

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-3-16-24

*\*Явинский А.В., Чулкова И.Л.*

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СиБАДИ)

*\*E-mail: 121qqz@mail.ru*

## ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ ГИДРОУДАЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ

**Аннотация.** Цементобетонное дорожное покрытие отличается значительной долговечностью по сравнению с другими. Однако вследствие высоких затрат при строительстве не пользуется популярностью на территории России. Для снижения затрат при строительстве цементобетонного дорожного покрытия предлагается заменить часть цемента, либо часть цемента и песка одновременно в равных пропорциях золой гидроудаления. В работе приведены данные испытаний тяжелого бетона с золой гидроудаления при различных концепциях замены компонентов (замена 10 % цемента; 7,5 % цемента и 7,5 % песка одновременно). Изучено влияние золы гидроудаления ТЭЦ-4 г. Омска на следующие свойства тяжелого бетона: прочность, водопоглощение, плотность, морозостойкость, истираемость. Показано, что введение золы гидроудаления может положительно влиять на прочность тяжелого бетона при поздних сроках твердения (90 и 180 суток). Проведен рентгенографический анализ тяжелого бетона с золой гидроудаления и контрольного беззолного образца. Установлено, что при введении золы гидроудаления в тяжелый бетон, протекает пуццоланическая реакция, продуктом которой являются гидросиликаты кальция. Образование гидросиликатов кальция положительно влияет на свойства тяжелого бетона. Использование золы гидроудаления в качестве компонента тяжелого бетона позволяет снизить его стоимость, а также улучшить экологическую обстановку как в регионе, так и в целом в стране.

**Ключевые слова:** цемент, тяжелый бетон, зола гидроудаления, прочность, рентгенофазовый анализ, дорожное покрытие.

**Введение.** Для строительства автомобильных дорог требуется большое количество дорожно-строительных материалов – песка, щебня, цемента, но во многих регионах наблюдается острый дефицит ресурсов необходимых для строительства [1]. При строительстве одного километра дороги расходуется более 4000 м<sup>3</sup> бетона. В Омской области в ближайшем будущем планируется строительство трех новых дорог, а также предполагается осуществить реконструкцию и ремонт существующих семнадцати дорог.

Строительство дорог с цементобетонным покрытием не нашло популярности в России, в отличие от многих других стран [2]. Одной из причин неиспользования цементного бетона является значительно более высокая стоимость вяжущего для цементобетонного покрытия по сравнению с асфальтобетоном. Для снижения стоимости строительства цементобетонных дорог необходимо снизить расход цемента. Снижение стоимости строительства цементобетонных дорог без потери качества может значительно повысить интерес инвесторов к этой теме.

В то же время в городе Омске хранится более 150 млн тонн золошлаковых отходов, которые могут использоваться в качестве компонента бетонной смеси, в том числе как замена части вяжущего. Значительное количество накопленных за многие годы золошлаковых отходов хранится на отвалах омских ТЭЦ-2, ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, которые занимают более 900 га территории [3]. Также

в 2021 году разрабатывается проект расширения площади золоотвала ТЭЦ-5. Накопленные золошлаковые отходы несут высокую угрозу для экологии региона. Постоянные пыления с поверхности отвалов загрязняют атмосферу, а вымывание токсичных элементов золошлаковых отходов осадками и талыми водами негативно влияют на близлежащие к отвалам водоемы и подземные источники воды [4]. Утилизация золошлаковых отходов является важным источником получения высококачественных строительных материалов со сниженной стоимостью.

Следовательно, переработка золошлаковых отходов омских ТЭЦ может позволить комплексно решить сразу нескольких проблем. К ним относятся экономия материальных и природных ресурсов, снижение стоимости дорожного строительства и улучшение экологической ситуации в регионе.

