

## ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ – ПРОИЗВОДСТВУ



УДК 691.002.3

Д.М. ЖАРЫЛКАН, А.М. БАЛТАШЕВА

### ПОЛУЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Приведены количественные и качественные характеристики техногенных отходов ряда крупных горных предприятий Казахстана. Рассмотрены перспективы утилизации их отходов. Предложены технологические решения по получению сухих строительных смесей и ячеистого бетона на основе отходов обогащения руд. Использование геотехногенного сырья для получения сухих строительных смесей сократит расход цемента на 10 %, песка – более чем на 10 %, воды – до 10 %, модифицирующих добавок – на 20–25 %. Разработанная технология получения бесцементного ячеистого бетона автоклавного твердения предполагает использование в качестве вяжущего молотой негашеной извести. Вяжущее предлагается применять совместно с кремнеземистым компонентом – отходами обогащения редкометаллических и полиметаллических руд, содержащих двуокись кремния. Технология для ячеистых газобетонов из отходов обогащения руд предполагает получение теплоизоляционных с объемной массой в высушенном состоянии не более 500 кг/м<sup>3</sup>; конструкционно-теплоизоляционных с объемной массой 500–900 кг/м<sup>3</sup>.

**Ключевые слова:** техногенные отходы, строительные материалы, химический состав, экология, горные отходы, полиметаллические руды.

DOI 10.32683/0536-1052-2021-745-1-103-110

**Введение.** Рост масштабов строительства в Казахстане требует значительного количества минерального сырья для индустрии строительных материалов. Интенсификация в данном направлении сопряжена с использованием промышленных отходов взамен первичных природных ресурсов с целью удешевления стройматериалов. Использование в индустрии строительных материалов твердых отходов горнорудного производства является более экономичным по сравнению с производством стройматериалов на базе специальной добычи минерального сырья [1]. Обзор существующих научных работ в данной области показывает, что имеется значительная мировая практика проведения исследований по использованию техногенного минерального сырья. Так, в дальнем зарубежье горнопромышленные отходы находят

© Жарылкан Д.М., Балташева А.М., 2021

применение для получения кирпича [2], бетона [3], стеклокерамики [4]. Проведены исследования по использованию техногенных отходов в качестве сырья для производства строительных материалов, учитывающие экологические факторы их воздействия на окружающую среду [5, 6]. Аналогичные исследования по использованию горнопромышленных отходов для получения строительных материалов и изделий проводятся в странах ближнего зарубежья [7–10].

Подобные работы необходимо проводить и в Казахстане, где по современным оценкам на предприятиях горнопромышленного комплекса накоплено свыше 60 млрд т промышленных отходов. Ежегодно их количество возрастает приблизительно на 1,4–1,8 млрд т [11]. Причем наибольшие запасы сосредоточены в хвостохранилищах. Необходимость вовлечения в производство продуктов обогащения диктуется следующими обстоятельствами:

- сроки эксплуатации хвостохранилищ ограничены, причем заполнение многих уже закончено или заканчивается в ближайшие годы;
- отходы занимают огромные территории, а так как представляют собой тонкодисперсный и легкосдуваемый материал, это является источником повышенного экологического риска для регионов действия горно-обогатительных комплексов.

В то же время вследствие тонкодисперсной структуры отходов дополнительный помол перед использованием не требуется, что позволяет снизить экономические затраты. Кроме того, в процессе обогащения руд обеспечивается однородность материала как по химическому, так и по минералогическому составу.

Общие запасы и площади, занимаемые хранилищами отходов по областям, приведены в таблице.

Отходы обогащения, как правило, более удобны для использования в производстве нерудных строительных материалов, чем вскрышные и вмещающие породы, поскольку они, во-первых, более однородны, во-вторых, представляют собой уже дробленный, а иногда и фракционированный материал. Отходы крупностью зерен 0,14–5,0 мм используются в качестве заполнителя для приготовления тяжелого бетона, строительных растворов, плотных ячеистых автоклавных и безавтоклавных силикатных бетонов, асфальтобето-

**Характеристика хранилищ отходов обогатительного производства по областям Казахстана**

Область	Запасы, тыс. т	Площадь, км <sup>2</sup>
Акмолинская	76834,50	12,30
Актюбинская	30675,30	6,30
Алматинская	47914,90	2,99
Восточно-Казахстанская	887914,57	19,57
Жамбылская	44188,93	1,58
Карагандинская	2809342,13	89,20
Костанайская	611101,70	27,45
Павлодарская	8770,86	1,23
Южно-Казахстанская	142355,30	3,52

