



УДК 691:624.138

Вдовин Евгений Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Email: vdovin007@mail.ru

Буланов Павел Ефимович

кандидат технических наук, старший преподаватель

Email: f_lays@mail.ru

Мавлиев Ленар Фидаесович

кандидат технических наук, доцент

Email: lenarmavliev@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Модификация цемента-песчано-гравийной смесей отходами дорожно-строительных производств

Аннотация

Постановка задачи. Целью исследования является изучение влияния отходов дорожно-строительного производства (асфальтогранулятов, отсеков камнедробления и термоактивированной пыли асфальтосмесительных установок) на физико-технические свойства цемента-песчано-гравийных смесей для дорожных одежд автомобильных дорог. Актуальность исследования обоснована необходимостью утилизации отходов, образующихся при фрезеровании асфальтобетонных покрытий в процессе ремонта и реконструкции автомобильных дорог, при производстве щебня в карьерах, а также при приготовлении асфальтобетонных смесей на производственных базах.

Результаты. Результаты исследования заключаются в определении уровня показателей физико-технических свойств (предела прочности на сжатие, предела прочности на растяжение при изгибе, морозостойкости) цемента-песчано-гравийной смесей с добавлением асфальтогранулята, отсева камнедробления и термоактивированной пыли асфальтосмесительных установок. Модификация цемента-песчано-гравийных смесей отходами дорожно-строительных производств выявила возможность повышения уровня показателей физико-технических свойств и снижения содержания портландцемента в смесях от 17,0 до 25,0 % в зависимости от получаемой марки по прочности и морозостойкости обработанного материала дорожных одежд, а также расширила способы утилизации промышленных отходов и снижения их экологической нагрузки на окружающую среду.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в выявлении зависимостей изменения уровней показателей основных физико-технических свойств цемента-песчано-гравийной смесей, модифицированных отходами дорожно-строительных производств, на основе которых разработаны оптимальные составы материалов для дорожных одежд автомобильных дорог. Установлено, что введение термоактивированной пыли из асфальтосмесительных установок может способствовать ускорению гидратации силикатных фаз цемента и снижению содержания вяжущего в цемента-песчано-гравийных материалах дорожных одежд, а утилизация асфальтогранулята и отсеков камнедробления возможна методом их добавления в материалы в качестве гранулометрических и карбонатных модификаторов.

Ключевые слова: цемента-песчано-гравийная смесь, модификация, прочность, морозостойкость, конструкция дорожной одежды, асфальтовый гранулят, отсев камнедробления, термоактивированная пыль.

Для цитирования: Вдовин Е. А., Буланов П. Е., Мавлиев Л. Ф. Модификация цемента-песчано-гравийной смесей отходами дорожно-строительных производств. // Известия КГАСУ. 2021. № 3 (57). С. 32–41. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_32.

1. Введение

Использование переработанных материалов из фрезерованного асфальтобетонного покрытия для содержания и ремонта автомобильных дорог приобретает все большую актуальность. Многие правительственные учреждения в мире поощряют вторичное использование дорожно-строительных материалов и отходов производств с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду, вызванного использованием природных ресурсов и их транспортировкой, так и затрат на ремонтные работы [1].

Исследования [2-5] показывают, что добавление асфальтогранулята (АГ) в цементобетон при постоянном содержании цемента снижает: предел прочности при сжатии, предел прочности на растяжение при изгибе и модуль упругости. Возможно, это связано со слабой адгезией между цементным вяжущим и агрегатами АГ, которые покрыты пленкой битума. Снижение контакта между заполнителями и цементной пастой в цементобетонной смеси приводит к уменьшению механических свойств бетона [6, 7].

С другой стороны, утилизация отходов камнедробления (ОК) осадочных пород в регионах с отсутствием запасов изверженных пород для транспортной инфраструктуры является не менее значимой задачей [8-10].

Для снижения экологической нагрузки от образующихся в результате производства асфальтобетонных смесей отходов термоактивированной пыли (ОТАП), которые накапливаются при работе сушильного барабана, сит на грохоте и горячего элеватора асфальтосмесительных установок, рекомендуется повторное применение ОТАП в строительных материалах [11].

