



## О РАЗРАБОТКЕ И ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ НАУЧНОГО ПОДХОДА К ПРИМЕНЕНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Грачев А.Н., Леушин И.О., Манцеров С.А.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Постановка задачи (актуальность работы). Литейное производство отличается значительным потреблением ресурсов. Использование для его нужд дорогих материалов, преимущественно импортных, значительно повышает себестоимость отливок. Вместе с тем в литейных технологиях до сих пор мало востребованы промышленные отходы, составы которых позволяют им выступать недорогой альтернативой широко применяемым. Значительный объем работ на данную тематику не затрагивает вопросы разработки обобщенного порядка работы с отходами для нужд литейного производства. **Цель работы.** Создание научных принципов применения промышленных отходов в литейных технологиях и их практическая реализация для ряда примеров. **Используемые методы.** В ходе работы применялись методы общенаучного познания (наблюдение, сравнение, эксперимент, анализ, синтез, обобщение, формализация, аналогия, моделирование, гипотеза), математические операции над множествами, методики определения свойств отходов и изделий, полученных из них. **Результат.** Впервые разработан научный подход к применению промышленных отходов в литейных технологиях на основе системного анализа. **Практическая значимость.** Разработана база данных с примерами использования промышленных отходов в литейных технологиях и программы для ЭВМ («Выбор методик определения свойств отходов для применения в литейных технологиях», «Выбор направлений применения отходов в литейных технологиях»). Разработанный научный подход проверен на примерах использования в литейных технологиях: алюмошлака, шлама производства поливинилхлорида, абразивной пыли, боя керамических оболочек стального литья по выплавляемым моделям, шлама соляных закалочных ванн, шлама селитровых ванн, шлама закалочных баков, полупродукта переработки шламов селитровых ванн.

**Ключевые слова:** промышленные отходы, научный подход, утилизация, рециклинг, литейные технологии, система «промышленные отходы – литейные технологии», графическая модель, программы для ЭВМ, примеры реализации

© Грачев А.Н., Леушин И.О., Манцеров С.А., 2025

### Для цитирования

Грачев А.Н., Леушин И.О., Манцеров С.А. О разработке и практической реализации научного подхода к применению промышленных отходов в литейных технологиях // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №3. С. 69-78. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-69-78>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ON THE DEVELOPMENT AND PRACTICAL IMPLEMENTATION OF A SCIENTIFIC APPROACH TO THE USE OF INDUSTRIAL WASTE IN FOUNDRY TECHNOLOGIES

Grachev A.N., Leushin I.O., Mantserov S.A.

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract. Problem statement (relevance).** Foundry production is characterized by significant consumption of resources. The use of expensive materials for its needs, mainly imported, significantly increases the cost of castings. At the same time, industrial waste is still in little demand in foundry technologies, the compositions of which allow them to act as an inexpensive alternative to widely used ones. A significant amount of work on this topic does not affect the development of a generalized procedure for working with waste for the needs of foundry. **Objectives** are creating scientific principles for the use of industrial waste in foundry technologies and their practical implementation for a number of examples. **Methods Applied.** In the course of the work, methods of general scientific knowledge (observation, comparison, experiment, analysis, synthesis, generalization, formalization, analogy, modeling, hypothesis), mathematical operations on sets, methods for determining the properties of waste and products obtained from them were used. **Result.** For the first time, a scientific approach to the use of industrial waste in foundry technologies based on system analysis has been developed. **Practical Relevance.** A database with examples of the use of industrial waste in foundry technologies and computer programs (Selection of methods for determining the properties of waste for use in foundry technologies, Selection of directions for application of waste in foundry technologies) were developed. The developed scientific approach was tested using examples of use in foundry technologies: aluminum slag, sludge from the production of polyvinyl chloride, abrasive dust, breakage of ceramic casings of steel casting by molten models, sludge from salt quenching baths, sludge from nitrate baths, sludge from quenching tanks, intermediate product for processing sludge from nitrate baths.

**Keywords:** industrial waste, scientific approach, recycling, casting technologies, industrial waste – casting technologies system, graphic model, computer programs, implementation examples

### For citation

Grachev A.N., Leushin I.O., Mantserov S.A. On the Development and Practical Implementation of a Scientific Approach to the Use of Industrial Waste in Foundry Technologies. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 3, pp. 69-78. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-69-78>

### Введение

В настоящее время вопрос утилизации отходов производства продолжает оставаться актуальным в связи с тем, что подавляющее их большинство до сих пор вывозится на свалочные полигоны. Оплата услуг лицензированных организаций за вывоз отходов, штрафы за несанкционированное захоронение, расходы на расширение границ свалочных полигонов ежегодно составляют ощутимую часть бюджета промышленных предприятий. Другим немаловажным фактом является возможное содержание в захороняемых отходах полезных для повторного использования в различных отраслях промышленности компонентов.

Литейные технологии (ЛТ) как основу заготовительной базы машиностроения отличает значительное потребление ресурсов и, в частности, расходных материалов. Использование последних, преимущественно зарубежного производства, особенно в условиях параллельного импорта, значительно повышает стоимость отливки. В дешевых и функциональных материалах нуждаются процессы получения металли-

ческих расплавов, составы формовочных, стержневых и специальных смесей, покрытия различного назначения. Отметим, что составы некоторых промышленных отходов позволяют им выступать недорогой альтернативой широко применяемым в литейном производстве материалам, даже с учетом затрат на подготовку.

