

УДК 691.335

Тлеулесов А.К.*ст. преп. Торайгыров университета, Республика Казахстан***Арынгазин К.Ш.***к.т.н., профессор Торайгыров университета, Республика Казахстан***Богомолов А.В.***к.т.н., профессор Торайгыров университета, Республика Казахстан***Урузалинова М.Б.***ст. преп. Торайгыров университета, Республика Казахстан***Алигожина Д.А.***ст. преп. Торайгыров университета, Республика Казахстан*

ПАВЛОДАР ОБЛУСУНУН ӨНӨР ЖАЙ КАЛДЫКТАРЫН КУРУЛУШ МАТЕРИАЛДАРЫН ӨНДҮРҮҮ ҮЧҮН ПАЙДАЛАНУУ ТАЖРЫЙБАСЫ

Бул жумушта изилдөөнүн предмети катары электр энергетикасы жана металлургия өндүрүшүнүн калдыктарын «Экострой» ННП-ПВ ТОО, Павлодар, Казакстан Республикасы, курулуш продукциясын өндүрүү үчүн пайдалануу тажрыйбасы болуп саналат. Изилдөөнүн максаты – жергиликтүү өндүрүш калдыктарын пайдалануу менен бетон аралашмаларынын рецепттерин иштеп чыгуу. Бетон аралашмасынын сунушталып жаткан курамы учурдагы аналогдорго салыштырмалуу жергиликтүү техногендик калдыктарды (Экибастуз көмүрүн жагуудан чыккан күл жана шлак калдыктары, Павлодар алюминий заводунун боксит шламы, болот эритүүчү шлак) колдонууну камтыйт, алар химиялык жана химиялык курамы боюнча айырмаланат. гранулометриялык курамы, ошондой эле башка аналогдордон жана прототиптерден туташтыруучу касиеттери. Курулуш продукциясын өндүрүүдө портланд шлак цементи, кум, майдаланган таш, боксит шламы, өзүнөн өзү ыдырап кетүүчү болот шлактары, Экибастуз көмүрүн жагуудан ТЭЦтен чыккан күл жана шлак калдыктары кошулган аралашма киргизилген. Сыноолордун жыйынтыгы боюнча курулуш буюмдарынын орточо бекемдиги (брусчатка, бордюрлар, көңдөй таштар) аз кабаттуу имараттарды курууга коюлган талаптарга жооп берет. Иштелип чыккан бетон аралашмасынын курамы курулуш продукциясын өндүрүү үчүн сунушталат жана буга чейин «Экострой ННП-ПВ» ЖШС колдонулат.

Негизги сөздөр: курулуш буюмдары; золошлак калдыктары; боксит шламы; таштандыларды кайра иштетүү, бетон аралашмасынын курамы.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ПАВЛОДАРСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В данной работе предметом исследования рассматривается опыт использования отходов электроэнергетики и металлургии в ТОО «Экострой ННП-ПВ», г. Павлодар, Республика Казахстан, для производства строительных изделий. Цель исследования – разработка рецептов бетонных смесей с использованием местных промышленных отходов. Предлагаемый состав бетонной смеси, по сравнению с существующими аналогами, предусматривает использование местных техногенных отходов (золошлаковые отходы от сжигания Экибастузского угля, бокситовый шлам Павлодарского алюминиевого завода, шлаки сталеплавильного производства), отличающихся химическим и гранулометрическим составом, а также вяжущими свойствами, от других аналогов и прототипов. При изготовлении строительных изделий вводится смесь, включающая шлакопортландцемент, песок, щебень, бокситовый шлам, саморассыпающийся сталеплавильный шлак, золошлаковые отходы тепловых электростанций от сжигания экибастузских углей. Согласно результатам испытаний, средняя прочность строительных изделий (тротуарная плитка, бордюр, пустотелый камень) удовлетворяет требованиям для строительства малоэтажных зданий. Разработанный состав бетонной смеси рекомендован для производства строительных изделий и уже применяется в ТОО «Экострой ННП-ПВ».

Ключевые слова: строительная изделия; золошлаковые отходы; бокситовый шлам; утилизация отходов, состав бетонной смеси.

