



7. Leontev S. V., Taleiko A. A. Otsenka dolgovechnosti i sokhrannosti fiziko-mekhanicheskikh svoystv kamennoi kladki fundamentov istoricheskikh zdaniy XIX veka postroiki [Assessment of the durability and preservation of the physical and mechanical properties of masonry foundations of historic buildings built in the 19th century]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2023, no. 2 (44), pp. 47–52.
8. Garkin I. N., Garkina I. A., Polyakov L. G. Tekhnicheskaya ekspertiza: identifikatsiya opasnykh proizvodstvennykh obektov [Technical Expertise: Identification of Hazardous Industrial Facilities]. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don]. 2023, no. 2 (98), pp. 25–32.
9. Garkina I. A., Garkin I. N. Tekhnicheskaya ekspertiza: obosnovanie demontazha zdaniy i sooruzheniy [Technical Expertise: Justification for the Demolition of Buildings and Structures]. *Fundamentalnye issledovaniya* [Fundamental Research.]. 2017, no. 10-3, pp. 412–417.
10. Koroleva T. I., Shcherbakova V. V., Kaleda I. A. Tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost vodokhozyaistvennykh sistem naselennykh mest [Technical and Economic Efficiency of Water Management Systems in Populated Areas]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2021, no. 1 (46), pp. 203–210.
11. Abdullazyanov E. Yu., Startseva Yu. V., Gadaborsheva T. B., Karmanov A. V., Garkin I. N. Modelirovaniye dvizheniya vozdukhnykh mass v kotlovanakh pri stroitel'stve obektov energeticheskogo kompleksa [Modeling of Air Mass Movement in Excavations During Construction of Energy Facilities]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan State Power Engineering University]. 2024, vol. 16, no. 1 (61), pp. 3–10.
12. Yeryomkin A. I., Bakanova S. V. Issledovaniye protsessov uvlazhneniya konditsionirovannim vozdukhom tekstilnykh polufabrikatov na osnove matematicheskogo modelirovaniya [A study of the processes of humidification of semi-finished textile products with conditioned air based on mathematical modeling]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2019, no. 1 (38), pp. 164–170.
13. Bakanova S. V., Belov V. Ye. Teplovlazhnostnyy i vozdukhnyy balansy v zhivotnovodcheskikh pomeshcheniyakh [Heat, humidity, and air balances in livestock buildings]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2022. No. 1 (50). Pp. 116–119. DOI 10.54734/20722958\_2022\_1\_116.
14. Popov A. O., Garkin I. N., Sabitov L. S., Abdullazyanov E. Yu. Ispol'zovaniye tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya pri obsledovanii obektov kulturnogo naslediya [Using information modeling technologies in surveying cultural heritage sites]. *Inzhenernye issledovaniya* [Engineering Research]. 2024. No. 1 (16). Pp. 23–29.
15. Tretyak L. P., Rudenko A. M. Osobennosti sistem upravleniya professional'nymi riskami [Features of the professional risk management system]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2019, no. 1 (27), pp. 105–109.
16. Potashov A. D., Pleshakova L. A. Intel'lectualnye resheniya dlya prognozirovaniya otkazov v sistemakh meditsinskogo gazosnabzheniya [Intelligent Solutions for Predicting Failures in Medical Gas Supply Systems]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2025. No. 1 (51). Pp. 10–15.
17. Chesnokova O. G., Zhurbenko M. D., Torgashina S. N., Kurguzov A. I. Predlozheniya po teploizolyatsii pola v pomeshcheniyakh pervogo etazha, raspolozhennykh nad kholodnym podvalom [Proposals for thermal insulation of floors in ground-floor rooms located above a cold basement]. *Inzhenerno-stroitel'nyy vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2024. No. 2 (48). Pp. 24–28.
18. Garkina I. A., Yaziev S. B., Artemev D. A. Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksii: entropiyniy podkhod [Assessment of the technical condition of building structures: an entropy approach]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2025. No. 4 (65). Pp. 130–136.
19. Garkina I. A., Akhtyamova L. Sh., Kiyamova L. I., Fazilyanov F. F. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov degradatsii [Mathematical modeling of degradation processes]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzhya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. 2025. No. 7. Pp. 31–35.
20. Budilina Ye. A., Garkina I. A., Danilov A. M. Imitatsionnoye modelirovaniye slozhnykh sistem [Simulation modeling of complex systems]. *Regionalnaya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional Architecture and Construction]. 2023. No. 3 (56). Pp. 43–48.

© К. О. Чичиров, В. А. Гарькина, Т. Ю. Мамелина

**Ссылка для цитирования:**

Чичиров К. О., Гарькина В. А., Мамелина Т. Ю. Оценка технического состояния систем вентиляции в торговых центрах на основе метода прогнозирования // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 21–26.