нов, для получения силикатного кирпича и устройства оснований дорог. Тонкодисперсная часть отходов (менее 0,14 мм) может быть использована для получения силикатных материалов (кирпич, газосиликатные блоки и т.д.). Изучение опыта использования отходов горнорудного производства показало, что в качестве сырья применяются в основном минеральные материалы, которые можно разделить на три основные группы:

- кремнеземистые материалы, содержащие более 50 %  $\text{SiO}_2$ ;
- известковые материалы, содержащие более 50 %  $\text{CaO}$ ;
- известково-кремнеземистые материалы, содержащие 20–50 %  $\text{CaO}$  и 20–50 %  $\text{SiO}_2$ .

Сфера использования этих отходов в значительной степени определяется их минералогическим составом. Состав отходов горнорудного производства определяет пути целесообразного их использования и создает предпосылки для развития сырьевой базы нерудных материалов. Анализ производства последних лет показывает, что практически по всем видам строительных материалов отмечается устойчивый рост продукции. Ежегодный прирост выпуска строительных материалов в республике составляет 24,4 %.

В связи с актуальностью решения проблемы утилизации отходов горно-промышленного комплекса в Институте архитектуры и строительства имени Т.К. Басенова проводились исследования по получению на их основе сухих строительных смесей и компонентов для производства ячеистого бетона и вяжущего.

**Получение сухих строительных смесей.** В качестве сырья для получения строительных смесей применялись отходы обогащения медных руд Жезказганского месторождения и карботнатных полиметаллических руд Кентауской обогатительной фабрики. Отходы этих производств являются тонкоизмельченным продуктом с содержанием частиц класса 0,074 мм (40–80 %) и класса 0,15 мм (10–15 %). Химический состав представлен кремнеземом (67–72 %), глиноземом (11–12 %), оксидом кальция (2,6–4,5 %).

В результате исследования получены сухие смеси, содержащие цемент и отходы обогащения Жезказганской обогатительной фабрики, соответствующие маркам кладочных и штукатурных материалов М25 (класс В2), М50 (класс В3), М150 (класс В10), М200 (класс В15). Определение плотности растворных смесей показало, что все они относятся в соответствии с ГОСТ 28013–98 к легким растворным смесям, так как плотность их не превышает 1500,0 кг/м<sup>3</sup>. По таким показателям, как прочность при сжатии и сцеплении с основанием на отрыв, смеси марки М150, М200 удовлетворяют требованиям СТ РК 1168–2006, кроме смесей М25 (класс В2) и М50 (класс В3). Смеси марки М75 (~В5.5) можно использовать в качестве кладочного раствора, но нельзя его применять в качестве штукатурного раствора. Согласно требованиям КР СТ 1168–2006 прочность сцепления растворов с основанием на отрыв для кладочных должна быть более 0,3 МПа.

Смеси марки М150 (~В10) и М200 (~В15) по физико-механическим свойствам отвечают всем требованиям КР СТ 1168–2006, поэтому могут быть использованы в качестве как кладочных, так и штукатурных растворов. Следовательно, отходы Жезказганской обогатительной фабрики могут быть использованы как мелкий заполнитель для получения указанных растворов. При этом марка их может колебаться в пределах М25 (В 2) – М200 (В15).

Установлено, что функциональные полимерные добавки существенно улучшают физико-механические свойства кладочных и штукатурных растворов: водоудерживающая способность, достигающая 96,3–97,9 % с добавкой, и 67,8 % без добавки; прочность при сцеплении с основанием 0,48–0,9 МПа с добавкой и 0,28–0,3 МПа без добавки; морозостойкость – 15–35 циклов, а без добавки – 10–25 циклов.

Отходы обогащения полиметаллических руд Кентауской обогатительной фабрики состоят в основном из доломита 50–60 %, кальцита 10–15, барита 10–20, глинистых веществ 5–8, рудных минералов 2–3 %. Химический состав отходов обогащения, мас. %:  $\text{SiO}_2$  – 4,34;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,98;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 2,86;  $\text{CaO}$  – 27,79–29,00;  $\text{MgO}$  – 14,45–16,30;  $\text{BaSO}_4$  – 12,7–13,50;  $\text{FeS}_2$  – 5,00;  $\text{PbSO}_4$  – 0,03–0,05;  $\text{PbCO}_3$  – 0,09–1,20;  $\text{PbS}$  – 0,14+0,20; ППП – 35,25–37,00. Так как отходы обогащения полиметаллических руд состоят, главным образом, из доломита, кальцита, барита и глинистых веществ, то в промышленности строительных материалов целесообразно использовать как необоженные отходы обогащения, так и обожженные.