В связи с вышеизложенным, целью исследования является изучение влияния отходов дорожно-строительного производства (асфальтогранулятов, отсеков камнедробления и термоактивированной пыли асфальтосмесительных установок) на физико-технические свойства цемента-песчано-гравийных смесей для дорожных одежд автомобильных дорог.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. оптимизировать составы цемента-песчано-гравийных смесей, модифицированных отходами дорожно-строительного производства;
2. выявить закономерности изменения уровня показателей физико-технических свойств цемента-песчано-гравийной смеси от содержания в составе асфальтогранулята, отхода камнедробления и термоактивированного пыли;
3. разработать составы материалов для дорожных одежд автомобильных дорог на основе цемента-песчано-гравийных смесей, модифицированных отходами дорожного производства, в соответствии с нормативными требованиями.

2. Материалы и методы

Для проведения исследований в качестве заполнителя использовалась песчано-гравийная смесь (ПГС), отобранная из месторождения «Архаровка» Республики Татарстан. Коэффициент фильтрации материала – 0,5 м/сут, содержание количество пылевидных и глинистых частиц, глины в комках – 6,87 % и 5,11 % соответственно. Содержание гравия составило 16,2 %. В соответствии с нормативными требованиями данный материал непригоден для использования его в подстилающих слоях основания дорожных одежд.

Асфальтогранулят, полученный в результате фрезерования старого покрытия содержал 5,2 % битума. В гранулометрическом составе асфальтогранулята (табл. 1) содержание щебня составило 30,53 %.

Таблица 1

Гранулометрический состав асфальтогранулята

Остатки, %	Размер отверстий сит, %										
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Частные	5,03	4,50	8,30	12,70	22613	15,86	12,13	10,70	5,77	2,00	0,88
Полные	5,03	9,53	17,83	30,53	52,66	68,52	80,65	91,35	97,12	99,12	100

Отсев камнедробления, полученный в процессе дробления щебня марки М400 Жигулевского карьера Самарской области, относится к карбонатным породам. Гранулометрический состав ОК представлен фракциями 0-20 мм (табл. 2).

АГ и ОК вводились в ПГС в соотношениях от 10 до 30 %.

В качестве вяжущего применялся портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5Н ЗАО «Вольскцемент». ПЦ вводился в количестве 4,0 %; 5,0 % и 6,0 % от массы смеси.

Для снижения количества вяжущего в качестве пуццолановой добавки использовался отход термоактивированной пыли (ОТАП), отобранный из пылеулавливающей системы асфальтосмесительной установки NFLG SOLO 4500. ОТАП вводился в минеральную часть в количестве 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 % от массы смеси.

Таблица 2

Гранулометрический состав отсева камнедробления

Остатки, %	Размер отверстий сит, %										
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071	<0,071
Частные	-	-	6,80	42,0	20,4	12,4	4,9	0,5	1,2	1,8	10,0
Полные	-	-	6,80	48,8	69,2	81,6	86,5	87,0	88,2	90,0	100

Определение предела прочности на сжатие ПГС, обработанной ПЦ, производилось на водонасыщенных в течении 2 суток образцах размером 10х10х10 см, предел прочности на растяжение при изгибе определялась аналогичным образом на образцах размером 10х10х40 см. Морозостойкость изучалась на образцах-кубах с ребром 10 см. Коэффициент морозостойкости определяли как отношение прочности образца после испытания на многократное замораживание и оттаивание к прочности водонасыщенного образца после 25 циклов замораживания-оттаивания. При этом коэффициент морозостойкости должен быть не менее 0,75. Возраст образцов на момент проведения испытаний составлял 28 суток.

Для оптимизации состава ПГС, обработанной портландцементом, применен метод математического планирования эксперимента: ротатбельное планирование второго порядка. В качестве переменных факторов выбрано процентное содержание: ПЦ (X1), ОК (X2) и АГ (X3).

3. Результаты

При введении ПЦ в количестве 4,0; 5,0; и 6,0 % в ПГС получены следующие результаты: предел прочности на сжатие в 28 суточном возрасте составил 3,07 МПа, 4,20 МПа и 4,91 МПа; предел прочности на растяжение при изгибе – 0,79 МПа, 0,88 МПа и 0,97 МПа; коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания 0,32, 0,45 и 0,56 соответственно.

Оптимизация составов цемента-песчано-гравийных смесей методом ротатбельного планирования второго порядка позволила определить влияние АГ и ОК на основные физико-технические свойства.

В качестве параметров оптимизации (функций отклика) были приняты:

$R_{сж}$ – предел прочности на сжатие, МПа;

$R_{изг}$ – предел прочности на растяжение при изгибе, МПа.

$K_{мор}$ – коэффициент морозостойкости после 25 циклов переменного замораживания и оттаивания, МПа.

