительным уменьшением объемов земляных работ и стоимости строительства. Кроме того, появляется возможность более широко использовать местные материалы при возведении насыпи земляного полотна автомобильных дорог и увеличить расчетный срок эксплуатации дорожной конструкции в целом.

Объемные георешетки прекрасно справляются с такими функциями, как поперечное армирование высоких насыпей на слабых и переувлажненных грунтах и повышение общей устойчивости откосов. Геосинтетика такого типа оказывает высокое сопротивление при растяжении, при этом бывают задействованы примыкающие к потенциально нестойкой области зоны грунтового массива, что способствует ограничению сдвиговых деформаций.

Чтобы успешно выполнить эту задачу, необходимо оптимальным образом разместить трехмерную георешетку в грунте, обеспечив их сцепление, что, в свою очередь, требует точного расчета.

Поскольку грунтовые сооружения работают на сжатие в 8–15 раз лучше, чем на растяжение, укладка любого вида геотекстильных материалов в нижнюю часть откоса, то есть в зону пассивного состояния, значительно уменьшает армирующий эффект. Из-за этого не представляется возможным в полной мере использовать их расчетные свойства.

Анализ специальной литературы показывает, что на сегодняшний день не существует научно обоснованного метода, который помог бы определить рациональное место прослоек из геотекстиля в потенциально нестойкой области грунтового массива. В данном случае необходимо учитывать свойства грунтов и физико-механические характеристики геосинтетики. Возможность применения того или иного материала должна подтверждаться расчетами, и, конечно, без скрупулезных исследований здесь обойтись трудно.

В настоящей работе приведен пример использования трехмерной жест-

кой георешетки Tensar марки ТХ для укрепления земляного полотна на участке со сплавными грунтами в пойме реки Тащенак при строительстве автомобильной дороги в обход города Мелитополя Запорожской области.

Опыты проводились в лаборатории сектора дорожно-строительных материалов Государственного дорожного научно-исследовательского института им. М.П. Шульгина (Киев). Расчет необходимости и целесообразности применения трехмерных жестких решеток Tensar марки ТХ был выполнен специалистами ГП «ГосдорНИИ» по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом сейсмических явлений.

В ходе лабораторных испытаний грунтов установлено, что в основе земляного полотна залегают глины легкие пылеватые, текучепластичные и мягкопластичные, с примесями органических веществ (до глубины 1,7–2,3 м). Ниже по разрезу — суглинок тяжелый пылеватый, тугопластичный. Уровень грунтовых вод на момент отбора образцов составлял 0,0–0,1 м.

Результаты исследований пробы грунта приведены в табл. 1.

В связи с наличием слабого переувлажненного грунта земляного полотна предлагается такая конструкция (рис. 1): на жесткую трехосную георешетку Tensar отсыпается слой щебня толщиной 30 см; затем — слой песка 40 см. Дорожная одежда — по проекту.

Характеристики георешеток Tensar марки ТХ представлены в табл. 2.

Необходимо отметить, что:

- жесткость при вращении в плане измерена в соответствии с U.S. Army Corps of Engineers Methodology for measurement of Torsional Rigidity (Kinney, T.C. Aperture Stability Modulus rev 3.1.2000);
- жесткость при начальной деформации определена в соответствии с ISO 10319:1996;
- устойчивость к потере прочности или структурной целостности при попадании в агрессивную химическую среду — по EN 12960, ISO 13434 : 1999 (7.3);
- устойчивость к потере прочности или структурной целостности при прямом воздействии ультрафиолетового излучения в течение 500 часов — по EN 12224, ISO 13434: 1999 (7.2);
- устойчивость к потере прочности или структурной целостности при механическом воздействии в процессе укладки с инертным материалом, который классифицируется как фракционированный щебень, — по BS 8006 : 1995;
- отношение минимального и максимального значений жесткости среды всех направлений нагрузки определено с обеспеченностью 95%.

Таблица 1

Результаты исследований физических свойств грунта в пойме реки Тащенак

Название показателей	Проба грунта
Плотность частиц грунта, г/см³	1,48
[illegible]	[illegible]
Удельный вес, γ, кН/м³	17,5
Сцепление С, кПа	11,0
Угол внутреннего трения, φ, °	7,0
pH водной вытяжки	7,55
Название грунта	Класс: природные дисперсные грунты; Группа: связные; Вид: глинистые; Разновидность: глина текучепластичная, переувлажненная

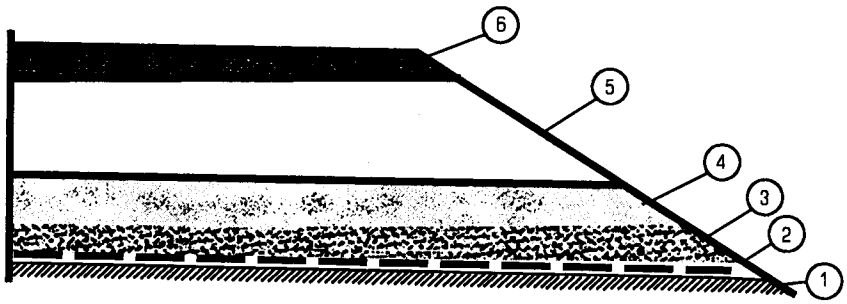


Рис. 1. Конструкция земляного полотна:
1 — естественный грунт; 2 — георешетка жесткая трехосная; 3 — слой щебня 30 см; 4 — слой песка 40 см ($К_ф$ = 1–5 м/сут.) ; 5 — тело насыпи; 6 — дорожная одежда

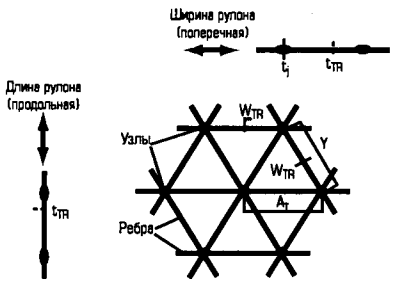


Рис. 2. Геометрические характеристики георешетки Tensar

Георешетка изготовлена в соответствии с системой, которая отвечает требованиям BS EN ISO 9001:2008. Она выполнена из перфорированного листа полипропилена, который далее растягивается в высокотемпературной камере так, чтобы полученные ребра имели высокую степень молекулярной организации, что распределяется и на узел. Геометрические характеристики георешетки Tensar приводятся на рис. 2.

На основании исходных данных (табл. 3) составлена расчетная схема (рис. 3). Георешетка Tensar марки ТХ была размещена в основании дорожного полотна оптимальным образом. Соответствующие показатели сведены в табл. 4. Поведение геотекстильного материала в грунте можно оценить по расчетным параметрам, представленным в табл. 5.

Таблица 2
Физико-механические характеристики георешеток Tensar марки ТХ

Название показателя	Марка геосинтетического материала		
	ТХ 160	ТХ 170	ТХ 180
Геометрические характеристики, мм			
A_1	40	40	40
$t_{тя}$	1,5	1,8	2,4
1	2	3	4
t_3	3,1	4,1	6,1
Форма ячейки	Треугольная	Треугольная	Треугольная
Прочность в узле, %	90	90	90
Коэффициент изотропности жесткости	> 0,75	> 0,75	> 0,75
Долгосрочные характеристики			
Устойчивость к УФ-излучению, %	100	100	100

Таблица 3
Исходные данные для расчета

	Исходные данные	Внешнее воздействие	Внутреннее влияние
g = ускорение свободного падения (гравитационное)	A_h = 0,10 g A_v = 0,03 g	k_h(ext) = 0,05 g k_v(ext) = 0,02 g	k_h(int) = 0,10 g k_v(int) = 0,02 g

Таблица 4
Размещение георешетки Tensar марки ТХ

Тип решетки	Отметка решетки, Y, м	Левый конец, X, м	Правый конец, X, м	Длина, м	Покрытие, %	Коэффициент взаимодействия, p	Фиксация
Георешетка жесткая трехосная	–0,300	2,475	32,525	30,050	100	0,95	Обусловлена

Таблица 5
Расчетные параметры жесткой трехосной георешетки Tensar марки ТХ в грунте

Радиальный модуль упругости/деформации, кН/м при 0,5% (min)	Экстраполяция и доверие производству, f_m	Повреждения при монтаже, f_d	Влияние окружающей среды, f_c	Коэффициент взаимодействия по смещению, f_m
580	1,00	1,10	1,00	0,95

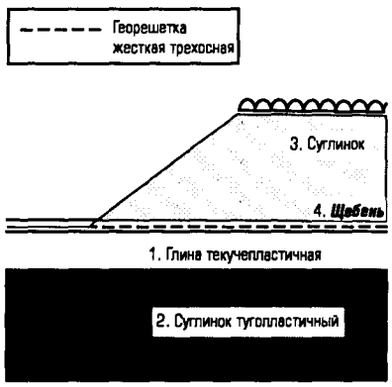


Рис. 3. Расчетная схема

Очевидно, что жесткая трехосная георешетка полностью соответствует требованиям к армирующим слоям и может быть использована для укрепления слабого грунта в пойме реки Тащенак. По окончании исследований были сделаны следующие выводы:

1. Проведенное обследование слабого грунта автомобильной дороги обхода города Мелитополя (пойма реки Тащенак) и выполнение необходимых расчетов показало, что наиболее подходящим материалом для укрепления является пространственная жесткая трехосная георешетка (например, георешетка Tensar марки ТХ 170).

2. Расчет подтвердил необходимость применения георешетки Tensar ТХ 170 для укрепления слабого грунта при устройстве земляного полотна на этом участке.

3. Приведенные физико-механические свойства георешетки Tensar марки ТХ 170 свидетельствуют, что это материал с высокими значениями прочности и модуля упругости, то есть он будет выдерживать нагрузку от грунтовых сооружений, не допуская осадок, оползней и других деформаций.

4. Георешетки жесткие трехосные достаточно широко используются на дорогах Украины и положительно себя зарекомендовали при укладке в различных слоях дорожных конструкций.

Е.В. Краюшкина,
заведующая сектором дорожно-строительных материалов ГП «ГосдорНИИ»
А.А. Белятынский, д.т.н., профессор, зав. кафедрой реконструкции аэропортов и автодорог Национального авиационного университета (Киев)

ТРАНСПОРТНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРПОРАЦІЯ "УКРАВТОДОР"

АВТОДОРОЖНІЙ КОМПЛЕКС УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ: ПРОБЛЕМИ І ШЛЯХИ РОЗВИТКУ



ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

м. Київ-1998 р.

УДК 625.765

Т. Ю. Химерик, канд.техн.наук,
К. В. Краюшкіна

БАЗАЛЬТОВОЛОКОННІ СІТЧАТІ ПРОШАРКИ ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ І УЗБІЧ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Використання геосинтетичних рулонних сітчастих прошарків — новий напрямок у вітчизняній та зарубіжній практиці дорожнього будівництва.

В наш час в Україні випускаються і використовуються в шарах дорожнього одягу сітки вітчизняного виробництва — скловолоконні марки (НПС) і базальтоволоконні (БВ) та "HATELIT" виробництва Німеччини.

Враховуючи безмежну сировинну базу гірських порід, що є вихідним матеріалом для отримання базальтових волокон, комплекс цінних експлуатаційних характеристик виробів та композитів на їх основі можна стверджувати про перспективність та економічність їх використання як армуючих прошарків при ремонтах існуючих та будівництві нових автомобільних доріг України.

Є два способи армування дорожніх конструкцій — основи і безпосередньо покриття.

При армуванні основи базальтоволоконну сітку укладають на контакті щебеневого шару з грунтом земляного полотна або пісчаним підстильним шаром. В контактній зоні системи "щебінь-підстильний грунт" сітка сприяє зниженню розрахункових активних зсувних напруг в грунті і підвищенню міцності дорожніх конструкцій за критерієм зсуву.

Крім того, здійснюється підсилення дорожнього одягу і попереджується переміщення матеріалів контактуючих шарів.

Ефект армування проявляється завдаки сумісної роботи сітки з дискретним матеріалом основи, що забезпечується їх зчепленням.

Використання сіток для армування зернистих шарів найбільш доцільно в таких типах конструкцій дорожнього одягу:

- удосконалених полегшених, що підстиляються піщаними грунтами;
- удосконалених капітальних, що підстиляються піщаними грунтами;
- удосконалених полегшених, що підстиляються суглинками та глинами з розрахунковою вологістю більш як 0,85 $W_т$ ($W_т$ — вологість на границі течії;

- перехідних, що підстиляються будь-якими грунтами з буль-якою розрахунковою вологістю.

Дорожні одяги з зернистою основою, армаованою сіткою, влаштовують згідно нормативних документів, але необхідно враховувати деякі особливості, пов'язані з розтягуванням і закріпленням базальтоволоконної армуючої сітки та відсипки на поверхню щебеню.

Улаштування армованої зернистої основи включає слідуючі етапи:

- планування та ущільнення підстилаючого грунту земляного полотна або додаткового шару основи;
- укладання полотен рулонного сітчатого матеріалу та їх з'єднання;
- улаштування зернистої основи в один або два шари.

Полотна армованої сітки укладають на підстилаючий грунт вздовж або впоперек земляного полотна з перекривом, величина якого 7-10 см.

Укладання сітки на підстилаючий грунт відбувається послідовно з розкладанням рулонів від країв дорожнього одягу і розрівнюванням для запобігання появи зморшок.

При армуванні покриттів базальтоволоконну сітку укладають на підготовлену основу або вирівнюючий шар. Існуючі нерівності необхідно очистити від сміття, зрізати або заповнити сумішшю на бітумному в'яжучому.

Якщо на поверхні основи є поперечні тріщини шириною більш як 3 мм і повздовжні шириною більш як 5 мм, то їх прочищають і заповнюють пісчаним асфальтобетоном або бітумною мастикою.

Для забезпечення зчеплення шарів необхідно перед укладанням сітки нанести підгрунтовку рідким бітумом у кількості не менш 0,5 кг/м.

Армуюча сітка розкладається рівно, без хвиль. Один кінець її фіксується за допомогою гвіздків довжиною 50 мм.

Ущільнення армованого асфальтобетону повинно виконуватись за допомогою легкого чи середнього катків або катками на гумових шинах. Основне ущільнення виконується за допомогою важкого двохвальцьового катка.

Армування узбіч не потребує особливостей і може виконуватись за технологією, що наведена вище.

Дослідні ділянки використання базальтоволоконних армуючих прошарків при капітальному та помточному ремонтах, виконані в м.Києві та в м.Бердичеві показали доцільність їх використання.

ВИСНОВКИ

1.Використання армуючих сіток при ремонтах та будівництві дорожніх одягів з щебеневими шарами дозволяє зменшити витрати щебеню, скоротити обсяги перевезень дорожньо-будівельних матеріалів, знизити транспортні витрати, строки будівництва, підвищи експлуатаційну надійність дорожніх конструкцій і взагалі підняти транспортно-експлуатаційгі характеристики автомобільних доріг на вищий рівень.

2.Використання базальтоволоконних сітчатих прошарків для армування асфальтобетонних покриттів дозволить рівномірно перерозподілити напруги від транспортних навантажень, затримати розповсюдження тріщин і підвищити довговічність покриття.

3. Укладання армуючих прошарків в узбіччях автомобільних доріг буде сприяти підвищенню міцності та деформативності їх конструкцій і дозволить знизити кількість та тяжкість ДТП, що виникають з причини незадовільного стану узбіч.

5. Економічні розрахунки свідчать, що улаштування базальтоволоконних армуючих прошарків при проведенні ремонтів доріг не призводять доя збільшення витрат в порівнянні з існуючою технологією.

УДК 625.7

Д. О. Павлюк, Є. В. Іваніца, О. І. Булах,
С. І. Андреєв, Л. Л. Рибіцький, М. О. Федорів

УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ТРАНСПОРТНО-ЕКПЛУАТАЦІЙНИХ ЯКОСТЕЙ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

Основними транспортно-експлуатаційними показниками дорожніх покриттів є міцність, рівність та зчіпні якості. При неправильній чи несвоєчасній оцінці цих показників слід очікувати збільшення руйнувань дорожнього одягу та зростання аварійності на автомобільних дорогах. Актуальність вимірювань останнім часом зросла й у зв'язку з тим, що УДАІ МВС України за матеріалами аналізу аварійності з причин незадовільного стану доріг і виходячи з діючого закону "Про дорожній рух", дало вказівку своїм підрозділам спільно із слідчими органами аналізувати матеріали ДТП, скоєних через незадовільні дорожні умови з метою виявлення ознак злочину, відповідальність за який передбачено ч. 5 статті 215 Кримінального кодексу України (порушення правил, норм, стандартів, що стосуються забезпечення безпеки дорожнього руху, особами, відповідальними за ремонт шляхів) і реалізовувати ці матеріали у судовому порядку (до 5 років позбавлення волі).

До теперішнього часу розроблено значну кількість приладівдля вимірювання транспортно-експлуатаційних показників, але вони не знайшли широкого використання на практиці з причин недостатньої точності випробування свідчать, зокрема, про те, що результати вимірювань коефіцієнта зчеплення приладами ПКРС-2 можуть відрізнятися майже у 2 рази [1]; відносні відхилення показань деяких приладів для вимірювання рівності можуть досягати 1800 % [2].

Державний дорожній науково-дослідний інститут
імені М.П. Шульгіна

ДОРОГИ І МОСТИ

Випуск 1

КИЇВ 2003

Висновки:

Проаналізовано вплив основних параметрів дорожніх одягів, глибини проникнення тріщини в другому зверху шарі дорожнього одягу на напруженно-деформований стан дорожньої конструкції.

УДК 625.7./8.
© 2003р.

Т.Ю.Химерик[1], *К.В. Краюшкіна*[1], *В.П.Рева*[1]

Підвищення транспортно-експлуатаційного стану доріг шляхом використання сучасних матеріалів.