Изучением переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций в строительной отрасли активно занимаются многие российские и зарубежные ученые. В работе [5] изучались особенности твердения золоцементных вяжущих. Авторами [6] исследовалось влияние вещественного состава заполнителя из отходов теплоэнергетических установок на свойства газобетона. В статье [7] были приведены исследования использования золы для модификации дорожного битумного вяжущего. Исследование

свойств бетона с золой гидроудаления посвящены многие зарубежные статьи [8–12]. В работах [13–15] изучалось применение золы гидроудаления в качестве мелкого заполнителя в бетоне. Статьи [16, 17] посвящены изучению свойств бетона с заменой части цемента золой гидроудаления. Большая часть представленных исследований позволила получать изделия с использованием золы, не уступающие качеством, а в чем-то превосходящие беззолые аналоги.

Использование золошлаковых отходов в составе тяжелого бетона для строительства цементобетонных дорог предполагает прогнозировать

экономический эффект и улучшение экологической обстановки.

В представленной работе проводилось изучение поведения ультракислой золы гидроудаления различных концентраций в составе тяжелого бетона.

**Материалы и методы.** В представленном исследовании было изучено влияние золы гидроудаления на свойства тяжелого бетона при различных концепциях замены компонентов. Для изучения была отобрана зола гидроудаления с ТЭЦ-4 города Омска, химический состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1

### Химический состав золы гидроудаления

Материал	Содержание оксидов, % по массе								
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.
Зола гидроудаления ТЭЦ-4	60,5	5,6	22,5	2,5	1,2	0,2	0,3	1,9	5,3

По химическому составу золы гидроудаления можно сделать вывод, что она является ультракислой ( $M_0 = 0,07$ ) и не имеет собственной активности. При отборе проб из золоотвала влажность золы гидроудаления составляла 45 %. Зола использовалась во влажном состоянии. При подборе составов тяжелого бетона количество воды рассчитывалось с учетом влажности золы гидроудаления.

Содержание в золе гидроудаления большого количества Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (22,5 %) и SiO<sub>2</sub> (60,5 %) может стать причиной кристаллизации муллитоподобных соединений [18]. Потери при прокаливании составляют 5,3 %. Это говорит о наличии в золе частиц несгоревшего топлива, что может негативно сказаться на свойствах бетона.

Для определения удельной поверхности золы гидроудаления (зола высушивалась до постоянной массы) использовался прибор ПСХ-12. Удельная поверхность испытуемой золы гидро-

удаления составила 125...185 м<sup>2</sup>/кг. Неоднородность золы гидроудаления может оказывать негативное воздействие на свойства получаемого бетона [19, 20]. Это происходит вследствие наличия в золе агрегированных частиц, которые характеризуются повышенной удельной поверхностью и шероховатостью, что может значительно повысить водопотребность бетонной смеси. Для повышения активности ультракислой золы гидроудаления, усреднения ее удельной поверхности и уменьшения количества агрегированных частиц, она подвергалась помолу. Для помола золы гидроудаления использовалась планетарная мельница, время помола составляло 1 мин. После помола удельная поверхность золы гидроудаления составила 320–350 м<sup>2</sup>/кг.

В качестве вяжущего для изготовления тяжелого бетона использовался ЦЕМ I – 42,5 Н. Он был испытан и соответствует требованиям ГОСТ 31108-2020. Физико-механические свойства портландцемента приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Физико-механические свойства портландцемента

№ п/п	Характеристика	Среднее значение
1	Плотность, кг/м <sup>3</sup> :	
	-насыпная	1215
	-истинная	3045
2	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	320
3	Нормальная плотность, %	26
4	Равномерность изменения объема (расширение), мм	0
5	Тонкость помола (проход через сито №008), %	97,4
6	Сроки схватывания, мин:	
	-начало	130
	-конец	200
7	Прочность образцов при сжатии в 28 суток, МПа	42,7
8	Прочность образцов при изгибе в 28 суток, МПа	7,15

В составе тяжелого бетона использовались песок I класса и щебень фракции 5–20 удовлетворяющие всем требованиям ГОСТ 8736-2014 и ГОСТ 32703-2014.

Для получения информации о фазовом составе бетонов был проведен рентгенофазовый анализ (РФА).