Анализ результатов исследований по получению строительных материалов с использованием продуктов обогащения полиметаллических руд Кентауской обогатительной фабрики показал, что тонкозернистые отходы до и после обжига являются эффективными компонентами гипсовых и цементных растворов, используемых для штукатурных работ. Полимерные функциональные добавки существенно улучшают основные физико-механические свойства штукатурных материалов – водоудерживающую способность, прочность при сцеплении с основанием, морозостойкость.

Сухие смеси, содержащие 15 % необоженных отходов и строительный полуводный гипс класса не ниже Г-4, могут использоваться для приготовления гипсовых растворов, которые характеризуются высокой водоудерживающей способностью (96,0–99,0 %). Прочность затвердевшего камня достигает 7,5–8,9 МПа, прочность при сцеплении с основой – 0,4–0,6 МПа, морозостойкость – 20–25 циклов. Такие гипсовые растворы в соответствии с требованием СТ РК 1168–2006 можно использовать для оштукатуривания внутренних помещений с нормальным влажностным режимом. Из обожженных отходов и гипса с соотношением 1:3 (при необходимости допускаются соотношения 1:2 и 1:1) можно получать известково-гипсовые растворы. К готовому известково-гипсовому раствору дополнительно вводятся необоженные отходы в количестве 15 % от общей массы известково-гипсового раствора и полимерные добавки – мовилит 1 % и тилоза 0,4 %. Водоудерживающая способность таких растворов составляет 95–98,0 %, прочность при сжатии – 7,5–8,6, прочность при сцеплении с основанием – 0,5–0,75 МПа, морозостойкость – 20–25 циклов.

**Получение ячеистого бетона.** Пористость ячеистого газобетона из продуктов обогащения редкометаллических и полиметаллических руд регулируется в процессе изготовления, в результате получают бетоны разной объемной массы и назначения. Предложенная технология предполагает изготовление следующих разновидностей строительных изделий:

– теплоизоляционных – с объемной массой в высушенном состоянии не более 500 кг/м<sup>3</sup>;

– конструктивно-теплоизоляционных – с объемной массой 500–900 кг/м<sup>3</sup>;

– конструкционных – с объемной массой 900–1200 кг/м<sup>3</sup>.

Разработанная технология получения бесцементного ячеистого бетона автоклавного твердения предусматривает использование в качестве вяжущего молотой негашеной извести. Вяжущее применяют совместно с кремнеземистым компонентом – продуктами обогащения редкометалльных и полиметаллических руд, содержащих двуокись кремния.

В результате исследований установлено:

1) использованные составы на основе продуктов обогащения редкометаллических и полиметаллических руд Верхне-Кайрактинского месторождения, шлаков электротермофосфорного производства с применением механохимической активации имеют высокие показатели прочности при сжатии: ячеистых бетонов 14,8–15,6 МПа, плотных бетонов 57,0–60,0 МПа, а также низкие показатели объемной массы ячеистых бетонов 940–970 кг/м<sup>2</sup> и плотных бетонов 1886–1910 кг/м<sup>3</sup>. Получены вяжущие с тонким помолотом, имеющие повышенную гидравлическую активность материалов с минеральными добавками;

2) разработанные ячеистые и плотные бетоны позволяют изготавливать строительные детали с более высокими строительно-техническими показателями и меньшими затратами по сравнению с железобетоном и керамзитобетоном;

3) конструкции из ячеистого бетона имеют хорошие теплоизоляционные свойства: утечка тепла в 3 раза меньше, чем у силикатного кирпича, и в 5 раз меньше, чем у железобетона и керамзитобетона, кроме того, ячеистый бетон приобретает хорошие звукоизоляционные свойства;

4) исследованы степень гомогенизации исходной шихты и внедрения находящихся на поверхности катионов в структуру кристаллов исходного сырья;

5) продукты обогащения редкометалльных и полиметаллических руд, содержащие оксиды цветных и редких металлов, оказывают существенное катализирующее воздействие на гидротермальное твердение гидросиликатов кальция из-за наличия в отходах обогащения остаточных химических реагентов, в частности, активированного жидкого стекла и жирно-кислотных собирателей, которые дают резкое повышение прочности вяжущего формованного изделия 70,0–72,0 МПа, полусухого прессования 124,0–130,0 МПа и низкие показатели объемной массы полусухого прессования 1890–1900 кг/м<sup>3</sup>.