Ефективність перевезення вантажів та пасажирів значною мірою залежить від умов експлуатації автомобільних доріг та їхнього транспортно-експлуатаційного стану.

Утримання автомобільних доріг у задовільному експлуатаційному стані в умовах обмеженого фінансування дорожньої галузі та постійно зростаючих навантажень від транспортних потоків стало складною проблемою.

Водночас поступова інтеграція України в Європейський союз, збільшення міжнародних зв'язків і торгових контактів висувають все зростаючі вимоги до якості доріг, їхніх транспортно-експлуатаційних характеристик.

Для розробки раціональних методів утримання та ремонту доріг необхідне комплексне дослідження процесів взаємодії всіх елементів, що складають дорожньо-транспортну систему, в якій важлива роль належить дорожньо-будівельним матеріалам.

Якість проїзної частини автомобільних доріг залежить від дуже багатьох чинників, але найважливішими є фізико-механічні характеристики матеріалів та технологія будівництва. Тому пошук нових матеріалів і вдосконалення технологій є такими актуальним.

Найпоширеніший тип покриття на автомобільних дорогах високих категорій – асфальтобетонне, отже підвищення його тріщиностійкості, зсувостійкості та міцності є першочерговим завданням.

Досвід суміжних галузей засвідчує, що значно покращити фізико-механічні властивості різних матеріалів можливо шляхом їх армування.

Армування використовується спрямоване з застосуванням сітчастих або суцільних армуючих прошарків та дисперсне (хаотичне).

---

[1] Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П.Шульгіна

Починаючи з 80-х років минулого століття у зарубіжних країнах все ширше використовується армування дорожніх покриттів різними сітками: полімерними, скловолокнистими, стальними тощо. Таке армування значно покращує тріщиностійкість та зсувостійкість, а отже і довговічність дорожніх покриттів.

Останніми роками в Україні також збільшується використання в різних конструктивних шарах дорожніх конструкцій армуючих прошарків вітчизняного і зарубіжного виробництва – це базальтова сітка марки ПСБП-Д, Hatelit, Polifelt та інші.

Як показала практика, армування сітками має цілий ряд переваг: значно підвищує тріщиностійкість покриттів, запобігає подальшому розкриттю існуючих тріщин, покращує опір зсувним деформаціям тощо.

Але обмежене фінансування не дозволяє розширити обсяги застосування армуючих прошарків. Як альтернатива спрямованому армуванню в ДерждорНДІ проводились роботи з розробки технології дисперсного (хаотичного) армування шляхом введення до асфальтобетонної суміші різноманітних волокон.

Найбільш поширене дисперсне армування асфальтобетону шляхом введення азбестових, нейлонових, поліамідних, целюлозних, скляних та інших волокон.

Волокна, що використовуються для дисперсного армування асфальтобетону повинні мати такі властивості [1]:

- стійкість у часі до дії високих температур (понад 200^0 С);
- високу міцність на розрив;
- стійкість до агресивних речовин;
- вологостійкість;
- здатність легко перемішуватись з іншими компонентами суміші без утворення грудок.

На думку авторів, ще однією необхідною умовою застосування дисперсного армування є достатня адгезія волокон при взаємодії з бітумом.

Домішка волокон у асфальтобетонну суміш придає асфальтобетону підвищену зсувостійкість, покращує пластичність при мінусових температурах.

Функції волокна, як регулятора в'язкості і армуючого наповнювача бітумів, залежать, головним чином, від діаметру і довжини волокон, а також кількості волокна, доданого до бітуму. Оптимальними волокнами для армування вважаються волокна, що мають діаметр 4...6 мкм і довжину 2...3 мм [2]. Тонші волокна легко ламаються, що призводить до створення дуже коротких відрізків, які майже не впливають на в'язкість бітуму. Тому рекомендується застосовувати волокна більшої довжини, ніж 2…3 мм, з тим, щоб після руйнування при

Таблиця1 Порівняльні властивості волокон

Показники	Базальтове волокно	Dolanit AS
Довжина волокон, мм	2...3	6
Діаметр волокна, мкм	100...250	-
Кількість неволокнистих домішок, %	2...3	-
Щільність, г/см^3	2,65	1,18
Стійкість до дії високих температур, ^{0}С	700	200 (короткочасно)
Водостійкість	добра	добра
Стійкість до дії кислот	добра	добра
Гігроскопічність, %	до 1	до2
Механічна міцність, Н/мм^2	4100	330...413
Модуль пружності, МПа	120	-
Подовження при розриві, %	5	14...20

перемішуванні, отримувати довжину волокон, достатню для забезпечення очікуваного зростання в'язкості в'яжучого. Волокна великого діаметру потребують збільшення їх витрат, а довгі – викликають труднощі при змішуванні.

У цій роботі мова йде про дисперсне армування асфальтобетону базальтовими волокнами як одну з альтернатив, що дозволила б покращити властивості і експлуатаційні характеристики асфальтобетонних покриттів при незначному збільшенні їхньої вартості.

По-перше, базальтові волокна є вітчизняним матеріалом, а по-друге, саме вони володіють необхідними характеристиками, згаданими вище.

За існуючою в Україні технологією виробництва базальтових безперервних волокон утворюються відходи – потовщені волокна діаметром 100...250 мкм і довжиною 2...3 мм. Їхні фізико-механічні властивості наведені в табл.1. Ці волокна були використані для приготування асфальтобетонної суміші.

Асфальтобетонні суміші готувались та випробовувались за стандартними методами відповідно до ГОСТ 9128-84 "Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия» та ДСТУ Б В.2.7-89-99 " Матеріали на основі органічних в'яжучих для дорожнього і аеродромного будівництва».

Результати досліджень фізико-механічних властивостей асфальтобетону з базальтовими волокнами наведені в табл. 2.

Для відносної оцінки результатів випробування базальтових волокон аналогічні випробування зроблені і для асфальтобетонів, армованих акриловими волокнами Dolanit AS. Цей матеріал уже досить широко використовується при будівництві дорожніх покриттів у європейських країнах, зокрема в Австрії при будівництві автомобільної дороги Innthal Autobahn у 1994р., у 1997р. – бетонного мосту Deggendorf. У 1998р.. В Австрії асфальтобетонна суміш із домішками з доланіту використовувалась для будівництва міських вулиць, а в Баварії було укладено в цьому ж році 2500 т аналогічної суміші [1]. Основні фізико-механічні властивості доланіту наведено у табл. 1.

Результати досліджень фізико-механічних властивостей асфальтобетону з доланітовими волокнами наведено у табл.2.

Аналіз даних табл. 2 свідчить, що фізико-механічні властивості асфальтобетону значно поліпшуються при введенні дисперсно армуючих домішок. Особливо слід звернути увагу на значне підвищення міцності асфальтобетону на стиснення при температурі +50 ^{0}С, що свідчить про добрий спротив утворенню колійності на дорожніх покриттях у жарку погоду. Той факт, що міцність на стиснення при 0^{0}С не зростає або навіть може понижуватись (особливо це відмічено у зразках з доланітом), опосередковано свідчить про достатню тріщиностійкість дорожніх покриттів з таких асфальтобетонів.

Кращі результати отримано при дисперсному армуванні асфальтобетонної суміші волокнами доланіту. Але, враховуючи співвідношення якість-ціна, можна стверджувати, що вітчизняні базальтові дрібноволокнисті матеріали можуть бути успішно використані для підвищення зсувостійкості і тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів.

У цій праці показана тільки принципова доцільність використання базальтових волокон для підвищення зсуво- і тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів. Для впровадження цього матеріалу у дорожнє будівництво потрібно виконати широкомасштабні лабораторні випробування різних типів асфальтобетонних сумішей як і з стандартними безперервними гранулометричними складами, так і з перервними складами, з різними бітумами за густиною, різною технологією введення базальтових волокон у асфальтобетонну суміш. Зокрема потрібно відпрацювати температурні режими ущільнення асфальтобетонної суміші.

Таблиця 2. **Порівняльні характеристики асфальтобетонів**

Тип суміші	Середня щільність г/дм^3	Водонасичення, %	Набухання, %	Міцність при стисненні, МПа			Міцність на розтяг при згині, МПа	Коефіцієнт водостійкості, Кв
				R 20	R 50	R 0		
Дрібнозернистий асфальтобетон тип Б з вапняковим мінеральним порошком за ГОСТ	2360	2,13	3,17	2,6	1,4	10,5	4,8	0,90
Дрібнозернистий асфальтобетон тип Б з базальтоволокнистим наповнювачем у кількості, %								
0,5	2350	2,52	0,79	3,8	1,9	9,6	4,9	0,92
1,0	2340	3,44	1,21	4,2	3,2	10,3	5,2	0,90
2,0	2320	4,21	2,07	4,6	3,8	10,9	6,6	0,86
Дрібнозернистий асфальтобетон тип Б з доланітовим наповнювачем у кількості, %								
0,5	2340	1,98	0,62	5,4	3,2	10,2	5,6	0,96
1,0	2335	3,05	1,51	6,0	3,8	10,5	7,2	0,90
2,0	2320	4,19	2,23	6,8	4,0	11,0	7,9	0,88

Примітка: Вміст бітуму у дрібнозернистому асфальтобетоні тип Б з вапняковим мінеральним порошком становив 6,1%.
Вміст бітуму у дрібнозернистих асфальтобетонах тип Б з базальтоволокнистим та доланітовим наповнювачами становив 7,0 %.

Висновки

1.Армування асфальтобетонного покриття і інших шарів дорожніх конструкцій – це перспективний напрямок, який дозволить значно підвищити транспортно-експлуатаційні властивості автомобільних доріг.

2. Застосування спрямованого або дисперсного армування повинно вирішуватись в кожному конкретному випадку.

3. Вітчизняні базальтові волокна придатні для підвищення зсуво- та тріщиностійкості дорожніх покриттів, тому роботи з вивчення оптимальних параметрів дисперсного армування асфальтобетонних сумішей необхідно продовжувати.

1. **Савенко В.Я., Каськів В.І., Артеменко К.Е.** Дисперсне армування асфальтобетону – альтернатива застосуванню модифікованих бітумів/ Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2001. – Вип. 62. – С.53-56

2. **Вирожемський В.К., Химерик Т.Ю., Краюшкіна К.В.** Дисперсно армований асфальтобетон – довговічний матеріал для руху транспорту та пішоходів // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру Транспортної Академії України. – 2001. –Вип.4 – С.101-103.

ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ

Сборник трудов
международной
научно-практической
конференции

г. Минск
30 июня - 1 июля 2005 года



благодаря высокой температуре смеси при укладке достигается хорошая приживаемость литого асфальта к ремонтируемой поверхности. Кроме перечисленных преимуществ, необходимо добавить, что при ремонте выбоин не требуется выполнять подгрунтовку битумом.

В СТБ 1257-2001 наряду со смесями из новых сырьевых материалов рассматриваются смеси с использованием асфальтобетонного лома. Получаемая смесь на 30 процентов дешевле смесей, приготовленных на асфальтобетонных заводах из новых сырьевых компонентов.

Другим принципиально важным элементов СТБ 1257-2001 является возможность использовать в приготовлении смесей самый распространенный дорожный битум марки БН 90/130.

Для приготовления, транспортировки и укладки литого асфальта широкое применение нашла машина РД-2500 ЛМ. К настоящему времени таких машин выпущено около 100 единиц.

УДК 625.7./8

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИТУМНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.К. Вырожемский, канд. техн. наук, Е.В. Краюшкина, ст. науч. сотр., Т.Ю. Химерик, канд. техн. наук, ГосдорНИИ, г. Киев, Украина

В настоящее время асфальтобетонные покрытия практически не имеют альтернативы при устройстве дорожных одежд нежесткого типа. Срок службы горячего асфальтобетона, применяемого для устройства покрытий на автомобильных дорогах в условиях современного автомобильного движения

должен составлять 12-15 лет. Однако опыт проведения ремонтных работ на автодорогах Украины свидетельствует, что при нормативном сроке эксплуатации реабилитированной автодороги 15 лет, трещины и другие дефекты на поверхности асфальтобетонного покрытия, в силу тех или иных причин возникают уже на протяжении первого-второго года эксплуатации. Старение битумных вяжущих в составе асфальтобетона и их нестабильный групповой состав еще более интенсифицирует возникающие деструктивные процессы, что приводит к преждевременной потере автомобильной дорогой ее эксплуатационных свойств и необходимости проведения ремонтных работ [1].

Многочисленные исследования, проводимые в области эксплуатации асфальтобетонных покрытий, свидетельствуют, что на начальном этапе, основным разрушающим фактором является воздействие воды. Проникая в поры материала, в том числе и в пустоты молекулярной решетки битума, вода отслаивает адсорбированные пленки вяжущего от поверхности каменного материала, происходит гидратация объемного битума и разрушение полярных связей в структуре асфальтобетона. Такие деструктивные процессы, а также воздействие колес транспортных средств, обуславливает начало шелушения и выноса из поверхностного слоя асфальтобетона мелких частиц материала, что приводит к значительной интенсификации процессов разрушения покрытия. Такие процессы протекают тем интенсивнее, чем ниже водостойкость при длительном водонасыщении асфальтобетона, выше пористость, а также больше интенсивность движения транспорта и увлажнение поверхности покрытия [2].

В осенний период года происходит рост влагосодержания материала, значительное количество переходов температуры через 0^0С, характерных для Украины, приводит к увеличению деструктивного воздействия мороза на слой покрытия. Это способствует образованию и развитию трещин, что значительно снижает эксплуатационную надежность автомо-

бильной дороги, т.е. проникновение влаги в нижележащие слои дорожных одежд приводит к их разуплотнению и потере несущей способности [3].

Выполнение работ по текущему ремонту и содержанию автомобильной дороги традиционными способами в настоящее время недостаточно. Эффективность их достаточно низка, поскольку позволяет ликвидировать визуально определяемые дефекты (трещины, выбоины и т.д.), т.е. тогда, когда дефект покрытия значительно развился и применяемые технологии производства работ не обеспечивают увеличения долговечности ремонтируемых участков [4].

Таким образом, для замедления процессов разрушения асфальтобетонных покрытий необходимо разрабатывать новые технологии с использованием прогрессивных материалов.

В ГосдорНИИ были проведены лабораторные и натурные испытания материала «Дизол», который предназначен для обработки поверхности асфальтобетонных покрытий.

Материал «Дизол» представляет собой однокомпонентную микробитумополимерную композицию, черного цвета, на основе полимера полиэтилена с характерным запахом.

Физико-механические свойства материала «Дизол» приведены в таблице 1.

Активная газовая составляющая в составе «Дизола» при нанесении на поверхность существующего асфальто- или цементобетонного покрытия проникает в поры на глубину примерно 4 см, вступает в химическое взаимодействие с битумом, образуя полимерно-битумную пленку, которая характеризуется пластично-упругими свойствами. В качестве наполнителя в составе композиции «Дизол» используется базальтовая крошка.

Таблица 1

Физико-механические характеристики образцов материала «Дизол»

Наименование показателей	Результаты исследований	
	№1 (без наполнителя)	№2 (с базальтовой крошкой)
Адгезия (прилипание)	4,0	4,0
Температура размягчения, ^{0}C	54,0	56,0
Температура хрупкости, ^{0}C	-6,0	-7,0
Водонепроницаемость, %	0,0	0,0
Стойкость к действию агрессивных сред, % после кипячения в течении 3-х часов		
2NaOH (щелочь)	99,8	99,7
$0,5H_2SO_4$ (кислота)	85,8	85,0
Испытания в камере искусственного климата в течении 600 часов (5 лет работы материала в натурных условиях эксплуатации)	Выдерживает без внешних изменений, на поверхности нет трещин, выкрашиваний	

Для изучения влияния «Дизола» на изменение свойств асфальтобетонной смеси были заформованы образцы асфальтобетона (тип Б II марка) и проведены испытания. Результаты приведены в таблице 2.

«Дизол» был нанесен с помощью резинового шпателя, толщиной слоя 1,0-1,5 мм.

Изучение сцепных качеств покрытий проводилось с помощью маятникового прибора МП-3 на опытных участках с нанесением «Дизола» и без нанесения. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 2

Изменение свойств асфальтобетонной смеси при нанесении материала «Дизол»

№	Средняя плотность	Водонасыщение, %	Предел прочности при сжатии, МПа, при температуре			Коэффициент		Коэффициент морозостойкости после 25 циклов	
			0^{0}C	20^0 C	50^0 C	Водостойкости	Длительной водостойкости	В воде	В 5% NaCl
1	2,25	3,3	12,2	5,4	2,8	0,98	0,81	0,86	0,83
2	2,25	2,4	11,5	4,8	2,3	0,99	0,96	0,93	0,95
3	2,25	2,8	10,8	4,2	1,9	0,99	0,93	0,91	0,92

Примечание.
№1 – состав без «Дизола», эталонные образцы;
№2 – состав с «Дизолом» с базальтовой крошкой;
№3 – состав с «Дизолом» без базальтовой крошки.

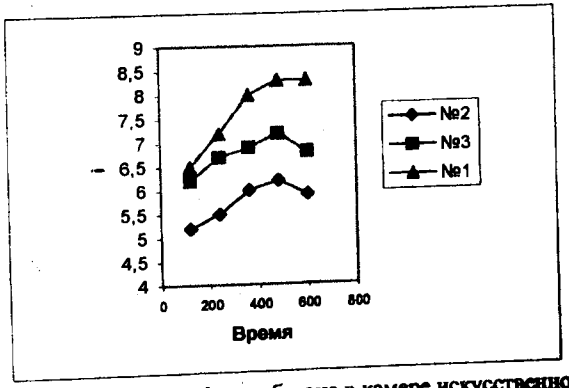


Рис. 1 Изменение свойств асфальтобетона в камере искусственного климата. № 1 – эталонный асфальтобетон; №2 – состав с «Дизолом» с базальтовой крошкой; №3 – состав с «Дизолом» без базальтовой крошки.

