

DOI 10.35264/1996-2274-2019-2-195-207

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Н.И. Буравчук, зав. лаб. ФГАОУ ВО «ЮФУ», канд. хим. наук, burav@math.rsu.ru

О.В. Гурьянова, ст. научн. сотр. ФГАОУ ВО «ЮФУ», guryanovaolga@mail.ru

Рецензент: *И.А. Паринов*

Проведена комплексная оценка пород шахтных отвалов. Исследованы физико-механические свойства пород как сырья для устройства земляного полотна подъездного железнодорожного пути. Приведены свойства фракционированного щебня и отсевов дробления из шахтных пород. Обоснована возможность использования в земляном полотне шахтных пород вместо грунта. Показаны особенности упрочнения массива земляного полотна из шахтных пород. Изложена технология устройства земляного полотна.

Успешная эксплуатация подъездного участка железнодорожного пути протяженностью 27 км подтверждает целесообразность применения шахтных пород для устройства земляного полотна.

Использование пород шахтных отвалов позволяет решать некоторые экологические проблемы: уменьшить количество карьерных работ по добыче природного сырья, сохранить природный ландшафт земной поверхности, освободить земли из-под отвалов, снизить загрязнение водного и воздушного бассейнов.

Ключевые слова: порода шахтных отвалов, земляное полотно железнодорожного пути, техногенное сырье, физико-механические свойства пород шахтных отвалов, технология изготовления земляного полотна, упрочнение земляного полотна.

THE USE OF TECHNOGENIC RAW MATERIALS FOR THE CONSTRUCTION OF THE SUBGRADE OF RAILWAY TRACK

N.A. Buravchuk, Head Laboratory, Federal state autonomous educational institution Southern Federal University, Doctor of Chemistry, burav@math.rsu.ru

O.V. Guryanova, Senior Scientist, Federal state autonomous educational institution Southern Federal University, guryanovaolga@mail.ru

A comprehensive assessment of the rocks of mine dumps was carried out. The physical and mechanical properties of rocks as raw materials for the device of the roadbed of the access railway are investigated. Given the properties of the graded crushed stone and screenings from the crushing of mine rock. The possibility of using mine rocks instead of soil in the roadbed is substantiated. Features of hardening of the massif of a roadbed from mine breeds are shown. The technology of the device of an earthen cloth is stated.

The successful operation of the access section of the railway track with a length of 27 km confirms the feasibility of using mine rocks for the construction of the roadbed.

The use of rocks of mine dumps allows to solve some environmental problems: to reduce the number of quarries for the extraction of natural raw materials, to preserve the natural landscape of the earth's surface, to free the land from the dumps, to reduce the pollution of water and air basins.

Keywords: breed of mine dumps, the roadbed of the railway track, industrial raw materials, physico-mechanical properties of rocks of the mine dumps, the manufacturing technology of roadbed, surfacing of the subgrade.

Введение

С каждым годом запасы природного сырья истощаются, усложняются условия его добычи, удорожается стоимость природного сырья. В то же время на земной поверхности во всех промышленно развитых регионах складываются огромные количества техногенных минеральных промышленных отходов. Их хранение связано с негативным воздействием на окружающую среду и расходами на содержание отвалов и шламохранилищ. Скопления этих отходов по количеству и качеству содержащегося сырья, пригодного для выпуска полезной продукции, следует отнести к техногенным месторождениям [1]. В условиях увеличивающихся потребностей в природном минеральном сырье проблема комплексного использования всего добытого сырья и охраны окружающей среды приобретает первостепенное значение и с каждым годом становится все острее. Извлечение природных ресурсов из взаимосвязанных естественных состояний, где их присутствие обеспечивает равновесие и устойчивость окружающей среды, вносит дисбаланс в систему самоорганизационных процессов геосистемы. Уменьшить это разбалансирование можно изменением природной сырьевой базы стройиндустрии путем пополнения ее сырьем нового вида – техногенным. Концепция комплексного освоения природных минеральных ресурсов предполагает обязательную переработку отходов в полезную продукцию как завершающий этап в добыче полезных ископаемых. Из образующихся и накопившихся отходов самыми многотоннажными являются побочные продукты угольной и топливной промышленности, например породы шахтных отвалов и золошлаковые отходы. Они содержат многие полезные компоненты, их можно использовать в качестве сырья или добавок в стройиндустрии, дорожном, гидротехническом и других видах строительства. При значительных объемах пород шахтных отвалов уровень их утилизации невысок.