УДК 628.49; 005.22:001.895(063); 005.572(063); 669; 691.611  
DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-26-33

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДОМЕННОГО ПИРОЛИЗА  
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

**Р. И. Шаяхмедов, Ю. И. Убогович, В. Ф. Протопопов**

**Шаяхмедов Растам Ирфагильевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 091-53-34; e-mail: rastams@mail.ru;

**Убогович Юлия Ивановна**, кандидат экономических наук, заведующая кафедрой экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (928) 237-83-55; e-mail: yubogovich@bk.ru;

**Протопопов Василий Федорович**, студент, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 177-64-21; e-mail: vasya210120@mail

При пиролизе перерабатываемые отходы распадаются на простые молекулы, превращаясь в пиролизный газ, жидкость и золу. Высокотемпературный пиролиз характеризуется максимальным выходом пиролизного газа и минимальным выходом жидких продуктов и твердого остатка. Цель исследования – разработка способа загрузки твердых бытовых отходов, нефтешламов и шламов водоочистки в доменную печь без увеличения плотности и уменьшения проницаемости доменной шихты. Гипотеза о принципиальной возможности существования вышеупомянутого способа загрузки рассматривается и проверяется впервые. При анализе используются методы и приемы инновационного консалтинга. В результате исследования доказана принципиальная возможность существования способа загрузки твердых бытовых отходов, нефтешламов и шламов водоочистки в доменную печь. При предлагаемой организации технологического процесса они загружаются порционно через верхнюю часть доменной печи вместо доменной шихты, попадая непосредственно в жидкий шлак и мгновенно подвергаясь высокотемпературному пиролизу.

**Ключевые слова:** высокотемпературный пиролиз, пиролизный газ, пиролизный кокс, доменная печь, доменная шихта, твердые бытовые отходы, нефтешламы, шламы водоочистки, жидкий шлак.

## THE USE BLAST FURNACE PYROLYSIS PROCESS FOR PROCESSING HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL WASTE

*R. I. Shayakhmedov, Yu. I. Ubogovich, V. F. Protopopov*

**Shayakhmedov Rastam Irfagilyevich**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Expertise, Operation and Management of Real Estate Department, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (917) 091-53-34; e-mail: rastams@mail.ru;

**Ubogovich Yuliya Ivanovna**, Candidate of Economic Sciences, Head of Expertise, Operation and Management of Real Estate Department, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (928) 237-83-55; e-mail: yubogovich@bk.ru;

**Protopopov Vasily Fedorovich**, student, Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering, Astrakhan, Russian Federation, phone: + 7 (917) 177-64-21; e-mail: vasya210120@mail

During pyrolysis, recyclable waste breaks down into simple molecules, turning into pyrolysis gas, liquid and ash. High-temperature pyrolysis is characterized by a maximum output of pyrolysis gas and a minimum output of liquid products and solid residue. The purpose of the study is to develop a method for loading solid household waste, oil sludge and water treatment sludge into a blast furnace without increasing the density and reducing the permeability of the blast furnace charge. The hypothesis of the fundamental possibility of the existence of the above-mentioned download method is being considered and verified for the first time. The analysis uses methods and techniques of innovative consulting. The study proved that the fundamental possibility of the existence of a method for loading solid household waste, oil sludge and water treatment sludge into a blast furnace has been proved. With the proposed organization of the technological process, solid household waste, oil sludge and water treatment sludge are loaded in portions through the upper part of the blast furnace without blast furnace charge, falling directly into the liquid slag and instantly undergoing high-temperature pyrolysis.

**Keywords:** high-temperature pyrolysis, pyrolysis gas, pyrolysis coke, blast furnace, blast furnace charge, solid household waste, oil sludge, water treatment sludge, liquid slag.

Пиролиз – процесс переработки отходов нагреванием в закрытых камерах без доступа кислорода. При этом перерабатываемые отходы распадаются на простые молекулы, превращаясь в пиролизный газ (ПРГ), жидкость и золу. Высокотемпературный пиролиз (ВТП) характеризуется максимальным выходом ПРГ, жидких продуктов и твердого остатка.

### Рассматриваемая проблема

Перовый недостаток ВТП – образование коксовых отложений (рис. 1). Из-за высоких температур пиролизный кокс (ПК), образующийся в результате высокотемпературного пиролиза органических соединений, непрерывно отлагается на стенках реактора и в теплообменниках технологической линии [1].

Второй недостаток ВТП – образование зольных масс, которые делают процесс прерывным, с периодическими остановками реактора для их выгрузки.

Одним из способов преодоления этих двух недостатков является встраивание в рамках единого реактора высокотемпературного пиролиза в другой технологический процесс, где ПК является одним из потребляемых ресурсов, а само действие является непрерывным. При этом зольные массы периодически удаляются. Для решения используем два приема инновационного консалтинга «матрешка» и «вред в пользу» [2–13].



Рис. 1. Пиролизный кокс

[источник: <https://naked-science.ru/article/column/v-tyumgznogo-organiche/>]

Fig.1. Pyrolysis coke

[source: <https://naked-science.ru/article/column/v-tyumgznogo-organiche/>]

Доменный процесс является непрерывным и в нем используется кокс. В этом процессе кокс играет роль:

- источника тепла [14];
- восстановителя [15];
- разрыхлителя доменной шихты (ДШ) [16];
- каркаса ДШ [17].

При этом в доменной печи (ДП) кокс полностью сгорает, а продукты его окисления переходят в пиролизный газ и жидкий шлак (ЖШ).