В результате математической обработки получены следующие уравнения регрессии второго порядка:

$$R_{сж} = -19,78 + 7,13 \cdot X_1 + 0,34 \cdot X_2 + 0,18 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,62 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_3 \cdot X_3; \quad (1)$$

$$R_{изг} = -6,24 + 2,33 \cdot X_1 + 0,09 \cdot X_2 + 0,05 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,21 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_3 \cdot X_3; \quad (2)$$

$$K_{мор} = -1,13 + 0,58 \cdot X_1 + 0,01 \cdot X_2 + 0,02 \cdot X_3 + 0,01 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_1 \cdot X_3 - 3,57 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_1 - 0,01 \cdot X_2 \cdot X_2 - 0,01 \cdot X_3 \cdot X_3; \quad (3)$$

Расчетные значения критерия Фишера (оценка адекватности) для функций $R_{сж}$, $R_{изг}$ и K составили соответственно 4,72; 2,88; 4,35, что меньше табличных значений для уровня значимости 5 % (5,05) и свидетельствует о адекватности уравнений регрессий.

По полученным уравнениям регрессии были построены функции отклика в виде двухпараметрических зависимостей предела прочности на сжатие ($R_{сж}$), предела прочности на растяжение при изгибе ($R_{изг}$) и коэффициента морозостойкости от содержания ОК и АГ (от 10 до 30 %) при расходе ПЦ 4,0 %; 5,0 % и 6 % (рис. 1).

