

УДК 666.9: [658.567.1:622.7]

В.Ф. Панова, С.А. Панов, А.А. Карпачева, О.Д. Прохоренко**Сибирский государственный индустриальный университет****ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ РУДЫ**

Отходы обогащения железных руд образуются при мокрой магнитной сепарации (ММС) и сухой магнитной сепарации (СМС) предварительно измельченных горных пород. Магнитная часть руды поступает на агломерацию и далее используется в металлургической промышленности, минеральная часть гидротранспортом подается в отвалы, которые окружены дамбой. Из отвала вода дренирует в сооруженный вокруг него канал. Водная суспензия, находящаяся в канале, называется шламистой частью. В отвале после высыхания отходы (хвосты) имеют мелкозернистый состав. Обезвоженные хвосты представляют собой мелкий песок с модулем крупности 0,64 – 1,7. Наличие илистых глинистых примесей составляет 5 – 8 % (определены по методу Б.И. Рудковского) [1].

Результаты исследования показали, что рудные хвосты содержат как кислотные оксиды (SiO_2 , Al_2O_3), так и основные (CaO , MgO), а также примеси (см. табл. 1). В целом отходы обогащения железных руд относятся к группе «кислых», модуль основности $M_o = 0,34$.

Хвостохранилище Абагурской обогатительной фабрики занимает большие площади (около 35 га), в нем накоплено более 50 млн. м^3 отходов, что пагубно влияет на экологию города Новокузнецка. Хранение хвостов обходится дорого. Расходы по содержанию отвалов в процентном соотношении распределяются следующим образом: заработная плата обслуживающего персонала составляет 6,3 %; эксплуатационные расходы – 1,6 %; затраты на электроэнергию – 82,1 %; на текущий ремонт – 5,5 %; прочие расходы – 5,5 % [2].

Минералогический состав и идентификацию железосодержащих и глинистых составляющих хвостов определяли рентгеноструктурным и термогравиметрическим анализами (рис. 1). Пробы, полученные измельчением в фарфоровой ступке путем раздавливания пестиком, просеивались через сито № 008. Исследование составляющих техногенной породы осуществлялось по разработанной и проверенной методикам [3]. Для уточнения вида железистого минерала, содержащегося в продукте, пробы обрабатывали теплым раствором $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в течение 30 мин с последующим фильтрованием, промывкой 0,5Н раствором соляной кислоты и дистиллированной водой. Минерал типа $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ в этом случае разрушается, характерный дифракционный максимум, соответствующий $2,7\text{\AA}$, исчезает. Оставшаяся часть пика, характерная для исследуемых отходов (16 %), отнесена к гидроследу (рис. 1, кривая 8). Такой вид обработки позволил определить в материале минерал $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ [4, 5].

Обработка глицерином пробы проводилась для подтверждения присутствия набухающих минералов (монтмориллонита, нонтронита, хлорида набухающего). В исследуемом материале набухающие минералы отсутствуют (рис. 1, кривая 3). Характерные пики для них: $16\text{\AA}$ и $17,8 - 18\text{\AA}$ после обработки глицерином. Смешанослоистые минералы представлены каолинитом и хлоридом. Установлено наличие вермикулита, а также карбонатных включений, что подтверждено характерными пиками $3,01 - 2,87\text{\AA}$.

Т а б л и ц а 1

Химический состав рудных хвостов

Наименование пробы	Содержание, %, на сухое вещество										
	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	SO_3	K_2O	MnO	TiO_2	ППП
Общая часть	38,2	12,6	5,80	9,7	8,0	11,0	2,80	2,17	0,45	0,28	7,56
Шламистая часть	33,5	16,5	11,84	7,8	—	13,9	1,47	4,80	0,44	0,40	10,40