Со времен изобретения доменного процесса не прекращаются попытки утилизации в ДП различных фракций промышленных и твердых бытовых

отходов (ТБО). Для такой утилизации доменная печь обеспечивает:

- высокую температуру;
- восстановительную атмосферу (ПРГ);
- интенсивный тепломассообмен;
- переход зольных масс ТБО в высокоактивный, основной ЖШ [18].

В настоящее время наиболее успешным направлением является использование твердых, гранулированных или измельченных пластмассовых отходов (рис. 2). Они вдуваются в доменную печь потоком технологического воздуха непосредственно в горн (нижняя часть ДП).

Для жидких отходов применяется инжекция через фурмы доменной печи. Например, так может подаваться отработанное машинное масло.

Однако для таких пневматических и гидравлических способов внесения подходят не все фракции твердых бытовых отходов (например, пищевые отходы), и не все неорганические (например, нефтешламы, шламы водоочистки). Все они могли бы добавляться в ДП вместе с доменной шихтой, через верхнюю часть печи, но это увеличивает плотность и снижает проницаемость шихты. И чем больше доля таких отходов, тем более тормозится доменный процесс.

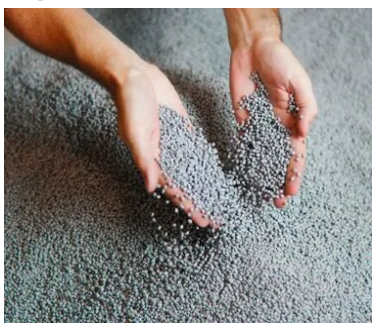


Рис. 2. Пластмассовые гранулы для загрузки в доменную печь

[источник: <https://www.cenotavr.ru/granula-polipropilena-vtorichnaya-233392>]

Fig. 2. Plastic pellets for loading into a blast furnace  
[source: <https://www.cenotavr.ru/granula-polipropilena-vtorichnaya-233392>]

Здесь следует пояснить, что в столбе ДШ куски кокса, обладающие высокой горячей прочностью, образуют пористую среду, через каналы которой проходит вверх ПРГ, стекая вниз жидкий металл и шлак. Твердые бытовые отходы, нефтешламы (НШ) и шламы водоочистки (ШВО), загружаемые сверху, могут забить эти проходы в доменной шихте.

Цель исследования – разработка способа загрузки ТБО, НШ и ШВО в ДП без увеличения плотности и уменьшения проницаемости ДШ.

#### Решение

Наиболее легким способом представляется предварительное прессование загружаемых отходов в брикеты с высокой горячей прочностью (прием инновационного консалтинга «смена формы») [19]. Но это неидеальное решение. Блоки из прессованных твердых бытовых отходов начинают разлагаться уже в верхней части печи (кипение содержащейся в них влаги), не говоря уже о блоках, имеющих нефтешламы (кипе-

ние легко испаряющихся углеводородов) и шламы водоочистки (кипение воды). Уже в верхней части доменной печи блоки будут терять горячую прочность и разрушаться, забивая доменную шихту.

Применим другие приемы инновационного консалтинга – «укорачивание пути» и «удаление носителя противоречия». Уберем из ДП (1) столб с ДШ (рис. 3), тогда загружаемые сверху твердые бытовые отходы (1) сразу будут падать в жидкий шлак (3) и разлагаться при высокой температуре на углерод (ПК), водород и окись углерода. Два последних компонента войдут в состав ПРГ (4), используемого как топливо. Пиролизный кокс прореагирует с водяными парами (из содержащейся в ТБО влаги) с образованием оксида углерода и водорода (компоненты пиролизного газа). Зольные компоненты твердых отходов перейдут в ЖШ (3), увеличив его объем. Углеводородная фракция НШ (5), попав в ЖШ (3) разложится на ПК и водород (компонента ПРГ). Металлическая фракция растворится в расплавленном металле (6), увеличив его объем. Пиролизный кокс прореагирует с водяными парами, образовавшимися из содержащейся в нефтешламе влаги с образованием оксида углерода и водорода (компоненты пиролизного газа). Минеральные компоненты НШ перейдут в жидкий шлак (3). Вода, содержащаяся в нефтешламе, превратившись в пар и взаимодействуя с ПК превратится в ПРГ. При недостатке углеводородной фракции в нефтешламе этот дефицит может быть восполнен путем подачи через фурмы отработанного машинного масла или вдуванием с потоком воздуха гранулированных отходов пластмасс.

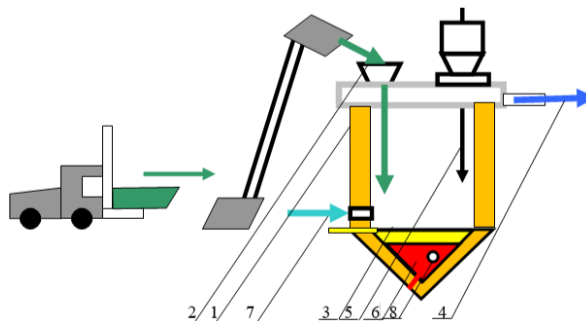


Рис. 3. Схема процесса доменного пиролиза (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Diagram of the blast furnace pyrolysis process (illustration by the authors)

ШВО, попав в жидкий шлак, вместе с НШ (5) дадут перегретый пар для реакции газификации пиролизного кокса, а минеральные компоненты шлама перейдут в ЖШ (3). Более подробно судьбу компонентов твердых бытовых отходов, нефтешлака и шлама водоочистки можно проследить в таблицах 1–3.