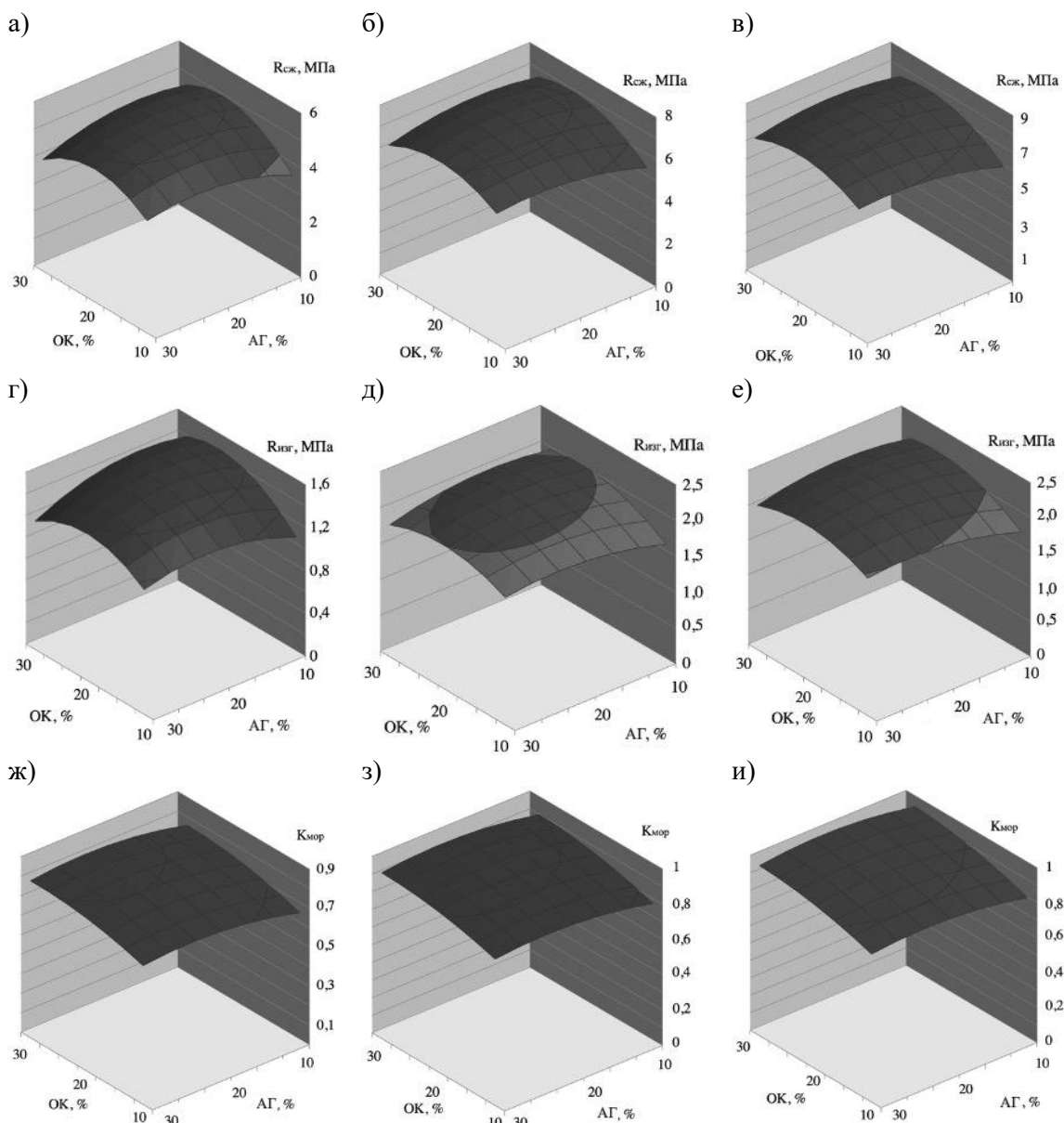


Рис. 1. Зависимость влияния ОК и АГ на физико-технические свойства цементно-песчано-гравийных смесей (иллюстрация авторов)

а, г, ж – 4,0 % ПЦ; б, д, з – 5,0 % ПЦ; в, е, и – 6,0 % ПЦ

а, б, в – $R_{сж}$; г, д, е – $R_{изг}$; ж, з, и – $K_{мор}$

Решены задачи оптимизации составов цементно-песчано-гравийных смесей для условий $R_{сж} \rightarrow \max$, $R_{изг} \rightarrow \max$, $K_{мор} \rightarrow \max$ при

1) $X_1 = 4$; $10 \leq X_2 \leq 30$; $10 \leq X_3 \leq 30$;

2) $X_1 = 5$; $10 \leq X_2 \leq 30$; $10 \leq X_3 \leq 30$;

3) $X_1 = 6$; $10 \leq X_2 \leq 30$; $10 \leq X_3 \leq 30$.

Установлены следующие значения содержания ОК и АГ при соответствующем расходе ПЦ для предела прочности на сжатие:

1) При $X_1 = 4$ %, $X_2 = 23,3$ %, $X_3 = 20,1$ %, $R_{сж} = 5,29$ МПа;

2) При $X_1=5\%$, $X_2=23,4\%$, $X_3=21,5\%$, $R_{сж}=7,37$ МПа;

3) При $X_1=6\%$, $X_2=23,9\%$, $X_3=22,4\%$, $R_{сж}=8,23$ МПа.

Для предела прочности на растяжение при изгибе:

1) При $X_1=4\%$, $X_2=23,6\%$, $X_3=16,8\%$, $R_{изг}=1,54$ МПа;

2) При $X_1=5\%$, $X_2=23,9\%$, $X_3=20,8\%$, $R_{изг}=2,13$ МПа;

3) При $X_1=6\%$, $X_2=24,2\%$, $X_3=21,2\%$, $R_{изг}=2,31$ МПа.

Для коэффициента морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания:

1) При $X_1=4\%$, $X_2=30\%$, $X_3=23,2\%$, $K_{мор}=0,82$ МПа;

2) При $X_1=5\%$, $X_2=30\%$, $X_3=23,5\%$, $K_{мор}=0,96$ МПа;

3) При $X_1=6\%$, $X_2=30\%$, $X_3=23,8\%$, $K_{мор}=1,00$ МПа.

Выявлено, что введение ОК и АГ от 10 до 30 % в состав цемента-песчано-гравийных смесей способствует повышению предела прочности на сжатие в сравнении с контрольным составом: при 4,0 % ПЦ на 72,0 %, при 5,0 % ПЦ – на 75,0 %, при 6 % – на 68,0 %. При этом предел прочности на растяжение при изгибе повысился: при 4,0 % ПЦ на 95,0 %, при 5,0 % – на 142,0 %, при 6,0 % – на 138,0 %. Коэффициент морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания увеличился: при 4,0 % ПЦ на 156,0 %, при 5,0 % – на 129,0 %, при 6,0 % – на 79,0 %.

С целью определения области применения модифицированных цемента-песчано-гравийных смесей в конструктивных слоях дорожных одежд установлены следующие оптимальные значения содержания ОК и АГ для требуемых марок обработанных материалов в соответствии с ГОСТ 23558-94:

- для марок М40 и F25: при $R_{сж} \rightarrow 4,0$ МПа, $R_{изг} \rightarrow 0,8$ МПа, $K_{мор} \rightarrow 0,75$:

ПЦ=4,0 %, ОК=13,3 %, АГ=20,0 %.