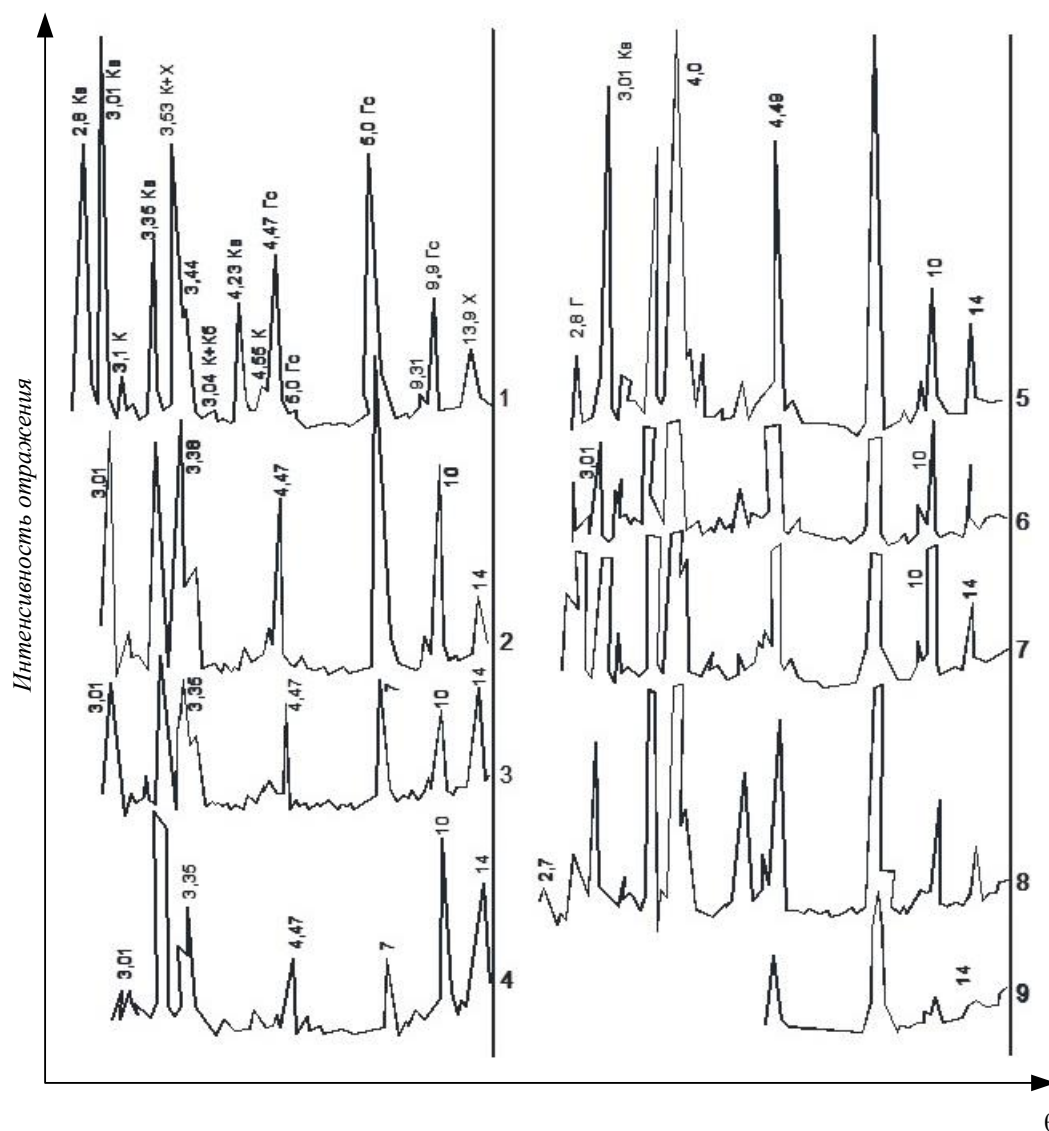


Рис. 1. Дифрактограммы отходов обогащения железной руды:

1 – необработанная проба; обработанные: 2 – 350 °С; 3 – 550 °С; 4 – 700 °С; 5 – HCl, 30 мин; 6 – HCl, 2 ч; 7 – NH₄Cl; 8 – NaHSO₄·H₂O; 9 – глицерином. Условные обозначения: Кв – кварц; ПШ – полевошпат; Кб – карбонаты; Гс – гидрослюда; Х – хлорит; К – каолинит

Дифрактограммы проб отходов, подвергнутых термической обработке, показывают, что основные изменения минералов начинаются при повышенной температуре 500 – 700 °С. Диссоциируют карбонаты, железистые компоненты; разлагаются глинистые минералы, полевые шпаты, гидрослюда, которые обеспечивают образование газообразных веществ. Наличие газообразующих минералов важно знать при исследовании отходов, которые могут быть применены в сырье для производства обжиговых строительных материалов. Приведенное в работе рентгеновское исследование позволило определить минералогический состав глинистой и железосодержащей составляющих, наличие примесей, а также некоторые технологические особенности отходов (тугоплавкость, газовыделение при термической обработке, реакцию на химические воздействия).

Термогравиметрические исследования подтвердили наличие оксидов железа и органических примесей (экзотермический эффект при 400 – 470 °С) (рис. 2, 3). Установлено, что процессы восстановления железа сопровождаются потерями по массе. Диссоциация карбонатов отмечена эндоэффектом при 720 – 850 °С, алюмосиликатов – при 500 – 700 °С, который наблюдается при разрушении кристаллической решетки гидрослюда, хлоридов, установленных рентгеноструктурным анализом. Наличие органических примесей (углерода) отмечается эндоэффектом при 400 – 470 °С. Установлено, что основная потеря по массе (около 90 %) происходит в области повышенных температур, начиная с 500 до 1000 °С, что связано с диссоциацией минеральных составляющих [6].