В начале работы был проведен информационно-аналитический обзор состояния вопроса, показавший актуальность выбранной темы. В частности, было отмечено ее соответствие концепциям охраны природы, ресурсосбережения и обращения с отходами, а также направлению «Внедрение наилучших доступных технологий» национального проекта «Экология». Помимо этого, в научных публикациях выявлен значительный интерес к ограничению образования техногенных отходов, разработке схем и способов получения из них вторичных материалов, рециклингу, утилизации. Особый интерес в трудах литейной тематики представляют подготовка к использованию и многочисленные примеры применения промышленных отходов в литейном производстве, организаци-

онные вопросы и пути их решения. Вместе с тем информационно-аналитический обзор выявил и основной недостаток работ по тематике применения отходов в литейном производстве в виде отсутствия системного подхода (классификаций, обобщенных схем, методик, порядка работы, рекомендаций, комплексных критериев и т.д.).

Публикации отечественных ученых ориентированы, прежде всего, на примеры использования конкретных отходов в литейном производстве [1–7] и их переработку [8].

В зарубежных публикациях тематике применения отходов литейного производства также уделяется большое внимание. В работе [9] описывается применение картирования технологических операций для сокращения отходов литейной промышленности. В статье [10] описывается управление отходами с позиции устойчивого развития и производства с нулевыми отходами, которое может поддерживаться рециркуляцией и многократным использованием отходов в другом процессе. Его целью является полная переработка отходов. В работе [11] говорится о необходимости перестройки литейной промышленности для максимального предотвращения загрязнений.

### Материалы и методы исследования

В ходе выполнения информационно-аналитического обзора отмечено, что единый научный подход к выбору и применению промышленных отходов в ЛТ практически отсутствует, а в каждом конкретном примере задачи литейного производства были решены на основе глубоких теоретических знаний, практического опыта и научной интуиции исследователей.

В период проведения информационного поиска была сформирована база данных по примерам использования промышленных отходов в ЛТ. Ее использование позволяет экономить время на проведение литературного обзора при выполнении прикладных работ аналогичной тематики, а также избежать нежелательного плагиата при поиске новых технологических решений.

По причине многообразия промышленных отходов и отсутствия оригинальных методик исследования их свойств следующим этапом разрабатываемой научной темы стала формулировка рекомендаций по выбору методологической базы. В частности, для решения данной задачи рассмотрена применимость общенаучных методов, а также приведена попытка рекомендовать выбор конкретных методик на основе агрегатного состояния, принципах преобладания определенного элемента или соединения, функциональной принадлежности при использовании в ЛТ. В результате была разработана программа для ЭВМ «Выбор методик определения свойств отходов для применения в литейных технологиях».

В работе были сформулированы предпосылки для разработки новых авторских методик исследования

свойств отходов: достаточно большой объем; стабильный, качественный и узкоинтервальный количественный состав; материал не может быть соотнесен с известными, на определение свойств которых имеются стандартные методики; технологический процесс, дающий образование отходов, относительно стабилен, задействует одинаковые режимы и неизменный перечень сырья и расходных материалов.

Далее в ходе выполнения работы был рассмотрен объект «промышленные отходы – ЛТ». Отмечено, что с точки зрения процесса применения промышленных отходов в литейном производстве он является системой: открытой (по степени связи с внешней средой); искусственной (по происхождению); экономической (по виду отражаемого объекта); динамической (по отношению к движению); сложной; стохастической (по разворачиванию во времени последовательности реакции на внешние воздействия); целенаправленной (по наличию внутренних целей); технологической; большой (по размерности и множеству состояний).

Дальнейшая работа с системой «промышленные отходы – ЛТ» заключалась в моделировании, являющемся одним из наиболее распространенных способов их изучения [12]. Одной из разновидностей моделей являются графические, к которым относятся, в частности, блок-схемы. В рамках исследования разработана графическая модель системы «промышленные отходы – литейные технологии» (рис. 1).

На рис. 1: 1 – блок промышленных отходов; 1-1 – название и состояние отхода (1-1 – шлак; 1-2 – эмульсия, суспензия, пульпа, шлам; 1-3 – листы, куски, стружка, лом; 1-4 – пыль, щебень, гранулы); 1-5 и 1-6 – качественный и количественный анализы состава отхода соответственно; 1-7 – отнесение отхода к классу опасности (К.О.) для окружающей среды (по N89-ФЗ); 1-8 – выбор средств индивидуальной защиты при работе с отходом; 1-9 – условие «отход относится к витаопасному и экоопасному по ГОСТ 30772-2001, а также к I-му и II-му К.О.» (по N89-ФЗ); 1-10 – определение вредных веществ (В.В.) из перечня ГН 2.2.5.352-18, содержащихся в отходе и их К.О. по ГОСТ 12.1.007-76; 1-11 – условие «в отходе содержатся полезные для ЛТ компоненты» с учетом 2-4; 1-12 – условие «в отходе содержатся В.В. 1-го и 2-го К.О., не применяемые в ЛТ»; 1-13 – оценка показателей веществ, содержащихся в отходе, по ГОСТ 12.1.007-76; 1-14 условие «вещества в отходе обеспечивают допустимые значения показателей по ГОСТ 12.1.007-76»; 1-15 – разработка мероприятий по снижению содержания в отходе веществ, обеспечивающих недопустимые значения показателей 1-13; 1-16 – условие «мероприятия 1-15 осуществимы»; 1-17 – оценка затрат на реализацию мероприятий 1-15; 1-18 – условие «мероприятия 1-15 экономически эффективны»; 1-19 – реализация мероприятий 1-15; 1-20 – вывод о принципиальной возможности использования отхода в ЛТ; 1-21 – выявление функциональной принадлежности полезных компонентов отхода для ЛТ и формирование их предварительного перечня;