- для марок М60 и F25: $R_{сж} \rightarrow 6$ МПа, $R_{изг} \rightarrow 1,2$ МПа, $K_{мор} \rightarrow 0,75$:

ПЦ=5,0 %, ОК=10,0 %, АГ=16,5 %.

- для марок М75 и F25: $R_{сж} \rightarrow 7,5$ МПа, $R_{изг} \rightarrow 1,5$ МПа, $K_{мор} \rightarrow 0,75$:

ПЦ=5,5 %, ОК=16,7 %, АГ=30,0 %.

Таким образом, полученные результаты показывают возможность утилизации отсеков камнедробления и асфальтогранулята методом их добавления в цемента-песчано-гравийные смеси конструктивных слоев дорожных одежд, выполняющих роль карбонатных и гранулометрических модификаторов материала.

Исследование влияния ОТАП на физико-технические свойства цемента-песчано-гравийных смесей проводилось с целью определения возможности утилизации пыли и снижения количества вяжущего в материале дорожных одежд при следующих соотношениях компонентов заполнителя и добавок: ПГС / ОК / АГ = 61 / 14 / 25 для составов с ПЦ - 3,0; 4,0 и 5,0 %.

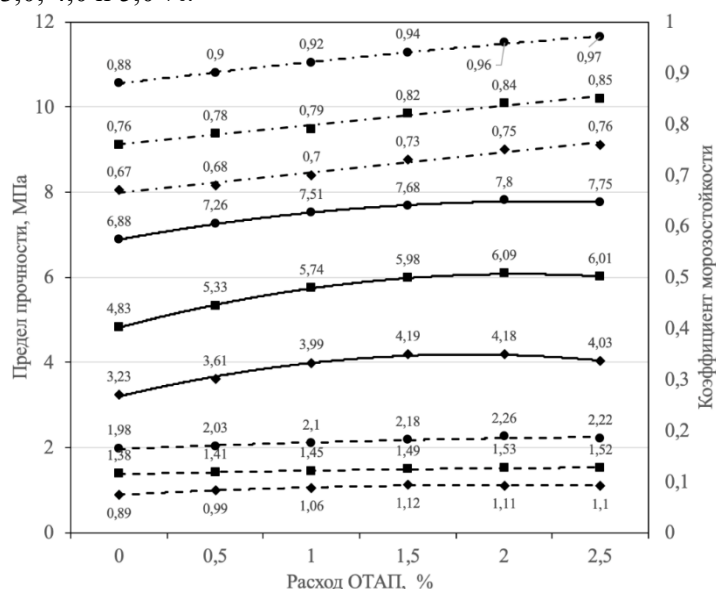


Рис. 2. Зависимость влияния ОТАП на основные физико-технические свойства ПГС, обработанной ПЦ, с введением ОК и АГ (иллюстрация авторов)

— — — — — $R_{сж}$; - - - - - $R_{изг}$; ······ $K_{мор}$
 ● — 3,0 % ПЦ; ■ — 4,0 % ПЦ; ◆ — 5,0 % ПЦ

Выявлено, что введение термоактивированной пыли асфальтосмесительной установки способствует повышению уровня показателей основных физико-технических свойств модифицированного обработанного материала и обеспечивает возможность снижения содержания вяжущего в цементно-песчано-гравийных смесях. Используя установленные зависимости разработаны оптимальные составы материалов на основе модифицированных цементно-песчано-гравийных смесей для следующих требуемых марок по прочности и морозостойкости:

- для М40 и F25: ПЩ - 3,0 %, ОТАП - 2,0 %,
- для М60 и F25: ПЩ - 4,0 % и ОТАП - 2,0 %,
- для М75 и F25: ПЩ - 4,0 % и ОТАП - 1,0%.

Модификация цементно-песчано-гравийных смесей отходами дорожно-строительных производств выявила возможность снижения содержания портландцемента в смесях от 17,0 до 25,0 %.

4. Обсуждение

По данным В.К. Козловой взаимодействие карбонатных наполнителей с продуктами гидратации цемента имеет еще недостаточно изученную химическую природу [12, 13]. Так как долгое время карбонатсодержащие наполнители и добавки относили к инертным микронаполнителям. Установлено, что продуктами гидратации портландцемента с карбонатными добавками являются не только карбоалюминаты кальция, но возможно и образование твердых растворов между гидрокарбоалюминатом кальция и гидроксоалюминатом кальция состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$. Есть предпосылки образования гидрокарбосиликатов кальция – малоизученных рентгеноаморфных неорганических полимеров. По мнению авторов, взаимодействие карбонатных добавок с продуктами гидратации силикатов портландцемента С-S-H фазы приводит к образованию $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который распадается на ионы гидрокарбоната кальция и гидрокарбоната CaHCO_3^{3+} и HCO_3^{3-} . В течении некоторого времени, либо при повышении температуры до 80-100 °С, возможно образование гидросиликатов кальция при разложении карбонатных групп с выделением углекислого газа и воды.