Техногенные отходы отличаются большим разнообразием и нестабильностью свойств. Это одна из причин, сдерживающих их использование. Однако при соответствующей переработке и подготовке качество этих отходов можно довести до требований нормативных документов. Разработка таких месторождений позволит расширить минерально-сырьевую базу многих отраслей, решить некоторые проблемы по улучшению состояния природной среды в угольно-промышленных районах и в зоне работы ТЭС.

Авторами данной статьи разработаны и апробированы технологические и технические решения использования отходов горелых шахтных пород и золошлаковых отходов в дорожном строительстве, в технологии строительных материалов [2–4], что дает основание для распространения имеющегося опыта и технологий, ориентированных на местное сырье, на другие отрасли. Весьма актуален вопрос о возможности замены грунтов при возведении земляного полотна железнодорожного пути другим материалом. Одним из таких заменителей могут быть горелые отвальные шахтные породы. Особенно это актуально, если объект потребления отходов находится в непосредственной близости от местонахождения техногенного сырья. При использовании такого сырья, кроме экономии природного минерального сырья, сокращаются затраты на транспортные расходы по доставке сырья к месту потребления, решаются некоторые экологические задачи по снижению негативного воздействия породного отвала на окружающую среду вблизи его расположения.

Примером такого комплексного подхода к проблемам энерго-, ресурсосбережения и утилизации промышленных отходов является использование пород шахтных отвалов для возведения земляного полотна при строительстве в Белокалитвинском районе Ростовской области подъездной железной дороги до железнодорожного пути общего пользования. Протяженность подъездного пути, соединяющего шахту «Садкинская» с общей магистралью, составила 27 км.

Исследования по оценке возможности использования шахтных пород для устройства земляного полотна железнодорожного пути выполнены на примере горелых пород отвалов б/ш Северюговская (отвал № 7) и Синегорская (отвал № 17), расположенных в пос. Синегорский Ростовской области.

Методика

Для принятия решения об использовании шахтных пород в устройстве земляного полотна железнодорожного пути было проведено обследование породных масс выбранных отвалов. Отобраны технологические пробы для испытаний. Отбор проб породной массы проводился в соответствии с указаниями общепринятых методик и требованиями нормативных документов. В основу опробования отвала положен принцип отбора точечных проб. Этот способ отличается от других простотой отбора материала отходов, экспрессностью выполнения опробовательской работы. Рядовые пробы отбирались поярусно, точечным методом, глубина их отбора составляла не менее 0,5 м, расстояние между пробами составляло в среднем 25–30 м. Общий вес отобранной с отвала породной массы составил примерно 200–250 кг. Усредненные пробы составлялись из точечных проб путем тщательного перемешивания. Пробы на лабораторно-аналитические исследования отбирались усредненной пробой методом квартования.

Проведены многоуровневая оценка [5–7] и исследование отходов с помощью комплекса физико-химических методов. Определены способы воздействия на породные массы, обеспечивающие максимальную реализацию полезных свойств техногенного сырья. С учетом результатов многоуровневой оценки на следующем этапе проводятся лабораторные испытания по оценке свойств горелых пород шахтных отвалов как заменителей грунта в соответствии с требованиями, предъявляемыми к грунтам для устройства земляного полотна железнодорожного пути. Отрабатываются технологические режимы, которые затем проверяются и корректируются в опытно-промышленных условиях. По результатам всех исследований и испытаний разрабатывается технологический регламент производства работ с использованием горелых пород шахтного отвала для практического применения на промышленном объекте.