Таблица 3

Изучение сцепных качеств при нанесении «Дизола»

Наименование материала	Дорога Киев-Чоп. Щебеночно-мастичный асфальтобетон		Дорога Киев-Чоп. Мелкозернистый асфальтобетон		Пешеходная поверхность - тротуар	
	Мокрая поверхность	Сухая поверхность	Мокрая поверхность	Сухая поверхность	Мокрая поверхность	Сухая поверхность
№ измерения	1	2	3	4	5	6
Покрытие без нанесения	0,36	0,33	0,38	0,36	0,49	0,50
«Дизол» без базальтовой крошки	0,36	0,39	0,40	0,40	0,49	0,54
«Дизол» с базальтовой крошкой	0,40	0,41	0,47	0,48	0,53	0,56

Примечание: 1 и 3 – измерения проводились по колее движения транспорта; 2 и 4 – измерения проводились между колеями движения транспорта; 5 и 6 - измерения проводились на участках пешеходной поверхности.

Анализируя данные таблицы 3 очевидно, что покрытие с материалом «Дизол» более шероховатое, т.е. будет обеспечивать увеличение коэффициента сцепления с колесом автомобиля и подошвой пешехода.

Для выявления возможного влияния «Дизола» на процессы старения асфальтобетона образцы испытывались в камере искусственного климата типа “Feutron” , где 120 часов испытаний приравнивается к 1 году эксплуатации покрытия.

После 120, 360 и 600 часов определялась прочность при сжатии при + 20^{0}С. Результаты испытаний приведен на рисунке 1.

Выводы:

1. Проведенные лабораторные и натурные исследования показали, что обработка асфальтобетона материалом «Дизол» увеличивает его водо- и морозоустойчивость, трещиностойкость, а также способствует замедлению процессов старения битума в составе асфальтобетона.
2. Материал «Дизол» можно использовать для герметизации небольших трещин, сетки трещин, профилактическое мероприятие и для замедления процесса шелушения;
3. Изменение прочности обработанных асфальтобетонных образцов по сравнению с контрольными свидетельствуют, что материал «Дизол» оказывает существенное влияние на прочностные характеристики покрытия. После обработки прочность образцов на сжатие снижется, но находится в пределах нормативных требований.. Это свидетельствует о росте деформативности асфальтобетона, что подтверждается испытаниями образцов при 0^{0}С. Прочность обработанных образцов также ниже контрольных, что свидетельствует об увеличении трещиностойкости асфальтобетона.
4. Увеличивается водостойкость обработанных образцов, о чем свидетельствуют испытания при длительном водонасыщении (0,81<0,96).
5. Возрастает коэффициент морозостойкости обработанных образцов. Это хорошо прослеживается при выдерживании образцов в растворе NaCl (0,83<0,95).
6. Испытания образцов в камере искусственного климата типа «Feutron» свидетельствуют, что процессы старения обработанных образцов замедляются, что подтверждается снижением приращения прочности образцов при сжатии.
7. Таким образом можно утверждать, что в Украине впервые был апробирован новый современный гидроизоляционный материал для сплошного нанесения на существующее покрытие с целью повышения шероховатости и долговечности дорог и тротуаров. По сравнению с поверхностной обработкой использование «Дизола» увеличивает долговеч-

ность покрытий на 20-30 % с улучшением транспортно-эксплуатационных показателей на 30-35%.

8. Последующие исследования направлены на разработку специальной техники позволяющей точно отдозировать необходимое количество материала (пленка толщиной до 2 мм) и произвести его распределение на необходимой площади.

ЛИТЕРАТУРА

1.Химерик Т.Ю., Кучма М.И. Мастики для разметки дорог. Автодорожник Украины. – 1987, с.27-28.

2.Карибаев Н.Н. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих материалов. – Алма-Ата: Наука, 1980.

3.Кисина А.И., Куценко В.И. Полимербитумные кровельные и гидроизоляционные материалы. – Л.: Стройиздат, 1983.-133 с.

4.Химерик Т.Ю., Колинченко Н.Н., Гончаренко Е.К. О технологии текущего ремонта усовершенствованных покрытий при пониженной температуре. Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. Минск, 1998 г., с.149-154.

УДК 625.7

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТ
ТРАНСПОРТНОЙ РАЗВЯ
«НЕПОЛНЫЙ КЛЕВЕРН**

И.К. Яцевич, канд. техн. наук,
г. Минск, Белару

По ситуации на местности или
тенсивности движения на транспортно
ствовать отдельные левоповоротные с
ления (ЛПО) и правоповоротные соеди
(ППО).

На рисунке 1 представлен случ
4 отсутствуют. Их роль выполняют н
ные соединительные ответвления (НП
для поворота направо автомобиля 4 (р
поворотные соединительные ответвле
значенные для поворота налево автомо
правоповоротного соединительного от
2) состоит из прямой КЕ и переходной

Длина переходной кривой L_1 назна
радиусом R круговой кривой ЛПО1.

ВЕСТНИК

ХАРЬКОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 34 – 35

Issue 34 – 35

BULLETIN

OF KHARKOV NATIONAL AUTOMOBILE AND HIGHWAY UNIVERSITY

COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

ДК 625.7

ПОВЕРХНЕВІ ОБРОБКИ З АРМОВАНИХ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ТИПУ НРСМ

В.К. Вирожемський, к.т.н., заст. дир. з наукової роботи,
К.В. Краюшкіна, ст. наук. співроб., ДерждорНДІ

Анотація. *Описано новий тип тонкошарового покриття. Вперше в Україні запропоновано улаштування тонкого бетонного шару на нежорсткому покритті, яке в даному випадку служить основою і , при цьому, відбувається покращення зчіпних властивостей існуючого асфальтобетонного покриття. Дисперсне армування за рахунок введення волокон підвищить міцність, зсувостійкість і довговічність дорожнього покриття.*

Ключові слова: *тонкошарове покриття, бетонна суміш, фібра.*

Вступ

Динаміка розвитку автомобільного транспорту [illegible], що кожен рік здійснюється приріст інтенсивності руху, підвищення навантаження на вісь і [illegible]альної маси транспортних засобів.

Актуальність розробок НРСМ-покриття

[illegible] призводить до швидкого руйнування матеріалу покриття і дорожнього одягу в цілому, замість нормативних 16 – 18 років, покриття працюють [illegible] – 4 роки. Оскільки найбільш поширеним матеріалом є асфальтовий бетон, то перспективними розробками є ті, що підвищують його надійність, шорсткість і довговічність.

Для цього в ДерждорНДІ проводяться роботи в декількох напрямках, головним з яких є покращення транспортно-експлуатаційних характеристик покриття за рахунок улаштування на існуючому асфальтобетонному покритті тонкого цементобетонного шару з покращеною шорсткістю і міцністю.

Необхідно відмітити, що ця технологія розробляється в Україні вперше і проводиться згідно із завданням міжнародної програми «Економічна оцінка довговічних дорожніх покриттів», яку очолює центр «Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)», Joint Transport Research Centre у Франції. З 2005 року ДерждорНДІ бере участь у складі робочої групи від України в цій програмі.

Міжнародна назва такого покриття HPCM (High Performance Cementitious Materials) – високоміцне тонкошарове бетонне покриття товщиною 8–9 мм, армоване металевими, полімерними або базальтовими фібрами довжиною не більше 5 мм. Підвищення зчіпних властивостей обумовлюється нанесенням на бетонну поверхню кам'яного матеріалу фракцією 3 – 5 мм.

Дослідження НРСМ-покриття

Згідно з завданнями міжнародної програми, НРСМ-покриття покращують фрикційні властивості існуючих асфальтобетонних покриттів, забезпечують їх довговічність і працездатність.

Дослідження, що виконувались, були поділені на кілька етапів:

1. Збір інформації про можливість улаштування жорсткого бетонного тонкошарового покриття на нежорстку основу, якою служить існуюче асфальтобетонне покриття.

2. Вибір складових компонентів бетонного покриття, тобто фібри, кам'яного матеріалу і безпосередньо визначення оптимального складу бетонної суміші.

3. Проведення лабораторних досліджень щодо визначення фізико-механічних властивостей підібраної бетонної суміші.

4. Розробка технології нанесення на існуюче асфальтобетонне покриття.

5. Склад бетонної суміші такий: цемент, кварцовий пил, суперпластифікатор у вигляді порошку (типу полікарбоксилу) і вода. При виборі фібри для дисперсного армування за основу членами робочої групи були взяті фібри металеві d = 0,2 мм, довжиною до 13 мм; та PVA-фібри d = 0,33 мм та довжиною до 15 мм.

Результати лабораторних досліджень, проведених у Франції у лабораторії LCPC, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 Властивості бетонної суміші з 1 % сталевих фібр, 1 % PVA-фібр та вихідної неармованої суміші

Найменування показників	Неармована суміш	1 % сталевих фібр	1 % PVA-фібр
Осадка, см	16,0	14,0	11,5
Вміст пустот, %	6,3	5,8	4,2
Міцність на стиск, МПа	138	172	210
Міцність на згин	24,9	23,5	28,5
Модуль пружності, МПа	–	42,5	48,5

Результати проведених досліджень показали, що значення з PVA-фібрами не поступаються складу бетонної суміші з металевими фібрами, а за міцністю є дещо збільшеними. Таким чином, PVA-волокна можна було рекомендувати для подальших поглиблених досліджень.

Ці дослідження включали випробування морозостійкості, втомлюваності, опору стирання та колієутворення.

Випробування морозостійкості проводилися Датським дорожнім інститутом DRI за Шведським методом SS 137244.

Зразки герметизували й ізолювали з усіх боків, крім зовнішньої поверхні, яка буде випробовуватись. 3 % розчин NaCl товщиною 3 мм укладали на мерзлу поверхню і установлювали в холодильну установку, де зразки витримувались при температурі від +20 °С до –20 °С і знов до + 20 °С протягом 24 годин.

Циклів заморожування-відтаювання взагалі було 112. Випробування показали, що відшарування немає, тобто матеріал є морозостійким і ризику викришування щебінок не існує. Дослідження на морозостійкість проводились з додаванням різної кількості фібр від 1 до 3 %.

Після проведених досліджень було визначено, що значення морозостійкості вище у складів з додаванням PVA-волокон і збільшуються із збільшенням циклів заморожування-відтаювання, ніж у складів з введенням металевих фібр. Оптимальна кількість PVA-волокон – 3 %.

Випробування на втомлюваність проводились в Німеччині в BASTi. Для того, щоб випробувати достатньо тонкий шар зносу на опір великій кількості відхилень, що повторюються, в лабораторіях країн-учасниць була проведена серія випробувань на згин.

Мета дослідження – визначити щільність матеріалу, особливості поведінки волокон різного походження на дію великої кількості циклічного навантаження.

Тут проводилось порівняння дії двох типів фібр сталевих та PVA. Випробування виконувались з додаванням у суміш фібр у кількості 2 % на зразках – балочках з розмірами 10 × 50 × 1000 мм з завданим прогином посередині, величиною 1 мм. Це відхилення приблизно відображує середній прогин, що відбувається при проїзді автомобілів по дорозі, збільшений у 3 рази.

Результати представлені у вигляді значень еквівалентного модуля пружності як функції кількості циклічного навантаження, що прикладається. Вихідний модуль пружності на 28 день складає НРСМ з 2 % металевих волокон – 38 МПа; НРСМ з 2 % з PVA – 36 МПа. Причому зменшення модуля пружності відбувається після першого мільйону прогинів, у сталевих фібр це виражено більш, ніж у PVA.

Зменшення модуля пружності призведе до утворення мікротріщин, але подальші стабільні значення свідчать, що значного погіршення модуля пружності не відбувається, тобто розвитку тріщин і подальшого руйнування теж не відбувається.

Незважаючи на нижчі значення з PVA-волокнами, можна стверджувати, що обидва типи волокон можна рекомендувати для застосування в суміші.

Оцінка опору зносу бетонного покриття з фібрами різного походження було проведена в США, Turner Fair bank Highway Research Centre. Для оцінки опору зносу поверхні і стирання під впливом руху транспорту було проведене випробування на утворення колійності під рухом колеса при заданих температурі і куті повороту колеса. Для порівняння використовувались зразки без введення фібри.

Випробування на колійність найбільш відображає ті динамічні навантаження, що виникають під рухом транспорту, і дає можливість записати будь-які зміни геометричних характеристик поверхні. Випробування проводили при температурі зовнішнього середовища +20 °С, з навантаженням 0,6 МПа. Кількість циклів – 1000.

Результати випробувань показали, що у бетонних покриттів зниження маси відбувається менш інтенсивно, ніж у контрольних асфальтобетонних зразків, що пояснюється введенням фібри. Практично однаковий знос у складі з додаванням металевих і PVA-волокон. Це ще раз підтверджує, що ці типи волокон придатні для використання.

При улаштуванні НРСМ в свіжоукладену бетонну суміш з фібрами укладають щебінки на половину їх товщини і прикочують металевим циліндром (легким котком).

Таблиця 2 Результати досліджень, проведених в ДерждорНДІ

ання показників	Склад бетонної суміші з фібрами різного походження			
	Вихідна суміш	З металевими фібрами	З PVA-фібрами	З базальтовими фібрами
на стиск, МПа твердіння				
	8,0	8,5	9,0	9,8
	11,2	11,8	11,9	12,5
	28,8	29,1	30,2	31,3
	31,6	32,6	31,8	33,2
	37,0	38,0	39,0	39,9
	41,3	42,5	42,6	43,0
на розтяг при розПа, при руйнівному ні 2700 кгс	2,86	2,9	3,1	3,34
линання, %	5,3	3,8	3,6	2,8
проникливість, МПа	5,5	6,0	7,0	8,0
ент морозостійкоя циклів				
	0,81	0,97	0,98	0,98
	0,74	0,94	0,96	0,95
	0,68	0,86	0,91	0,92

ні в ДерждорНДІ проводились дослі- з розробки довговічного бетонного тонго покриття товщиною 10 мм. З викори- PVA-фібр, сталевих фібр і надтонких вих фібр, отриманих при переробці базагірської породи, шляхом термічного пла- при температурі близько 800 °С. Склад ої суміші був такий: цемент марки М-400; відсіву дроблення; щебінь гранітний; воцементне співвідношення 0,5.

досліджувались за методиками і нормати- документами, що діють в Україні, на розтяг при розколі, морозостійкість (100, 00 циклів заморожування та відтаювання у розчині NaCl), водонепроникність та водопоння. Результати досліджень наведені в 2.

Висновки

дені дослідження показали:

аїні вперше був апробований новий сучаснатеріал для суцільного нанесення на існуюкриття з метою збільшення шорсткості і дочності доріг і тротуарів. У порівнянні з поневою обробкою використання НРСМ збільдовговічність покриттів на 20 – 30 % з покращенням транспортно-експлуатаційних показників на 30 – 35 %.

Таким чином, НРСМ є новий тип тонкошарового покриття, оскільки жорсткий шар товщиною 10 мм укладається на нежорстку основу і при цьому відбувається покращення зчіпних властивостей існуючого асфальтобетонного покриття у будь-яку пору року.

Склад бетонної суміші НРСМ з введенням базальтових волокон показав найвищі результати при проведенні стандартних випробувань, необхідно провести більш поглиблені випробування.

Дисперсне армування за рахунок введення PVA або базальтових волокон підвищить міцність, зсувостійкість і довговічність дорожнього покриття.

Для України використання базальтових волокон є більш перспективним направленням, ніж PVA та металеві волокна, тому що наша країна має найбільші родовища базальту у всьому світі, тому цей напрямок є цікавим і необхідним.

Рецензент: В.К. Жданюк, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 8 серпня 2006 р.

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)
ДЕРЖАВНИЙ ДОРОЖНІЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ М.П. ШУЛЬГІНА

ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 8

Київ 2008

УДК 625.76

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХЛОРИДІВ ПРИ ЗИМОВОМУ УТРИМАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Вирожемський В.К.
ДерждорНДІ

Кожушко В.В.
ДП „Київський облдорупр”

Краюшкіна К.В.
ДерждорНДІ

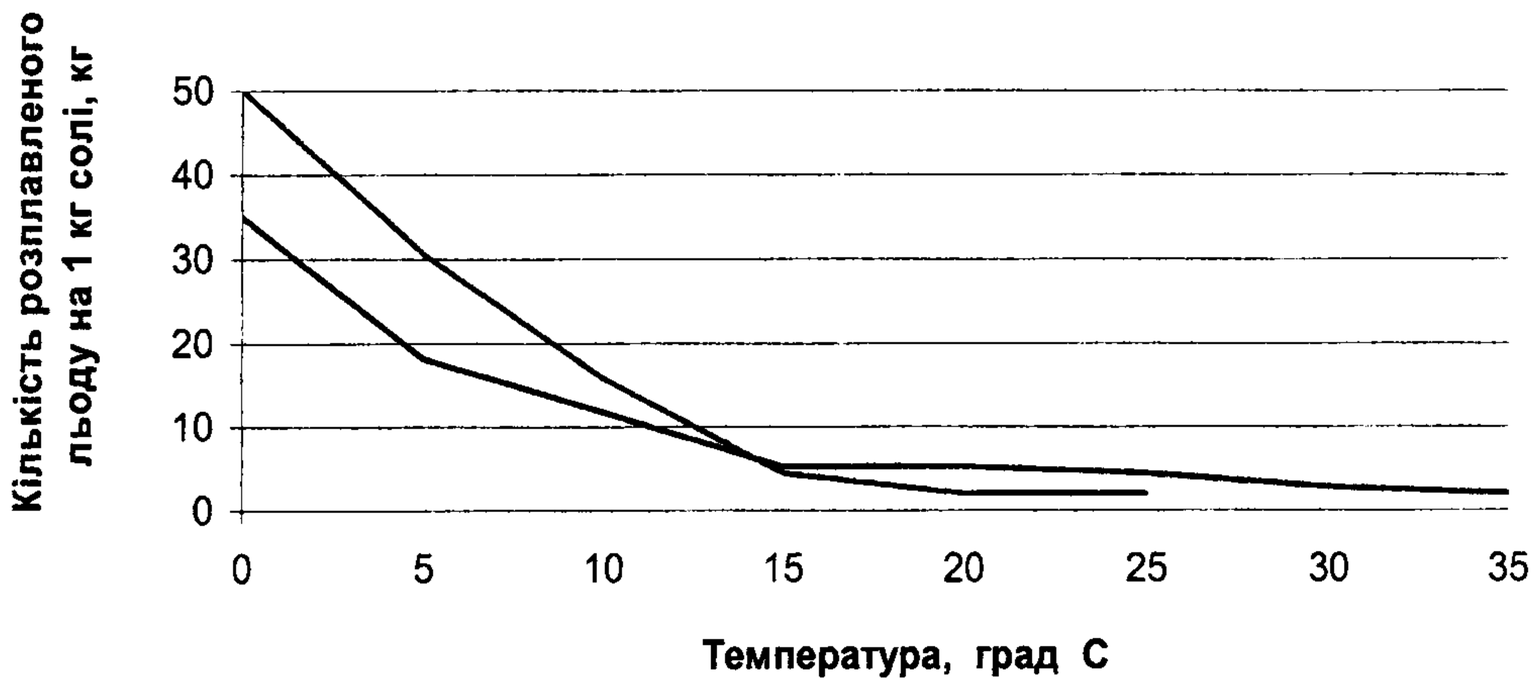
Хімерик Т.Ю.
ДерждорНДІ

З хімічних засобів, які на даний час більш всього розповсюджені для боротьби з зимовою слизькістю, найбільш вигідними з економічної точки зору є хлористі солі металів: хлористий натрій (NaCl – поварена сіль), хлористий кальцій (CaCl2) і хлористий магній (MgCl2).