Согласно данным [14] известняк ускоряет гидратацию силикатных фаз цемента. Происходит увеличение скорости гидратации трехкальциевого силиката, обусловленного изменением толщины зоны продуктов его гидратации. В результате реакции с алитом образуются основные карбонаты кальция – аналоги природного деферрита. При этом CaCO_3 оказывает модифицирующее воздействие на поверхность C_3A и выполняет роль центров кристаллизации. Мелкие кристаллы водного карбоната кальция щелочного типа $\text{Ca}_3(\text{CO}_3)_2 \cdot (\text{OH})_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$, образующиеся на поверхности частиц CaCO_3 постепенно приводят к коррозии их поверхности. При большом содержании известняка, сгустки гидроксида кальция образуют мостики между частицами карбоната кальция, в то же время, между карбонатным наполнителем и гидроксидом кальция создаются поверхностные реакции, которые упрочняют структуру камня [15].

Применение карбонатных добавок способствует уменьшению расслаиваемости и водоотделению бетонных смесей; повышению их водоудерживающей способности, плотности и однородности; снижению усадки и тепловыделения бетонов, а также улучшает их атмосферостойчивость, водо-, морозо- и кислотостойкость, стойкость к агрессивным средам [16].

В связи с вышеизложенным, можно предположить, что применение карбонатных наполнителей и добавок в виде отсева камнедробления и термоактивированной пыли в цементно-песчано-гравийной смеси приводит к повышению прочности и морозостойкости за счет ускорения гидратации силикатных фаз цемента и образования гидрокарбоалюминатов и гидроксоалюмината кальция.

Добавление асфальтогранулята в цементно-песчано-гравийную смесь в количестве более 20 % снижает прочность и морозостойкость из-за слабой адгезией между цементным вяжущим и агрегатами асфальтогранулята, которые покрыты пленкой битума. Однако, введение асфальтогранулята в количестве от 10,0 до 20,0 % приводит к незначительному повышению прочности и морозостойкости, что связано с уменьшением

удельной поверхности смеси и большим контактом цементного теста с заполнителем [6, 7].

5. Заключение

1. Выполнена оптимизация составов цемента-песчано-гравийных смесей методом ротатбельного планирования второго порядка, которая позволила определить влияние асфальтогранулята, отсева камнедробления и термоактивированной пыли на основные физико-технические свойства обработанного материала дорожных одежд.

2. Выявлены закономерности изменения уровня показателей физико-технических свойств цемента-песчано-гравийных смесей в зависимости от содержания отходов дорожно-строительных производств, которые показывают возможность утилизации асфальтогранулята, отсева камнедробления и термоактивированной пыли в качестве модификатора обработанных материалов конструктивных слоев дорожных одежд.

3. Разработаны оптимальные составы материалов для дорожных одежд автомобильных дорог на основе цемента-песчано-гравийных смесей, модифицированных отходами дорожного производства, с марками прочности до М75 и морозостойкостью F25.

4. Модификация цемента-песчано-гравийных смесей отходами дорожно-строительных производств выявила возможность повышения уровня показателей физико-технических свойств и снижения содержания портландцемента в смесях от 17,0 до 25,0 % в зависимости от получаемой марки по прочности и морозостойкости обработанного материала дорожных одежд, а также расширила способы утилизации промышленных отходов и снижения их экологической нагрузки на окружающую среду.