Fig. 1. Graphic model of the industrial waste – casting technologies system – block diagram of the use of industrial waste in casting technologies

возможных физико-химических процессов при использовании отхода в ЛТ; 1-26 – разработка механизма работы отхода в выбранной ЛТ с учетом 1-24 и 1-25; 1-27 – условие «применение отхода не требует подготовки»; 1-28 – разработка мероприятий по под-



готовке отхода для использования в ЛТ; 1-29 – оценка затрат на реализацию ЛТ с использованием материалов, полученных из отхода 1-29 = (2-10 + 2-20); 1-30 – условие «затраты на реализацию ЛТ с применением отхода меньше, чем с традиционными материалами»; 1-31 – уточненный выбор ЛТ на основе анализа мероприятий по подготовке отхода; 1-32 – уточнение количественного вещественного состава отхода после подготовки к использованию в ЛТ; 1-33 – (1-33 + n) (где 1, 2, n – компоненты) – последовательная проверка наличия в готовом к использованию отходе компонентов в количествах, эффективных для ЛТ; 1-34 – 1-36 – выбор объектов исследования (1-34 – металлургические расплавы, 1-35 – смеси, 1-36 – покрытия) для применения подготовленного отхода; 1-37 – блок лабораторных испытаний материалов и/или изделий для ЛТ, полученных из отхода и опытных отливок; 1-38 – условие «результат достигнут»; 1-39 – корректировка ЛТ; 1-40 – промышленное опробование; 1-41 – определение содержания В.В. в воздухе рабочей зоны цеха; 1-42 – условие «содержание В.В. в воздухе рабочей зоны не превышает ПДК»; 1-43 – разработка рекомендована к внедрению; 1-44 – разработка мероприятий по снижению содержания В.В. в воздухе рабочей зоны до ПДК; 1-45 – условие «мероприятия 1-44 осуществимы»; 1-46 – оценка затрат на реализацию мероприятий 1-44; 1-47 – условие «реализация мероприятий 1-44 экономически эффективна»; 2 – блок ЛТ; 2-1 – существующие ЛТ; 2-2 – состояние базы предприятия-потребителя для реализации ЛТ; 2-3 – перечень оборудования для реализации ЛТ; 2-4 – перечни материалов для ЛТ и их состояние перед применением; 2-5 – перечень имеющегося на предприятии оборудования; 2-6 – применяемые в условиях производства материалы для ЛТ; 2-7 – условие «оборудование для реализации ЛТ имеется на производстве»; 2-8 – оценка стоимости приобретения оборудования; 2-9 – условие «затраты на приобретение оборудования и срок окупаемости приемлемы для предприятия»; 2-10 – оценка расходов на содержание и эксплуатацию оборудования; 2-11 – условие «затраты на содержание и эксплуатацию оборудования приемлемы»; 2-12 – решение о необходимости освоения ЛТ на предприятии с позиции обеспечения оборудованием; 2-13 – условие «имеющееся оборудование встраивается в процесс осваиваемой ЛТ»; 2-14 – расчет затрат на ввод имеющегося оборудования в технологический процесс осваиваемой ЛТ; 2-15 – решение о приобретении нового оборудования; 2-16 – условие «затраты 2-14 приемлемы для предприятия»; 2-17 – условие «предприятие применяет материалы, используемые в ЛТ»; 2-18 – решение о необходимости увеличения количества закупаемых материалов для освоения ЛТ; 2-19 – оценка затрат на традиционные материалы для реализации ЛТ; 2-20 – оценка затрат на материалы из отхода для реализации ЛТ; 2-21 – условие «затраты на реализацию ЛТ с применением

отхода меньше, чем с традиционными материалами»; 2-22 – решение о необходимости освоения ЛТ с применением отхода с точки зрения обеспеченности материалами; 2-23 – положительное решение об освоении ЛТ с применением отхода; 2-24 – выбор ЛТ для реализации на производстве.

В приведенном пояснении к **рис. 1** описание блоков ориентировано на порядок действий при движении:

– 1 – «от промышленного отхода», то есть когда поставлена задача использовать вполне конкретный отход для нужд литейного производства без привязки к какому-либо предприятию;

– 2 – «от литейной технологии», то есть когда поставлена задача на конкретном предприятии при реализации ЛТ для удешевления процесса производства литых заготовок использовать в качестве исходных материалов отходы или полученные из них продукты или вторичные материалы.

Приведенная схема, несмотря на громоздкость, с высокой долей вероятности может считаться универсальной, так как охватывает практически все возможные случаи оценки применения промышленных отходов в ЛТ с исключением витаопасных и экоопасных по ГОСТ 30772-2001. При этом возможны как положительные, так и отрицательные результаты.