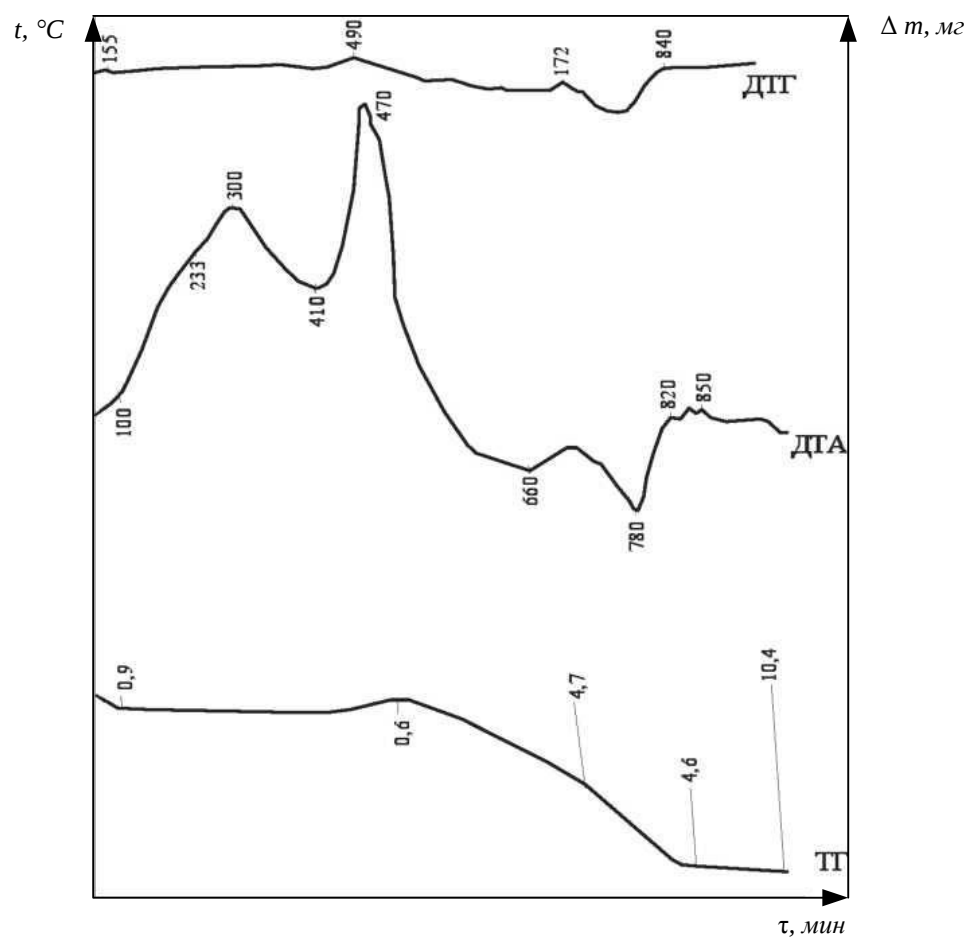


Рис. 2. Дериватограмма отходов обогащения железной руды Абагурской обогатительной фабрики (магнитная часть)

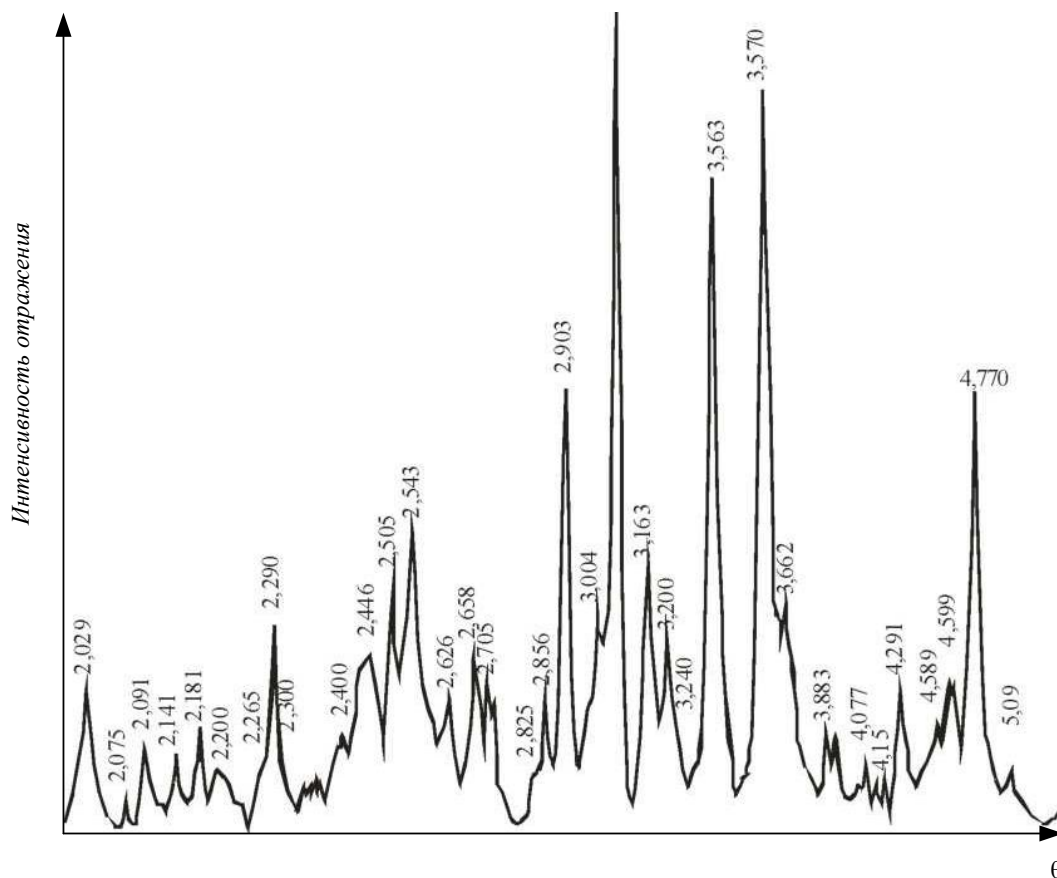


Рис. 3. Дифрактограмма отходов обогащения железной руды Абагурской обогатительной фабрики

