

Экономическая и практическая целесообразность использования золошлака и ферропыли Актюбинской области в производстве сейсмостойкого кирпича

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-33-37>

В современных экономических условиях при ограниченном государственном финансировании геологоразведочных работ весьма важным является принятие оптимальных управленческих решений по выбору для производства керамических изделий сырьевых материалов, которые дадут максимальный социально-экономический эффект. Поскольку в настоящее время природные сырьевые ресурсы истощены, необходимо вовлекать в производственный оборот отходы производств для изготовления керамических материалов. На основе сырьевых материалов Актюбинской области: легкоплавкой глины, золошлакового материала и ферропыли получен сейсмостойкий керамический кирпич марок 125-150. Использование в качестве отощителя и выгорающей добавки золошлакового материала, а в качестве отощителя мелкодисперсной ферропыли, не только позволит получить качественный керамический материал, но и снизит его себестоимость.

Ключевые слова: сейсмостойкий кирпич, легкоплавкая глина, золошлаковый материал, ферропыль.

Для цитирования: Экономическая и практическая целесообразность использования золошлака и ферропыли Актюбинской области в производстве сейсмостойкого кирпича / Н.Ю. Нарыжная, Е.Г. Сафронов, С.М. Силинская и др. // Уголь. 2021. № 10. С. 33-37. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37.

ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке не решена проблема рационального использования природных ресурсов, неправильное их использование способствует загрязнению воздуха, который становится причиной преждевременных смертей от болезней органов дыхания и сердца сотен тысяч людей. Загрязненный воздух в целом у каждого человека забирает до трех лет жизни [1]. Наиболее опасными по загрязнению воздуха являются отходы топливно-энергетического комплекса и черной металлургии.

Угольная промышленность играет особую роль в топливно-энергетическом комплексе Казахстана. По подтвержденным запасам угля Казахстан занимает место в

НАРЫЖНАЯ Н.Ю.

Канд. техн. наук, доцент,
доцент Краснодарского филиала
Финансового университета
при Правительстве Российской Федерации,
350051, г. Краснодар, Россия,
e-mail: nunar-teacher@bk.ru

САФРОНОВ Е.Г.

Канд. экон. наук, доцент,
доцент Самарского государственного
технического университета,
443100, г. Самара, Россия,
e-mail: ewgenijsafronow@yandex.ru

СИЛИНСКАЯ С.М.

Канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры анализа данных
и искусственного интеллекта
Кубанского государственного университета,
350051, г. Краснодар, Россия,
e-mail: Silinskaya1@mail.ru

АБДРАХИМОВ В.З.

Доктор техн. наук, профессор,
профессор Самарского государственного
экономического университета,
443090, г. Самара, Россия,
e-mail: 3375892@mail.ru

первой мировой десятке, а их доля в общемировом объеме запасов этой категории составляет 4% [1]. Запасы каменного угля в республике оцениваются в 75 млрд т. Республика Казахстан также входит в десятку крупнейших потребителей угля в мире.

На территории Актюбинской области сосредоточено 46,2% всех хромитовых руд Казахстана. В процессе обогащения и выплавки металлов образуются многотоннажные отходы, утилизация которых сегодня стала одной из актуальнейших проблем охраны окружающей среды. Причина в том, что в отходах металлургии содержатся в большом количестве токсические химические вещества. Тонны отходов металлургического производства, количество которых исчисляется миллиардами, являются немалой экологической проблемой для Казахстана.

Эффективная утилизация многотоннажных промышленных отходов, таких как золошлаковые материалы и отходы черной металлургии, становится одной из самых актуальных экологических проблем [1, 2]. Неограниченными возможностями использования отходов производства отличается отрасль, производящая строительные материалы [3, 4]. Это объясняется крупными масштабами строительного комплекса, его материалоемкостью и номенклатурой изделий.