Три негативных последствия такой организации процесса высокотемпературного пиролиза:

- образования застывшей корки на слое жидкого шлака, за счет отбора тепла твердыми бытовыми отходами и шламами;
- образование над коркой застывшего шлака слоя пиролизного кокса, не прореагировавшего с парами воды;
- застывание части жидкого металла за счет отбора тепла металлической фракцией нефтешламов.

Таблица 1

**Преобразование компонент твердых бытовых отходов в доменной печи**

№	Наименование компоненты ТБО	Доля в составе ТБО, %	Продукция доменной печи (выход)			Примечание
			ПРГ	ЖШ	Чугун	
1	2	3	4	5	6	7
2	Бумага, картон	33-40	Водород, окись углерода	Соединения кальция	Углерод, кремний	Очистка ПГ от серы
3	Пищевые отходы	27-33	Водород, окись углерода	Зольные компоненты	Углерод, кремний	Очистка ПГ от серы
4	Дерево, листья	1,5-5	Водород, окись углерода	Водород, окись углерода	Углерод, кремний	Очистка ПГ от серы
5	Металл черный	2,5-3,6	-	Железо	Железо	-
6	Металл цветной	0,4-0,6	-	-	Примеси алюминия, ухудшают качество чугуна	Желателен предварительный отбор алюминия
7	Кости	0,5-0,9	Водород, окись углерода	Соединения кальция, зольные компоненты	Примесь фосфора ухудшает качество чугуна	Влияние фосфора нейтрализуется добавками кремния
8	Кожа, резина	0,8-1,3	Водород, окись углерода	Зольные компоненты	Сера ухудшает качество чугуна	Влияние серы нейтрализуется добавками марганца
9	Текстиль	4,6-6,5	Водород, окись углерода	Зольные компоненты	-	-
10	Стекло	2,7-4,3	-	Улучшает качество шлака	-	-
11	Камни - керамика	0,7-1,0	-	Улучшают качество шлака	-	-
12	Полимерные материалы	4,6-6,0	Водород, окись углерода	Хлор из ПВХ частично растворяется в ЖШ	-	Предварительный отбор ПВХ
13	Отсев менее 15 мм	8,8-11,2	Водород, окись углерода	Зольные компоненты, песок	Железо, кремний	-

Таблица 2

**Преобразование компонент нефтешламов в доменной печи**

№	Наименование компоненты НШ	Доля в составе НШ, %	Продукция доменной печи (выход)			Примечание
			ПРГ	ЖШ	Чугун	
1	2	3	4	5	6	7
2	Нефтепродукты	10-56	Водород, окись углерода	-	Углерод	-
3	Вода	30-85	Водород, окись углерода	-	-	-
4	Песок	0,4-1,5	-	Улучшает качество шлака	Кремний, улучшает качество чугуна	-
5	Металл	0,2-9,2	-	Железо	Железо	-
6	Глина	0,1-1,8	-	Алюмосиликаты улучшают качество шлака	-	-
7	Окислы железа	0,2-9,2	-	Железо	Железо	-

Корку из ПК можно убрать, если подать в соответствующую зону доменной печи (рис. 3) воздух (7) для ее сжигания. Выделившееся при сжигании тепло растопит корку застывшего шлака и металл.

Если вместо воды подать пар, то корка полностью газифицируется, но процесс застывания шлака и металла интенсифицируется. Для предотвращения процесса застывания в слой жидкого металла поместим электронагреватель (8), который будет поддерживать металл (6) и шлак (3) в жидком состоянии.

Оба этих варианта можно совместить, подавая в ДП паровоздушную смесь.

Запуск печи для ВТП будет производиться следующим образом:

- в нижнюю часть ДП загружается затравочный металлолом;
- включается электрический нагреватель и металлолом превращается в расплав металла;

- сверху через загрузочное устройство на расплавленный металл подается затравочный шлак до образования слоя его расплава;
- на слой расплавленного шлака через загрузочное устройство подаются ТБО, НШ и ШВО;

- в зону контакта расплавленного шлака с данными отходами подается воздух и по мере необходимости жидкие горючие и гранулированные отходы пластмасс, природный газ.

Таблица 3

**Преобразование компонент шламов водоочистки в доменной печи**

№	Наименование компоненты ШВО	Доля в составе ШВО, %	Продукция доменной печи (выход)			Примечание
			ПРГ	ЖШ	Чугун	
1	2	3	4	5	6	7
2	Кальцит (CaCO <sub>3</sub> )	75	Окись углерода	CaO – одна из компонент шлакового стекла	Углерод	–
3	Брусит Mg(OH) <sub>2</sub>	4	Водород окись углерода	MgO – улучшает состав шлакового стекла	–	–
4	Портландит Ca(OH) <sub>2</sub>	0,5	–	Улучшает качество шлака	Кремний, улучшает качество чугуна	–
5	Кварц (SiO <sub>2</sub> )	0,1	–	Улучшает качество шлака	Кремний, улучшает качество чугуна	–
6	Лимонит Fe(OH) <sub>3</sub>	6	Водород, окись углерода	Железо	Железо	–
7	Другие вещества	14	Водород, окись углерода	Зольные компоненты, песок	Железо, кремний	–

В процессе работы ДП из нее периодически производится выгрузка жидкого шлака и металла. Пиролизный газ очищается от пылевых частиц и окислов серы, подается потребителю (теплоэлектростанции).