На **рис. 2** представлен упрощенный вид графической модели «промышленные отходы – ЛТ», составленный из укрупненных элементов.

Соотношения элементов полного и упрощенного видов блок-схемы применения промышленных отходов в ЛТ приведены в **таблице**.

Следует отметить, что при оценке возможности применения промышленных отходов в литейном производстве данная блок-схема может быть использована частично в виде сочетаний отдельных блоков.

Это зависит от условий проведения работ и организационно-технической возможности их реализации на отдельных позициях блок-схемы.

Для оценки возможности применения промышленных отходов в ЛТ сформулированы и систематизированы известные требования к традиционно используемым для этих целей материалам.

Общие требования к материалам, используемым в ЛТ: 1) минимальная токсичность; 2) отсутствие или содержание влаги в технологически допустимых пределах; 3) минимальная гигроскопичность; 4) соответствие химического состава к применяемой ЛТ; 5) стабильность и однородность химического состава; 6) отсутствие или минимальное количество вредных примесей и нежелательных веществ; 7) отсутствие или содержание в технологически допустимых пределах посторонних включений; 8) отсутствие или содержание в технологически обоснованных и допустимых пределах органических веществ; 9) необходимый технически и технологически обоснованный размер частиц материалов.

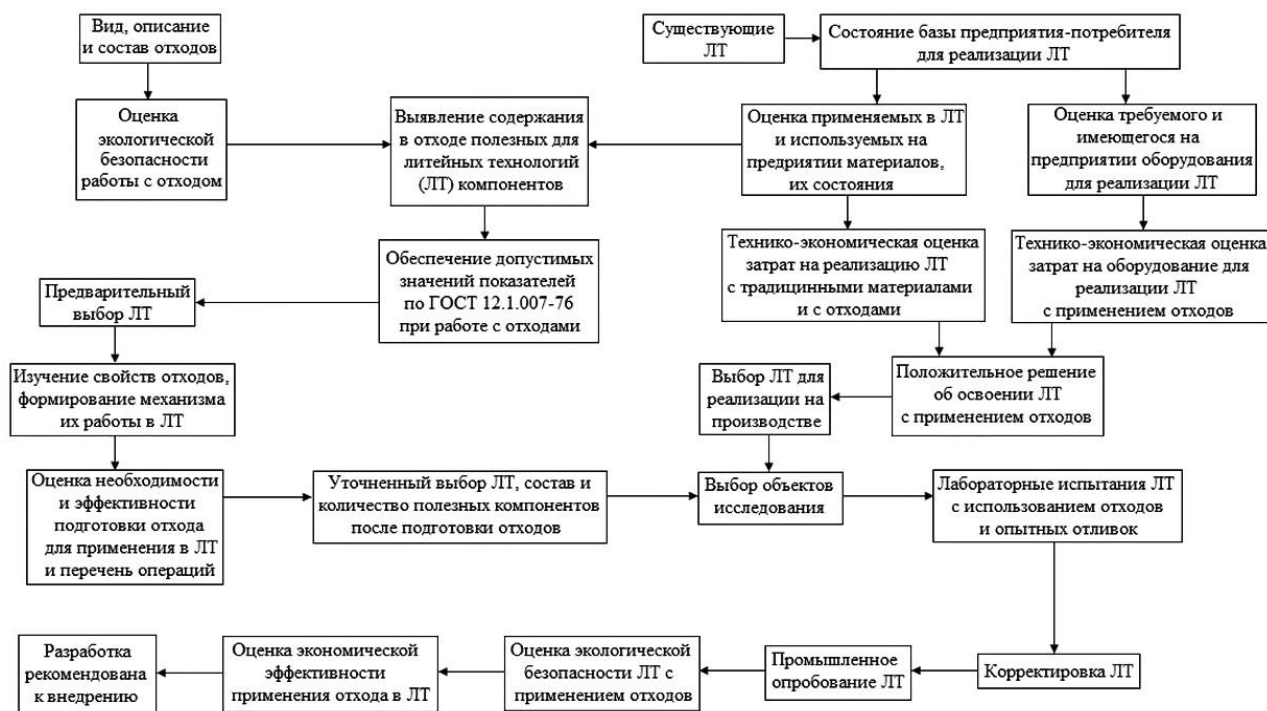


Рис. 2. Упрощенный вид блок-схемы применения промышленных отходов в литейных технологиях  
Fig. 2. Simplified block diagram of industrial waste application in casting technologies

Таблица. Соотношения элементов на видах блок-схемы применения промышленных отходов в литейных технологиях

Table. Ratios of elements in the types of block diagram of the use of industrial waste in casting technologies