Прочность бетона определяют по ГОСТ 10180-2012 с помощью гидравлического пресса ТП-1-1500.

Водопоглощение и плотность тяжелого бетона определялись по ГОСТ 12730.3-2020.

Истираемость бетона определялась по ГОСТ 13087-2018 с помощью круга истирания ЛКИ-3.

Морозостойкость тяжелого бетона испытывалась по ускоренному методу с использованием хлорида натрия по ГОСТ 10060-2012.

**Основная часть.** Выбор рационального количества ультраактивной золы гидроудаления в составе тяжелого бетона проводился в работе [3]. После чего были рассчитаны составы с тяжелого бетона с золой гидроудаления, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3

Составы тяжелого бетона на 1 м<sup>3</sup>

№ Составы	Цемент, кг	Зола гидроудаления, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Вода, кг
1	454	-	621	1020	131
2*	409	45	621	1020	131
3**	420	81	574	1020	144

Примечание:

\* - состав с заменой 10 % цемента золой гидроудаления

\*\* - состав с заменой 7,5 % песка и 7,5 % цемента одновременно

Из представленных составов были изготовлены образцы-кубы 10×10×10 см и 7×7×7 см. Твердение образцов протекало в камере нормаль-

ного твердения, после 28 суток они были испытаны. Результаты испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты испытаний составов тяжелого бетона

Свойства бетона	№ Составы		
	1	2	3
Прочность при сжатии R <sub>28</sub> , МПа	38,9	36,3	35,6
Прочность при сжатии R <sub>90</sub> , МПа	43,5	46,2	45,3
Прочность при сжатии R <sub>180</sub> , МПа	46,1	51,8	49,2
Морозостойкость, циклы	300	300	300
Водопоглощение максимальное, W <sub>max</sub> , %	3,0	2,3	2,4
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2209	2247	2230
Истираемость, г/см <sup>2</sup>	0,7	0,6	0,7

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что составы с заменой компонентов золой гидроудаления (составы № 2 и № 3) в возрасте 28 суток имеют эксплуатационные свойства не хуже, чем контрольный беззольный состав. Небольшое снижение прочности составов № 2 и № 3, в сравнении с контрольным составом может быть связано с наличием микропористости и рыхлого строения агрегированных частиц в золе гидроудаления. На более поздних сроках твердения (90 и 180 суток) прочность составов с золой гидроудаления становится выше, чем у состава № 1. Это может быть следствием прохождения пуццоланической реакции золы гидроудаления, в ходе которой образуются гидросиликаты кальция.

В ходе пуццоланической реакции, образующиеся при гидратации портландцемента гидроксиды кальция, расходуются для образования нерастворимых соединений C-S-H. Образующиеся

дополнительные гидросиликаты кальция положительно влияют на прочность образцов. Пуццоланическая реакция начинается в первые две недели твердения, но ее основная часть приходится на более поздние сроки твердения.

Также повышение прочности составов № 2 и № 3 в возрасте 90 и 180 суток может быть связано с тем, что пористые частицы золы гидроудаления удерживают в себе воду, которая способна прореагировать с частицами цемента при более поздних сроках твердения. Вследствие чего и наблюдается повышение прочности у образцов № 2 и № 3 по сравнению с контрольным в возрасте 90 и 180 суток.

Для получения информации о фазовом составе (качественном и количественном) бетонов с золой гидроудаления (состав № 2) и контрольного беззольного состава был проведен рентгенофазовый анализ. Для проведения РФА анализа проводился отбор проб тяжелого бетона после



Уменьшение количества свободного  $\text{Ca}^{2+}$  связано с его переходом в гидросиликаты кальция при взаимодействии с ультракислой золой гидроудаления. По результатам РФА анализа



Полученные рентгенограммы образцов свидетельствуют о повышенном количестве гидросиликатов кальция в составе с золой гидроудаления (состав № 2), по сравнению с контрольным составом. Также по рентгенограммам видно, что у состава с золой гидроудаления уменьшилось количество карбоната кальция, что подтверждает связывание кремнеземом гидроксида кальция и образование более прочных соединений.