Дія цих солей заснована на тому, що температура замерзання їх водних розчинів нижче температури замерзання води. При розподілі солі на поверхні льодяного шару починається утворення плівок розсолу навколо кристалів солі, і лід поступово тане. Температура замерзання водних розчинів рідких солей неоднакова, в зв'язку з цим різна і „плавка здатність” солей, які використовуються для боротьби з ожеледицею. Під „плавкою здатністю” розуміють кількість льоду, який може бути розплавлений однією ваговою одиницею солі. Виходячи з міркування доступності (можливості одержання) та вартості, для боротьби з ожеледицею частіше всього використовують хлористий натрій та хлористий кальцій. Температури замерзання водних розчинів цих солей, відповідно, мінус 21,2 ^{0}C та мінус 55 ^{0}C. Порівняння плавкої здатності цих матеріалів свідчить, що при температурі навколишнього середовища вище мінус 12,7 ^{0}C доречно використовувати хлористий натрій, а при більш низьких температурах – хлористий кальцій.

Однак при цьому треба враховувати швидкість впливу на лід хлористого кальцію та хлористого натрію, так як вона неоднакова. Спочатку в лід проникають кристали хлористого кальцію, а потім швидко починає свою дію хлористий натрій [1,2]. Швидкість проникнення кристалів (рис.1) залежить не тільки від хімічного складу солі, а й від розміру її кристалів, а також – температури атмосферного повітря. Щоб забезпечити якомога більший вплив солі на лід при різних температурах навколишнього середовища, доцільно використовувати суміші хлористого кальцію та хлористого натрію. В США, наприклад, така суміш готується в пропорції 2:1.

Сіль можна використовувати в чистому вигляді (хімічний спосіб боротьби з зимовою слизькістю) та в суміші з фракційними матеріалами (відсів від дроблення каменю з розміром зерен до 3 мм, пісок – хіміко-фрикційний спосіб), що значно підвищують коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорогою.



1 – NaCl; 2 – $CaCl_2$.

***Рисунок 1** – Плавка здатність хлористих солей*

Ця суміш краще закріплюється на поверхні льоду, сприяє його видаленню з покриття дороги, зерна фрикційного матеріалу забезпечують підвищення шорсткості поверхні. Швидкість проникнення хлористих солей у лід в залежності від норм витрат наведено на рис.2.

штрихова лінія – криві для NaCl;
суцільна лінія – для $CaCl^2$.
Температура випробувань – 10 °С.
1 – 70 г/м^2; 2 – 40 г/м^2; 3 – 20 г/м^2 – NaCl;
4 – 70 г/м^2; 5 – 40 г/м^2; 6 – 20 г/м^2 – $CaCl_2$.

***Рисунок 2** – Швидкість проникнення хлористих солей в лід в залежності від норм витрат*

Існують і інші способи ліквідації зимової слизькості із застосуванням інших матеріалів, таких як каїніт, бішофіт твердий та розчин тощо, але вони менш розповсюджені, тому в даній роботі ми не приділяємо їм увагу.

Останнім часом велика увага приділяється чистим хлоридам для боротьби з зимовою слизькістю. Тільки в Київській області ми маємо 24 одиниці солерозподільчого обладнання для автомобілів „Scania", „МАЗ", МЗКТ, ГАЗ, КРАЗ. В основному це обладнання німецьких компаній Schmidt, Superweizer, Pitsch. Станом на 01.02.2007р. вже побудовано один (на базі філії „Броварське ДЕУ" ДП „Київський облдорупр") склад для зберігання чистих хлоридів з вузлом приготування розсолів [4, 5]. В 2007-2008 рр. планується закупка ще 15 комплектів з автомобілями обладнання „Schmidt" та будівництво 15 складів для зберігання чистих хлоридів з малою механізацією (системою транспортерів, грейфером, дозаторами, бункерами).

Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом (ХНАДУ), Українським державним виробничо-технологічним підприємством „Укрдортехнологія" та Державним дорожнім науково-дослідним інститутом ім. Шульгіна (ДерждорНДІ) розроблені „Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг" (П.Г.1-218-118:2005), які затверджено наказом Державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор) № 525 від 15.11.2005 р. [6]. В них визначено основні вимоги щодо технологій та організації робіт з зимового утримання доріг, охорони довкілля та вимоги безпеки під час зимового утримання автомобільних доріг, а також наведено вимоги до протиожеледних матеріалів (фракційних, хімічних) та усереднені норми розподілення чистих хлоридів (які відображені в табл. 7.7 цього документу). Ці норми наведено і в „Методичних вказівках з організації експлуатаційного утримання магістральних доріг в зимових умовах" (МВ 218-03449261-419:2005) [7].

***Таблиця 1** – Усереднені норми розподілу чистих хлоридів*

ПОМ	*Лід*				*Сніжно-льодяний накат*				*Пухкий сніг*			
	Усереднені норми розподілення чистих хлоридів, г/м², за від'ємної температури атмосферного повітря											
	0-5	*6-10*	*11-15*	*нижче мінус 15*	*0-5*	*6-10*	*11-15*	*нижче мінус 15*	*0-5*	*6-10*	*11-15*	*нижче мінус 15*
Хлористй натрій (технічна сіль)	20	40	70*	-	15	30	50*	-	10	20	30*	-
Хлористий кальцій: лускоподібний, ХКФ	30 35	60 65	80 90	100 100	25 30	40 50	60 70	80 90	20 20	30 35	40 45	50 60
Суміш хлористого натрію з хлористим кальцієм (88:12)	25	50	75	-	20	40	65	-	15	25	40	-

...ння табл. 1

...м	Лід				Сніжно-льодяний накат				Пухкий сніг			
	Усереднені норми розподілення чистих хлоридів, г/м^2, за від'ємної температури атмосферного повітря											
	0-5	6-10	11-15	нижче мінус 15	0-5	6-10	11-15	нижче мінус 15	0-5	6-10	11-15	нижче мінус 15
...ирородні ... води, ...ровані ... хлори-...рієвого	170	240	-	-	140	170	-	-	100	120	-	-
...і води і ...тровані ...и ...го-натрі-...кладу	140	180	220	260	100	130	160	200	80	100	130	160

...тка 1. *Норми розподілу технічної солі вказано у складі ПСС (допускається застосування технічної солі у складі з ПСС і за температурою від 0 до мінус 10 ^{0}С). Приклад розрахунку норми витрат ПСС наведено у додатку В.*

...тка 2. *Прочерк означає, що за такої температури повітря застосовувати вказану хімічну речовину забороняється.*

...тка 3. *Лускоподібний хлористий кальцій доцільно застосовувати за температури повітря від мінус 15 до мінус 35^{0}С.*

...тка 4. *Норми розраховано для товщини шару льоду – 1 мм; сніжно-льодяного накату – 1см; пухкого снігу – 2 см.*

...таблиці в залежності від температури навколишнього середовища і характеру покрову ...жнього покриття (пухкий сніг, сніжно-льодяний накат або лід) наведено витрати ...стого натрію (технічної солі) від 10 до 70 г/м^2. Однак не враховано активність хлористого ...ю або вмісту в ній хлорид-іонів, а розрахунок наведено на 100 % їх вмісту.

...факт викликає труднощі в питаннях приготування піщано-соляних сумішей потрібних ...нтрацій, списання їх після виконання робіт, а також при прийнятті робіт замовником в ...зимової експлуатації автомобільних доріг.

...у ДП „Київський облдорупр" звернувся до ДерждорНДІ імені М.П.Шульгіна з питанням ...едення досліджень по визначенню властивостей технічної солі виробництва „Артемсіль", який провів ці дослідження в період в 2006 році, згідно яких вміст хлорид-...в в солі становив 77,22 %.

...це, в свою чергу, говорить про те, що при приготуванні піщано-соляних сумішей 6 % ...нтрації ми повинні дозувати хлоридів на 22,78 % (від 6 %) більше, тобто 7,7 % (вагових) ...отримання необхідної плавкої здатності (рис.1) і, відповідно, на стільки ж менше

фрикційного матеріалу – піску. Або, іншими словами: щоб досягти 100 % активності хлорид-іонів в 6 % піщано-соляній суміші, необхідно взяти 7,7 % (вагових) хлоридів (технічної солі) з активністю (або вмістом хлорид-іонів) – 77,22 %. А при використанні чистої солі для боротьби з зимовою слизькістю – дозувати її на 1кв.м. на 22,78 % більше від величин, що наведено в усереднених нормах розподілення чистих хлоридів, для досягнення необхідного плавильного ефекту. Наприклад, (таблиця 1), при температурі $0\div(-5)^0$С, норма розподілу хлоридів становить 20 г/м^2. При вмісті хлорид-іонів 77,22 % в технічній солі, норма повинна бути 24,6 г/м^2 і т.д.

Необхідно відмітити також, що у виробничих умовах при приготуванні піщано-соляних сумішей різних концентрацій (6%,12%,25%) повинні витримуватись точні дозування хлоридів та піску. Для цього, на наш погляд, необхідно вирішувати питання впровадження у виробництво спеціальних дозаторів у кожному виробничому підрозділі, на кожному складі протиожеледних матеріалів, або готувати суміші централізовано, в місцях, де існують такі дозатори і розвозити їх на придорожні буферні склади автотранспортом. Але для цього необхідно вирішити ряд організаційних, фінансових та економічних питань.

При використанні чистих хлоридів для зимового утримання автодоріг, солерозкидальне обладнання Schmidt, Superweizer, Pitsch дозволяє дозувати хлориди з точністю до 1 г, тому дообладнання чи переобладнання цих солерозкидачів не має сенсу.

Для визначення частин хлоридів та піску в об'ємі піщано-соляної суміші ДП „Київський облдорупр" спільно з Службою автомобільних доріг у Київській області визначився з прикладами елементарного розрахунку, які ми наводимо для керівництва в роботі в інших областях.

1. Норма розподілу хлоридів з урахуванням фактичної активності (вмісту хлорид-іонів).

Примітка: Норми витрат технічної солі на 1 м^2 обробки покриття доріг приймається в залежності від температури атмосферного повітря, згідно табл..7.7 П.Г. 1-218-118:2005.

1. Вміст хлорид-іонів в технічній солі (за результатами лабораторних досліджень (випробувань) – 77,22 %;

2. Неактивний залишок:

100 % – 77,22 % = 22,78 %;

3. Коефіцієнт збільшення норм витрат технічної солі на 1 м^2 з урахуванням фактичної активності к = 1,2278;

4. З даних табл..7.7:

– пухкий сніг;

– температура атмосферного повітря $0\div(-5)$ ^{0}С;

– норми розподілу хлоридів з урахуванням фактичної активності хлоридів:

10 г/м^2 х 1,2278 = 12,28 г/м^2

Визначення частин хлоридів та піску в об'ємі піщано-соляної суміші (а 100 м^3 піщано-соляної суміші).

Об'ємна вага піщано-соляної суміші (за результатами лабораторних випробувань) – 1,34 т/м^3;

Об'ємна вага піску (за результатами лабораторних випробувань) – 1,35 т/м^3;

Вміст солі в піщано-соляній суміші (за результатами лабораторних випробувань) – 6 %.

Розрахунок:

Вага 100 м^3 ПСС:

100 м^3 х 1,34 т/м^3 = 134 т;

Вага солі в 100 м^3 ПСС:

134 х 0,06 = 8,04 т;

Вага піску в 100 м^3 ПСС:

134 т – 8,04 т = 125,96 т;

Об'єм піску в 100 м^3 ПСС:

125,96 т : 1,35 т/м^3 = 93,30 м^3

тература:

М.М. Гусєв. Борьба со скользкостью обледенелых дорог. Изд. Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1959. – С. 77-84

Зимнее содержание автомобильных дорог, под ред. д.т.ц., профессора А.К.Дюніна, М.: „Транспорт", 1983. – 315 с.

Технічні правила ремонту і утримання автомобільних доріг загального користування України, під керівн. А.А. Рибальченко, К.: 1997. С. 66-81, 119-120.

В.В. Кожушко, В.П. Кожушко, О.В. Храпаль. Деякі теоретичні та практичні аспекти боротьби з зимовою слизькістю при експлуатаційному утриманні автомобільних доріг. Науково-технічний збірник НТУ „Автомобільні дороги і дорожнє будівництво", К.: 2003, вип. 66. – С. 50-53.

В.В. Кожушко, В.П. Кожушко, О.В. Храпаль. Впровадження нових технологій і техніки при зимовому утриманні автомобільних доріг – основний фактор забезпечення безпеки дорожнього руху. Науково-технічний збірник НТУ „Автомобільні дороги і дорожнє будівництво", К.: 2003, вип. 67. – С. 31-34.

Єдині правила зимового утримання автомобільних доріг, П.Г.1-218-118:2005

Методичні вказівки з організації експлуатаційного утримання магістральних доріг в зимових умовах, М.В.218-03449261-419:2005. – 36 с.

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ УКРАЇНИ
(УКРАВТОДОР)
ДЕРЖАВНИЙ ДОРОЖНІЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ М.П. ШУЛЬГІНА

ДОРОГИ І МОСТИ

Збірник наукових праць

Випуск 8

Київ 2008

УДК 625.8:691.3.41

ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ БЕТОННИХ ПЛИТ І ФІГУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ МОСТІННЯ

Краюшкіна К.В.
ДерждорНДІ

В ДерждорНДІ проводилися дослідження, спрямовані на підвищення міцності, довговічності та шорсткості поверхні бетонних плит. Одним із їх видів є фігурні елементи мостіння (ФЕМ) для тротуарів, площ, пішохідних доріжок та ін. Поверхня ФЕМ при зволоженні, випаданні снігу або оледенінні не має належного опору ковзанню підошв взуття пішоходів. Для виключення цього недоліку потрібно використовувати ФЕМ з виступними рифами. При цьому зростають вимоги щодо міцності та довговічності бетону, оскільки порівняно з випадками застосування елементів з плоскими поверхнями навантаження на виступи значно зростає.

Існує ряд способів підвищення міцності і довговічності бетону шляхом покращання капілярно-порової структури та зниження дефектності суміші за рахунок заповнення мікротріщин і пор в'яжучими речовинами. Для цього на поверхні бетону утворюють захисні шари на основі в'яжучих матеріалів (наприклад, полімерних), здійснюють просочення поверхні (наприклад, водними емульсіями різних масел, синтетичними смолами).

Один із сучасних напрямків підвищення експлуатаційних показників поверхонь полягає в застосуванні композиційних матеріалів на основі бетону.

Можна виділити 3 типи композиційних сумішей: дисперсно твердіючі, армовані волокнами (фібрами); зміцнені мінеральними матеріалами фракцією 0-5 мм.

Найбільш технологічними та економічними є суміші, армовані волокнами (фібрами), які при введенні хаотично розподіляються в бетонній суміші і утворюють міцний матеріал – дисперсно-армований цементобетон.

На механічні властивості дисперсно-армованих сумішей значно впливає взаємодія цементу з волокном, довжина волокна, конфігурація, природа та концентрація в суміші.

Для армування цементобетонної суміші було випробувано волокна різної природи з різними фізико-механічними властивостями (табл. 1).