Из директивы ЕС 2008/98/ЕС следует, что для защиты окружающей среды требуется не утилизация промышленных отходов, а переработка их с целью повторного использования в каком-то новом продукте, необходимом для общества [5, 6, 7]. Многие отходы различных производств целесообразно использовать для получения строительных материалов.

Постановка задачи. С учетом сокращения запасов традиционного природного сырья необходимо найти новые способы его замещения различными видами отходов. Опыт передовых зарубежных стран показал техническую осуществимость этого направления и применения еще и как инструмента защиты природной среды от загрязнения.

Цель работы: получение керамического сейсмостойкого кирпича с использованием золошлака и ферропыли Актюбинской области.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТЬ

В современных экономических условиях при ограниченном государственном финансировании геологоразведочных работ весьма важным является принятие оптимальных управленческих решений по выбору для производства керамических изделий сырьевых материалов, которые дадут максимальный социально-экономический эффект [5, 6, 7]. Поскольку в настоящее время природные сырьевые ресурсы истощены, необходимо вовлекать в производственный оборот отходы производств для изготовления керамических материалов [5, 6, 7].

Стоимость сырья для производства керамического строительного материала, как известно, иногда достигает 40-45% [5, 6, 7]. Поэтому проблема снижения цены сырьевых материалов в производстве керамических строительных изделия в Казахстане приобретает особую актуальность. Наиболее эффективным решением этой про-

блемы является использование промышленных отходов в качестве сырьевой базы для производства строительных керамических материалов.

При использовании отходов производств вместо традиционного природного сырья необходимо учитывать взаимозаменяемость сырьевых материалов. Сравнение производится вначале по техническим свойствам сырьевых материалов, и если они идентичны или позволяют получить с использованием отходов более качественный строительный материал (например, сейсмостойкий кирпич), то используют потребительские свойства полученной продукции. При использовании потребительских свойств полученной продукции вводится понятие коэффициента эквивалентности потребительских свойств, который рассчитывается по формуле [8, 9]:

$$k_{\text{эк}} = Q_{\text{т}} / Q_{\text{о}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{т}}$ – количество продукции из природного традиционного сырья, т; $Q_{\text{о}}$ – количество продукции из отходов с использованием их в качестве отощителей и выгорающих добавок, т.

При использовании коэффициента эквивалентности потребительских свойств необходимо соблюдать условия, при которых в результате замены природного традиционного сырья на отходы производства качество полученного изделия будет не ниже. При соблюдении этого условия определяется коэффициент замены:

$$K_3 = H_{\text{т}} / H_{\text{о}}, \quad (2)$$

где $H_{\text{т}}$ – удельный расход (или норма расхода, т на единицу продукции) традиционного природного сырья, т/т; $H_{\text{о}}$ – удельный расход (или норма расхода, т на единицу продукции) отхода производства для получения аналогичной продукции как и при использовании природного традиционного сырьевого материала, т/т [8, 9].

Удельный расход (H) равен объему используемого сырья (V), приходящегося на количество продукции (Q),

$$H = V / Q. \quad (3)$$

В представленной работе золошлаковый материал и ферропыль используются в качестве отощителя и выгорающей добавки не более 35% (с учетом возможности связать такое количество легкоплавкой глиной). В этом случае при использовании традиционного природного сырья, коэффициент замены определяется по формуле:

$$K_3 = H_{\text{т}} - H_{\text{ш}} \cdot (1 - h) / H_{\text{ш}} \cdot h, \quad (4)$$

где $H_{\text{ш}}$ – удельный расход шихты традиционного природного материала и отходов производства на единицу (т) основной продукции традиционного природного сырья, т/т; h – доля отходов производства в шихте, %; h рассчитывается по формуле:

$$h = H_{\text{о}} / H_{\text{ш}}. \quad (5)$$

Следовательно, формула коэффициента замены приобретает следующий вид:

$$K_3 = H_{\text{т}} - (H_{\text{ш}} - H_{\text{о}}) / H_{\text{о}}. \quad (6)$$

Величина экономии приведенных затрат рассчитывается по формуле:

$$\Delta = (Z_{\text{н}} \cdot k_{\text{эк}} - Z_0) \cdot Q_0, \quad (7)$$

где $Z_{\text{н}}$ – приведенные затраты на единицу продукции из природного традиционного сырья; Z_0 – приведенные затраты на единицу продукции с применением отходов производства. Приведенные затраты определяются по формуле:

$$Z = C + E_{\text{н}} \cdot K, \quad (8)$$

где C – себестоимость изготовления единицы продукции; $E_{\text{н}}$ – нормативный коэффициент приведения разновременных затрат; K – удельные капитальные затраты на единицу изготавливаемой продукции.