Повышение плотности составов с золой гидроудаления может являться следствием заполнения золой и продуктами взаимодействия золы с минералами портландцемента капиллярных промежутков. Зола гидроудаления способствует формированию более плотной структуры межзернового пространства в бетоне, что может быть следствием повышенной степени гидратации цемента, а также образованием дополнительного количества геля из гидросиликата кальция.

Понижение водопоглощения тяжелых бетонов с золой гидроудаления (составов № 2 и № 3) по сравнению с контрольным беззолым образцом свидетельствует об уменьшении пористости этих составов по всему объему образца.

При испытании на истираемость результаты составов № 2 и № 3 и контрольного беззолного образца не показали значимых отличий. Все запроектированные составы показали марку по истираемости G1, что говорит о возможности использования такого бетона для строительства дорожного покрытия цементобетонных дорог.

Морозостойкость образцов определялась по ускоренному методу с применением 5 % раствора хлорида натрия. Все составы успешно прошли испытания, что говорит о возможности получения тяжелого бетона с золой гидроудаления с маркой по морозостойкости до F300 включительно.

Важно подчеркнуть, что при замене части компонентов тяжелого бетона золой гидроудаления снижается его стоимость. Так при замене 10 % цемента золой гидроудаления, можно получить снижение стоимости до 410 рублей за  $\text{м}^3$  тяжелого бетона с учетом цен на цемент на период 2021 года. Экономический эффект при использовании состава с заменой 7,5 % цемента и 7,5 % песка составляет 320 рублей за  $\text{м}^3$  тяжелого бетона с учетом цен на цемент и песок на период 2021 года.

видно, что тяжелый бетон с заменой части цемента золой гидроудаления (состав № 2) характеризуется сниженным содержанием гидроксида кальция. Это связано с результатом взаимодействия:

При строительстве цементобетонных дорожных покрытий требуется более  $4000 \text{ м}^3$  тяжелого бетона на 1 км протяженности дороги. При строительстве 1 км дороги с цементобетонным покрытием при замене 10 % цемента золой гидроудаления можно утилизировать около 181 тонна золы. Ежегодно ТЭЦ города Омска отправляют в отвалы около 2,0 млн тонн золы гидроудаления, что негативно сказывается на экологической обстановке. Строительство дорожного покрытия из предложенных составов тяжелого бетона с заменой компонентов золой гидроудаления позволит полностью утилизировать ежегодно вырабатываемую золу гидроудаления, а также уменьшить площади золоотвалов.

**Заключение.** Проведение рентгенофазового анализа состава с заменой 10 % цемента золой гидроудаления и контрольного образца подтвердили в золных составах протекание пуццоланической реакции. Уменьшение количества гидроксидов кальция связано с их переходом в гидросиликаты кальция при взаимодействии с ультракислой золой гидроудаления. Из чего можно сделать вывод, что в тяжелых бетонах с золой гидроудаления образуются гидросиликаты кальция, которые увеличивают прочность, снижают пористость и водопоглощение изделий из них.

В ходе работы было изучено влияние ультракислой золы гидроудаления на свойства тяжелого бетона с различными концепциями замены компонентов (в первом случае – замена 10 % цемента золой гидроудаления; во втором случае – замена 7,5 % цемента и 7,5 % песка одновременно). Установлено, что введение в состав тяжелого бетона ультракислой золы гидроудаления (с удельной поверхностью  $320\text{--}350 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) при различных концепциях замены компонентов, способствует более интенсивному набору прочности при длительных сроках твердения (более 28 суток) по сравнению с контрольным беззолым образцом (повышение до 10 %). Это свидетельствует о пуццолановой активности, которую проявляет зола гидроудаления при механоактивации в мельнице.