Результаты

Данные породные отвалы сформированы вскрышными породами, образовавшимися при отработке угольных пластов, и представлены в основном глинистыми породами, встречаются также глинистые, песчано-глинистые, слабопесчанистые и углистые сланцы, реже – песчаники. В составе отвалов преобладают аргиллиты (от 50 до 60 %), алевролиты (от 10 до 35 %), песчаники (до 10 %); встречаются кремнистые породы, угольно-минеральные сростки. Глинистые породы углевмещающих отложений подвержены уплотнению, в результате которого они превращаются в камнеподобные (литифицированные) породы. По литологическому составу породные массы отвалов бывших шахт № 7 и 17 относятся к глинистым. Последующие преобразования складированных пород (выветривание, термоизменение) во многом зависят от их исходного состава. Термическое воздействие на породы в процессе длительного самообжига вызывает значительные изменения их минеральной массы и физического состояния. По агрегатному состоянию исследуемые породы относятся к твердым образованиям – сыпучие (глыбообразные кусковые, дисперсные и мелкодисперсные). Фракционный состав пород (рис. 1), слагающих исследуемые отвалы, колеблется в широком диапазоне – от крупных кусков до мелкого щебня, гравия и песка, а также пылевато-зольной массы. Шахтные породы, в отличие от обычных грунтов, традиционно используемых для возведения земляного полотна, обладают специфическими свойствами, и их следует отнести к особым грунтам. Породы данного отвала относятся к классу крупнообломочных грунтов, представляющих собой несцементированные залежи обломков, между которыми нет структурных связей (щебень, галечник, дресва, гравий, песок), термоизмененных в отвале в условиях длительного самообжига при температуре около 1000 °С. При обследовании отвалов установлено, что в составе породных масс можно выделить необожженные (негорелые, неизмененные) и измененные в процессе самообжига породы: обожженные, горелые, переплавленные и скопления пород, сильно прокаленных без доступа воздуха.

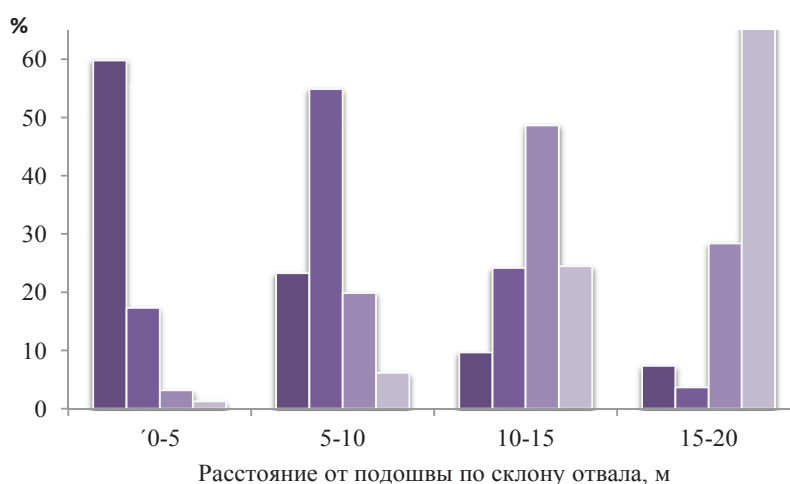


Рис. 1. Гранулометрический состав поверхностного слоя породы шахтного отвала

Хорошо обожженные породы имеют более темный цвет (от коричневого до темно-красного). Такие породы однородного сложения с плотной структурой и гладкой камневидной поверхностью отличаются повышенной механической прочностью, стойкостью к истиранию, к температурным и атмосферным воздействиям. Слабо обожженные породы характеризуются светлыми (розовый, желтовато-белый, серый) тонами. Темный цвет глинистых пород обусловлен присутствием метаморфизованного углистого вещества, а также закисными соединениями железа. Наибольшие изменения претерпели глинистые породы и сланцевые аргиллиты. Обожженные алевролиты и песчаники имеют значительно меньшие изменения. Термическим воздействиям в песчаниках подвержены в основном обломки пород. Переплавленные породы имеют темно-серый цвет и обладают характерной кавернозной и пористой структурой.

Углистые примеси в породе присутствуют в основном в измененном виде. Они представлены продуктами коксования (полукокосовые и кокосовые остатки), коллоидальным углеродом, напыленным на поверхность минеральных частиц, графитизированным углистым веществом. Эти разновидности углистых веществ стойки против окисления, их долговечность при воздействии влаги достаточно высока.