Такая коррекция основного технологического процесса приведет к следующим последствиям:

- высота и размер доменной печи резко уменьшится;
- вместо шлака (смесь угольного кокса и извести) в печь будет порционно загружаться смесь твердых бытовых отходов, нефтешламов и шламов водоочистки;
- основным технологическим процессом станет переработка данных отходов с получением ПРГ, ЖШ и чугуна;
- чугун будет получаться в основном не за счет восстановления железной руды, а за счет плавления металлической фракции НШ и ТБО.

Пиролизный газ может заместить часть природного газа, потребляемого электростанциями. Выработанная на ПРГ дешевая электроэнергия частично может использоваться для электроподогрева жидкого металла и шлака в процессе высокотемпературного пиролиза. Шлак после соответствующей доработки может использоваться для производства строительных материалов, чугуна – для изготовления различных изделий.

**Достигнутые результаты**

При такой организации технологического процесса твердых бытовых отходов, нефтешламы и шламы водоочистки будут загружаться через

верхнюю часть доменной печи вместо шихты, попадая непосредственно в жидкий шлак и мгновенно подвергаясь ВТП. При этом тепловая стабильность пиролиза будет поддерживаться:

- высоким теплосодержанием жидкого шлама и металла;
- сжиганием части пиролизного кокса;
- электроподогревом ЖШ и металла.

**Выводы**

Поставленная цель достигнута. Разработан способ загрузки ТБО, НШ и ШВО в ДП без увеличения плотности и уменьшения проницаемости ДШ.

**Перспективы**

На сегодняшний день «запасы» нефтешламов в Российской Федерации превышают 100 млн т и ежегодно в стране образуется более 3 млн т новых [20].

На полигонах к настоящему времени накоплено 171 млн т твердых бытовых отходов [21]. При этом ежегодное поступление их составляет 47,5 млн т [22].

На теплоэлектростанции средней мощности ежедневно образуется около 20 т шламов водоочистки, то есть в год по сухому веществу – около 7300 т [23]. С учетом того, что в России имеется более 700 крупных и средних ТЭС [24], ежегодное поступление ШВО составит около 5 млн т.

Обладая такой сырьевой базой, процесс высокотемпературного пиролиза на базе доменной печи небольшого размера имеет прекрасные перспективы для тиражирования.