Разработанные составы тяжелого бетона с золой гидроудаления показывают показатели по плотности выше, чем контрольный беззолый состав, так при прохождении пуццоланической реакции механоактивированной золы гидроуда-

ления образуются дополнительные гидросиликаты кальция, за счет которых и повышается плотность образцов. Также составы с золой гидроудаления имеют пониженное водопоглощение, вследствие заполнения золой и продуктами взаимодействия золы с минералами портландцемента капиллярных промежутков. Повышенная плотность и сниженное водопоглощение образцов с золой гидроудаления являются косвенными признаками снижения пористости образцов. Сниженная пористость образцов благоприятно сказывается на морозостойкости, вследствие чего спроектированные составы с золой гидроудаления соответствуют марке по морозостойкости до F300 и могут применяться в климатических условиях Западной Сибири.

Использование в качестве компонента тяжелого бетона золы гидроудаления при любой концепции замены компонентов дает не только положительный технологический эффект, который выражается в улучшении свойств получаемых изделий, но также позволяет получить ощутимый эколого-экономический эффект. Применение золы гидроудаления при строительстве дорожного полотна позволит уменьшить стоимость строительных материалов и снизит негативный эффект, оказываемый золоотвалами на окружающую среду.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С., Гридчин А.М., Муртазаев С.Ю., Сайдумов М.С., Ахмед А.А., Оцоков К.А. Бетоны для дорожного строительства с применением техногенных материалов // Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания человека: II Международный онлайн-конгресс, посвященный 30-летию кафедры Строительного материаловедения, изделий и конструкций. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2019. С. 103–112.
2. Саркисян Д.А., Сиordia Д.Т. Технология строительства автомобильных дорог в России и Германии // Академическая публицистика. 2018. №. 2. С. 16–25.
3. Явинский А.В., Чулкова И.Л. Исследование физико-механических свойств тяжелого бетона с золой гидроотвала // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сборник материалов IV Национальной научно-практической конференции. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). 2021. С. 671–675.
4. Трофимов Б.Я., Бутакова М.Д., Федосеев А.В. Влияние комплексной добавки "Зола и поликарбоксилатный суперпластификатор" на свойства и структуру цементного камня // Строительство и экология: теория, практика, инновации. Сборник докладов I Международной научно-практической конференции. Челябинск: ПИРС, 2015. С. 178–183.
5. Толстой А.Д., Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Ковалева И.А. Порошковые бетоны с применением техногенного сырья // Вестник МГСУ. Москва, 2015. №11. С. 101–109
6. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Бердов Г.И., Сыромясов В.А., Дружинин М.С. Влияние вещественного состава заполнителя из отходов сжигания топлива на формирование ячеистой структуры газозолобетона // Строительные материалы. 2014. № 12. С. 42–45.
7. Лебедев М.С., Строкова В.В, Потапова И.Ю., Котлярский Э.В. Влияние добавок низкокальциевой золы-уноса ТЭС на характеристики дорожного битумного вяжущего // Строительные материалы. 2014. № 11. С. 8–11.
8. Golla S.Y., Rajesh K., Khan M.I., Rahul C., Pruthvi K. Structural performance of exterior beam-column joint using biochar impregnated pond ash concrete // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 39. Pp. 467–471. doi:10.1016/j.matpr.2020.07.722
9. Thyagaraj K.J., Aravindan S., Fazal A.E. Utilization of pond ash and stone dust as mineral fillers in polymer modified bituminous concrete mix // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. Vol. 12. No. 02. Pp. 785–793. doi: 10.34218/IJARET.12.2.2021.079
10. Yimam Y. A., Warati G. K., Fantu T., Paramasivam V., Selvaraj S. K. Effect of pond ash on properties of C-25 concrete // Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 46. No. 17. Pp. 8296–8302. doi:10.1016/j.matpr.2021.03.258
11. Deshmukh R., Patel S., Kapdnis S., Kumawat S., Kulkarni D., Patil N. Effective utilization of construction and demolition waste, pond ash in combination with geosynthetics in flexible road pavement // Environmental Geotechnology. Springer, Singapore. 2019. Pp. 123–131. doi: 10.1007/978-981-13-7010-6\_11
12. Harle S.M. Experimental Investigation on the use of Pond Ash in the Concrete // International Journal of Scientific Research in Network Security and Communication. 2019. Vol. 7. No. 3. Pp. 12–20.
13. Bhangale P.P., Nemade P.M. Study of Pond ASH (BTPS) Use as A Fine Aggregate in Cement Concrete-Case Study // Int J Latest Trends Eng Technol. 2013. Vol. 2. Pp. 292–297.
14. Arumugam K., Pangoan R., Manohar D.J. A study on characterization and use of pond ash as fine aggregate in concrete // International Journal of Civil & Structural Engineering. 2011. Vol. 2. No. 2. Pp. 466–474.