EXPERIENCE IN THE USE OF INDUSTRIAL WASTE IN THE PAVLODAR REGION FOR THE PRODUCTION OF BUILDING MATERIALS

The article discusses the experience of using waste from the electric power industry and metallurgy in Ekostroy NII-PV LLP, Pavlodar, Republic of Kazakhstan, for the production of construction products. The proposed composition of the concrete mixture, in comparison with existing analogues, provides for the use of local man-made waste (ash and slag waste from the burning of Ekibastuz coal, bauxite sludge from the Pavlodar Aluminum plant, steelmaking slags), differing in chemical and granulometric composition, as well as binding properties, from other analogues and prototypes. In the manufacture of construction products, a mixture is introduced, including, by weight %: slag portland cement – 14.32-17.00; sand – 18.74-25.52, crushed stone – 46.50-49.71, alumina sludge obtained during the processing of Kazakhstani bauxite – 5-7; self-disintegrating steelmaking slag - 5-7; ash and slag waste from thermal power plants from burning Ekibastuz coals – 5-7. According to the test results, the average strength of building products (paving slabs, curbs, hollow stone) is 4.3-4.9 MPa (strength class B3.5).

Key words: construction products; ash and slag waste; bauxite sludge; waste disposal, composition of concrete mix.

Введение. Актуальность данной работы определяется тем, что Республика Казахстан заявляет о необходимости развития зеленой экономики и замкнутых циклов производства, что подразумевает постоянный круговорот сырья и материалов при производстве и потреблении, с исключением образования отходов, накапливающихся в окружающей среде. В Казахстане до сих пор в отвалах ежегодно накапливаются золошлаковые отходы (ЗШО) тепловых электростанций (ТЭС) и отходы металлургии, для утилизации которых необходимо развивать соответствующие предпринимательские проекты [1,2]. Эти многотоннажные отходы перспективней всего использовать в производстве строительных материалов. Действующая в республике государственная программа «Доступное жилье» обеспечивает стабильный рост спроса на строительные изделия и как следствие, сырья для их изготовления.

В Павлодарской области вопросам комплексной утилизации отходов уделяется недостаточное внимание. В области основные виды промышленных отходов представлены ЗШО ТЭС, шламами глиноземного производства, сталеплавильными и ферросплавными шлаками, а также отходами химической промышленности.

Цель исследования – разработка составов бетонных смесей с использованием в качестве заполнителей и вяжущего ЗШО ТЭС и отходов металлургических предприятий Павлодарской области.

Для исследования, разработки и коммерциализации инновационной технологии производства строительных изделий с использованием местных промышленных отходов группой преподавателей Павлодарского государственного университета создано ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ».

Обзор литературы. Данное исследование носит практический характер, основано на Постановлении Правительства Республики Казахстан от 31 декабря 2019 года № 1050 «Об утверждении Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020-2025 годы». Также сотрудниками ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ» был проанализирован зарубежный опыт использования отходов в строительном производстве [3 - 7], были исследованы промышленные отходы Павлодарской области как сырье для производства строительных изделий.

Методы исследования: в работе применялись **общенаучные методы**, такие как обобщение, дедукция, эксперимент и другие, а также **экспериментальные методы:** моделирование, сравнение и другие.

Основные результаты. Разработка новых составов бетонных смесей с улучшенными эксплуатационными характеристиками с использованием в качестве заполнителей и вяжущего ЗШО ТЭС и отходов металлургических предприятий Павлодарской области потребовала проведения большого количества экспериментов с варьированием процентного содержания всех компонентов, входящих в состав бетонных смесей, установления закономерностей влияния различных добавок-модификаторов на физико-механические характеристики бетона.

При подготовке экспериментов использовались работы [8, 9]. В исследовании использовалась зола-унос от сжигания экибастузского угля в Павлодарских ТЭС. Химический состав золы приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав золы-уноса, %

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	MnO
60,5	28,5	5,5	2,1	0,62	0,7	0,5	0,5	0,2	0,1

Данная зола-уноса удовлетворяет требованиям ГОСТ 25818-2017 для применения в качестве компонента при изготовлении бетонов (таблица 2).