### Список литературы

1. Карпов А. Б. Влияние ингибиторов на коксообразование и содержание ароматических углеводородов в тяжелой смоле пиролиза / А. Б. Карпов, А. Д. Кондратенко, А. М. Козлов, Ф. Г. Жагфаров // Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина. – Режим доступа: [gaschemistry.gubkin.ru](http://gaschemistry.gubkin.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Шаяхмедов Р. И. Прием «наоборот» или использование твердых бытовых отходов для производства строительных материалов методом доменного пиролиза / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 3. – С. 25–30.
3. Евсеева С. С. Приемы инновационного консалтинга и утилизация ТБО в домашнем хозяйстве / С. С. Евсеева, Р. И. Шаяхмедов // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы IX Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 544–547.
4. Евсеева С. С. Способ переработки твердых бытовых отходов в развитии биосферной совместимости / С. С. Евсеева, Р. И. Шаяхмедов // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы XII Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. – С. 444–447.
5. Шаяхмедов Р. И. «Знать – уметь – владеть» – «три сосны» при составлении тестов для фонда оценочных средств и как не заблудиться в них. Компас от инновационного консалтинга / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 1. – С. 16–19.
6. Шаяхмедов Р. И. Приемы инновационного консалтинга в процессе преподавания в строительном университете : электронное учебное пособие / Р. И. Шаяхмедов. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. – 100 с.
7. Шаяхмедов Р. И. Основы научных исследований. Мнемотехника и приемы инновационного консалтинга : электронное учебное пособие / Р. И. Шаяхмедов. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – 100 с.
8. Шаяхмедов Р. И. Преподавание инновационного консалтинга в строительном университете : электронное учебное пособие / Р. И. Шаяхмедов, Ю. И. Убогович. – Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2024. – 100 с.
9. Шаяхмедов Р. И. Игра в скорлупки или использование пневмоконструкций в качестве динамического элемента зданий / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2016. – № 4. – С. 27–31.
10. Шаяхмедов Р. И. Улыбка чеширского кота или использование пневматических конструкций в качестве основного элемента ветроэнергетической установки / Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 1. – С. 30–35.
11. Кокарев А. М. Промывка песка для бетонной смеси с использованием поверхностно-активных веществ в аппарате вихревого смешения / А. М. Кокарев, Б. Б. Утегенов, Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3. С. 43–47.
12. Утегенов Б. Б. Химическая обработка минеральных компонент бетонной смеси / Б. Б. Утегенов, Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3. – С. 11–18.
13. Купчикова Н. В. Способ электростатической грануляции сероцемента / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 2. – С. 37–41.
14. Водород как альтернатива коксующемуся углю: возможности и вызовы? // Росстип. – Режим доступа: [rostec.rudzen.russtip.ru](http://rostec.rudzen.russtip.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
15. Черное золото: рождение кокса и его неопределимая роль в промышленности // Дзен. – Режим доступа: [dzen.rurostec.ru](http://dzen.rurostec.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
16. Роль кокса в доменном процессе // Металспейс. – Режим доступа: [MetalSpace.ru](http://MetalSpace.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
17. Паршин С. А. Доменный процесс (но не тот, про который вы подумали) / С. А. Паршин // Хабр Карьера. – Режим доступа: [habr.com](http://habr.com), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
18. Отходы народного хозяйства и собственного производства в доменной плавке // Zinref.ru – библиотека онлайн. – Режим доступа: [https://www.zinref.ru/000\\_uchebniki/04400proizvodstvo/000\\_lekcii\\_proizvodstvo\\_02/190.htm](https://www.zinref.ru/000_uchebniki/04400proizvodstvo/000_lekcii_proizvodstvo_02/190.htm), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
19. Патент РФ 2005132235. А МПК E22 G 5/00. Способ утилизации бытовых и других отходов / В. И. Горда. – Опубликовано 27.04.2004. – Бюл. 12.
20. Афанасьев С. В. Нефтьешламы как вторичное сырье / С. В. Афанасьев, М. А. Паис, Н. С. Носарев // Деловой журнал "Neftegaz.RU". – Режим доступа: [magazine.neftegaz.ruanalytic.ricom.ru](http://magazine.neftegaz.ruanalytic.ricom.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
21. Каневская П. Россия почти избавилась от мусорных полигонов времен СССР. Как страна борется со свалками? / П. Каневская // ООО «Лента.ру». – Режим доступа: [dzen.rulenta.ru](http://dzen.rulenta.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
22. В России объем бытовых отходов вырос до 325 кг на человека в год // Информационное агентство ТАСС. – Режим доступа: [tass.ru](http://tass.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
23. Шураев Я. В. Разработка технологии утилизации шлама цеха химводоочистки РП Энергия Донбасса ТЕ Старобешевская ТЭС / Я. В. Шураев, Ю. Н. Ганнова // Портал магистров Донецкого технического университета. – Режим доступа: [masters.donntu.ruipragso.ru](http://masters.donntu.ruipragso.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
24. Солоха Н. С. Тенденции развития строительства тепловых электростанций в России / Н. С. Солоха // Студенческий научный форум : сборник материалов XVIII Международной студенческой научной конференции. – 2026. – Режим доступа: [scienceforum.ru](http://scienceforum.ru), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

### References

1. Karpov A. B., Kondratenko A. D., Kozlov A. M., Zhagfarov F. G. Vliyaniye ingibitorov na koksoobrazovaniye i sodержaniye aromaticheskikh uglevodorodov v tyazheloi smole piroliza [Effect of inhibitors on coke formation and aromatic hydrocarbon



content in heavy pyrolysis tar]. *Rossiiskii gosudarstvennii universitet nefti i gaza imeni I. M. Gubkina* [Gubkin Russian State University of Oil and Gas]. Available at: [gaschemistry.gubkin.ru](http://gaschemistry.gubkin.ru).

2. Shayakhmedov R. I. Priem «naoborot» ili ispolzovanie tverdikh bitovikh otkhodov dlya proizvodstva stroitelnykh materialov metodom domennogo piroliza [The "reverse" method or the use of municipal solid waste for the production of building materials by blast furnace pyrolysis]. *Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2017, no. 3, pp. 25–30.

3. Evseeva S. S., Shayakhmedov R. I. Priemi innovatsionnogo konsaltinga i utilizatsiya TBO v domashnem kho-zyaistve [Innovative consulting techniques and household solid waste recycling]. *Potentsial intellektualno odarennoi molodezhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya : materialy IX Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodikh uchenikh, innovatorov, studentov i shkolnikov* [The Potential of Intellectually Gifted Youth – for the Development of Science and Education: Proceedings of the IX International Scientific Forum of Young Scientists, Innovators, Students, and Schoolchildren]. Astrakhan: Astrakhanskii gosudarstvennii arkhitekturno-stroitelnyy universitet; 2020, pp. 544–547.

4. Evseeva S. S., Shayakhmedov R. I. Sposob pererabotki tverdikh bitovikh otkhodov v razvitiy biosfernoi sovместимости [A method for recycling municipal solid waste in developing biosphere compatibility]. *Potentsial intellektualno odarennoi molodezhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya : materialy XII Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodikh uchenikh, innovatorov, studentov i shkolnikov* [The Potential of Intellectually Gifted Youth for the Development of Science and Education: Proceedings of the XII International Scientific Forum of Young Scientists, Innovators, Students, and Schoolchildren]. Astrakhan: Astrakhanskii gosudarstvennii arkhitekturno-stroitelnyy universitet; 2023, pp. 444–447.

5. Shayakhmedov R. I. «Znat – umet – vladet» – «tri sosni» pri sostavlenii testov dlya fonda otsenochnykh sredstv i kak ne zabluditsya v nikh. Kompas ot innovatsionnogo konsaltinga [“Know – be able – master” – the three pines when compiling tests for the assessment tools fund and how not to get lost in them. Compass from innovative consulting]. *Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2018, no. 1, pp. 16–19.