Список библиографических ссылок

1. Romeo E., Oraz M., Oraz U.S., Accard C., Noto S., Tebaldi G. Evaluation of “long-term behaviour under traffic” of cement treated mixture with RAP // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 208. P. 421–426.
2. Alamri M., Qing L., Chunfu X. Preliminary Evaluation of Hot Mix Asphalt Containing Reclaimed Epoxy Asphalt Materials // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 9. 3531. DOI:10.3390/su12093531.
3. Chakravarthi S., Anusha B., Arun S., Shankar S. Evaluation of cement treated reclaimed asphalt pavement and recycled concrete pavement bases // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2019. Vol. 12. Iss. 6. P. 581–588. DOI:10.1007/s42947-019-0069-1
4. Abed A., Thom N., Presti D.L. Design considerations of high RAP-content asphalt produced at reduced temperatures // *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Iss. 4. DOI:10.1617/s11527-018-1220-1
5. Thevaneyan K.D., Chandrasegaran R.S., Sivasan K.N. Modified Pervious Concrete Containing Recycled Asphalt Pavement and Waste Tire Rubber // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 371. Iss. 1. 9. DOI:10.1088/1757-899X/371/1/012011.
6. Elsharief A., Cohen M.D., Olek J., Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone // *Cement and Concrete Research*. 2003. Vol. 33. P. 1837–1849.
7. Papakonstantinou C.G. Resonant column testing on Portland cement concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) aggregates // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 173. P. 419–428.
8. Корочкин А.В. Влияние основания дорожной одежды из укатываемого (тощего) бетона на жесткость конструкции // *Транспортное строительство*. 2018. № 3. С. 18–21.
9. Vdovin E., Mavliev L., Konovalov N. Modification by zeolite-containing additive the road –building materials based on carbonate crushed stone-sand mixtures and cements // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 169. P. 308–317. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_33.

10. Хежев Т.А., Кажаров А.Р., Налоев А.Ю., Семенов Р.Н., Хамуков З.А., Желоков Т.Х. Строительные растворы на отходах камнедробления // Инженерный вестник Дона. 2016. № 4 (43). С. 135.
11. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З., Рошупкина И.Ю. Инновационные направления по использованию нанотехногенных отходов в производстве керамических композиционных материалов // Экология промышленного производства. 2014. № 3 (87). С. 20-23.
12. Козлова В.К., Лотов В.А., Саркисов Ю.С., Логвиненко В.В., Рахманова И.А., Божок Е.В. Процессы карбонизационной усадки строительных материалов // Вестник ТГАСУ. 2019. № 3. Т. 21. С. 178–194.
13. Козлова В.К., Вольф А.В., Божок Е.В., Маноха А.М., Махов К.А. Влияние процесса карбонизации на состав продуктов гидратации и прочность цементного камня // Ползуновский вестник. 2018. № 2. С. 117-121. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.022.
14. Джидзюнь Т. Гуан Е., Гао Ю., Махильс Л., Брюнель Е., Схуттер Д. Г. Гидратация трехкомпонентного цемента // Цемент и его применение. 2016. № 3. С. 82-87.
15. Zhang. S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China. 2015. № 11. P. 13-16.
16. Малова Е.Ю., Козлова В.К., Верещагин В.И., Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Павлова А.Н. Геоника: от геохимии деферрита, спуррита и их аналогов к созданию искусственных материалов на основе цементных систем // Ползуновский вестник. 2017. № 1. С. 78-83.

Vdovin Evgeny Anatolyevich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: vdovin007@mail.ru

Bulanov Pavel Efimovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: f_lays@mail.ru

Mavliev Lenar Fidaesovich

candidate of technical sciences, associate professor

Email: lenarmavliev@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste
from road construction industries****Abstract**

Problem statement. The aim of the research is to study the effect of road construction waste (asphalt granulates, stone crushing screenings and thermoactivated dust of asphalt mixing plants) on the physical and technical properties of cement-sand-gravel mixtures for road pavements of highways. The relevance of the study is justified by the need to utilize waste generated during the milling of asphalt concrete pavements during the repair and reconstruction of highways, during the production of crushed stone in quarries, as well as the preparation of asphalt concrete mixtures at production bases.

Results. The results of the study consist in determining the level of indicators of physical and technical properties (ultimate compressive strength, ultimate tensile strength in bending, frost resistance) of cement-sand-gravel mixtures with the addition of asphalt granulate, screening of stone crushing and thermoactivated dust of asphalt mixing plants. Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste from road construction industries revealed the possibility of reducing the content of Portland cement in mixtures from 17 to 25%, depending on the grade obtained in terms of strength and frost resistance of the processed material of road

pavements, and also expanded the methods of utilizing industrial waste and reducing their ecological impact on the environment.

Conclusions. The dependences of changes in the levels of indicators of the main physical and technical properties of cement-sand-gravel mixtures modified by waste from road construction industries were revealed, on the basis of which the optimal compositions of materials for road pavements of highways were developed.