***Таблиця 1** – Види волокон та їх фізико-механічні властивості*

Матеріал волокон	*Фізико-механічні властивості волокон*				
	Густина, кг/м³x10³	*Модуль пружності, МПа*	*Міцність на розрив, МПа*	*Деформація при розриві, %*	*Довжина, мм*
Сталь	7,0	200	2,8	3,5	4
Скловолокно (лужностійке)	2,6	80	2,4	2,5	4
Базальтове волокно товщиною 0,017 мм (грубе)	4,4	900	4,5	2,1	4

Матеріал волокон	*Фізико-механічні властивості волокон*				
	Густина, кг/м³x10³	*Модуль пружності, МПа*	*Міцність на розрив, МПа*	*Деформація при розриві, %*	*Довжина, мм*
Базальтове волокно товщиною 0,009 мм (тонке)	3,6	600	3,8	1,9	4
Азбест	2,6	164	3,1	2,3	4
Поліпропілен	0,9	5,0	2,9	1,0	4
Поліамід	1,5	133,0	2,6	2,6	4

За даними табл. 1 видно, що найбільші міцність на розрив та модуль пружності мають базальтові волокна. Враховуючи те, що базальт має й інші позитивні фізико-механічні властивості – хімічну стійкість, морозостійкість, стійкість до агресивних середовищ (луг і кислот), а його волокна, введені у бетонні вироби, мають унікальну властивість з'єднувати тріщини в бетоні і таким чином обмежувати їх розширення і розповсюдження, цей матеріал був прийнятий для подальших досліджень.

Стандартні дослідження фізико-механічних властивостей, визначення атмосферостійкості та морозостійкості зразків цементобетону з базальтовими волокнами проводились в сертифікованій у системі УкрСЕПРО лабораторії відділу жорстких дорожніх одягів ДерждорНДІ. Як еталонний зразок використовували цементобетонну суміш без додавання волокон. Результати досліджень наведено в таблиці 2.

Оптимальна концентрація волокон у сумішах визначалась експериментально. Для грубих базальтових волокон вона становила 2,8 %, для тонких – 4,4 % від маси цементу. Довжина волокон становила 3 мм. Ущільнення зразків проводилось вібропресуванням. Дослідження морозостійкості відбувалось при температурі +-20+-5 і відтавання у воді і 5 % розчині NaCl. Водонепроникність визначалась за стандартною методикою до появи "мокрої плями" на зразках. Стирання визначалось в см після 840 обертів на крузі „ЛКІ – 3", міцність на удар – на копрі Пейджа.

З аналізу даних, наведених в таблиці 2, видно, що домішки базальтових волокон дозволяють отримати цементобетонні вироби підвищеної міцності, густини та морозостійкості

Разом з високими фізико-механічними характеристиками для дисперсно-армованих бетонних сумішей слід відмітити швидке зростання міцності незалежно від температури і вологості середовища, низьку адсорбцію до води.

Отже, можна зробити висновок про те, що домішки базальтових волокон дозволяють отримати цементобетонні вироби підвищеної міцності, густини та морозостійкості, що позитивно буде впливати на їх довговічність. При цьому забезпечується можливість виробництва фігурних елементів мостіння (ФЕМ) з виступними рифами для підвищення зчіпних якостей поверхонь тротуарів та пішохідних доріжок.

Подальша робота буде спрямована на поглиблене вивчення структури дисперсно армованих бетонних виробів та ФЕМ і розробку технології їх виготовлення і улаштування.

***Таблиця 2** – Основні фізико-механічні властивості дисперсно-армованого цементобетону*

Показники	*Одиниця вимірю-вання*	*Види сумішей*		
		Вихідна	*З додаванням грубого базальтового волокна ГБВ*	*З додаванням тонкого базальтового волокна ТБВ*
Густина	кг/м^2	2200	2400	2600
Пористість	%	2,0	1,0	1,3
Вміст волокна	%	-	2,8	4,4
Міцність на стиск, $R_{ст}$	МПа	54,0	68,0	62,0
Міцність на розтяг (осьове розтягнення) $R_{ро}$	МПа	6,0	14,0	12,0
Водонепроникливість, після 28 діб	МПа	0,8	0,3	0,4
Міцність при ударі	Дж/см^3	2,6	3,2	2,98
Стирання після обертів 840	см	0,02	0,09	0,11
Коефіцієнт морозостійкості після 200 циклів у воді $K_м$		0,95	1,00	1,0

Література

1. Яромко В.Н. Новая технология ремонта цементобетонных покритий. – НПО «Белавтодорпрогрес». 76 С.
2. Вирожемський В.К. Дисперсно-армований асфальтобетон – довговічний матеріал для руху транспорту і пішоходів. Автошляховик України. Вісник центрального наукового центру транспортної академії України № 4. 2001. – С.101-103.
3. Бабков В.Ф., Могилевич В.Н., Некрасов В.И. Реконструкция автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1987. – 264 с.
4. Веренько В.А. Новые материалы в дорожном строительстве. Минск УП «Технопринт», 2004. – 169 с.

УДК 624.012:6

ВПЛИВ Ф
НА С

Крусь Ю.О.
Крусь О.Ю.
Національний у
та природокор

Як відомо [1,
розташованих з
Цементний кам
велику кількіст
рідкому стані.
агрегатних ста
вираженими н
результаті випр
центральним ст
деформаціями

Форма діаграм
співвідношенн
піщаним розч
способу обро
характеру нав
Так, наприкл
унаслідок чог
наближається
швидкості зав

УДК 625.7/.8

ВИКОРИСТАННЯ ВІДВАЛЬНИХ ШЛАКІВ РІЗНИХ ВИРОБНИЦТВ В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Бєлятинський А.О.
Національний авіаційний університет
Краюшкіна К.В.
Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна

Будівництво і, особливо, реконструкція та ремонти автомобільних доріг потребують розвитку промисловості виробництва кам'яних матеріалів. Зростальну потребу в кам'яних матеріалах можна задовільнити за рахунок широкого використання відходів промисловості і вторинних ресурсів. Одним з найбільш відомих відходів, який з кожним роком знаходить все більше розповсюдження в дорожньому будівництві, є шлаки чорної і кольорової металургії.

У зв'язку із значним накопиченням великої кількості побічного матеріалу у вигляді шлаків і необхідністю їх утилізації виникла необхідність проведення робіт в напрямку визначення можливості використання цих шлаків у транспортному будівництві.

За своїми характеристиками (хімічний, мінералогічний склад, морозостійкість) шлаки є цінною сировиною для приготування щебеневих матеріалів та мінеральних в'язних, на основі яких виготовляють цементо- та асфальтобетонні суміші для влаштування дорожніх покриттів.

Заміна шлаком цементу, щебеню і мінерального порошку, на виробництво яких витрачається значна кількість матеріальних та енергетичних ресурсів, супроводжується різким зниженням витрат палива, електроенергії та трудових ресурсів. Взагалі, собівартість шлакових дорожньо-будівельних матеріалів в 2 рази нижче собівартості аналогічної продукції із природних гірських порід.

Таким чином, необхідність і актуальність використання шлаків в дорожній галузі, що характеризується значною матеріалоємністю, не викликає сумніву.

В минулому був розроблений проект державної програми з утилізації шлаків в дорожньому будівництві. Потім шлаки почали активно використовувати в інших галузях, і дорожники практично не отримували цей матеріал. Але зараз знов набула актуальності необхідність застосування шлаків при будівництві і ремонтах.

В останні роки в дорожньому будівництві все більше розповсюдження мають металургійні та фосфорні шлаки. Металургійні поділяються на шлаки чорної і кольорової металургії. Шлаки чорної металургії бувають доменні, сталеплавильні і феросплавні.

Головним фактором, що визначає властивості шлаку є його структура, яка залежить від хімічного складу шлаку і режиму охолодження.

В доменних шлаках кристалічна частина представлена більш як двадцятьма мінералами із густиною більш як 3 г/см^3.

Електросталеплавильні шлаки мають щільну мікропорфірову структуру і складаються, в основному, із силікатів з додатками інших мінералів.

Шлаки кольорової металургії мають скловидну кристалічну структуру.

Фосфорні шлаки світло-сірого кольору. Шлакова маса повністю кристалізована.

В ДерждорНДІ проводились роботи з використання шлаків різних видів виробництв в дорожній галузі.

Встановлено можливість використання щебеню і піску із шлаків різних виробництв при приготуванні асфальто- і цементобетонних сумішей для улаштування основ дорожніх одягів, для доріг нижчих категорій улаштування покриттів із шлакових матеріалів.

В даній роботі встановлено можливість використання електросталеплавильних шлаків відвальних для приготування асфальтобетонних сумішей.

Дослідження проводились по таких напрямках:

1. Вся мінеральна частина суміші була замінена на шлаковий матеріал, тобто щебінь фр. 5-15, висівки фр. 0-5, мінеральний порошок;
2. Щебінь і висівки із гранітного матеріалу, мінеральний порошок – шлаковий.

Дослідження проводились з асфальтобетоном тип «Б» як найбільш поширеним для улаштування верхнього шару покриття доріг I-II категорії.

Дослідження проводились за такою схемою:

- визначення фізико-механічних властивостей та хімічного складу електросталепла-вильного шлаку, як щебеню, так і мінерального порошку.
- адгезії до бітуму;
- фізико-механічних властивостей асфальтобетону.

Експериментальні дослідження.

Таблиця 1 *– Хімічний склад електросталеплавильного шлаку*

Назва матеріалу	Хімічний склад, %							Модуль основності, M_o
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	S	
Електросталеплавильний шлак – щільний дрібно-зернистий сірого кольору	28,3	12,0	31,0	9,0	5,6	13,4	0,7	1,1

За даними хімічного складу розраховують модуль основності (M_o), модуль активності (M_a) та коефіцієнт якості (К), що характеризують гідравлічну активність шлаку.

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{31,0 + 9,0}{28,3 + 12,0} = 0,99\%;$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} = \frac{12,0}{28,3} = 0,42;$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2} = \frac{53,87}{28,3} = 1,9.$$

В залежності від коефіцієнту якості і вмісту сполук шлаки поділяються на три сорти згідно ГОСТ 3476.74.

ВИРОБНИЦТВ

оріг потребують розвитку
у в кам'яних матеріалах
омисловості і вторинних
ом знаходить все більше
вої металургії.

еріалу у вигляді шлаків і
в напрямку визначення

тійкість) шлаки є цінною
в'язних, на основі яких
орожніх покриттів.

ицтво яких витрачається
ується різким зниженням
ість шлакових дорожньо-
ції із природних гірських

ів в дорожній галузі,

ції шлаків в дорожньому
іх галузях, і дорожники
туальності необхідність

ня мають металургійні та
рової металургії. Шлаки

труктура, яка залежить

двадцятьма мінералами

руктуру і складаються,

лізована.

В ДерждорНДІ проводились роботи з використання шлаків різних видів виробництв в дорожній галузі.

Встановлено можливість використання щебеню і піску із шлаків різних виробництв при приготуванні асфальто- і цементобетонних сумішей для улаштування основ дорожніх одягів, для доріг нижчих категорій улаштування покриттів із шлакових матеріалів.

В даній роботі встановлено можливість використання електросталеплавильних шлаків відвальних для приготування асфальтобетонних сумішей.

Дослідження проводились по таких напрямках:

1. Вся мінеральна частина суміші була замінена на шлаковий матеріал, тобто щебінь фр. 5-15, висівки фр. 0-5, мінеральний порошок;
2. Щебінь і висівки із гранітного матеріалу, мінеральний порошок – шлаковий.

Дослідження проводились з асфальтобетоном тип «Б» як найбільш поширеним для улаштування верхнього шару покриття доріг I-II категорії.

Дослідження проводились за такою схемою:

- визначення фізико-механічних властивостей та хімічного складу електросталепла-вильного шлаку, як щебеню, так і мінерального порошку.
- адгезії до бітуму;
- фізико-механічних властивостей асфальтобетону.

Експериментальні дослідження.

Таблиця 1 *– Хімічний склад електросталеплавильного шлаку*

Назва матеріалу	Хімічний склад, %							Модуль основності, M_o
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	S	
Електросталеплавильний шлак – щільний дрібно-зернистий сірого кольору	28,3	12,0	31,0	9,0	5,6	13,4	0,7	1,1

За даними хімічного складу розраховують модуль основності (M_o), модуль активності (M_a) та коефіцієнт якості (К), що характеризують гідравлічну активність шлаку.

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{31,0 + 9,0}{28,3 + 12,0} = 0,99\%;$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} = \frac{12,0}{28,3} = 0,42;$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2} = \frac{53,87}{28,3} = 1,9.$$

В залежності від коефіцієнту якості і вмісту сполук шлаки поділяються на три сорти згідно ГОСТ 3476.74.

Таблиця 2

Показники	Сорт		
	1	2	3
Коефіцієнт якості, не менше	1,65	1,45	1,2
Вміст Al_2O_3, не менше, %	8,0	7,0	Не нормується
MgO, не більше, %	15,0	15,0	15,0
TiO_2, не більше, %	4,0	4,0	4,0
MnO, не більше, %	2,0	4,0	4,0

Аналізуючи дані, наведені в табл. 2, можна зробити висновок, що для проведення досліджень прийнято електросталеплавильний шлак основний (SiO_2<52%, M_o>1) з поверхнею, яку мають гірські виверженні породи, і постійний хімічний склад. Продуктів розпаду, гранул металу та інших домішок не виявлено.

В цілому, за хімічним складом електросталеплавильний шлак близький до природних ефузивних кам'яних матеріалів типу базальту.

За коефіцієнтом якості відноситься до 1 сорту, окрім кількості MnO, що дещо збільшена.

Згідно ВБН В.2.3-218-189-2005 електросталеплавильний шлак, переданий для досліджень, являє собою щебеневу крупнозернисту суміш і основний матеріал, який може бути рекомендований для влаштування основи дорожніх одягів, укріплених неорганічними в'язними (цемент, вапно) та органічними в'язними (бітум).

При використанні електросталеплавильних шлаків, які характеризуються цементувальною здатністю, а при ущільненні і зволоженні водою після цементації утворюють монолітну водостійку основу, цемент та вапно виступають у ролі активаторів.

Фізико-механічні характеристики електросталеплавильного шлакового щебеню наведено в табл. 3. Для порівняння паралельно проводились дослідження гранітного щебеню Клесівського кар'єру.

***Таблиця 3** – Фізико-механічні характеристики електросталеплавильного шлакового щебеню*

Найменування показників	Щебінь шлаковий електросталеплавильний	Щебінь гранітний (Клесівський кар'єр)
Дійсна густина, г/см^3	3,45	4,2
Середня густина, г/см^3	3,84	4,35
Насипна густина, кг/м^3	1800,0	1850,0
Пористість, %	5,4	7,5
Водопоглинання, %	2,1	3,4
Марка за морозостійкістю	Висока F 150	Висока F 150
Марка за дробильністю	М 1200	М 1000
Твердість за десятибальною шкалою, бали	6-7	–

рт	
	3
	1,2
	Не нормується
	15,0
	4,0
	4,0

я проведення досліджень з поверхнею, яку мають зпаду, гранул металу та

близький до природних

о дещо збільшена.

еданий для досліджень, еріал, який може бути неорганічними в'язними

уються цементувальною утворюють монолітну

вого щебеню наведено ня гранітного щебеню

бео шлакового щебеню

Щебінь гранітний (Клесівський кар'єр)
4,2
4,35
1850,0
7,5
3,4
Висока F 150
М 1000
–

Кінець табл. 3

Найменування показників	Щебінь шлаковий електросталеплавильний	Щебінь гранітний (Клесівський кар'єр)
Марка за стиранністю	Висока СТ-1	Висока СТ-1
Міцність при стисканні у циліндрі, МПа	7,4	5,4
Вміст зерен пластинчатої (лещадної) та голчастої форми	Кубовидна група, 12	Кубовидна група, 15
Вміст глини в грудках	–	–

Аналізуючі дані, наведені в табл. 3, можна стверджувати, що фізико-механічні характеристики (міцність, дробильність, водопоглинання) у шлакового щебеню вище, ніж у гранітного і відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-74-98, тобто цей матеріал може бути використаний для влаштування шарів покриття та основи дорожніх одягів.

Відомо, що шлаки металургійних заводів характеризуються в'язними властивостями, які визначаються за такими показниками:

- гідравлічною активністю – тобто міцністю при стиску зразків, виготовлених трамбуванням суміші дробленого шлаку з водою;
- стійкістю проти розпаду у воді зразків шлакової суміші;
- набуханням шлакового (мінерального) порошку;
- строками тужавіння.

Було проведене визначення цих показників, і результати досліджень наведено в табл. 4.

Таблиця 4 *– В'язні властивості електросталеплавильного шлаку*

Показники	Результати випробувань
Міцність при стиску, МПа	8,5
Стійкість проти розпаду, %	Силікатного 0,9 Залізистого 1,8
Набухання, %, не менше	58
Строки тужавіння, початок, хв.	14

Аналзуючи дані табл. 4, можна зробити висновок, що електросталеплавильний шлак має достатні в'язні властивості, що буде сприяти довговічності та збільшеній міцності конструктивних шарів дорожніх одягів з його застосуванням.

У зв'язку з тим, що шлаковий щебінь та шлаковий мінеральний порошок буде використовуватись для приготування асфальтобетонних сумішей, проводились дослідження адгезії до органічного в'язного – бітуму.

Результати досліджень наведено в табл. 5.

Таблиця 5 *– Визначення якості зчеплення поверхні шлакового щебеню з бітумним в'язким бітум марки БНД 90/130*

Характеристика поверхні зерен шлаку	Маса зерна шлаку, г	Маса зерна шлаку, г		Характеристика плівки бітуму на поверхні щебеню		Оцінка якості зчеплення
		щебеню з плівкою в'язного	з плівкою в'язного після випробування	збереження плівки в'язного, % за масою	ступінь збереженості плівки в'язного	
Цілком склувата	104,20	106,50	106,00	48,5	Плівка в'язного понад 50 % збереглась на поверхні щебеню, при чому товщина її місцями зменшена	Задовільн (три бали)
50 % поверхні склувата	56,3	58,2	57,9	49,5	Плівка в'язного понад 50 % збереглась на поверхні щебеню	Задовільн (три бали)
Шорстка, частково склувата	84,50	88,4	88,0	81,00	Плівка в'язного зберігалась на поверхні щебеню	Відмінно (п'ять балів)
Цілком шорстка	45,6	45,9	45,8	96,5	Плівка в'язного частково відокремилася від поверхні щебеню	Відмінно (п'ять балів)

За даними табл. 5 очевидно, що не на всіх поверхнях щебеню спостерігалася висока адгезія плівки в'язного (5 балів).