Т а б л и ц а 2

**Гранулометрический состав отходов мокрой магнитной сепарации
на стадии обогащения**

Стадия обогащения	Выход, %, фракции, мм					
	>1,6	1,6 – 0,5	0,5 – 0,2	0,2 – 0,1	0,1 – 0,07	<0,07
I	4,6	25,3	27,6	11,7	6,2	24,6
II	0,1	3,4	23,3	21,9	12	39,3
III	-	0,6	6,3	13,3	11,5	68,3
IV	-	-	0,3	3,7	9,7	86,3
Проба из отвала	3,5	19,9	25,7	13,6	7,5	29,8

Для уточнения минералогического состава отходов проведено их разделение на фракции (табл. 2).

Условно были выделены: глинистая часть, собственно хвосты, железо хвостов, которое отбиралось с помощью магнита. Установлено, что основными минералами, составляющие отходы обогащения железных руд, являются хлориды, полевые шпаты, биотит, кальцит, магнетит, небольшое количество смешанослоистых глинистых минералов (рис. 2, 3).

Установлено, что остаточное магнитное железо неравномерно распределено по фракциям. В крупных фракциях песков содержание общего железа не превышает 12,15 %, а магнитного – 2,5 – 5 %. Определено, чем мельче проба, тем выше содержание общего и магнитного железа, а именно во фракциях 0,315 – 0,14 мм. Следовательно, эти фракции необходимо подвергать дополнительному обогащению и далее использовать в производстве, например керамзита и других керамических изделий. Количество магнитного железа колеблется от 3 до 10,6 % (табл. 3).

Разработку отвала провели на примере хвостохранилища Абагурской обогатительной фабрики. Объект относится к равнинному отвалу. Он огражден дамбой, ширина которой должна обеспечивать движение автотранспорта, завозящего материал для ее наращивания. Дорога должна быть освещена. Минеральные породы после измельчения и многократного отмагничивания (до 5 стадий) гидротранспор-

том под давлением подаются в систему, установленную по периметру отвала, и выбрасываются через специальные выпуски. В центральной части отвала располагается несколько дренажных колодцев, через которые вода в виде суспензии по дренажным трубам, уложенным по основанию отвала, отводится в канал, который окружает систему. При высушивании шлама образуется тонкодисперсный порошок с содержанием до 10 – 12 % глинистых веществ.

Шлам был применен в качестве добавки к керамической шихте и как опудриватель при производстве керамзита. Результаты этих исследований запатентованы (А.С. № 2853532/29-33; Патент № 2844913/29-33; Патент № 2957643/29-33).

Технологическая схема разработки осушенного отвала должна выбираться с учетом способа его заполнения и оптимального усреднения добываемого материала. Разработка отвала осуществляется выступлениями с применением различных механизмов: многоковшовым экскаватором, драглайном, бульдозером и др. Фронт работ следует располагать вдоль наибольшей оси разрабатываемой зоны. Для усреднения состава техногенные породы должны перемешиваться и складываться вначале в бурт, а далее в конус, из которого они загружаются в автотранспорт и увозятся для переработки и применения. Влажность сырья не должна превышать 30 %. На зимний период следует создавать запас сырья как в отвале,

Т а б л и ц а 3

Распределение железа по фракциям в хвостах Абагурской аглофабрики

Проба	Содержание Fe, %, фракции, мм			
	0,63	0,63 – 0,315	0,315 – 0,14	<0,14
Общая	11,65	14,8	32,23	21,19
	3,03	4,83	21,82	10,63
Магнитная часть	21,27	29,97	45,35	39,08
	18,8	21,36	60,33	26,6

П р и м е ч а н и е. В числителе – содержание Fe_{общ}, в знаменателе – Fe_{маг}.