Если потребительские свойства продукции, изготовленной из традиционного природного сырья и из отходов отличаются, то K принимается за единицу. Выбор оптимального варианта использования отходов производства производится по принципу минимизации приведенных затрат.

Экономия удельных приведенных затрат по сравнению с производством продукции из природного традиционного сырья рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{\text{уд}} = (Z_{\text{н}} \cdot k_{\text{эк}} - Z_0) / H_0, \quad (9)$$

где H_0 – удельный расход отхода на единицу продукции для получения изделия с применением отходов производства.

Экономия, получаемая в результате снижения себестоимости основной продукции в случае замены традиционного природного сырья отходами, может быть определена по формуле:

$$\Delta_{\text{с}} = (C_{\text{н}} - C_0) \cdot Q_0, \quad (10)$$

где $C_{\text{н}}$ – себестоимость единицы основной продукции, изготовленной только из первичного сырья, руб.; C_0 – себестоимость той же продукции при добавлении отходов производства.

Экономия текущих затрат на транспортировку и содержание отходов в отвалах при утилизации отходов рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{\text{тр}} = (Z_{\text{тр}} + Z_{\text{со}}) \cdot V_0 - Z_{\text{ро}} \cdot V_{\text{отв}}, \quad (11)$$

где $Z_{\text{тр}}$ – затраты на транспортировку единицы отхода, руб.; $Z_{\text{со}}$ – затраты на содержание единицы отхода, руб.; V_0 – объем утилизируемых отходов текущего производства, натуральные единицы; $Z_{\text{ро}}$ – затраты на разработку отвалов и транспортировку единицы отвальных отходов на переработку, руб.; $V_{\text{отв}}$ – объем утилизации отходов из отвалов, натуральные единицы.

Результаты использования отходов производств характеризуются следующими показателями:

- прирост товарной продукции из отходов;
- коэффициенты роста и прироста;

- прирост прибыли предприятия;
- изменение показателя фондоотдачи;
- изменение показателя производительности труда.

Использование отходов производств характеризуется следующими показателями:

- $O_{\text{ем}}$ – показатель отходоёмкости мероприятия,

$$O_{\text{ем}} = Q_0 / Z_0; \quad (12)$$

M_3 – показатель экономии материальных ресурсов на 1 руб. приведенных затрат,

$$M_3 = \Delta M / Z_0. \quad (13)$$

При использовании отходов производства в строительных материалах исключаются затраты на геологоразведочные работы, строительство и эксплуатацию карьеров, освобождаются значительные земельные участки от воздействия негативных антропогенных факторов [1, 2, 3].

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСОБРАЗНОСТЬ

Сырьевые материалы. В качестве связующего использовалась легкоплавкая глина Илекского месторождения Актюбинской области. Огнеупорность глины 1300-1320°C (легкоплавкая), число пластичности – 18-20 (среднепластичная), содержание тонкодисперсных фракций размером менее 1 мкм – 40-60 (дисперсное). Оксидный химический состав легкоплавкой глины представлен в *табл. 1*, а минералогический состав – на *рисунке*.

В качестве отощителя и выгорающей добавки использовался актюбинский золошлаковый материал, температура плавления которого 1380°C, содержание углерода С – 6,8%, а теплотворная способность – 1500 ккал/кг.