Необхідно відмітити, що з гранітним щебенем показник адгезії нижчий.

Встановлення фізико-механічних властивостей шлакового мінерального порошку проводилися згідно ДСТУ Б В.2.7-121-2003.

Результати досліджень наведені в табл. 6.

Таблиця 6 *– Фізико-механічні властивості мінерального порошку з електросталеплавильного шлаку*

Найменування показників	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-121-2003	Отримані результати
Вміст частинок, % за масою,		
- дрібніше 0,071 мм	70	89
- дрібніше 1,25 мм	100	100
Пористість при ущільненні 40 МПа, % за об'ємом, не більше	35	26,4
Набрякання зразків із суміші порошку з бітумом, % за об'ємом, не більше	2,5	1,8
Показник бітумоємності, г, не більше	65,0	59,0

ебеню з бітумним в'язким

лівки бітуму щебеню	Оцінка якості зчеплення
ь збереженості ки в'язного	
в'язного понад збереглась на ні щебеню, при товщина її зменшена	Задовільн (три бали
в'язного понад збереглась на ні щебеню	Задовільн (три бали
в'язного зберіна поверхні	Відмінно (п'ять балів)
в'язного частокремилася від ні щебеню	Відмінно (п'ять балів)

ностерігалася висока адгезі

чий.

ьного порошку проводилис

з електросталеплавильног

моги 2.7-121-2003	Отримані результати
70	89
00	100
35	26,4
5	1,8
5,0	59,0

нець табл. 6

Найменування показників	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-121-2003	Отримані результати
ологість, % за масою, не більше	1,0	0,8
стина, г/см^3	–	2,74
ефіцієнт гідрофобностіості	–	0,96
лькість глинистих домішок, %, не більше	5,0	4,9

ідно ДСТУ Б В.2.7-121-2003 мінеральний порошок із електросталеплавильного шлаку повідає вимогам до порошку I марки «неактивований».

отім були проведені дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетону тип «Б» падів I та II.

вся мінеральна частина із шлакового матеріалу;

– шлаковий щебінь, мінеральний порошок із електросталеплавильного шлаку.

зультати досліджень наведено в табл. 7.

***блиця** 7 – Фізико-механічні властивості асфальтобетону I і II складів*

Склад асфальтобетону	Середня густина, г/см^3	Пористість мінерального кістяка, % за обємом	Водонасичення, % за обємом	Набрякання, % за об'ємом, не більше	Границя міцності при стиску, МПа, за температури			Коефіцієнт водостійкості
					50 °С, не менше	20 °С, не менше	0 °С, не більше	
I	2,44	14,2	2,8	0,3	0,9	3,8	9,6	0,98
II	2,39	16,1	3,1	0,5	0,6	3,2	10,8	0,92
Нормативні вимоги згідно ДСТУ Б В.2.7-119-2003	–	15-19	1,5-3,5	0,5	1,2	2,5	12,0	0,9

зультати досліджень показали, що склад асфальтобетону, де мінеральна частина складена із лакового матеріалу, характеризується вищими показниками міцності і зниженеми донасичення і набрякання.

результатами проведених досліджень очевидно, що матеріал можна рекомендувати для иготування асфальтобетонних сумішей, що укладаються в нижні шари на магістральних рогах I-II категорій і верхні шари місцевих доріг III-IV категорій.

сновки

Проведені дослідження матеріалу показали, що електросталеплавильний відвальний шлак може використовуватись в дорожніх конструкціях як щебінь та мінеральний порошок для приготування асфальтобетонної суміші.

2. Достатньо висока гідравлічна активність дозволяє рекомендувати його використання як неорганічного в'язного з додаванням портландцементу та вапна.
3. Шлаковий щебінь в порівнянні з гранітним забезпечує кращі експлуатаційні показники шарам дорожніх конструкцій, збільшуючись з терміном служби (особливо в перші п'ять років).
4. Завдяки використанню електросталеплавильного шлаку можна збільшити довговічність дорожніх конструкцій, значно зменшити вартість і подовжити будівельний сезон.
5. Проведені дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетону на шлаковому щебені із електросталеплавильного шлаку показали можливість і доцільність його застосування.
6. Наявність пор у шлаковому щебені призводить до вибіркової дифузії компонентів бітуму в глибину зерен, що забезпечує високе зчеплення шлаку з бітумом.
7. Електросталеплавильний шлак можна рекомендувати до використання для
   - влаштування основи дорожніх одягів на дорогах I -IV категорій на заміну високоміцного фракційного щебеню;
   - приготування асфальтобетонних сумішей (для доріг I-III категорій верхнього і нижнього шарів при двохшаровому покритті і доріг I категорії нижнього шару покриття);
   - влаштування тонкошарових покриттів на дорогах III-V категорій на заміну щебеневого шару, поверхневої обробки на дорогах II категорії;
   - влаштування вирівнювальнго шару дорожнього одягу при реконструкції і капітальному ремонті доріг;
   - при ямковому ремонті – для приготування шлако-органо-мінеральних сумішей;
   - улаштування удосконалених узбіч та їх ремонтів.

Література

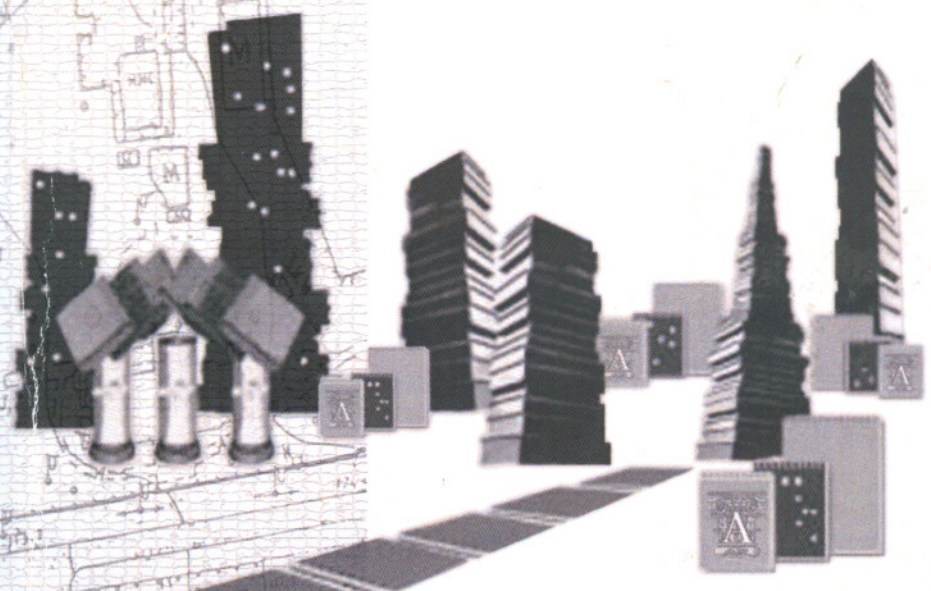
1. Гезенцвей Л.Б. Применение мартеновского шлака в дорожном асфальтовом бетоне [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Л.Б. Гезенцвей. – М., 1956. – 175 с.
2. Дорожные одежды с использованием шлаков [Текст] / под ред. А.Я. Тулаева, М.В. Королёв. – М.: Транспорт, 1986. – 221 с.
3. Еремин А.В. Эксплуатационно-прочностные свойства шлаковых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст]: дне. ... канд. техн. наук / А.В. Еремин. – Воронеж, 2000. – 201 с.
4. Еремин В.Г. Комплексное применение шлаковых материалов в конструкциях нежестких дорожных одежд [Текст] / В.Г. Еремин // Науч.-техн. достижения в области дорожных строительных материалов, строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений. – Липецк: [б.и.], 1995. – С. 46 – 50.
5. Ковалев Н.С. Исследование морозостойкости и трещиностойкости асфальтобетонного покрытия из шлаковых материалов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.С. Ковалев. – М., 1979. – 16 с.
6. Расстегаева Г.А. Исследование процессов структурообразования смеси из гранулированного доменного шлака и вязкого битума при строительстве покрытий автомобильных дорог [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.А. Расстегаева. – Л., 1970. – 24 с.
7. Самодуров СИ. Асфальтовый бетон с применением шлаковых материалов [Текст] / С.И. Самодуров. – Воронеж: Изд-во Воронеж, гос. ун-та, 1984. – 108 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

№ 7

НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ МІСЬКОГО СЕРЕДОВИЩА



КИЇВ 2012

Проблеми розвитку міського середовища. Вип. 7. 2012.

ДК 625.7

Краюшкіна К.В.

ПІДВИЩЕННЯ ШОРСТКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ПОКРИТТІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ БІТУМНО- ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Виконання робіт з поточного ремонту та утримання автомобільної доро традиційними способами в теперешній час недостатньо. Ефективність їх достат низька, тому ліквідуються візуально визначені дефекти (тріщини, вибоїни та т.п.), т тоді, коли дефект покриття значно розвився та застосовані технології виконання робіт забезпечують достатньої якості виконаних робіт [4].

Таким чином, для збільшення довговічності відремонтованих ділянок уповільнення процесів руйнування асфальтобетонних покриттів необхідно розроблят нові технології з використанням прогресивних матеріалів.

В ДерждорНДІ були проведені лабораторні та натурні випробування материалу БК 1, що призначений для обробки поверхні існуючих асфальтобетонних покриттів.

Ключові слова: шорсткість, довговічність, покриття, автомобільна дорога, бітумно полімерна композиція, асфальтобетон.

В теперішній час асфальтобетоні покриття практично не мають альтернативи при улаштуванні дорожніх одягів нежорсткого типу. Строк служби гарячего асфальтобетону, який застосовується для улаштування покриттів на автомобильних дорогах в умовах сучасного автомобільного руху повинен складати 12-15 років. Однак, досвід проведення ремонтних робіт на автодорогах України свідчить, що при нормативному термін експлуатації реабілітованої автодороги 15 років, тріщини та інші дефекти на поверхні асфальтобетонного покриття, в силу тих чи інших причин виникають вже протягом першого-другого року експлуатації [1].

Багаточисельні дослідження свідчать, що основним руйнівним фактором є являється вплив води, який проявляється вже на початковій стадії експлуатації. Проникаючи в пори матеріалу, в тому числі і в пустоти молекулярної решітки бітуму, вода відшаровує адсорбовані плівки в'яжучого від поверхні кам'яного матеріалу, відбувається гідратація об'ємного бітуму та руйнування полярних зв'язків в структурі асфальтобетону. Такі деструктивні процеси, а також вплив коліс транспортних засобів, обумовлює початок лущення та виносу з поверхневого шару асфальтобетону дрібних часток матеріалу, що призводить до значної інтенсифікації процесів руйнування покриття. Такі процеси проходять тим інтенсивніше, чим нижче водостійкість при тривалому водонасиченні асфальтобетону, вище пористість, а також більше інтенсивність руху транспорту та зволоження поверхні покриття [2, 3].

Виконання робіт з поточного ремонту та утримання автомобільної дороги традиційними способами в теперешній час недостатньо. Ефективність

тньо низька, тому ліквідуються візуально визначені дефекти , вибоїни та т.п.), т.е. тоді, коли дефект покриття значно розвився та ні технології виконання робіт не забезпечують достатньої якості х робіт [4]. Таким чином, для збільшення довговічності тованих ділянок та уповільнення процесів руйнування обетонних покриттів необхідно розроблять нові технології з танням прогресивних матеріалів.

ДерждорНДІ були проведені лабораторні та натурні випробування лу БК-1, що призначений для обробки поверхні існуючих обетонних покриттів.

еріал БК-1 являє собою однокомпонентну бітумополімерну цію, чорного кольору, на основі полімеру полиетилену з рним запахом, що наноситься на поверхню покриття при температурі ього середовища не нижче +10 °С в холодному стані і заповнює тріщини.

зитивність цього матеріалу на відміну від мастик виявляється в тому, дяки активному складовому компоненті в складі БК-1 при нанесенні ерхню існуючого асфальто- або цементобетонного покриття матеріал ає в пори на глибину приблизно 4 см, вступає в хімічну взаємодію з м, утворюючи полімер-бітумну плівку, яка характеризується чно-пружніми властивостями. Для підвищення шорсткості поверхні, забезпечення нормативного коефіцієнту зчеплення, в якості овача у складі цього матеріалу використовується базальтова крихта. ізико-механічні властивості матеріалу БК-1 наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики зразків матеріалу

менування показників	Результати досліджень	
	№1(без наповнювача)	№2 (з базальтовою крихтою)
ія (прилипання)	4,0	4,0
ература розмякшення, ^{0}C	54,0	56,0
ература крихкості, ^{0}C	-6,0	-7,0
непроникність, %	0,0	0,0
кість до дії агресивних овищ, % після кіп'ятіння том 3-х годин		
H (луги)	99,8	99,7
SO4 (кислоти)	85,8	85,0

Випробування в камері штучного клімату протягом 600 годин (5 років роботи матеріалу в натурних умовах експлуатації)	Витримує без зовнішніх змін, на поверх немає тріщин, викришувань

Для вивчення впливу БК-1 на зміну властивостей асфальтобетонно суміші були заформовані зразки асфальтобетону (тип Б II марка) та проведен випробування. Результати наведені в таблиці 2.

Зміна властивостей асфальтобетонної суміші при нанесенні матеріалу БК-1

Таблиця 2

№	Середня щільність	Водонасичення, %	Границя міцності при стиску, МПа, за температури			Коефіцієнт		Коефіцієнт морозостій і після 25 циклів	
			0^0C	20^0C	50^0C	водостій-кості	тривалої водостійкості	у воді	У N
1	2,25	3,3	12,2	5,4	2,8	0,98	0,81	0,86	0
2	2,25	2,4	11,5	4,8	2,3	0,99	0,96	0,93	0
3	2,25	2,8	10,8	4,2	1,9	0,99	0,93	0,91	0

Примітка. №1 – склад без БК-1, еталонні асфальтобетонні зразки;
№2 – склад з БК-1 з базальтовою крихтою;
№3 – склад з БК-1 без базальтової крихти.
БК-1 був нанесений товщиною шару 1,0-1,5 мм.

Вивчення зчіпних якостей покриттів проводилось за допомогою маятникового приладу МП-3 на дослідних ділянках з нанесенням БК-1 та без нанесення. Результати досліджень наведені в таблиці 3.

Вивчення зчіпних якостей при нанесенні БК-1

Таблиця 3

Найменування матеріалу	Дорога Київ-Чоп Щебенево-мастиковий асфальтобетон		Дорога Київ-Чоп Дрібнозернистий асфальтобетон		Пішохідна поверхня - тротуар	
	Мокра поверхня	Суха поверхня	Мокра поверхня	Суха поверхня	Мокра поверхня	Суха поверхня

ру	1	2	3	4	5	6
тя без ня	0,36	0,33	0,38	0,36	0,49	0,50
з тової крихти	0,36	0,39	0,40	0,40	0,49	0,54
товою ю	0,40	0,41	0,47	0,48	0,53	0,56

налізуючи дані таблиці 3 очевидно, що покриття з матеріалом БК-1 шорстке і буде забезпечувати збільшення коефіцієнта зчеплення з м автомобіля й підошвою пішохода.

сновки:

. Проведені лабораторні та натурні дослідження показали, що ка асфальтобетону матеріалом БК-1 збільшує його водо- та остійкість, тріщиностійкість, а також сприяє уповільненню процесів ня бітуму у складі асфальтобетону.

. Матеріал БК-1 можливо застосовувати для герметизації невеликих ин, сітки тріщин, як профілактичний захід для уповільнення процесу ння.

Список використаних джерел

мерик Т.Ю., Кучма М.И. Мастики для разметки дорог. Автодорожник раины. – 1987, с.27-28.

рибаев Н.Н. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих териалов. – Алма-Ата: Наука, 1980, -336 с.

сина А.И., Куценко В.И. Полимербитумные кровельные и роизоляционные материалы. – Л.: Стройиздат, 1983.-133 с.

мерик Т.Ю., Колинченко Н.Н., Гончаренко Е.К. О технологии текущего монта усовершенствованных покрытий при пониженной температуре. роительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов. Минск, 98 г., с.149-154.

Аннотация

Выполнение работ по текущему ремонту и содержанию автомобильной дороги ионными способами в теперешнее время недостаточно. Ефективность их точно низка, поэтому ликвидируются визуально определенные дефекты (трещины, ны), т. е. тогда, когда дефект покрытия значительно развился и применяемые логии выполнения работ не обеспечивают достаточного качества выполненных [4].

Таким образом, для увеличения долговечности отремонтированных участков и

замедления процессов разрушения асфальтобетонных покрытий необход
разрабатывать новые технологии с использованием прогрессивных материалов.

В ГосдорНИИ были проведены лабораторные и натурные испытания материала
1, который предназначен для обработки поверхности существующих асфальтобето
покрытий.

Ключевые слова: шероховатость, долговечность, покрытие, автомобильная дор
битумно-полимерная композиция, асфальтобетон.

Annotation

Execution of maintenance and maintenance of the road by conventional methods in
present time is insufficient. Effektivnost them low enough so that eliminated certain vi
defects (cracks, potholes), i, when the defect cover considerably evolved and the technologie
works do not provide sufficient quality of work performed [4].

Thus, to increase the durability of repaired areas and slow the process of destructio
asphalt concrete pavement to develop new technologies with advanced materials.

In Derzhdor NDI were conducted laboratory and field tests of the material BC-1, whic
designed to handle the surface of existing asphalt pavement.

Key worlds: roughness, durable, coating, automobile road, bitumen-polymer composit
asphaltconcrete.