так и на заводе. Породу, запасенную в конусах, необходимо утеплять, применяя различные укрывные материалы. Разработку отвала эффективнее вести летом. Отвалы, непредназначенные для повторного использования, должны быть рекультивированы. В перечень горностроительных работ по добыче хвостов следует включать: вскрышные работы на площади, обеспечивающей запас сырья сроком на 8 месяцев; строительство заезда на кровлю отвала; строительство подъездных путей; мероприятия по добыче и созданию запасов сырья в конус в объеме, обеспечивающем месячную потребность карьера в осенний период и 8-месячную – для расхода зимой; комплекс электроснабжения и водоснабжения. Учитывая мелкозернистый состав рудных хвостов, с целью обеспыливания при работе и перевозке, необходимо проводить следующие мероприятия: орошение разрабатываемой площадки с применением оросительно-вентиляторных установок типа ОВ-1,2,3; РС-2,5; автомобили должны иметь специальные укрывные тенты [7].

Рудные хвосты, имея дисперсный состав, могут применяться как мелкий заполнитель. Технология получения песка из рудных хвостов достаточно проста и не требует больших затрат. Пульпа текущего выхода обогатительной фабрики поступает на классификатор, где происходит отбор крупной фракции (0,14 мм) и обезвоживание ее до 16 – 18 %. Песок транспортируется на склад готовой продукции [8].

Мелкая фракция отходов после доизвлечения железа может использоваться для получения плотных автоклавных и безавтоклавных бетонов, в качестве отошающей добавки для получения керамического кирпича и компонента для силикатных изделий. Лучшим сырьем для изготовления силикатных изделий из хвостов ММС являются отходы, полученные с применением анионоактивных флотореагентов. Из исследованных флотореагентов повышенные результаты по прочности силикатных изделий дает добавка талового масла в расчете 0,04 % при всех режимах тепловой обработки. Получен кирпич марок М150 – М250. Отвальные, лежалые хвосты позволяют изготавливать стеновой строительный материала меньшей марки М100, так как в процессе долгого хранения эффект флотореагентов резко снижается в результате их выветривания и удаления.

Рудные хвосты были исследованы в качестве опудривателя гранул и добавки в керамическую шихту при производстве керамзитового заполнителя. Были исследованы несколько видов добавок: рудные хвосты, опилки, графит, масляная окалина, поверхностное актив-

ное вещество (ПАВ). Определялось влияние добавок к суглинку на их температурный интервал действия. Полученные кривые ДТГ шихт с добавками по очереди совмещались с началом и концом кривой ДТГ шихты без добавок. В результате вырисовывалась площадь между этими кривыми, точки пересечения которых позволили определить температурный интервал влияния добавки [3]. Установлено, что при добавке опилок эта область составляет 300 – 500 °С; графита – 700 – 900° С. Оба вещества имеют локальное действие, чем и объясняется их меньшее влияние на образование пор керамзита по сравнению с третьим видом добавок – ПАВ, для которых область влияния составила 200 – 650 °С. Шихта с добавкой ПАВ плюс железорудные хвосты имела самый широкий интервал влияния – 200 – 800 °С. Керамзит, полученный из последней шихты, был в 1,5 раза легче. Железорудная минеральная добавка в составе керамической шихты позволяет снизить среднюю плотность керамзита до 0,43 г/см³ и получить марку 400 – 500 из некондиционного суглинистого сырья.

Установлено, что отходы обогащения не обладают пластичностью, поэтому для получения стенового керамического материала с использованием хвостов была применена технология полусухого прессования. В лабораторных условиях использовали следующий режим изготовления образцов: влажность пресс-порошка 8 – 12 %, давление прессования 10 – 25 МПа, диаметр изделия 50 мм, высота 56 – 67 мм, сушка и обжиг при 1000 °С. Результаты экспериментальных исследований показывают, что из шихты, состоящей из 70 % отходов обогащения железной руды и 30 % суглинка, получен стеновой материал марок М100 – М150.