Ферропыль из самораспадающихся шлаков низкоуглеродистого феррохрома является отходом актюбинского завода ферросплавов филиала АО «ТНК «Казхром». Самораспадающийся ферросплавный шлак, отход металлургического производства феррохрома, представляет собой пылевидный материал с размером частиц не более 0,5 мм. Он использовался в качестве отощителя. Химический состав ферропыли представлен в *табл. 1*, а минералогический состав на *рисунке*.

Технологический процесс. Для получения сейсмостойкого керамического кирпича использовался оптимальный состав, представленный в *табл. 2*, состав № 1 взят для сравнения. Использование в керамических массах отощителей более 35% (золошлакового материала и ферропыли) приводит к снижению пластичности шихты, что затрудняет формование образца.

Сырьевые компоненты: легкоплавкая глина, золошлаковый материал и ферропыль из самораспадающихся шлаков измельчались до прохождения сквозь сито 1 мм, затем тщательно перемешивались. Керамические образцы – ку-

Таблица 1

Химический состав сырьевых компонентов

Сырьевые компоненты	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃	R ₂ O	П.п.п.
Легкоплавкая глина	51,4	17,9	9,3	2,6	2,5	-	2,1	13,2
Золошлаковый материал	47,8	16,8	7,4	4,8	2,3	-	2,8	18,1
Ферропыли из самораспадающихся шлаков	30,4	8,4	2,5	43,8	7,4	7,2	2,4	-



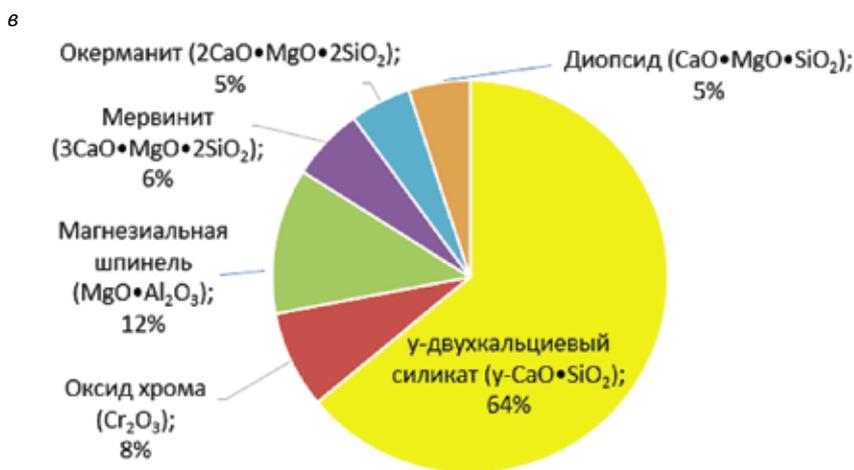
Составы керамических масс

Компонент	Содержание компонентов, мас. %	
	1	2
Легкоплавкая глина	100	65
Золошлаковый материал	–	15
Ферропыли из самораспадающихся шлаков	–	20

Таблица 3

Физико-механические показатели образцов

Показатель	Составы	
	1	2
Механическая прочность при сжатии, Мпа	10,7	15,8
Механическая прочность при изгибе, МПа	2,2	3,4
Морозостойкость, циклы	16	41
Плотность, кг/м³	1750	1620
Марочность образца	M100	M150



Минералогический состав сырьевых материалов: а – легкоплавкая глина Илекского месторождения; б – Актюбинский золошлаковый материал; в – ферропыль

бики с размером ребра 50 мм (для испытания на сжатие) и балочки размером 120 x 20 x 20 мм (для испытания на изгиб) получали пластическим способом при влажности 20-22%, сформованные образцы высушивали до влажности не более 5% и обжигали в муфельной печи при температуре 1000°C. Изотермическая выдержка при конечной температуре – 0,5 ч. Физико-механические показатели образцов приведены в табл. 3.

Полученный образец имел марку М150. Керамический образец без применения в составах золошлакового материала и ферропыли (лессовидный суглинок – 100%) имел марку не выше М100.