Таблица 2 – Требования ГОСТ 25818-2017 к золе-уноса для бетонов

Наименование показателя	Значение, масс. %
Содержание оксида кальция CaO в золе-уноса и золошлаковой смеси	не более 10
Содержание оксида магния MgO	не более 5
Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO ₃ в зольной и шлаковой составляющих золошлаковой смеси в том числе сульфидной серы	не более 3 не более 1
Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na ₂ O в зольной составляющей золошлаковой смеси	не более 3

Одним из компонентов разработанных рецептур бетонных смесей был бокситовый шлам с территории шламонакопителя № 3 Павлодарского Аллюминиевого завода (ПАЗ), просеянный через сита с ячейками от 0,05 до 2 мм. Пробы шлама отбирались в соответствии с требованиями ГОСТ 12071-2014 [10].

Бокситовый шлам по химическому составу представлен преимущественно оксидами кальция, железа, кремния и алюминия, на долю которых приходится более 80 % массы материала (таблица 3). Как видно из этой таблицы, бокситовый шлам по своим основным физико-техническим свойствам соответствует техническим требованиям, указанным в [11]. Бокситовый шлам представляет собой среднезернистый песок бежево-бурого цвета с включениями легко рассыпающихся комьев различной величины, плотность – 2,6-2,86 г/см³, насыпная плотность в разрыхленном состоянии – 1,1-1,3 г/см³.

Таблица 3 – Химический состав бокситового шлама ПАЗа

CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO	Na ₂ O	CO ₂	MgO
39-44	27-33	19-21	4,0-5,0	2,0	0,9-1,5	0,8-1,0	0,3-1,2

Отвальный шлам не является взрывоопасным, не радиоактивен (удельная эффективная активность естественных радионуклидов менее 370 Бк/кг), по степени воздействия на организм человека относится к веществам 4-го класса опасности и поэтому возможно хранение его при естественных условиях.

В качестве заполнителей также использовался металлургический шлак фракций 0-5мм и 20-30мм. Шлак серого цвета, имеет пористую микроструктуру, присутствует кристаллизованный стекловидный компонент. Коричневые включения указывают на присутствие оксида железа. Химический состав сталеплавильного шлака Павлодарского филиала (ПФ) ТОО «Кастинг» приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав сталеплавильного шлака ПФ ТОО «Кастинг», %

Fe _{об}	CaO	SiO ₂	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	S	осн	Σ
28,1 – 36,1	21,0 – 24,6	12,0 – 19,1	7,0 – 20,1	5,0 – 8,2	2,0 – 4,8	0,03 – 0,04	1,2 – 1,7	90,3 – 98,0

В зависимости от рецептуры в состав бетонной смеси были включены в качестве заполнителей и вяжущего вышеописанное техногенное сырье. Для каждого рецепта изготавливались по 6 образцов, которые помещались в формы 100x100x100 мм по ГОСТ25781-81, образцы (без пропарки) хранились при комнатной температуре 28 дней, затем их испытывали на прочность.

Использование золы-уноса Павлодарских ТЭС до 15 % от количества цемента не влияет на снижение прочностных характеристик и может быть использовано в качестве заполнителя для замены песка. Бокситовый шлам с известковым молоком позволил повысить прочность образцов бетона до марки М50, класс В3,5 (без виброуплотнения).

Пустотелые камни, изготовленные из металлургического шлака на линии вибропрессования «Рифей-Удар-ПУ-СДА» (технологическая линия «Рифей» с необходимой оснасткой была приобретена ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ» на заводе «Стройтехника» в г. Златоуст Челябинской области в 2018 году), показали класс В7,5 (М100), но камни были довольно тяжелыми (27 кг).

Испытания бетонной смеси также проводились с использованием металлургического шлака фракции 20-30 в формах 150x150x150 мм в соответствии с ГОСТ 25781-81 в качестве крупнозернистого заполнителя.

Испытания строительных изделий, изготовленных сотрудниками ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ», проводились в Независимом испытательном центре Новосибирского государственного технического университета (НИЦ НГТУ) и в лаборатории Павлодарского Государственного университета имени С. Торайгырова (ныне Торайгыров университет).