725.76 (045)

ЧАСНА ПАРКОВА СКУЛ

У статті йдеться про естетичн
ної) скульптури. Головним чи
ка сприйняття навколишнього
удуванням, екологією, територіа
Ключові слова: архітектура,
шнього середовища, стиль.

Період кінця XIX — почат
ного прогресу, перелом у с
ми філософськими течіями, є
тецтві так і в культурі у ці
містичні тенденції, які в сво
типних, багатоповерхових спо
різному реагували на культ
довищі. Наприклад, відомий
9-1959), відкидав ідеї урбаніз
дови і створенням хмарочос
онію людини з навколишнім с
ій " і представив форму лю
одиться земельна ділянка.
тектурою і природою. На його
онійне життя людини — тісн
вав вілли, котеджі з обов'язков
сами, галереями, садами. Ідеї
бічників. Тому не випадково с
ям, а саме — мистецтво ланд
кого попиту на естетичне
торій. Люди почали створюва
таючись до художників-диза
ративного мистецтва.

Коли це індивідуальне за
будинкової території житлового
рмлення віддзеркалює смак з
ення про красу. Прикрасами
во-паркова скульптура, садо
гінальні барельєфи, вироби з м
ів або дерев і таке інше. Фант

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
NACIONALINIS AVIACIJOS UNIVERSITETAS (UKRAINA)
LIETUVOS AUTOMOBILIŲ INŽINIERIŲ SĄJUNGA

ISSN 2029-7157 print
ISSN 2029-7149 online

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA

15-osios Lietuvos jaunųjų
mokslininkų konferencijos
„Mokslas – Lietuvos ateitis“
straipsnių rinkinys

2012 m. gegužės 4 d.
Vilnius, LIETUVA

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT

Proceedings of the 15th Conference
for Lithuania Junior Researchers
Science for Future of Lithuania

4 May 2012 Vilnius, LITHUANIA

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК

Сборник статей 15-ой конференции молодых
ученых Литвы «Наука – будущее Литвы»

4 мая 2012 г., Вильнюс, ЛИТВА

LAIS

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA
15-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS“ straipsnių rinkinys, 2012 m. gegužės 4 d., Vilnius, Lietuva

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT
Proceedings of the 15th Conference for Lithuania Junior Researchers SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA, 4 May 2012 Vilnius, Lithuania

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК
Сборник статей 15-ой конференции молодых ученых Литвы «НАУКА – БУДУЩЕЕ ЛИТВЫ», 4 мая 2012 г., Вильнюс, Литва

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ АСФАЛЬТОБЕТОНА ИЗ ШЛАКОВЫХ МАТЕРІАЛОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Екатерина Краюшкина [1], Андрей Белятынский [2]

Кафедра реконструкции аэропортов и автомобильных дорог, Институт аэропортов, Национальный авиационный университет, пр-т Космонавта Комарова, 1, 03680 Киев, Украина
Эл. почта: [1]ekrayushkina@yandex.ru; [2]beljatynskij@mail.ru

Аннотация. Одной из важных проблем на современном этапе развития Украины есть повышение эффективности функционирования автомобильных дорог, увеличение их пропускной способности и обеспечения транспортно-эксплуатационных характеристик в сложный зимний период.

В основе формирования транспортно-эксплуатационных характеристик автомобильных дорог основная роль принадлежит асфальтобетонным покрытиям, которые защищают дорожную конструкцию от непосредственного влияния природно-климатических факторов, обеспечивают скорость движения за счет ровности и шероховатости проезжей части, сокращают потери в экономике государства от снижения скорости движения транспортных средств, перерывов в движении и увеличения количества ДТП.

Таким образом, для устройства асфальтобетонных покрытий необходимо применять составляющие материалы, которые обеспечивают эксплуатационную надежность автомобильных дорог в зимний период. Такими материалами являются шлаки, которые предлагаются использовать как минеральную составляющую асфальтобетонной смеси, что обеспечит повышение коэффициента сцепления даже при наличии негативных зимних явлений, снизит стоимость приготовления смеси и устройства покрытия, приведет к стабильным транспортно-эксплуатационным характеристикам на протяжении всего срока службы дороги.

Подробнее о применении асфальтобетона с использованием шлаковых материалов для повышения качества движения транспорта в зимний период эксплуатации и пойдет речь в статье.

Ключевые слова: автомобильная дорога, асфальтобетон, шлаковые материалы, зимнее содержание, транспортно-эксплуатационные характеристики, зимняя скользкость.

«Актуальность темы

Автомобильные дороги – важная составляющая транспортной системы Украины. Они обеспечивают социально-экономическое развитие страны, ее интеграцию в международное сообщество и, самое главное, осуществляют перевозку грузов и пассажиров наиболее доступным для широкого круга пользователей автомобильным транспортом (Юхновский 2004).

Сеть автомобильных дорог в Украине составляет около 200,0 тыс. км. 98,0 % имеют твердое покрытие. Протяженность дорог государственного значения составляет около 17,0 тыс. км. Основным типом покрытия – является асфальтобетонное – около 90 % протяженности государственных дорог и 10 % – цементобетонное покрытие (Юхновский 2004; Транспорт... 2010).

Учитывая такое распределение и положительные свойства присущие этому материалу основное внимание ученых Украины уделяется разработкам, направленным на повышение качества и долговечности асфальтобетонных покрытий, особенно в неблагоприятный зимний период эксплуатации.

Большое внимание уделяется снижению стоимости устройства асфальтобетонных покрытий за счет расширения ассортимента материалов для приготовления асфальтобетонной смеси. Широкомасштабные исследования проводятся в области поиска материалов, которые способствуют повышению транспортно-эксплуатационные характеристик асфальтобетонных покрытий, безопасности движения автотранспорта, снижению количества ДТП на дорогах.

© Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Наиболее подходящими материалами для решения этих задач являются шлаки – материалы с плотнокристалической структурой и поверхностью, которую имеют раздробленные горные изверженные породы (Тулаев *et al.* 1986; Кравченко *et al.* 1989; Топорищев 1983).

Прочность на раздавливание шлаков значительно превышает прочность глубинных (интрузивных) пород типа гранитов.

Шероховатость поверхности шлаков, также значительно выше, чем у гранитов, за счет чего повышается коэффициент сцепления колеса автомобиля с поверхностью асфальтобетонного покрытия из асфальтобетона из шлаковых материалов в зимний период эксплуатации.

Большое количество шлаков на территории Украины и высокие физико-механические свойства подтверждают необходимость их утилизации особенно в такой материалоемкой отрасли как дорожное строительство.

Хотя необходимо отметить, что в последние годы появилась тенденция к расширению протяженности дорог с цементобетонным покрытием.

Решение проблемы

В настоящее время при строительстве, реконструкции и ремонтах автомобильных дорог увеличиваются объемы использования местных строительных материалов, в том числе и побочных продуктов черной и цветной металлургии – шлаков. Они используются во всех слоях дорожных конструкций, и в том числе, как минеральный заполнитель для асфальтобетонных смесей при устройстве асфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах всех категорий.

Асфальтобетон с использованием шлаковых материалов – это искусственный строительный материал, который представляет собой смесь разных видов металлургических шлаков и битума, произведенный при определенных технологических режимах, устроенный и уплотненный в верхнем слое дорожной одежды – покрытии (Тулаев *et al.* 1986).

В результате проведенных исследований определено, что из всего разнообразия черной и цветной металлургии наиболее пригодными для дорожного строительства являются доменные шлаки, которые в меньшей степени склонны к различным видам распада (Гезенцвей 1956; ВСН 38-98 1998).

Качество асфальтобетона из шлаковых материалов определяется в первую очередь соответствием транспортно-эксплуатационных показателей дорожной одежды их нормативным значениям на протяжении всего срока службы. Но этого тяжело достичь, и особенно, в условиях действия на дорогу сложных и опасных погодных явлений.

Наиболее неблагоприятными по погодным условиям является зимний период, для которого характерны сложные условия движения автотранспорта вызванные выпадением дождя, снегопада, метелей, гололедных явлений, туманов, сильного ветра. Кроме того, зимний период является найсложнейшим с точки зрения учета факторов, которые влияют на условия движения.

Основными транспортно-эксплуатационными показателями, которые характеризуют долговечность дорожных покрытий и соответствие их современным требованиям движения транспорта есть:

– прочность дорожной одежды;
– ровность поверхности покрытия;
– шероховатость покрытия и коэффициент сцепления колеса автомобиля с покрытием (П-Г.1-218-113:2009).

Эти показатели стали основой для разработки «Правил зимнего содержания автомобильных дорог», которые действуют на территории Украины и разработаны с участием сотрудников ГосдорНИИ (СОУ 45.2-00018112-037:2009).

Таким образом, установлено, что транспортно-эксплуатационные показатели автомобильных дорог в зимний период в значительной степени зависят от погодно-климатических факторов, которые влияют на состояние покрытия, сцепные качества, ровность, ширину проезжей части, видимость, а также эмоциональное состояние водителя. Именно в зимний период при неблагоприятных погодных условиях дорожное покрытие может быть мокрым, или покрыто по всей его протяженности или на отдельных участках разными видами зимней скользкости. Перечень факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационное покрытие в зимний период, приведен в таблице 1.

Кроме того, ГосдорНИИ и ХНАДУ разработана подробная классификация видов зимней скользкости, которая различается по внешним признакам, физическим свойствам, условиям формирования, а также в зависимости от температуры покрытия (СОУ 45.2-00018112-037:2009).

Мокрым покрытие может быть при оттепели, выпадении жидких осадков, во время выпадения снега при положительной температуре. При использовании противогололедных материалов или растворов, мокрым покрытие может быть и при отрицательной температуре.

При дождях малой интенсивности, во время туманов, при повышенной влажности воздуха увлажнение проезжей части возможно за счет проникновения воды в материал дорожного покрытия. Во время дождей с достаточно высокой интенсивностью и при таянии снега на покрытии появляется слой стекающей воды. На неровных покрытиях вода скапливается в пониженных местах: в колеях наката, в выбоинах. В этом случае резко снижается адгезионная составляющая силы трения, снижается коэффициент сцепления колеса с дорогой.

Значение величины коэффициента сцепления в зависимости от типа проезжей части приведены в таблице 2.

Как видно из данных таблицы 2, наибольшей остаточной микрошероховатостью и соответственно наиболее минимальным значением коэффициента сцепления характеризуются щебеночное покрытие выполненное из гранитного щебня.

Таблица 1. Перечень факторов, влияющих на транспортно-эксплуатационное покрытие в зимний период



Таблица 2. Величина коэффициента сцепления в зависимости от состояния проезжей части

Состояние дорожного покрытия	Коэффициент сцепления на покрытиях		
	Асфальтобетонное с использованием шлаков	Асфальтобетонное традиционное	Щебеночное
Сухое	0,7–0,8	0,5–0,4	0,4–05
Мокрое	0,4–0,5	0,4–0,3	0,1–0,2
Покрытое мокрым снегом	0,2–0,3	0,1–0,2	–
Покрытое снежным накатом	0,15–0,3	–	–
Обледеневшее	0,08–0,15	0,08–0,15	–

В общем виде закономерность изменения шероховатости покрытия может быть представлена в виде:

$$R(t) = a \times e - bN_p + c,$$

где R(t) – средняя высота макрошероховатости, мм; N_p – количество проезжаемых автомобилей; a, b, c – коэффициенты, которые зависят от размера щебенок, твердости покрытия и состава транспортного потока.

Кроме того, в зимний период на транспортно-эксплуатационное состояние дорог влияют снегопады и метели, способные создавать на автомобильной дороге снежные отложения. С накоплением снега на покрытии уменьшается пропускная способность дороги вследствии уменьшения скорости движения автомобилецй, которые зависят как от динамических свойств автомобилей, так и от соотношения сил сцепления и сопротивления качению в зависимости от толщины снегового покрова на проезжей части. Зависимость скорости движения автомобилей от толщины слоя рыхлого снега на асфальтобетонных покрытиях с использованием шлаков представлена на рисунке 1.

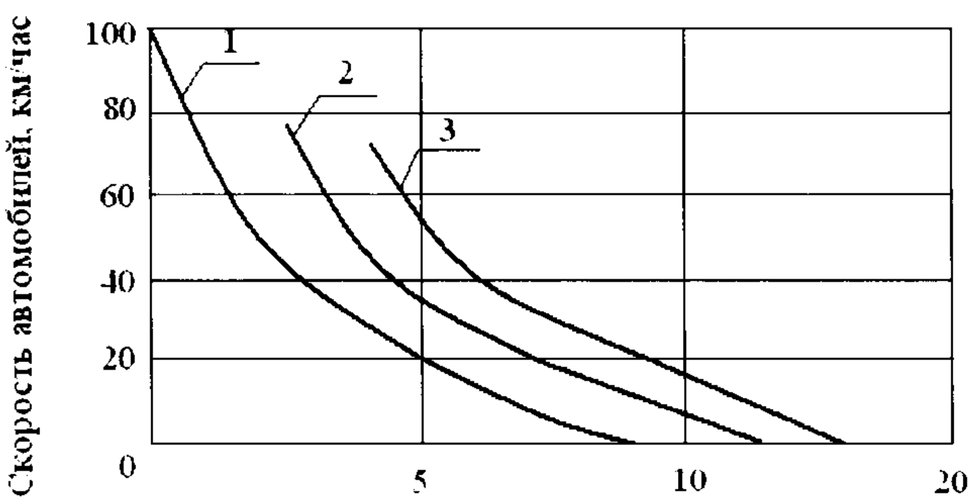


Рис. 1. Зависимость скорости движения автомобиля от толщины слоя рыхлого снега
1 – Легковые автомобили; 2 – Легкие грузовики; 3 – Грузовики

Достаточно сложные условия для движения транспорта создаются при образовании на покрытии грязного снега, который часто остается на покрытии из-за его несвоевременного удаления. Аварийность на таких участках увеличивается при обгоне от попадания грязного снега на стекло автомобиля.

Более худшее условия движения автомобилей наблюдаются при снежном накате. Максимальную опасность представляют собой снежный накат в виде отдельных пятен на поверхности дороги, поскольку неравномерность его распределения по покрытию приводит к потере сцепных качеств, как вдоль дороги, так и по ширине, что негативно влияет на стойкость автомобиля при торможении.

Таким образом в результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Для повышения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог в зимний период необходимо производить различные конструктивные и технологические мероприятия.

2. Строительство конструкций дорожной одежд с пониженным риском образования скользкости з счет оптимизации теплофизических свойств матери лов конструктивных слоев приведет к снижению об разования всех видов зимней скользкости.

3. Устройство покрытий с противогололедным свойствами, а также покрытий с повышенной шеро ховатостью с использованием асфальтобетона с шл ковыми материалами повысит коэффициент сцепл ния колеса автомобиля с покрытием.

4. Обработка покрытий кремнийорганическим веществами, которые имеют гидрофобные свойства укладкой асфальтобетонных покрытий с разным противогололедными добавками будет способство вать повышению качества зимнего содержания доро снижению количества используемой снегоуборочно техники, экономичности проводимых мероприятий.

Все вышеперечисленное свидетельствует о то что содержанию дорог в зимний период эксплуатац необходимо уделять повышенное внимание.

Литература

ВСН 38-98. 1998. Технические указания по устройству дорожных одежд с шероховатой поверхностью. М.: Транспорт. 47с.

Гезенцвей, Л. Б. 1956. Применения мартеновского шлака в дорожном асфальтовом бетоне. Дис. канд. техн.наук. М.: 175 с.

Кравченко, И. А.; Горобинская, В. Д.; Губарени, Н. И. 1989. Повышение прочности вяжущих путем армирования шлаковы ми волокнами. Фибробетоны. Рига: Латишстроительство, с. 8–10.

П-Г.1-218-113:2009. 2009. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування Україн Київ, Укравтодор.

СОУ 45.2-00018112-037:2009. 2009. Матеріали протиожеледні для боротьби із зимовою слизькістю. Класифікація. Техніч вимоги. Методи випробувань, Київ, Укравтодор.

Топорищев, А. Г. 1983. Современное представление о структуре расплавленных шлаков. – В кН. *Научные сообщения Все союзной конференции по строению и свойствам металлических и шлаковых расплавов.* – Свердловск, с. 3–12.

Транспорт і зв'язок України: Статистичний збірник. 2010. Державний комітет статистики України/ Київ. 195 с.

Тулаев, А. Я.;. Королев, М. В.; Исаев, В. С.; Юмашев, В. М. 1986. Дорожные одежды с использованием шлаков. М., Тра порт. 221 с.

Юхновский, І. Р. 2004. Транспортний комплекс України. Автомобильні дороги: Проблеми та перспективи. Київ. 176 с.

ISSN 2076-815X

МІСТОБУДУВАННЯ ТА ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ

45
2012
Частина 3

Київ-КНУБА

УДК 93.080.20

д.т.н., професор А.О. Белятынский,
Национальный авиационный университет, г. Киев,
Краюшкина Е.В.,
ДП «ГосдорНИИ», г. Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Рассмотрены особенности использования отвальных шлаков разных видов производств в дорожном строительстве. Исследованы химический состав и физико-механические свойства электросталеплавильного и отвального шлака, его влияние на адгезию к органическому вяжущему – битуму, приведены свойства минерального порошка из электросталеплавильного шлака и горячего мелкозернистого асфальтобетона с его использованием. Сделан вывод о том, что электросталеплавильный шлак может быть использован как щебень и минеральный порошок для приготовления асфальтобетонной смеси, которая обладает повышенной прочностью и долговечностью, является экономичным и технологичным материалом.

Ключевые слова: *автомобильная дорога, производство, строительство, физико-механические свойства, шлаки.*

Строительство, и особенно, реконструкция и ремонты автомобильных дорог требуют развития промышленности по производству каменных материалов. Растущую потребность в каменных материалах можно удовлетворить за счет широкого использования отходов промышленности и вторичных ресурсов. Одним из наиболее известных отходов, который с каждым годом находит все большее распространение в дорожном строительстве есть шлаки черной и цветной металлургии.