15. Ganesh B., Bai H.S., Nagendra R., Narendra B.K. Characterisation of pond ash as fine aggregate in concrete // Proceedings of International Conference on Advances in Architecture and Civil Engineering 2012. Vol. 21. 119.

16. Jung S., Kwon S. J. Engineering properties of cement mortar with pond ash in South Korea as construction materials: from waste to concrete // Open Engineering. 2013. Vol. 3. No. 3. Pp. 522–533.

17. Srikanth A., Nandini K.A., Babu Y.A. Performance of Fine Aggregate Replaced Pond Ash on strength of Concrete // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. Vol. 1112. No. 1. Pp. 1–6. doi:10.1088/1757-899X/1112/1/012029

18. Федюк Р.С., Таскин А.В., Гребенюк И.В., Ёлкин О.И. Применение золошлаковых отходов тэц в качестве наполнителя цементных вяжущих

// XIX Всероссийская научно-практическая конференция «Дни науки–2019». Посвящается 150-летию открытия периодического закона ДИ Менделеевым: Материалы конференции. Озерск, 17–20 апреля 2019 г. Озёрск: ОТИ НИЯУ МИФИ. 2019. С. 67–71.

19. Shen P., Zheng H., Lu J., Poon C. S. Utilization of municipal solid waste incineration bottom ash (IBA) aggregates in high-strength pervious concrete // Resources, Conservation and Recycling. 2021. Vol. 174. Pp. 105. DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105736

20. Patel S.K., Satpathy H.P., Nayak A.N., Mohanty C.R. Utilization of fly ash cenosphere for production of sustainable lightweight concrete // Journal of The Institution of Engineers (India): Series A. 2020. Vol. 101. No. 1. Pp. 179–194. doi:10.1007/s40030-019-00415-6.

#### Информация об авторах

**Явинский Александр Викторович**, аспирант. E-mail: 121qqz@mail.ru. Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Россия, 644080, Омск, проспект Мира, 5.

**Чулкова Ирина Львовна**, доктор технических наук, профессор кафедры Организация, технологии и материалы в строительстве. E-mail: le5@inbox.ru. Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ). Россия, 644080, Омск, проспект Мира, 5.

Поступила 22.11.2021 г.

© Явинский А.В., Чулкова И.Л., 2022

*\*Yavinsky A.V., Chulkova I.L.*

*Siberian State Automobile and Highway University*

*\*E-mail: 121qqz@mail.ru*

## THE EFFECT OF POND ASH ON THE PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE FOR ROAD COVERING

**Abstract.** Cement concrete covering is characterized by considerable durability, compared to others. But due to the high construction costs, it is not popular in Russia. To reduce costs in the construction of cement concrete pavement it is proposed to replace part of the cement, or part of the cement and sand in equal proportions simultaneously with pond ash. The paper presents the test data of heavy concrete with pond ash at different concepts of component replacement (replacement of 10% of cement; 7.5 % of cement and 7.5 % of sand). The effect of ash from pond ash of CHPP-4 of Omsk was studied. Omsk on the following properties of heavy concrete: strength, water absorption, density, frost resistance, abrasion. It was shown that the introduction of pond ash can have a positive effect on the strength of heavy concrete at late hardening periods (90 and 180 days). A radiographic analysis of heavy concrete with pond ash and a control ashless sample was carried out. It was found that at the introduction of pond ash into heavy concrete, pozzolanic reaction takes place, the product of which are calcium hydrosilicates. The formation of calcium hydrosilicates has a positive effect on the properties of heavy concrete. The use of pond ash as a component of heavy concrete reduces its cost and improves the environmental situation in the country.