Разработаны модель и последовательность переработки рудных хвостов как сырья для стройиндустрии. На первом этапе предложено оценить агрегатное состояние и объем запасов породы. Хвосты обогащения встречаются в виде шламистой и песчаной частей. Установлено, что в стройиндустрии можно применять и те, и другие. Необходимо оценить экологичность отходов (радиоактивность, токсичность), их вещественный, химический и минеральный составы. Для этого нужно взять средние пробы в отдельных точках по горизонтали и вертикали отвала, т.е. изучить усредненную пробу, чем будет обеспечена достоверность результатов. На начальном этапе переработки необходимо выделить ценные составляющие отходов: цветные, черные и другие металлы. Оставшуюся минеральную часть – использовать в

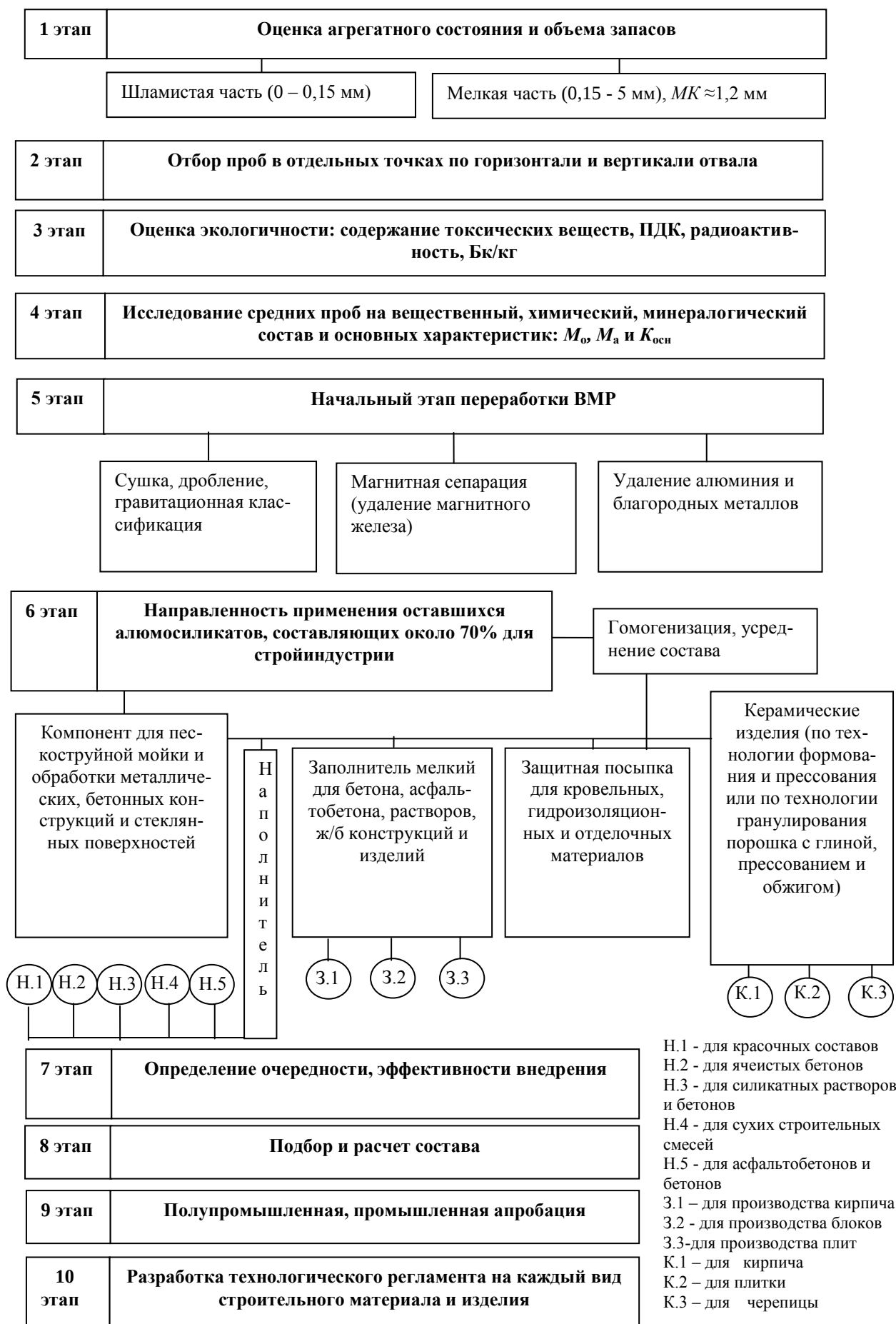


Рис. 4. Модель переработки и использования

отходов как вторичных минеральных ресурсов

стройиндустрии. Заключительные этапы – это определение очередности, эффективности получения того или иного строительного материала. Необходимо сделать подбор и расчет состава шихты и далее провести полупромышленную и промышленную апробации. Последний этап – это разработка технологического регламента на каждый вид строительного материала и изделия, внедрение его в производство (рис. 4).

Выводы. Результаты исследования рудных хвостов показали, что они относятся к группе «кислых», их модуль основности составляет 0,34. Их вещественный состав представлен минеральной кварцевой составляющей, присутствуют глинистые примеси, железорудные вещества, небольшое количество карбонатных, полевошпатных компонентов. Эти отходы содержат ряд ценных компонентов, поэтому их необходимо предварительно дообогащать, а оставшуюся минеральную часть использовать как сырье для строительной индустрии. Предложено разработку отвала вести выступлениями с применением различных механизмов: многоковшового экскаватора, драглайна, бульдозеров. Для выравнивания