Всего было разработано более 30 рецептов бетонных смесей с использованием различных наполнителей, добавок и вяжущих (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты испытаний образцов бетона с применением ЗШО и бокситового шлама

Способ изготовления	Массовая доля цемента, (%)	Проч-ть, кг/см ²	Проч-ть, МПа	Класс бетона по проч-ти	Марка бетона по проч-ти	Плотность, г/см ³
Вибростол- образцы получен на вибростоле;	25	89,7	8,8	B7,5	M100	1,76
	22	75,2	7,4	B7,5	M100	1,64
	18	50,3	4,9	B5	M75	1,60
	15	40,2	3,9	B3,5	M50	1,55
Вибропресс – образцы получен вибропрессованием (промышленный образец)	25	165,6	16,2	B12,5	M150	1,85
	22	141,1	13,8	B10	M150	1,72
	18	113,6	11,1	B7,5	M100	1,65
	15	80,3	7,9	B5	M75	1,61

На основании испытаний образцов с использованием ЗШО Павлодарской ТЭЦ-1 было установлено, что существуют резервы экономии цемента при использовании золы в случае подготовки промышленных образцов методом вибропрессования.

Промышленные образцы стенового пустотелого камня были изготовлены на технологической линии «Рифей-Удар-ПУ-СДА». Испытания показали класс бетона B12,5. Впоследствии количество цемента было уменьшено и класс бетона стал B3,5 (M50), что достаточно для строительства малоэтажных зданий (см. рисунок 1). Тот же состав был использован для изготовления «Перегородочного камня 390x120x188 мм». Прочность камней также составляла B3,5 (M50). Поскольку материал перегородок не требует такой прочности, расход цемента может быть снижен.



Рисунок 1 – Испытание образцов на прочность:

a – образцы кубиков для испытаний; *б* – испытание кубика на гидравлическом прессе ПМГ 1000МГ4; *в* – испытание стенового пустотелого камня на прессе ПМГ 1000МГ4.

После разработки технологии состав сырьевой смеси был оптимизирован (таблица 6) для производства строительных изделий [12].

Таблица 6 – Состав сырьевых смесей

Наименование и характеристика компонента	Количество
Песок природный для строительных работ АО «Павлодарский речной порт», группа крупности – средний, ГОСТ 8736-2014.	18-25 %
ЗШО ТЭЦ-1 АО «Алюминий Казахстана», ГОСТ 25592-91. Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия	5-7 %
Шлам глиноземного производства, полученный при переработке казахстанских бокситов, АО «Алюминий Казахстана»,	5-7 %
Саморассыпающийся шлак сталеплавильного производства ПФ ТОО «Кастинг»	5-7 %
Отсев дробления плотных горных пород для строительных работ, ТОО «Асфальтобетон», месторождение «Майкаинское», ГОСТ 31424-2010	46-49 %
Шлакопортландцемент Premium 450 ЦЕМ II/A-Ш 32,5Н, ТОО Производственная компания «Цементный завод Семей», ГОСТ 31108-2016	14-17 %
Водоцементное отношение (ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия)	0,16-0,2
Добавка Solitard S3, ТУ 20.59.59-001-16918243-2018, ООО «Бентакс», г. Новосибирск	0,4-0,6 % от массы цемента

Механические характеристики изделий в лаборатории Торайгыров Университета определялись разрушающим методом с помощью гидравлического пресса ПМГ 1000 МГ 4 в количестве 5 % от каждой партии продукции. Водопоглощение камней определяли по ГОСТ 12730.3-78 «Бетоны. Метод определения водопоглощения». Результаты испытаний приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты испытаний пустотелых камней

Наименование показателя	Номер и маркировка образца					
	1	2	3	4	5	6
Масса, кг	18,5	18,7	19,4	19,0	19,8	19,5
Предел прочности, МПа/ класс бетона	4,3/В3,5	4,6/В3,5	4,8/В3,5	4,7/В3,5	4,9/В3,5	4,8/В3,5
Водопоглощение, %	5,0	4,8	4,7	4,2	3,8	4,1

На основании разработанных рецептов в настоящее время ведется промышленное производство пустотелого камня. Сертификат соответствия на продукцию «Пустотелый стеновой камень из золошлаковых отходов» получен от независимой организации АО «Национальный центр экспертизы и сертификации» (Республика Казахстан).

Авторы работы является сотрудниками ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ», которое производит строительную продукцию с применением промышленных отходов Павлодарской области.