6. Shayakhmedov R. I. Priemi innovatsionnogo konsaltinga v protsesse prepodavaniya v stroitelnom uni-versitete [Innovative consulting techniques in teaching at a construction university]. Astrakhan: Astrakhanskii gosudarstvennii arkhitekturno-stroitelnyy universitet; 2019, 100 p.

7. Shayakhmedov R. I. Osnovi nauchnykh issledovaniy. Mnemotekhnika i priemi innovatsionnogo konsaltinga [Fundamentals of Scientific Research. Mnemonics and Techniques of Innovative Consulting]. Astrakhan: Astrakhanskii gosudarstvennii arkhitekturno-stroitelnyy universitet; 2020, 100 p.

8. Shayakhmedov R. I., Ubogovich Yu. I. Prepodavanie innovatsionnogo konsaltinga v stroitelnom universitete [Teaching innovative consulting at a construction university]. Astrakhan: Astrakhanskii gosudarstvennii arkhitekturno-stroitelnyy universitet; 2024, 100 p.

9. Shayakhmedov R. I. Igra v skorlupki ili ispolzovanie pnevmokonstruktsii v kachestve dinamicheskogo elementa zdaniy [A game of shells or the use of pneumatic structures as a dynamic element of buildings]. *Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2016, no. 4, pp. 27–31.

10. Shayakhmedov R. I. Ulibka cheshirskogo kota ili ispolzovanie pnevmaticheskikh konstruktsii v kachestve osnovnogo elementa vetroenergeticheskoi ustanovki [The cheshire cat's smile or the use of pneumatic structures as the main element of a wind turbine]. *Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2017, no. 1, pp. 30–35.

11. Kokarev A. M., Utegenov B. B., Shayakhmedov R. I. Promivka peska dlya betonnoi smesi s ispolzovaniem poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v apparate vikhrevogo smesheniya [Washing sand for concrete mix using surfactants in a vortex mixing apparatus]. *Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2022, no. 3, pp. 43–47.

12. Utegenov B. B., Shayakhmedov R. I. Khimicheskaya obrabotka mineralnykh komponent betonnoi smesi [Chemical treatment of mineral components of concrete mix]. *Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2024, no. 3, pp. 11–18.

13. Kupchikova N. V., Shayakhmedov R. I. Sposob elektrostaticheskoi granulyatsii serotsementa [Electrostatic granulation method for sulfur cement]. *Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2023, no. 2, pp. 37–41.

14. Vodorod kak alternativa koksuyushchemusya uglju: vozmozhnosti i vizovi? [Hydrogen as an Alternative to Coking Coal: Opportunities and Challenges?]. Rosstip. Available at: [rostec.rudzen.ru/rostopstip.ru](http://rostec.rudzen.ru/rostopstip.ru).

15. Chernoe zoloto: rozhdienie koksa i yego neotsenimaya rol v promishlennosti [Black gold: the birth of coke and its invaluable role in industry]. *Dzen* [Zen]. Available at: [dzen.ru/rostopstec.ru](http://dzen.ru/rostopstec.ru).

16. Rol koksa v domennom protsesse [The role of coke in the blast furnace process]. *Metalspeis* [Metalspace]. Available at: [MetalSpace.ru](http://MetalSpace.ru).

17. Parshin S. A. Domenniy protsess (no ne tot, pro kotorii vi podumali) [Blast furnace process (but not the one you're thinking of)]. *Khabr Karera* [Habr Career]. Available at: [habr.com](http://habr.com).

18. Otkhodi narodnogo khozyaistva i sobstvennogo proizvodstva v domennoi plavke [Waste from the national economy and own production in blast furnace smelting]. *Zinref.ru – biblioteka onlain* [Zinref.ru – online library]. Available at: [https://www.zinref.ru/000\\_uchebniki/04400proizvodstvo/000\\_lekcii\\_proizvodstvo\\_02/190.htm](https://www.zinref.ru/000_uchebniki/04400proizvodstvo/000_lekcii_proizvodstvo_02/190.htm).

19. Russian Federation Patent 2005132235. A IPC E22 G 5/00. Gorda V. I. Sposob utilizatsii bitovikh i drugikh otkhodov [Method for disposal of household and other waste]. Published on April 27, 004, bul. 12.

20. Afanasev S. V., Pais M. A., Nosarev N. S. Nefteshlami kak vtorichnoe sire [Oil sludge as a secondary raw material]. *Delovoi zhurnal "Neftegaz.RU"* [Business magazine "Neftegaz.RU"]. Available at: [magazine.neftegaz.ru/analytic.ricom.ru](http://magazine.neftegaz.ru/analytic.ricom.ru).

21. Kanevskaya P. Rossiya pochtu izbavilas ot musornikh poligonov vremen SSSR. Kak strana boretsya so svalkami? [Russia has almost rid itself of Soviet-era landfills. How is the country fighting landfills?]. *OOO «Lenta.ru»* [Lenta.ru LLC]. Available at: [dzen.rulenta.ru](http://dzen.rulenta.ru).