Элемент рис. 1	Элемент рис. 2
1-1 – 1-6	Вид, описание и состав отходов
1-7 – 1-10, 1-12	Оценка экологической безопасности работы с отходами
1-11	Выявление содержания в отходе полезных для ЛТ компонентов
1-13 – 1-19	Обеспечение допустимых значений показателей по ГОСТ 12.1.007-76 при работе с отходами
1-20 – 1-22	Предварительный выбор ЛТ
1-23 – 1-26	Изучение свойств отходов, формирование механизма их работы в ЛТ
1-27 – 1-30	Оценка необходимости и эффективности подготовки отхода для применения в ЛТ и перечень операций
1-31 – 1-33	Уточненный выбор ЛТ, состав и количество полезных компонентов после подготовки отходов
1-34 – 1-36	Выбор объектов исследования
1-37	Лабораторные испытания ЛТ с использованием отходов и опытных отливок
1-38 – 1-39	Корректировка ЛТ
1-40	Промышленное опробование ЛТ
1-41 – 1-42, 1-44 – 1-45	Оценка экологической безопасности ЛТ с применением отходов
1-43	Разработка рекомендаций к внедрению
1-46 – 1-47	Оценка экономической эффективности применения отхода в ЛТ
2-1	Существующие ЛТ
2-2	Состояние базы предприятия-потребителя для реализации ЛТ
2-3, 2-5, 2-7	Оценка требуемого и имеющегося на предприятии оборудования для реализации ЛТ
2-4, 2-6	Оценка применяемых в ЛТ и используемых на предприятии материалов, их состояния
2-8 – 2-16	Технико-экономическая оценка затрат на оборудование для реализации ЛТ с применением отходов
2-17 – 2-22	Технико-экономическая оценка затрат на реализацию ЛТ с традиционными материалами и с отходами
2-23	Положительное решение об освоении ЛТ с применением отхода
2-24	Выбор ЛТ для реализации на производстве

Так как основные направления потребления материалов в литейном производстве связаны с подготовкой металлического расплава и литейной формы, то специальные требования были сформулированы

для материалов, применяемых в них: для металлических шихтовых материалов, для карбюризаторов, для модификаторов-инокуляторов, для модификаторов – поверхностно-активных веществ, для флюсов, для

наполнителей формовочных и стержневых смесей, для связующих, для добавок (к растворителям, клеям, разделительным покрытиям, замазкам), к теплоизоляционным материалам и смесям, экзотермическим смесям, смесям с высокой теплопроводностью, к внешним и внутренним холодильникам.

Приведенные требования к материалам, применяемым в литейном производстве, используются в разработанном научном подходе для сравнения с аналогичными характеристиками исследуемых промышленных отходов. Их совпадение в первом приближении позволяет наметить возможность применения отходов взамен традиционно используемых материалов с известными механизмами работы. Несовпадение требований к материалам и характеристик отходов не означает, что отход не может быть использован, так как возможно, что следование блок-схеме позволит выявить особый, отличный от известных механизм работы.

Для того чтобы в начале выполнения подобных работ избежать лишних затрат на изучение, исследования и испытания, были сформулированы рекомендуемые критерии выбора отходов для ЛТ, в которых помимо реализованных в блок-схеме (см. **рис. 2**) отмечены: стабильность состава; происхождение и химическая активность; приборное и инструментальное сопровождение; удобство подготовки. Все критерии сопровождаются пояснениями и соотнесены с позициями блок-схемы на **рис. 2**.

Особое внимание в работе уделено изучению состава отходов для применения в ЛТ, предусматривающему поэлементный, покомпонентный и минералогический анализ в случаях: 1) поставки с предприятия-изготовителя сразу же после образования; 2) поставки со свалочных полигонов («лежалых отходов»); 3) после подготовки к использованию; 4) в процессе использования; 5) после использования (если эффект от применения отходов сохранился или получил дальнейшее развитие).

При получении отходов с предприятия-изготовителя следует уточнить состояние поставки (свежеобразованные или «лежалые»), так как они могут иметь разный состав и, следовательно, свойства. В случае работы с «лежалыми» отходами следует руководствоваться картами захоронений с указанием состава свалочных полигонов по площади и глубине. Обычно они составляются по предписанию служб экологического надзора, а также при поиске перспективных направлений использования отходов.

При захоронении на открытом воздухе отходы подвергаются выветриванию. Отходы испытывают физическое, химическое, биогенное и радиационное разрушения. При этом возможность протекания химических реакций в каждом конкретном случае следует оценивать методами термодинамики. В случаях 3–5 возможно образование дополнительных веществ. Образованные вещества для ЛТ могут: стать основой механизма работы отхода; усилить заложенный ис-

ходным составом отходов результат; оказать дополнительное положительное действие. При этом если после использования (случай 5) материал сохранил положительные качества для ЛТ, то цепочка 3–5 может быть зациклена до тех пор, пока применение отхода не перестанет быть экономически обоснованным.

Поэлементный анализ можно использовать для выявления перспективного для ЛТ элемента.

Покомпонентный анализ рассматривается, если «полезный» для ЛТ элемент отходов: 1) не встречается в свободном виде в природе и технике; 2) не может быть введен в чистом виде в силу высокой химической активности, более высокой температуры плавления, чем основной элемент обрабатываемого расплава и низкой скорости растворения в обрабатываемом расплаве; 3) в соединении обеспечивает больший комплексный эффект в ЛТ. В рамках покомпонентного анализа предполагается рассматривать наличие в отходах химических соединений простых и сложных, органических и неорганических, простых минералов и их механических смесей, в том числе стехиометрического состава.

Минералогический анализ состава отходов следует выделять при наличии особых условий их образования: высокие значения температуры, давления; специальные среды – окислительная, восстановительная, вакуум. В этом случае знание соотношений компонентов в отходах помогает предположительно выявить формулы минералов и в первом приближении оценить их свойства. Это важно, так как свойства минералов отличаются от свойств механической смеси их компонентов. Определить конкретные виды минералов позволяют морфологический анализ отходов с помощью микроскопии, текстурно-структурный, рентгенофазовый и рентгеноструктурный методы.