состава отходов необходимо осуществлять их перемешивание, для этого вначале создавать бурт, а потом из него получают конус с последующей его отгрузкой в автотранспорт. Необходимо предусматривать мероприятия по обеспыливанию при проведении технологических операций разработки, отгрузки и транспортировки. Исследования показали, что отходы обогащения железной руды можно использовать в качестве мелкого заполнителя в бетоны и растворы; в качестве опудривателя и добавки в керамзитовую шихту; как компонент для производства силикатного и керамического кирпича. Разработана модель переработки и использования отходов

обогащения железной руды как вторичного минерального ресурса для стройиндустрии, которая отражает последовательность исследования и переработки рудных отходов для получения строительных материалов и изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Книгина Г.И., Вершинина Э.Н., Тацки Л.Н. Лабораторный практикум по искусственным пористым заполнителям и керамике. – М.: Стройиздат, 1980. – 208 с.
2. Боженов П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология: Учеб. пособие. – М.: изд. АСБ, 1994. – 264 с.
3. Панова В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – 287 с.
4. Гуревич М.Я. Руководство по рентгеновскому исследованию минералов. – М.: Мир, 1965. – 458 с.
5. Бриндли Г.Ф. – В кн.: Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов. – М.: Мир, 1965. С. 45 – 63.
6. Горшков В.С. Термография строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1968. – 584 с.
7. Storozhenko G., Stolboushkin A. Ceramic bricks from industrial waste // Ceramic & Sakhteman. Seasonal magazine of Ceramic & Building. Winter. 2010. № 5. P. 2 – 6.
8. Лесовик Р.В., Алфимова Н.И. О возможности использования техногенных песков в качестве сырья для производства строительных материалов, 2008. – 300 с.

© 2017 г. В.Ф. Панова, С.А. Панов,
А.А. Карпачева, О.Д. Прохоренко
Поступила 20 августа 2017 г.