22. V Rossii obem bitovikh otkhodov viros do 325 kg na cheloveka v god [In Russia, the volume of household waste has grown to 325 kg per person per year]. *Informatsionnoe agentstvo TASS* [TASS News Agency]. Available at: [tass.ru](http://tass.ru).

23. Shuraev Ya. V., Gannova Yu. N. Razrabotka tekhnologii utilizatsii shlama khimvodoochistki RP Energiya Donbassa TE Starobeshevskaya TES [Development of a Technology for the Utilization of Sludge from the Chemical Water Treatment Shop

of the Energy of Donbass Regional Enterprise, Starobeshevskaya TPP]. *Portal magistrrov Donetskogo tekhnicheskogo universiteta* [Donetsk Technical University Master's Portal]. Available at: masters.donntu.runparso.ru.

24. Solokha N. S. Tendentsii razvitiya stroitelstva teplovikh elektrostantsii v Rossii [Trends in the development of thermal power plant construction in Russia]. *Studencheskii nauchnii forum : sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoi studencheskoi nauchnoi konferentsii* [Student Scientific Forum: Proceedings of the XVIII International Student Scientific Conference]. 2026. Available at: scienceforum.ru.

© Р. И. Шаяхмедов, Ю. И. Убогович, В. Ф. Протопопов

**Ссылка для цитирования:**

Шаяхмедов Р. И., Убогович Ю. И., Протопопов В. Ф. Использование процесса доменного пиролиза для переработки бытовых и промышленных отходов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 1 (55). С. 26–33.

УДК 691.311

DOI 10.52684/2312-3702-2026-55-1-33-37

**ПОЛУЧЕНИЕ ФИБРОПЕНОГИПСА НА ОСНОВЕ ФОСФОГИПСА**

**А. А. Провоторов, Е. В. Тарарушкин**

**Провоторов Алексей Александрович**, аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; e-mail: prov40@mail.ru;

**Тарарушкин Евгений Викторович**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте», Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва, Российская Федерация; e-mail: evgeny.tararushkin@yandex.ru

Использование фосфогипса при производстве строительных материалов и изделий является актуальным благодаря утилизации многотоннажных отходов химической промышленности и дешевизне минерального вяжущего. В настоящей работе рассмотрены вопросы, связанные с получением фибропеногипса на основе фосфогипса. Рассмотрены такие вопросы, как получение стабильной пены на основе синтетического пенообразователя, равномерное распределение в пене полипропиленовой фибры, дозировка фосфогипса в заранее подготовленную пену с фиброй, формование и твердение фибропеногипсовой смеси. В результате исследования получены образцы фибропеногипса плотностью 284 кг/м<sup>3</sup>. Прочность образцов на сжатие составила 0,6 МПа, а прочность при изгибе – 0,05 МПа. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов показало, что композитный материал на основе фосфогипса относится к I классу.

**Ключевые слова:** утилизация отходов химической промышленности, фосфогипс, фибропеногипс, прочность, активность радионуклидов.

**FIBER-REINFORCED LIGHTWEIGHT FOAMED COMPOSITE BASED ON PHOSPHOGYPSUM**

**A. A. Provotorov, Ye. V. Tararushkin**

**Provotorov Aleksey Aleksandrovich**, postgraduate student, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation; e-mail: prov40@mail.ru;

**Tararushkin Yevgeniy Viktorovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Buildings and Structures in Transport Department, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation; e-mail: evgeny.tararushkin@yandex.ru

The utilization of phosphogypsum in building materials presents a promising avenue for recycling high-volume industrial waste while providing a low-cost mineral binder. This study investigates the production of a lightweight, fiber-reinforced foam composite from phosphogypsum. Key procedural steps—including the generation of stable foam with a synthetic agent, uniform dispersion of polypropylene fiber, precise dosing of phosphogypsum, and subsequent molding and curing – are examined. The resulting composite exhibits a density of 284 kg/m<sup>3</sup>, with compressive and flexural strengths of 0,6 MPa and 0,05 MPa, respectively. Radiological assessment confirms that the specific effective activity of natural radionuclides classifies the material as Class I, confirming its safety for use in construction.

**Keywords:** waste disposal, phosphogypsum, fiber-reinforced foam gypsum, strength, radionuclide activity.

**Введение**

При производстве строительных материалов широко применяются различные виды природных соединений на основе сульфата кальция – ангидрит (CaSO<sub>4</sub>), бассанит (CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O) и гипс (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) [1–4]. Гипс является неотъемлемой составляющей портландцемента, а различные формы ангидрита и бассанита активно используются при производстве штукатурных смесей и гипсокартонных листов [1–5]. В то же время существует значительная экологическая проблема, связанная с накоплением огромных

объемов гипсосодержащих отходов (фосфогипса), являющихся побочным продуктом переработки фосфоритов в минеральные удобрения [6, 7]. Ежегодный объем образования фосфогипса (ФГ) в мире оценивается в 100–300 млн т [8]. Проблема его утилизации стоит достаточно остро, и одним из перспективных направлений является использование ФГ в строительной отрасли [9, 10]. Однако широкому применению фосфогипса препятствуют нестабильность химического и фазового состава, а также наличие примесей, в частности соединений фосфора [11–13].