**Заключение.** Анализ результатов исследования физико-механических свойств оптимальных вариантов сухих строительных смесей с использованием отходов обогащения Жезказганской и Кентауской обогатительных фабрик показал соответствие их свойств техническим требованиям СТ РК 1168–2006. Ожидаемый экономический эффект от применения разработанных композиций сухих строительных смесей в стройиндустрии Республики Казахстан составит от 329 до 2700 тенге/м<sup>3</sup> бетона. Использование геотехногенного сырья для получения сухих строительных смесей позволит сократить расход цемента на 10 %, песка – более чем на 10 %, воды – до 10 %, модифицирующих добавок – на 20–25 %. На основе предлагаемых материалов можно изготавливать разнообразные строительные детали: сборные конструкции различного назначения, опорные столбы, плиты для дорог, плиты для укрепления откосов каналов и водоемов, оградительные



столбы для железных дорог, пустотелые панели перекрытия, плиты для домостроения и панели для неотапливаемых зданий и др. Объемная масса полученных стройматериалов на 20–30 % меньше по сравнению с аналогичными железобетонными изделиями, выпускаемыми в настоящее время промышленностью.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Хорошавин Л.Б.* Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов. Екатеринбург, 2016. 28 с.
2. *Денисов В.В., Денисова И.А., Гутенев В.В., Фесенко Л.Н.* Основы инженерной экологии. Ростов н/Д : Феникс, 2013. 623 с.
3. *Zhalgassuly N., Toktamysov M.T., Galits V.I. et al.* Thomson Reuters database. Complex coal processing of Kazakhstan deposits //17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET 2001), Ankara, Turkey. P. 735–736.
4. *Sensogut C., Ozdeniz A.H.* Bricks manufactured from colliery wastes: a case study // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2006. P. 267–271.
5. *Salguero F., Grande J.A., Valente T., Garrido R., M.L. de la Torre, Fortes J.C., Sanchez A.* Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production // Construction and Building Materials. 2014. P. 363–368.
6. *Дворкин Л.И., Дворкин О.Л.* Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 368 с.
7. *Жарко В.И., Гузов В.А.* Сырьевая база вторичных ресурсов в производстве строительных материалов // Междунар. аналит. обозрение «ALITinform Цемент. Бетон. Сухие смеси». 2011. № 2(19). С. 11–27.
8. *Щипцов В.В.* Природные строительные материалы Республики Карелия // Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных материалов. Петрозаводск, 2005. С. 198–201.
9. *Евтехов В.Д.* Техногенные месторождения: от использования имеющихся – к созданию более совершенных. 2003. № 1. С. 19–25.
10. *Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А.* Проблемы переработки минерального сырья техногенных месторождений Украины // Горная промышленность (спец. выпуск). М., 2011. С. 13–15.
11. *Корнеев В.М., Зозуля П.В.* Сухие строительные смеси. М., 2010. 320 с.

**Жарылкан Дидар Маратулы**, студ.; E-mail: didar.zharylkan@gmail.com  
Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова, г. Алматы, Республика Казахстан

**Балташева Аружан Майжанкызы**, студ.; E-mail: arujan.b.1999@mail.ru  
Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова, г. Алматы, Республика Казахстан

**Куатбаева Тогжан Куангалиевна**, д-р техн. наук, проф., научный руководитель;  
E-mail: t.kuatbayeva@satbayev.university  
Институт архитектуры и строительства им. Т.К. Басенова, г. Алматы, Республика Казахстан

Получено после доработки 10.02.2021

**Zharylkan Didar Maratuly**, Student; E-mail: didar.zharylkan@gmail.com  
Institute of Architecture and Construction named after T.K. Basenov, Almaty, Republic of Kazakhstan

**Baltasheva Aruzhan Maizhankyzy**, Student; E-mail: arujan.b.1999@mail.ru  
Institute of Architecture and Construction named after T.K. Basenov, Almaty, Republic of Kazakhstan

**Kuatbayeva Togzhan Kuangalievna**, DSc, Professor, Research Supervisor;  
E-mail: t.kuatbayeva@satbayev.university  
Institute of Architecture and Construction named after T.K. Basenov, Almaty, Republic of Kazakhstan