Важной составляющей блок-схемы применения промышленных отходов в ЛТ является изучение перечня применяемых в них материалов. Это соответствует позиции 2–4. В рамках проведенного анализа была систематизирована и представлена информация о материалах, используемых в ЛТ по элементам, соединениям и минералам. Соотнесение этой информации с данными по составу отходов (поэлементному, покомпонентному, минералогическому) позволяет выбрать полезные с точки зрения применения в ЛТ компоненты. Эта процедура была реализована в виде разработанной программы для ЭВМ «Выбор направлений применения отходов в литейных технологиях». Основой для разработки программы стали понятия математических множеств и операций над ними, в частности разности и пересечения. Данный подход может быть расширен для решения аналогичной задачи, но с учетом, например, технических, технологических и экономических ограничений. В работе также показаны схемы работы с множествами для таких вариантов.

### Полученные результаты и их обсуждение

Практическая часть работы была посвящена реализации разработанного научного подхода к применению промышленных отходов в ЛТ.

Для проверки работоспособности блок-схемы (см. **рис. 1**) были использованы отходы: алюмошлак (код по федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) 3 55 220 01 29 4 – «Шлак печей переплава алюминиевого производства»), шлак производства поливинилхлорида (ПВХ) (код ФККО 2 32 210 02 39 5 – «Глинисто-солевые шламы»), абразивная пыль (код ФККО 3 61 221 02 42 4 – «Пыль (порошок) абразивные от шлифования черных металлов с содержанием металла менее 50%»), бой керамических оболочек стального литья по выплавляемым моделям (код ФККО 3 57 150 02 29 4 – «Керамические формы от литья черных металлов отработанные»), шлак соляных закалочных ванн (код ФККО 3 61 051 15 20 3 – «Отходы расплава хлоридов бария, калия и натрия закалочных ванн при термической обработке металлических поверхностей»), шлак селитровых ванн (код 3 61 051 32 20 4 – «Отходы расплава нитратов натрия и калия закалочных ванн при термической обработке металлических поверхностей»), шлак закалочных баков (код 3 61 058 12 39 3 «Отходы зачистки масляных закалочных ванн при термической обработке металлических поверхностей»), полупродукт переработки шламов селитровых ванн (Код 3 61 051 32 20 4 – «Отходы расплава нитратов натрия и калия закалочных ванн при термической обработке металлических поверхностей»). Эти отходы были выбраны по реальным запросам промышленных предприятий на их утилизацию, рециклинг или применение в собственном литейном производстве.

Разработаны технологические решения к применению выбранных отходов в ЛТ:

- алюмошлак – наполнитель противопожарных покрытий литейных форм и стержней для стального и чугунного литья;

- шлак производства ПВХ – формовочный материал и наполнитель зернистых фильтров для обработки алюминиевых расплавов;

- абразивная пыль – модифицирующая добавка в составе оболочковых форм стального ЛВМ;

- бой керамических оболочек стального ЛВМ – обсыпочный материал для ЛВМ, материал зернистых и пенокерамических фильтров для обработки алюминиевых расплавов;

- шлак соляных закалочных ванн – наполнитель зернистых и сетчатых фильтров для обработки алюминиевых расплавов;

- шлак селитровых ванн – технологическая добавка, ускоряющая воспламенение экзотермических смесей;

- шлак закалочных баков – окислитель в составах экзотермических смесей;

- полупродукт переработки шламов селитровых ванн – кислородсодержащее вещество при изготовлении оболочковых форм по технологии стального ЛВМ.

К числу основных публикаций по теме работы можно отнести [13–16].

По причине того, что материалы для ЛТ, полученные из отходов, практически не используются в литейном производстве, в том числе из-за отсутствия четких представлений об этапах и затратах на их подготовку, в работе приведена подробная оценка экономической эффективности по сравнению с традиционно применяемыми для этих нужд расходными материалами. В результате было получено, что применение промышленных отходов в ЛТ во всех случаях имеет положительный экономический эффект.

Экологическая оценка предложенных технических решений базировалась на методике расчета выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов. Для этого с точки зрения экологической безопасности были рассмотрены компоненты, входящие в составы выбранных отходов. Далее были определены концентрации вредных веществ при работе с отходами. Выявлено, что наибольшую опасность для здоровья человека могут представлять операции, связанные с их перемешкой. В рамках проведенных исследований рассматривался максимальный разовый выброс (г/с). В результате получено, что значения концентраций вредных веществ, содержащихся в отходах, оказались значительно ниже предельно допустимых. Следует отметить, что при работе с отходами дополнительных мероприятий, кроме уже реализуемых в литейных цехах (специальная обувь и одежда, средства защиты органов дыхания, рук, лица, глаз, соблюдение мер личной гигиены, приточно-вытяжная вентиляция помещений, местные отсосы или укрытия с вытяжной вентиляцией в местах наибольшего пыления) не требуется.