В святи со значительным накоплением большого количества побочного материала в виде шлаков и необходимостью их утилизации, возникла необходимость проведения работ в направлении определения возможности использования этих шлаков в транспортном строительстве.

По своим характеристикам (химический, минералогический состав, морозостойкость) шлаки являются ценным сырьем для приготовления щебеночных материалов и минеральных вяжущих, на основе которых изготавливают цементо- и асфальтобетонные смеси для устройства дорожных покрытий.

Замена шлаком цемента, щебня и минерального порошка, на производство которых расходуется значительное количество материальных и энергетических ресурсов сопровождается резким снижением затрат топлива, электроэнергии и трудовых ресурсов. Вообще, себестоимость шлаковых дорожно-строительных материалов в 2 раза ниже себестоимости аналогичной продукции из природных горных пород.

Таким образом, необходимость и актуальность использования шлаков в дорожній отрасли, что характеризуется значительной материалоемкостью, не вызывает сомнений. В последние годы в дорожном строительстве все большее распространение получили металлургические и фосфорные шлаки. Металлургические делятся на шлаки черной и цветной металлургии. Шлаки черной металлургии бывают доменные, сталеплавильные и ферросплавные.

Основным фактором, который определяет свойства шлака есть его структура, которая зависит от химического состава шлака и режима охлаждения. В доменных шлаках кристалическая часть представлена более чем двадцатью минералами с плотностью более чем 3 г/см^3.

Фосфорные шлаки светло-серого цвета. Шлаковая масса полностью кристализированная. Автором проводились работы по использованию шлаков разных видов производств в дорожной отрасли.

Установлена возможность использования щебня и песка из шлаков разных производств при производстве асфальто- и цементобетонных смесей, для устройства основ дорожных одежд, а для дорог низших категорий устройства покрытий из шлаковых материалов. В данной работе установлена возможность использования электросталеплавильных шлаков отвальных, для приготовления асфальтобетонных смесей.

Таблица 1.

Химический состав электросталеплавильного шлака

Название материала	Химический состав, %							Модуль основности, M_o
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	MnO	FeO	S	
Электросталеплавильный шлак – плотный мелкозернистый серого цвета	28,3	12,0	31,0	9,0	5,6	13,4	0,7	1,1

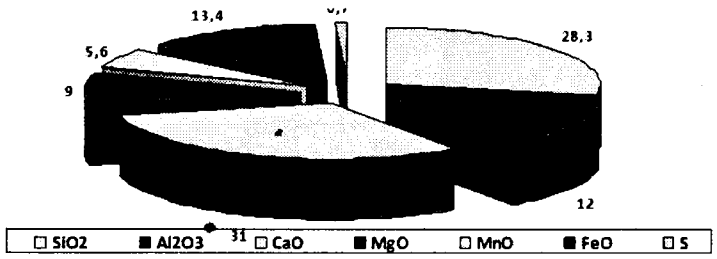


Рис. 1 Химический состав електросталеплавильного шлака

По данным химического состава расчитывают модуль основности (M_o), модуль активности (M_a) и коэффициент качества (К), которые характеризуют гидравлическую активность шлака.

$$M_o = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{31,0 + 9,0}{28,3 + 12,0} = 0,99\%$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} = \frac{12,0}{28,3} = 0,42$$

$$K = \frac{CaO + Al_2O_3 + MgO}{SiO_2 + TiO_2} = \frac{53,87}{28,3} = 1,9$$

В зависимости от коэффициента качества и включения соединений шлаки разделяются на три сорта согласно ГОСТ 3476.74.

Таблица 2.

Три сорта шлаков согласно ГОСТ 3476.74

Показатели	Сорт		
	1	2	3
Коэффициент качества, не меньше	1,65	1,45	1,2
Включение Al_2O_3, не меньше, %	8,0	7,0	Не норм
MgO, не больше, %	15,0	15,0	15,0
TiO_2, не больше, %	4,0	4,0	4,0
MnO, не больше, %	2,0	4,0	4,0

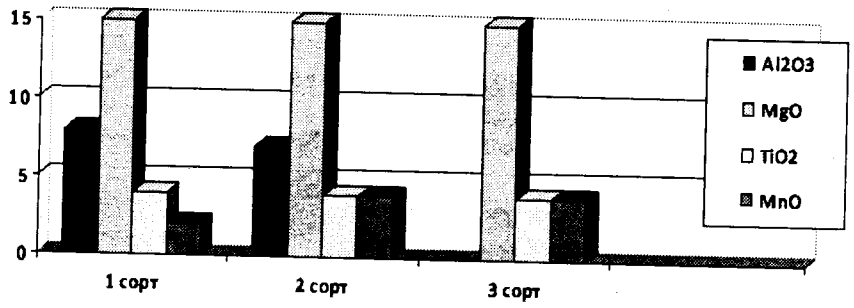


Рис. 2 Состав шлака в зависимости от включения соединений

В целом по химическому составу электросталеплавильный шлак близкий к природным эфузивным каменным материалам типа базальта. По коэффициенту качества относится к 1 сорту, кроме количества MnO, которое несколько увеличено.

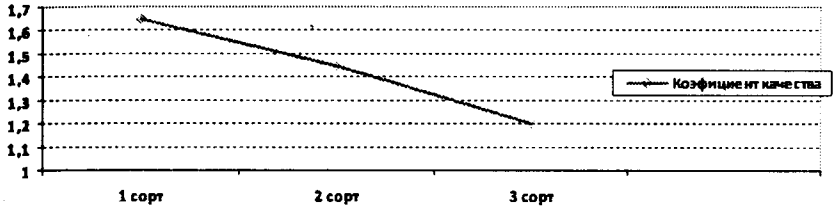


Рис. 3. Зависимость сорта шлаков от коефициента качества согласио ГОСТ 3476.74

При использовании электросталеплавильных шлаков, которые характеризуются цементирующей способностью, а при уплотнении и увлажнении водой после цементации создают монолитную водостойкую основу цемент и известь выступают в роли активаторов.

Физико-механические характеристики электросталеплавильного шлакового щебня приведены в табл. 3. Для сравнения параллельно проводились исследования гранитного щебня Клесовского карьера.

Анализируя данные приведенные в табл. 3 можно утверждать, что физико-механические характеристики (прочность, дробильность, водопоглощение) у шлакового щебня выше чем у гранитного и отвечают требованиям ГСТУ Б В.2.7-74-98, то есть этот материал может быть использован для устройства слоев покрытия и основы дорожных одежд.

Таблица 3

Физико-механические характеристики электросталеплавильного шлакового щебня.

Наименование показателей	Щебень шлаковый электросталеплавильный	Щебень гранитный (Клесовский карьер)
1	2	3
Действительная плотность, г/см^3	3,45	4,2
Средняя плотность, г/см^3	3,84	4,35
Насыпная плотность, кг/м^3	1800,0	1850,0
Пористость, %	5,4	7,5
Водопоглощение, %	2,1	3,4
Марка по морозостойкости	Высокая F 150	Высокая F 150
Марка по дробильности	М 1200	М 1000
Твердость по десятибалльной шкале, баллы	6-7	-

1	2	3
Марка по истираемости	Высокая СТ-1	Высокая СТ-1
Прочности при сжатии в цилиндре, МПа	7,4	5,4
Наличие зерен пластинчатой и игольчастой формы	Кубовидная группа, 12	Кубовидная группа, 15
Наличие глины в грудках	-	-

Было проведено определение показателей и результаты исследований приведены в табл. 4.

Анализируя данные табл. 4 можно сделать вывод, что электросталеплавильный шлак имеет достаточные вяжущие свойства, что будет способствовать долговечности и увеличенной прочности конструктивных слоев дорожных одежд с его использованием.

Таблица 4

Вяжущие свойства электросталеплавильного шлака

Показатели	Результаты испытаний
Прочность при сжатии, МПа	8,5
Стойкость против распада, %	Силикатного 0,9 Железного 1,8
Набухание, %, не меньше	58
Сроки схватывания, начало, хв.	14

В связи с тем, что шлаковый щебень и шлаковый минеральный порошок будут использоваться для приготовления асфальтобетонных смесей, проводились исследования адгезии к органическому вяжущему – битуму.

Результаты исследований приведены в табл. 5.

Таблица 5

Определение качества сцепления поверхности шлакового щебня с битумным вяжущим – битум марки БНД 90/130.

Характеристика поверхности зерен шлака	Масса зерна шлака, г	Масса зерна шлака, г		Характеристика пленки биту-ма на поверхности щебня		Оценка качества сцепления
		Щебень с пленкой вяжущего	С пленкой вяжущего после испытания	Сохранение пленки вяжущего, % по массе	Степень сохранности пленки вяжущего	
1	2	3	4	5	6	7
Полностью стекловидная	104,20	106,50	106,00	48,5	Пленка вяжуще-го более 50 % сохранилась на поверхности щебня, при чем ее толщина местами уменьшена	Удовлетворительно (три балла)

1	2	3	4	5	6	7
50 % поверхности стекловидная	56,3	58,2	57,9	49,5	Пленка вяжущего более 50 % сохранилась на поверхности щебня	Удовлетворительно (три балла)
Шероховатая, частично стекловидная	84,50	88,4	88,0	81,00	Пленка вяжущего сохранилась на поверхностн щебня	Отлично (пять баллов)
Полностью шероховатая	45,6	45,9	45,8	96,5	Пленка вяжущего частично отделилась от поверхности щебеню	Отлично (пять баллов)

По данным таблицы 5 видно, что не на всех поверхностях щебня высокая адгезия пленки вяжущего (5 баллов).

Необходимо отметить, что с гранитным щебнем показатель адгезии ниже.

Определение физико-механических свойств шлакового минерального порошка проводились согласно ГСТУ Б В.2.7-121-2003. Результаты исследований приведены в табл. 6.

Таблица 6

Физико-механические свойства минерального порошка из электросталеплавильного шлака

Наменование показателей	Требования ГСТУ Б В.2.7-121-2003	Полученные результаты
Содержание частиц, % по массе, не меньше - мельче 0,071 мм - мельче 1,25 мм	 70 100	 89 100
Пористость при уплотнении 40 МПа, % по объему, не больше	35	26,4
Набухание образцов из смеси порошка с битумом, % по объему, не больше	2,5	1,8
Показатель битумоемкости, г, не больше	65,0	59,0
Влажность, % по массе, не больше	1,0	0,8
Плотность, г/см^3	-	2,74
Коэффициент гидрофобности	-	0,96
Количество глинистых частиц, %, не больше	5,0	4,9

Согласно ГСТУ Б В.2.7-121-2003 минеральный порошок из электросталеплавильного шлака соответствует требованиям к порошку I марки неактивированный.

Потом были проведены исследования физико-механических свойств асфальтобетона тип «Б» составов I та II. I – вся минеральная часть из шлакового материала; II–шлаковый щебень, минеральный порошок из электросталеплавильного шлака. Результаты исследований наведены в табл. 7.

Результаты исследований показали, что состав асфальтобетона, где минеральная часть состоит из шлакового материала характеризуется высшими показателями прочности и пониженными водонасыщения и набухания.

По результатам проведенных исследований очевидно, что материал можно рекомендовать для приготовления асфальтобетонных смесей, которые укладываются в нижние слои на магистральных дорогах I –II категорий и верхние слои местных дорог III-IV категорий.

Таблица 7

Физико-механические свойства асфальтобетона I і II составов

Состав асфальтобетона	Средняя плотность, г/см^3	Пористость минерального костяка, % по объему	Водонасыщение, % по объему	Набухание % по объему, не больше	Граница прочности при сжатии, МПа, при температуре			Коэффициент водостойкости
					50 °С, не меньше	20 °С, не меньше	0 °С, не больше	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	2,44	14,2	2,8	0,3	0,9	3,8	9,6	0,98
II	2,39	16,1	3,1	0,5	0,6	3,2	10,8	0,92
Нормативные требования согласно ГСТУ Б В.2.7-119-2003	-	15-19	1,5-3,5	0,5	1,2	2,5	12,0	0,9

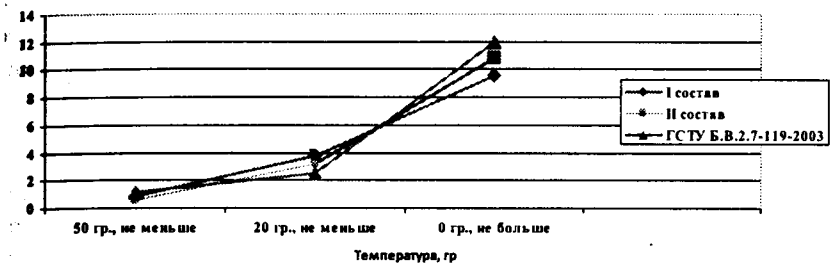


Рис.4. Изменения границ прочности при сжатии асфальтобетона I и II составов зависимо от температуры

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования материала показали, что электросталеплавильный отвальный шлак может использоваться в дорожных конструкциях как щебень и минеральный порошок для приготовления асфальтобетонной смеси. Достаточно высокая гидравлическая активность позволяет рекомендовать его использование как неорганического вяжущего с добавлением портландцемента и извести.

2. Шлаковый щебень в сравнении с гранитным обеспечивает лучшие эксплуатационные показатели слоям дорожных конструкций. Причем, увеличиваясь со сроком службы (особенно в первые пять лет). Таким образом, благодаря использованию электросталеплавильного шлака можно увеличить долговечность дорожних конструкций, значительно уменьшить стоимость и продлить строительный сезон.

Литература

1. Дорожные одежды с использованием шлаков [Текст] / под ред. А.Я. Тулаева, М.В. Королёв. – М.: Транспорт, 1986. – 221 с.

2. Еремин, А.В. Эксплуатационно-прочностные свойства шлаковых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог [Текст]: дне. ... канд. техн. наук / А.В. Еремин. – Воронеж, 2000. – 201 с.

3. Еремин, В.Г. Комплексное применение шлаковых материалов в конструкциях нежестких дорожных одежд [Текст] / В.Г. Еремин // Науч.-техн. достижения в области дорожных строительных материалов, строительства, реконструкции, содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений. – Липецк: [б.и.], 1995. – С. 46 – 50.

4. Расстегаева, Г.А. Исследование процессов структурообразования смеси из гранулированного доменного шлака и вязкого битума при строительстве покрытий автомобильных дорог [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.А. Расстегаева. – Л., 1970. – 24 с.

Анотація

У статті наведені особливості використання відвальних шлаків різних видів іиробництв в дорожньому будівництві. Досліджені хімічний склад та фізико-механічні властивості електросталеплавильного і відвального шлаку, його вплив на адгезію до органічного вяжучого – бітуму, наведені властивості мінерального порошку з електросталеплавильного шлаку та гарячого дрібнозернистого асфальтобетону з його використанням. Зроблений висновок про те, що електросталеплавильний шлак може бути використаний як щебінь та мінеральний порошок для приготування асфальтобетонної суміші, яка володіє збільшеною міцністю та довговічністю, являється економічним і технологічним матеріалом.

Abstract

The paper describes the features of different types of recrement slag usage in road construction industry. Chemical composition and physical properties of elecric furnace steelmaking and recrement slag and its effect on adhesion of organic binder – that is bitumen - were investigated; the properties of the mineral fine of electric furnace steelmaking slag and fine hot asphalt with regard to its use were shown. It is concluded that electric furnace steelmaking slag can be used as crushed stone and mineral fine for the preparation of asphalt concrete mix of higher strength and durability. It can be regarded as an economical and technologically advanced material.

УДК 519.8

к.т.н. Бірюков Д.С.,
Національний інститут стратегічних досліджень, м. Київ,
д.т.н., професор Заславський В.А., Сідляренко А.І.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ З УСУНЕННЯ АВАРІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Представлено формальну постановку задачі мінімізації ризиків ДТП, яка може бути використана при плануванні заходів з метою усунення інцидентів на аварійно-небезпечних ділянках автодоріг.

Ключові слова: *аварійність, ризик, заходи із зменшення аварійності.*

Актуальність проблематики. *Аварійність* на автомобільному транспорті, через значні людські жертви та матеріальні втрати, є однією із найбільш актуальних задач, коли розглядаються питання забезпечення безпеки учасників дорожнього руху. За даними Державного агентства автомобільних доріг України на початок 2012 року зафіксовано 242 місця концентрації дорожньо-транспортних пригод (ДТП) [1], що призвели до фатальних наслідків та значних матеріальних збитків. Тільки за перше півріччя 2012 року сталося 89530 ДТП, що на 9,3 % більше, ніж за аналогічний період 2011 року. В цих ДТП загинуло 2006 та травмовано 15233 особи [2], що більше на 12,3 % та 7,9 % відповідно. Тобто в середньому за добу на автодорогах нашої країни втрачають життя 10-11 осіб, причому кожен третій загиблий у ДТП - молода людина віком до 29 років [3]. Ці негативні статистичні дані визначають актуальність розробки нових підходів та науково-обгрунтованих моделей та методів ризик менеджменту для зменшення кількості ДТП та мінімізації тяжкості та фатальності їх наслідків.

Серед заходів із підвищення безпеки руху можна виділити дві основні групи: організаційно - технічні та заходи пов'язані з людським фактором. До перших відносяться: національні вимоги до безпеки дорожнього руху, покращення стану дорожнього покриття та освітлення доріг, будівництво додаткових смуг, перехресть та переходів, розвиток придорожньої інфраструктури для відпочинку водіїв та пасажирів. До других: контроль за дотриманням технічних норм транспортних засобів (належний технічний стан транспорту), дотриманням норм власної безпеки водія (ремені безпеки, шолом та інше), регулювання поведінки водіїв та вимоги до їх професійної підготовки, вимоги до часу управління транспортними засобами водіями великовантажних