Выводы:

1. Разработано более 30 рецептов бетонных смесей с использованием различных наполнителей, добавок и вяжущих;
2. Выявлено, что пустотелые камни, изготовленные из металлургического шлака на линии вибропрессования «Рифей-Удар-ПУ-СДА» показали класс В7,5 (М100), но камни были довольно тяжелыми (27 кг). На основании испытаний образцов с использованием ЗШО Павлодарской ТЭЦ-1 было установлено, что можно снизить расход цемента при использовании золы при изготовлении изделий методом вибропрессования;
3. В производство строительных изделий введена смесь, включающая, масс. %: шлакопортландцемент – 14,32-17,00; песок – 18,74-25,52, щебень – 46,50-49,71, бокситовый шлам глиноземного производства – 5-7; саморассыпающийся сталеплавильный шлак – 5-7; золошлаковые отходы тепловых электростанций от сжигания экибастузских углей – 5-7. Согласно результатам испытаний, средняя прочность строительных изделий (тротуарная плитка, бордюры, пустотелый камень) составляет 4,3-4,9 МПа (класс прочности В3,5).

Список литературы:

1. Стимулирование продуктивных инноваций [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.fpip.kz/index.php/ru/grant-programs/ssg-and-jrg>.
2. **Арынгазин, К.Ш.** Коммерциализация научных исследований на примере ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ» [Текст]: сб. науч. трудов / [К. Ш. Арынгазин, А. К. Тлеулесов, А. К. Алдунгарова и др.] // Предпринимательский ВУЗ – наука, инновации, образование и бизнес. – Павлодар: Торайгыров универ., 2019. – С. 31-43.
3. **Popa, R.G.** Aspects regarding the use of the industrial wastes as raw materials for the manufacture of building materials [Текст] / R.G. Popa et al. // Metalurgija. – 2015.– № 54. – Pp. 297-300.
4. **Floyd, J.M.** Ausmelt produces metals from wastes [Текст] / J. M. Floyd // Mining Mag. – 1990.- № 163 - 6 p.
5. **Rincon, J.** Vitreous and ceramic processing for the recycling of industrial wastes [Текст] / J. Rincon // Key Eng. Mater. – 2016.- № 663. – Pp. 22-38.
6. **Khairul, M.A.** The composition, recycling, and utilization of Bayer red mud [Текст] / M. A. Khairul, J. Zanganeh, B. Moghtaderi // Resources. Conservation and Recycling. – 2019-. № 141.– Pp. 483-498.
7. **Lis, T.** Utilization of metallurgical waste in non-metallurgical industry [Текст] / T. Lis, K. Nowacki, T. Małysa // Solid State Phenomena.– 2014. –№ 212. – Pp. 195-200.
8. **Торпищев, Ш.К.** Легкий бетон с использованием бокситового шлама [Текст]: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Ш. К. Торпищев. – Москва, 1991. – 153 с.
9. **Арынгазин, К.Ш.** Инновационное использование твердых техногенных отходов теплоэлектростанций и металлургии Павлодарской области в производстве строительных материалов [Текст] / [К. Ш. Арынгазин, В. В. Ларичкин, А. К. Алдунгарова и др.] // Наука и Техника Казахстана. - Павлодар: Кереку, 2016. – № 3-4. – С. 34-39.
10. **Tleulesov, A.K.** Assessment of qualitative and quantitative elemental composition of waste in the territory of sludge collector of Pavlodar Aluminium Plant [Текст] / [A. K. Tleulesov, M. M. Suyundikov, M. B. Akramov and others] // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – Volume 5. – 2021. – № 449.– Pp.153-160.
11. Рекомендации по применению бокситовых шламов глиноземного производства в бетонах и строительных растворах [Текст]. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР. – 1990. – 28 с.
12. Пат. 34714 Республика Казахстан, МПК С04В 28/04 (2006.01) Бетонная смесь [Текст] / [К. Ш. Арынгазин, А. К. Тлеулесов, А. К. Алдунгарова и др.]; заявитель и патентообладатель ТОО «ЭкостройНИИ-ПВ». – № 2019/0544.1; заявл. 01.08.19; опубл. 20.11.20, Бюл. № 46. – 3 с.: ил.

Поступила в редакцию: 17.01.2024 г.