It has been established that the introduction of thermally activated dust from asphalt mixing plants enhances the physical and technical properties and reduces the content of binder in cement-sand-gravel materials of road pavements, and utilization of asphalt granulate and stone crushing screenings is possible by adding them to materials as granulometric modifiers.

Keywords: cement-sand-gravel mixture, modification, strength, frost resistance, pavement structure, asphalt granulate, stone crushing screening, thermoactivated dust waste.

For citation: Vdovin E. A., Bulanov P. E., Mavliev L. F. Modification of cement-sand-gravel mixtures with waste from road construction industries. *Izvestiya KGASU*. 2021. No. 3 (57). P. 32–41. DOI: 10.52409/20731523_2021_3_32.

References

1. Romeo E., Oraz M., Oraz U. S., Accard C., Noto S., Tebaldi G. Evaluation of “long-term behaviour under traffic” of cement treated mixture with RAP // *Construction and Building Materials*. 2019. Vol. 208. P. 421–426.
2. Alamri M., Qing L., Chunfu X. Preliminary Evaluation of Hot Mix Asphalt Containing Reclaimed Epoxy Asphalt Materials // *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Iss. 9. 3531. DOI:10.3390/su12093531.
3. Chakravarthi S., Anusha B., Arun S., Shankar S. Evaluation of cement treated reclaimed asphalt pavement and recycled concrete pavement bases // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2019. Vol. 12. Iss. 6. P. 581–588. DOI:10.1007/s42947-019-0069-1
4. Abed A., Thom N., Presti D. L. Design considerations of high RAP-content asphalt produced at reduced temperatures // *Materials and Structures*. 2018. Vol. 51. Iss. 4. DOI:10.1617/s11527-018-1220-1
5. Thevaneyan K. D., Chandrasegaran R. S., Sivasan K. N. Modified Pervious Concrete Containing Recycled Asphalt Pavement and Waste Tire Rubber // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 371. Iss. 1. 9. DOI:10.1088/1757-899X/371/1/012011.
6. Elsharief A., Cohen M. D., Olek J., Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone // *Cement and Concrete Research*. 2003. Vol. 33. P. 1837–1849.
7. Papakonstantinou C. G. Resonant column testing on Portland cement concrete containing recycled asphalt pavement (RAP) aggregates // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 173. P. 419–428.
8. Korochkin A. V. Influence of the base of pavement made of rolled (lean) concrete on the stiffness of the structure // *Transportnoye stroitel'stvo*. 2018. № 3. P. 18–21.
9. Vdovin E., Mavliev L., Konovalov N. Modification by zeolite-containing additive the road –building materials based on carbonate crushed stone-sand mixtures and cements // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 169. P. 308–317. DOI: 10.1007/978-3-030-80103-8_33.
10. Khezhev T. A., Kazharov A. R., Naloev A. Yu., Semenov R. N., Khamukov Z. A., Zhelokov T. Kh. Mortar on stone crushing waste // *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2016. № 4 (43). P. 135.
11. Abdrakhimova E. S., Abdrakhimov V. Z., Roshchupkina I. Yu. Innovative directions for the use of nanotechnogenic waste in the production of ceramic composite materials // *Ecology of industrial production*. № 3 (87). 2014. P. 20–23.

- 12.Kozlova V. K., Lotov V. A., Sarkisov Yu. S., Logvinenko V. V., Rakhmanova I. A., Bozhok E. V. Processes of carbonization shrinkage of building materials // Vestnik TGASU. 2019. № 3. T. 21. P. 178–194.
- 13.Kozlova V. K., Wolf A. V., Bozhok E. V., Manokha A. M., Makhov K. A. Influence of the carbonization process on the composition of hydration products and the strength of cement stone // Polzunovskiy vestnik. 2018. № 2. P. 117-121. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.02.022.
- 14.Jijun T. Guan E., Gao Y., Mahils L., Brunel E., Schutter D. G. Hydration of ternary cement // Cement i yego primeneniye. 2016. № 3. P. 82-87.
- 15.Zhang. S., Lu D., Xu Z. Effect of dolomite powders on the hydration and strength properties of cement mortars // Proc. XIV International Congress on the Chemistry of cement. Beijing, China. 2015.№ 11.P. 13-16.
- 16.Malova E. Yu., Kozlova V. K., Vereshchagin V. I., Sarkisov Yu. S., Gorlenko N. P., Pavlova A. N. Geonics: from the geochemistry of defernite, spurrite and their analogues to the creation of artificial materials based on cement systems // Polzunovskiy vestnik. 2017. № 1. P. 78-83.