В соответствии с п.6.14.4 СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» для кладки несущих и самонесущих стен или заполнения участвующего в работе каркаса следует применять керамический кирпич и камни марки не ниже М125 при сейсмичности площадки строительства 8 и 9 баллов [10]. Таким образом, образцы из состава № 2 в полной мере соответствуют требованиям сейсмического кирпича.

Выводы

1. Получен на основе легкоплавкой глины, золошлакового материала и ферропыли из самораспадающихся шла-

ков при температуре обжига 1000°C керамический кирпич М150, который отвечает требованиям сейсмостойкого кирпича.

2. Введение в состав керамических масс золошлакового материала и ферропыли из самораспадающихся шлаков позволило на основе легкоплавкой глины повысить марочность с М100 до М150.

3. Получение керамических материалов с применением отходов производств способствует утилизации промышленных отходов, охране окружающей среды и расширению сырьевой базы для строительных материалов.

Список литературы

1. Экологический менеджмент и рециклинг железосодержащего шлака ТЭЦ в производстве безобжиговых жаростойких композитов / Ю.Ю. Коробкова, Е.Г.Сафронов, Н.И. Краскова и др. // Уголь. 2020. № 12. С. 49-52. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-12-49-52.

2. Экологические, экономические и практические аспекты использования многотоннажных отходов топливно-энергетического комплекса – сланцевой золы в производстве пористого заполнителя / Е.Г. Сафронов, А.Н. Сунтеев, Ю.Ю. Коробкова и др. // Уголь. 2019. № 4. С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-44-49.

3. Абдрахимова Е.С. Исследование сушильных свойств керамических материалов на основе отходов топливно-энергетического комплекса // Уголь. 2019. № 9. С. 67-69. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-67-69.

4. Абдрахимова Е.С. Образование золы легкой фракции и использование ее в производстве плиток для полов // Уголь. 2019. № 11. С. 64-66. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-64-66.

5. Экологическая целесообразность рециклинга золошлака в производстве стеновых материалов и оптимизация керамических масс по техническим показателям / Е.Г. Сафронов, С.М. Силинская, Н.Ю. Нарыжная и др. // Уголь. 2021. № 6. С. 44-49. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.

6. Абдрахимова Е.С. Использование горелой породы и бурового шлама в производстве пористого заполнителя

на основе жидкостекольной композиции // Экологические системы и приборы. 2020. № 5. С. 12-23.

7. Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С. Рециклинг отходов топливно-энергетического комплекса, цветной металлургии и нефтехимической промышленности в производстве безобжиговых жаростойких бетонов // Экология промышленного производства. 2020. № 3. С. 5-12.

8. Мингалеев Г.Ф. Эффективность ресурсосбережения: учебное пособие. Издание 2-е. Казань, 2006. 215 с.

9. Соколов Э.М., Москвичев Ю.А. Утилизация отходов производства и потребления. Ярославль, 2006. 388 с.

10. Абдрахимов В.З. Влияние нанотехногенного сырья на сушильные свойства и физико-механические показатели керамического кирпича // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2020. № 1. С. 29-34.

Original Paper

UDC 691.666.42:536 © N.Yu. Narizhnaya, E.G. Safronov, S.M. Silinskaya, V.Z. Abdrakhimov, 2021
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 10, pp. 33-37
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-10-33-37>

Title ECONOMIC AND PRACTICAL FEASIBILITY OF USING ASH AND FEROPYL OF THE AKTOBE REGION IN THE PRODUCTION OF EARTHQUAKE-RESISTANT BRICKS

Authors

Narizhnaya N.Yu.¹, Safronov E.G.², Silinskaya S.M.³, Abdrakhimov V.Z.⁴

¹ Krasnodar branch of the Financial University, Krasnodar, 350051, Russian Federation

² Samara State Technical University, Samara, 443100, Russian Federation

³ Kuban State University, Krasnodar, 350051, Russian Federation

⁴ Samara State University of Economics, Samara, 443090, Russian Federation

Authors Information

Narizhnaya N.Yu., PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor, e-mail: nunar-teacher@bk.ru