**Keywords:** cement, heavy concrete, pond ash, strength, X-ray phase analysis, road covering.

### REFERENCES

1. Lesovik V.S., Gridchin A.M., Murtazaev S.Y., Saidumov M.S., Ahmed A.A., Otsokov K.A. Concretes for road construction using man-made materials [Betony dlya dorozhnogo stroitelstva s

primeneniem tekhnogennyh materialov]. Prirodopodobnye tekhnologii stroitelnyh kompozitov dlya zashchity sredy obitaniya cheloveka: II Mezhdunarodnyj onlajn-kongress, posvyashchennyj 30-letiyu kafedry Stroitel'nogo materialovedeniya,

izdelij i konstrukcij. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2019. Pp. 103–112. (rus)

2. Sarkisyan D.A., Siordia D.T. Technology of Road Construction in Russia and Germany Academic Publicity. 2018. No. 2. Pp. 16–25. (rus)

3. Iavinsky A.V., Chulkova I.L. Study of physical and mechanical properties of heavy concrete with ash from hydro dump [Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svojstv tyazhelogo betona s zoloz gidrootvala] Obrazovanie. Transport. Innovacii. Stroitelstvo: Sbornik materialov IV Nacionalnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Omsk: Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), 2021. Pp. 671–675.

4. Trofimov B.Y., Butakova M.D., Fedoseev A.V. Effect of the complex additive "Ash and polycarboxylate superplasticizer" on the properties and structure of cement stone [Vliyanie kompleksnoj dobavki "Zola i polikarboksilatnyj superplastifikator" na svojstva i strukturu cementnogo kamnya]. Stroitel'stvo i ekologiya: teoriya, praktika, innovacii. Sbornik dokladov I Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Chelyabinsk: PIRS, 2015. Pp. 178–183. (rus)

5. Tolstoy A.D., Lesovik V.S., Zagorodniuk L.H., Kovaleva I.A., Powder concretes with the use of anthropogenic raw materials [Poroshkovye betony s primeneniem tekhnogennogo syrya]. MSCU Bulletin. Moscow, 2015. No 11, Pp. 101–109 (rus)

6. Stolboushkin A.Y., Ivanov A.I., Berdov G.I., Syromyasov V.A., Druzhinin M.S. Effect of the material composition of aggregate from fuel waste on the formation of the cellular structure of gas ash concrete [Vliyanie veshchestvennogo sostava zapolnitelya iz othodov szhiganiya topliva na formirovanie yacheistoy struktury gazozolobetona]. Stroitel'nye materialy. 2014. No. 12. Pp. 42–45. (rus)

7. Lebedev M.S., Stokova V.V., Potapova I.Yu., Kotlyarsky E.V. Effect of additives of low-calcium fly ash from TPP on the characteristics of road bituminous binder [Vliyanie dobavok nizekocal'cievoj zoly-unosa TES na harakteristiki dorozhnogo bitumnogo vyazhushchego]. Stroitel'nye materialy. 2014. No. 11. Pp. 8–11. (rus)

8. Golla S. Y., Rajesh K., Khan M.I., Rahul C., Pruthvi K. Structural performance of exterior beam-column joint using biochar impregnated pond ash concrete. Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 39. Pp. 467–471. doi:10.1016/j.matpr.2020.07.722

9. Thyagaraj K.J., Aravindan S., Fazal A.E. Utilization of pond ash and stone dust as mineral fillers in polymer modified bituminous concrete mix. International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology. Vol.12. No. 02. Pp 785–793. doi: 10.34218/IJARET.12.2.2021.079