## **OBTAINING BUILDING MATERIALS FROM MAN-GENERAL WASTE OF MINING ENTERPRISES**

The quantitative and qualitative characteristics of industrial waste from a number of large mining enterprises in Kazakhstan are presented. The prospects for the disposal of their waste are considered. Technological solutions for the production of dry building mixtures and aerated concrete based on ore dressing wastes are proposed. The use of geotechnogenic raw materials for the production of dry building mixtures will reduce the consumption of cement by 10 %, sand by more than 10 %, water by up to 10 %, and modifying additives by 20–25 %. The developed technology for producing cementless aerated concrete of autoclave hardening involves the use of ground quicklime as a binder. The binder is proposed to be used in conjunction with a silica component – enrichment waste rare metal and polymetallic ores containing silicon dioxide. The technology for cellular aerated concrete from ore dressing wastes involves the production of heat-insulating ones with a dry bulk density of not more than 500 kg/m<sup>3</sup>; structural and thermal insulation with a bulk density of 500–900 kg/m<sup>3</sup> and structural.

**Key words:** industrial waste, building materials, chemical composition, ecology, mining waste, polymetallic ores.

### REFERENCES

1. *Khoroshavin L.B.* Osnovnyye tekhnologii pererabotki promyshlennykh i tverdykh kommunal'nykh otkhodov [Basic technologies for processing industrial and solid municipal waste]. Ekaterinburg, 2016. 28 p. (in Russian)
2. *Denisov V.V., Denisova I.A., Gutenev V.V., Fesenko L.N.* Osnovy inzhenernoy ekologii [Fundamentals of engineering ecology]. Rostov-on-Don, 2013. 623 p. (in Russian)
3. *Zhalgassuly N., Toktamysov M.T., Galits V.I. et al.* Thomson Reuters database. Complex coal processing of Kazakhstan deposits. 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (IMCET 2001), Ankara, Turkey. Pp. 735–736.
4. *Sensogut C., Ozdeniz A.H.* Bricks manufactured from colliery wastes: a case study. International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2006. Pp. 267–271.
5. *Salguero F., Grande J.A., Valente T., Garrido R., M.L. de la Torre.* Fortes J.C., Sanchez A. Recycling of manganese gangue materials from waste-dumps in the Iberian Pyrite Belt – Application as filler for concrete production. Construction and Building Materials. 2014. Pp. 363–368.
6. *Dvorkin L.I., Dvorkin, O.L.* Stroitel'nyye materialy iz otkhodov promyshlennosti [Building materials from waste industry]. Rostov-on-Don, 2007. 368 p. (in Russian)
7. *Zharko V.I., Guzov V.A.* Syr'yevaya baza vtovichnykh resursov v proizvodstve stroitel'nykh materialov [Raw material base of secondary resources in the production of building materials]. Mezhdunarodnoye analiticheskoye obozreniye «ALITinform: Tsement. Beton. Sukhiye smesi» [ALITinform: Cement. Concrete. Dry mixes]. 2011. No. 2 (19). Pp. 11–27. (in Russian)

8. *Shchiptsov V.V.* Prirodnyye stroitel'nyye materialy Respubliki Kareliya [Natural building materials of the Republic of Karelia]. Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnogo i tekhnogenogo syr'ya Barentseva regiona v tekhnologii stroitel'nykh materialov [Problems of rational use of natural and man-made raw materials in the Barents region in the technology of building materials]. Petrozavodsk, 2005. Pp. 198–201. (in Russian)
  9. *Evtikhov V.D.* Tekhnogenyye mestorozhdeniya: ot ispol'zovaniya imeyushchikhsya – k sozdaniyu bolee sovershennykh [Technogenic deposits: from the use of existing ones to the creation of more advanced ones]. 2003. No. 1. Pp. 19–25. (in Russian)
  10. *Vilkul Yu.G., Azaryan A.A., Azaryan V.A., Trachuk A.A.* Problemy pererabotki mineral'nogo syr'ya tekhnogennykh mestorozhdeniy Ukrainy [Problems of processing of mineral raw materials of technogenic deposits of Ukraine]. Gornaya promyshlennost' [Mining industry]. Moscow, 2011. Pp. 13–15. (in Russian)
  11. *Korneev V.M., Zozulya P.V.* Sukhiye stroitel'nyye smesi [Dry building mixes]. Moscow, 2010. 320 p. (in Russian)
-