В рамках практической реализации разработанного научного подхода также проведены лабораторные и промышленные испытания отходов, по результатам которых получены восемь патентов РФ на изобретения, пять актов опробования, два свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

### Заключение

Разработан и реализован на практике научный подход к применению промышленных отходов в ЛТ, основанный на результатах системного анализа и включающий: анализ их составов и свойств, теоретическую и экспериментальную оценку применимости, термодинамический анализ возможных физико-химических процессов, выявление механизмов работы, оценку необходимости и разработку схем подготовительных операций, информацию об используемых в литейном производстве материалах, оценку экономической целесообразности, экологической



безопасности, технологичности, результаты лабораторных и промышленных испытаний.

Разработана база данных примеров использования промышленных отходов в ЛТ, а также алгоритмы и программы для ЭВМ: «Выбор методик определения свойств отходов для применения в литейных технологиях», «Выбор направлений применения отходов в литейных технологиях». Разработаны технологические решения к применению выбранных отходов в ЛТ. По результатам проведенных оценок показаны экологическая безопасность и экономическая эффективность разработанных технических решений с применением промышленных отходов в ЛТ.

#### Список источников

1. Исследование возможности использования графитсодержащих шлаков в составах противопопригарных покрытий / Т.Р. Гильманшина, И.Е. Илларионов, С.А. Худонов, А.А. Ковалева, Е.В. Будник // *Литейщик России*. 2022. №5. С. 28–30.
2. Кидалов Н.А., Григорьева Н.В. Влияние отходов контактной очистки масел на структуру пленки водного силиката натрия на поверхности огнеупорного хромитового наполнителя // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2021. №6(253). С. 83–87.
3. Исследование влияния отходов производства комбикормов из зерновых культур на технологические свойства песчано-жидкостекольных смесей / Н.А. Кидалов, Н.В. Белова, А.А. Белов, Д.С. Суриков, С.Р. Поляк // *Известия ВолгГТУ. Сер. Металлургия*. 2024. № 7 (290). С. 51–55.
4. Исследование влияния отработанной кофейной гущи на формирование свойств песчано-жидкостекольных смесей / Н.А. Кидалов, А.А. Белов, Н.В. Белова, С.Р. Поляк, А.И. Дибров // *Литейное производство*. 2024. № 8. С. 15–19.
5. Оптимизация состава самовысыхающей противопопригарной краски на основе отработанного алюмохромового катализатора / Н.А. Феоктистов, К.Г. Пивоварова, Т.Б. Понамарева, В.П. Чернов, Б.А. Кулаков, В.К. Дубровин // *Теория и технология металлургического производства*. 2023. №3 (46). С. 25–29.
6. Разработка процесса модифицирования литейных сталей мелкодисперсными отходами машиностроения / Н.А. Кидалов, Д.Ю. Гребнев, Н.И. Габельченко, Ю.В. Гребнев // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2024. Т. 22. №2. С. 56–58.
7. Сафронов Н.Н., Харисов Л.Р., Афлятонов Д.Р. Технология и аппаратное оформление переплава чугуна стружки электрошлаковым процессом // *Черные металлы*. 2023. №1. С. 32–37.
8. Рязанов С.А., Никитин К.В., Соколов А.В. О комплексной переработке алюминиевых солевых шлаков // *Металлургия машиностроения*. 2013. №5. С. 48–52.
9. Pude G.C., Naik G.R., Naik P.G. Application Of Process Activity Mapping For Waste Reduction A Case Study In Foundry Industry // *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 2012, vol. 2, iss. 5, pp. 3482–3496.
10. Mounika M.P., Pardhiv G. Total industrial waste management by advanced techniques // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017, vol. 4, iss. 10, pp. 205–213.
11. Trombly J. Recasting a dirty industry. The U.S. foundry industry is about to be reinvented to maximize pollution prevention // *Environ. Sci. Technol.* 1995, vol. 29, iss. 2, pp. 76A–78A.
12. Введение в системный анализ теплофизических процессов в металлургии: учебное пособие для вузов / Н.А. Спирин, В.С. Швыдкий, В.И. Лобанов, В.В. Лавров. Екатеринбург: УГТУ, 1999. 205 с.
13. Применение промышленных отходов в литейно-металлургических технологиях. Опыт кафедры металлургических технологий и оборудования / А.Н. Грачев, И.О. Леушин, В.А. Коровин, Л.И. Леушина // *Черные металлы*. 2024. №1. С. 73–78.
14. Обработка алюминиевых расплавов с использованием сетчатых фильтров, пропитанных шламом соляных закалочных ванн / А.Н. Грачев, И.О. Леушин, В.Б. Деев, О.С. Кошелев // *Цветные металлы*. 2018. №8. С. 85–90.
15. Грачев А.Н., Леушин И.О., Леушина Л.И. Разработка составов экзотермических смесей для стального и чугуна с применением отходов термического производства // *Черные металлы*. 2018. №2. С. 39–43.
16. Применение шлама соляных закалочных ванн для рафинирования алюминиевых сплавов / А.Н. Грачев, И.О. Леушин, К.А. Маслов, Л.И. Леушина // *Цветные металлы*. 2015. №11. С. 76–79.