10. Yimam Y. A., Warati G. K., Fantu T., Paramasivam V., Selvaraj S. K. Effect of pond ash on properties of C-25 concrete. Materials Today: Proceedings. 2021. Vol. 46. No. 17. Pp 8296–8302. doi:10.1016/j.matpr.2021.03.258

11. Deshmukh R., Patel S., Kapdnis S., Kumawat S., Kulkarni D., Patil N. Effective utilization of construction and demolition waste, pond ash in combination with geosynthetics in flexible road pavement. Environmental Geotechnology. Springer, Singapore, 2019. Pp. 123–131. doi: 10.1007/978-981-13-7010-6\_11

12. Harle S.M. Experimental Investigation on the use of Pond Ash in the Concrete. International Journal of Scientific Research in Network Security and Communication. 2019. Vol. 7. No. 3. Pp. 12–20.

13. Bhangale P.P., Nemade P.M. Study of Pond ASH (BTPS) Use as A Fine Aggregate in Cement Concrete-Case Study. Int J Latest Trends Eng Technol. 2013. Vol. 2. Pp. 292–297.

14. Arumugam K., Ilangovan R., Manohar D. J. A study on characterization and use of pond ash as fine aggregate in concrete. International Journal of Civil & Structural Engineering. 2011. Vol. 2. No. 2. Pp. 466–474.

15. Ganesh B., Bai H.S., Nagendra R., Narendra B.K. Characterisation of pond ash as fine aggregate in concrete. Proceedings of International Conference on Advances in Architecture and Civil Engineering (AARCV 2012). 2012. Vol. 21. Pp. 119.

16. Jung S., Kwon S. J. Engineering properties of cement mortar with pond ash in South Korea as construction materials: from waste to concrete. Open Engineering. 2013. Vol. 3. No. 3. Pp. 522–533.

17. Srikanth A., Nandini K.A., Babu Y.A. Performance of Fine Aggregate Replaced Pond Ash on strength of Concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2021. Vol. 1112. No. 1. Pp. 1–6. DOI:10.1088/1757-899X/1112/1/012029

18. Fedyuk R.S., Taskin A.V., Grebenyuk I.V., Yolkin O.I. Application of ash-and-slag wastes from thermal power plants as a cement binding filler [Primenenie zoloshlakovyh othodov tec v kachestve napolnitelya cementnyh vyazhushchih]. XIX All-Russian Scientific and Practical Conference "Days of Science-2019". Dedicated to the 150th anniversary of the discovery of the periodic law by Mendeleev MD: Conference Proceedings. 2019. Pp. 67–71. (rus)

19. Shen P., Zheng H., Lu J., Poon C. S. Utilization of municipal solid waste incineration bottom ash (IBA) aggregates in high-strength pervious concrete. Resources, Conservation and Recycling. 2021. Vol. 174. 105. doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105736

20. Patel S.K., Satpathy H.P., Nayak A.N., Mohanty C.R. Utilization of fly ash cenosphere for production of sustainable lightweight concrete. Journal

of The Institution of Engineers (India): Series A. 2020. Vol. 101. No. 1. Pp. 179–194. doi:10.1007/s40030-019-00415-6

*Information about the authors*

**Yavinskiy, Aleksandr V.** Postgraduate student. E-mail: 121qqz@mail.ru. Siberian State Automobile and Highway University. Russia, 644080, Omsk, prospekt Mira 5.

**Chulkova, Irina L.** DSc, Professor. E-mail: le5@inbox.ru. Siberian State Automobile and Highway University. Russia, 644080, Omsk, prospekt Mira 5.

---

*Received 22.11.2021*

**Для цитирования:**

Явинский А.В., Чулкова И.Л. Влияние золы гидроудаления на свойства тяжелого бетона для строительства дорожного покрытия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 3. С. 16–24. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-3-16-24

**For citation:**

Yavinsky A.V., Chulkova I.L. The effect of pond ash on the properties of heavy concrete for road covering. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 3. Pp. 16–24. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-3-16-24