Safronov E.G., PhD (Economic), Associate Professor, e-mail: ewgenijsafronov@yandex.ru

Silinskaya S.M., PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of Data Analysis and Artificial Intelligence department, e-mail: Silinskaya1@mail.ru

Abdrakhimov V.Z., Doctor of Engineering Sciences, Professor, e-mail: 3375892@mail.ru

Abstract

In modern economic conditions, with limited state funding for geological exploration, it is very important to make optimal management decisions on the choice of raw materials for the production of ceramic products, which will give the maximum socio-economic effect. Since natural raw materials are currently depleted, it is necessary to involve waste products for the production of ceramic materials in the production turnover. On the basis of raw materials of the Aktobe region: low-melting clay of ash-slag material and ferropyl, earthquake-resistant ceramic bricks of grades 125-150 were obtained. Studies have shown that the use of ash-slag material as a thinning agent and a burn-out additive, and fine ferropyl as a thinning agent, will allow you to get a high-quality ceramic material, but also reduce its cost.

Keywords

Earthquake-resistant brick, Low-melting clay, Ash-slag material, Ferropyl.

References

1. Korobkova Yu.Yu., Safronov E.G., Kraskova N.I. & Abdrakhimov V.Z. Environmental management and recycling of iron-containing slag of CHPP in the production of non-incinerated heat-resistant composites. *Ugol'*, 2020, (12), pp. 49-52. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-12-49-52.
2. Safronov Ye.G., Sunteev A.N., Korobkova Yu.Yu. & Abdrakhimov V.Z. Environmental, economic and practical aspects of the use of large-tonnage waste of fuel and energy complex – shale ash in the production of porous filler. *Ugol'*, 2019, (4), pp. 44-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-44-49.

3. Abdrakhimova E.S. The study of drying properties of ceramic materials based on waste of fuel and energy complex. *Ugol'*, 2019, (9), pp. 67-69. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-9-67-69.

4. Abdrakhimova E.S. Education ash light fraction and its use in the manufacture of tiles for floors. *Ugol'*, 2019, (11), pp. 64-66. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2019-11-64-66.

5. Safronov E.G., Silinskaya S.M., Naryzhnaya N.Yu. & Abdrakhimov V.Z. Ecological feasibility of ash slag recycling in the production of wall materials and optimization of ceramic masses according to technical indicators. *Ugol'*, 2021, (6), pp. 44-49. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-6-44-49.

6. Abdrakhimova E.S. The use of burnt rock and drilling mud in the production of a porous aggregate based on a liquid-glass composition. *Ecological systems and devices*, 2020, (5), pp. 12-23. (In Russ.).

7. Kairakbaev A.K. & Abdrakhimova E.S. Recycling of waste from the fuel and energy complex, non-ferrous metallurgy and petrochemical industry in the production of non-burning heat-resistant concrete. *Ecology of industrial production*, 2020, (3), pp. 5-12. (In Russ.).

8. Mingaleev G.F. Efficiency of resource saving: a textbook. 2nd edition. Kazan, 2006, 215 p. (In Russ.).

9. Sokolov E.M. & Moskvichev Yu.A. Utilization of production and consumption waste. Educational edition. Yaroslavl, 2006, 388 p. (In Russ.).

10. Abdrakhimov V.Z. Influence of nanotechnogenic raw materials on drying properties and physical and mechanical parameters of ceramic bricks. *Safety of structures*, 2020, (1), pp. 29-34. (In Russ.).

For citation

Narizhnaya N.Yu., Safronov E.G., Silinskaya S.M. & Abdrakhimov V.Z. Economic and practical feasibility of using ash and feropyl of the Aktobe region in the production of earthquake-resistant bricks. *Ugol'*, 2021, (10), pp. 33-37. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2021-10-33-37.

Paper info

Received June 2, 2021

Reviewed August 16, 2021

Accepted September 15, 2021

MINERAL RESOURCES