#### References

1. Gilmanshina T.R., Illarionov I.E., Hudonogov S.A., Kovaleva A.A., Budnik E.V. Studying the possibility of using graphite-containing slags in the compositions of non-stick coatings. *Liteyshchik Rossii* [Russian Foundrymen], 2022;(5):28-30. (In Russ.)
2. Kidalov N.A., Grigoreva N.V. The effect of waste from contact oil purification on the film structure of aqueous sodium silicate on the surface of refractory chromite filler. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of the Volgograd State Technical University], 2021;(6(253)):83-87. (In Russ.)
3. Kidalov N.A., Belova N.V., Belov A.A., Surikov D.S., Polyak S.R. Investigation of the effect of waste from the production of compound feeds from grain crops on the technological properties of sand-liquid-glass mixtures. *Izvestiya VolgGTU. Ser. Metallurgiya* [Proceedings of VolgSTU. Metallurgy series], 2024;(7(290)):51-55. (In Russ.)
4. Kidalov N.A., Belov A.A., Belova N.V., Polyak S.R., Dibrov A.I. Investigation of the effect of used coffee grounds on the formation of the properties of sand-liquid glass mixtures. *Liteynoe proizvodstvo* [Foundry], 2024;(8):15-19. (In Russ.)
5. Feoktistov N.A., Pivovarova K.G., Ponomareva T.B., Chernov V.P., Kulakov B.A., Dubrovin V.K. Optimization of the composition of self-drying non-stick paint based on used alumochrome catalyst. *Teoriya i tekhnologiya metallurgicheskogo proizvodstva* [Theory and technology of metallurgical production], 2023;(3(46)):25-29. (In Russ.)
6. Kidalov N.A., Grebnev D.Yu., Gabelchenko N.I., Grebnev Yu.V. Development of a process for modifying foundry

- steels with finely dispersed mechanical engineering waste. *Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii* [Procurement production in mechanical engineering], 2024;22(2):56-58. (In Russ.)
7. Safronov N.N., Kharisov L.R., Aflyatonov D.R. Technology and hardware design of remelting of cast iron chips by electros slag process. *Chernye metally* [Ferrous metals], 2023;(1):32-37. (In Russ.)
  8. Ryazanov S.A., Nikitin K.V., Sokolov A.V. About complex processing of aluminum salt slags. *Metallurgiya mashinostroeniya* [Metallurgy of mechanical engineering], 2013;(5):48-52. (In Russ.)
  9. Pude G.C., Naik G.R., Naik P.G. Application Of Process Activity Mapping For Waste Reduction A Case Study In Foundry Industry. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*. 2012;2(5):3482-3496.
  10. Mounika M.P., Pardhiv G. Total industrial waste management by advanced techniques. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017;4(10):205-213.
  11. Trombly J. Recasting a dirty industry. The U.S. foundry industry is about to be reinvented to maximize pollution prevention. *Environ. Sci. Technol.* 1995;29(2):76A-78A.
  12. Spirin N.A., Shvydkiy V.S., Lobanov V.I., Lavrov V.V. *Vvedenie v sistemnyy analiz teplofizicheskikh processov v metallurgii: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Introduction to the system analysis of thermophysical processes in metallurgy: a textbook for universities]. Yekaterinburg: UGTU, 1999, 205 p. (In Russ.)
  13. Grachev A.N., Leushin I.O., Korovin V.A., Leushina L.I. The use of industrial waste in foundry and metallurgical technologies. Experience of the Department of Metallurgical Technologies and Equipment. *Chernye metally* [Ferrous metals], 2024;(1):73-78. (In Russ.)
  14. Grachev A.N., Leushin I.O., Deev V.B., Koshelev O.S. Processing of aluminum melts using mesh filters impregnated with sludge from salt hardening baths. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals], 2018;(8):85-90. (In Russ.)
  15. Grachev A.N., Leushin I.O., Leushina L.I. Development of compositions of exothermic mixtures for steel and cast iron casting using thermal production waste. *Chernye metally* [Ferrous metals], 2018;(2):39-43. (In Russ.)
  16. Grachev A.N., Leushin I.O., Maslov K.A., Leushina L.I. The use of sludge from salt hardening baths for aluminum alloys refining. *Tsvetnye metally* [Non-ferrous metals], 2015;(11):76-79. (In Russ.)

Поступила 20.01.2025; принята к публикации 01.04.2025; опубликована 30.09.2025  
Submitted 20/01/2025; revised 01/04/2025; published 30/09/2025

**Грачев Александр Николаевич** – кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Металлургические технологии и оборудование»,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.  
Email: alexgra76@mail.ru. ORCID 0000-0002-2428-5990

**Леушин Игорь Олегович** – доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Металлургические технологии и оборудование»,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.  
Email: igoleu@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7284-7989

**Манцеров Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент,  
директор Образовательно-научного института промышленных технологий машиностроения,  
заведующий кафедрой «Автоматизация машиностроения»,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.  
Email: mca\_9@nntu.ru. ORCID 0000-0001-8458-8259

**Aleksandr N. Grachev** – PhD (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of Department of Metallurgical Technologies and Equipment,  
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.  
Email: alexgra76@mail.ru. ORCID 0000-0002-2428-5990

**Igor O. Leushin** – DrSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Metallurgical Technologies and Equipment,  
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.  
Email: igoleu@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7284-7989

**Sergei A. Mantserov** – PhD (Eng.), Associate Professor, Director of the Educational and Scientific Institute  
of Industrial Engineering Technologies, Head of the Department of Automation of Mechanical Engineering,  
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.  
Email: mca\_9@nntu.ru. ORCID 0000-0001-8458-8259