В некоторых образцах породы на поверхности, реже – в объеме образца, встречаются идиоморфные кристаллы серы, что свидетельствует о недостаточной степени их обжига. В обследованных отвалах встречаются негорелые породы. Они представлены в основном глинистыми породами. Наличие в горелых породах обломочного материала, скрепленного пелитовым кремнеземистым породным цементом до состояния конгломерата, обеспечивает их водостойкость (неразмокаемость) и механическую прочность.

Для принятия решения об использовании шахтных пород они были подвергнуты определенной последовательности уровней оценки по различным критериям.

Первый уровень: химический состав

Полная информация о содержании основных оксидов элементов, потерях при прокаливании имеет первостепенную важность при оценке горелых пород и определяет характер последующих действий.

По химическому составу (табл. 1) исследуемые породы относятся к кремнисто-глиноземистым, т. е. характеризуются относительно высоким содержанием оксидов кремния и алюминия. Содержание кислотных оксидов составляет более 70%, и породы можно характеризовать как кремнисто-глиноземистые согласно классификации Г.Н. Сиверцева [8].

Таблица 1

Химический состав (вес. %) усредненной пробы шахтной породы

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃ общ.	п.п.п.
55,77	19,73	7,65	1,93	2,36	1,07	0,14	2,35	2,16	2,24	4,35

По модулю основности, учитывающему соотношение кислотных и основных оксидов, породы относятся к кислым. Значения глинисто-железистого модуля для этой группы горелых пород выше 0,5. По этому показателю в соответствии с классификацией Г.И. Книгиной [9, 10] данные породы относятся к I группе: аргиллиты активные и высокоактивные. По содержанию серы породы классифицируются как малосернистые. Наличие незначительного количества сернистых соединений не создает осложнений при использовании пород. Данные породы имеют высокую степень выветрелости. По содержанию легкорастворимых солей породы относятся к средnezасоленным. Минеральная часть водных вытяжек состоит из различных водорастворимых солей, среди которых преобладают сульфаты кальция и магния. Исследуемые породы проявляют пластичность только при тонком помоле, при размере частиц менее 0,25 мм.

Второй уровень: экологические характеристики

Критерием экологической чистоты шахтных пород служат данные о концентрации токсичных веществ, тяжелых металлов и величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

Методом качественного спектрального анализа зафиксировано присутствие в исследуемой пробе незначительного количества микроэлементов: бария, стронция, хрома, никеля, кобальта, свинца, цинка, олова, бора, марганца.

По данным полуколичественного спектрального анализа, в породных массах изучаемого шахтного отвала содержание тяжелых металлов невелико, и эти породы относятся к классу неопасных отходов.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов пород шахтных отвалов, по результатам радиологических исследований, не превышает 370 Бк/кг. В соответствии с нормативными требованиями ГОСТ 30108–94 изучаемые породы по величине эффективной удельной активности радионуклидов относятся к I классу материалов, на применение которых нет ограничений.

Третий уровень: минералого-петрографическая характеристика

Технологическая предыстория пород оказывает значительное влияние на их состав. Исследуемые породы в отвале существенно отличаются от традиционного сырья веществным составом, структурой исходных минералов. Породы, складированные в отвалах, были подвергнуты длительному термическому воздействию, что обусловило значительное изменение минеральной массы отвала. При этом существенно изменились структура и текстура и свойства исходных пород. Горение породных масс в отвалах прекращено, и изучаемые отвалы относятся к перегоревшим.

Породы шахтных отвалов относятся к полиминеральному глинистому сырью. Состав глинистой составляющей – гидрослюдистый с примесью каолинита и хлорита. Глины в угольных пластах настолько уплотнились под влиянием горного давления, что утратили свою пластичность. Глинистое вещество уже обезвожено и сильно видоизменено в процессе самообжига.

Содержание аморфных разновидностей диоксида кремния, растворимых в щелочах, в исследуемой породе не превышает 50 ммоль/л; слюды и слоистых силикатов – 15%, магнетита, гематита и гидроксидов железа – 10% по объему. Углистые примеси в породе присутствуют в основном в видоизмененном виде. Они представлены продуктами коксования

(полукоксовые и кокосовые остатки), коллоидальным углеродом, напыленным на поверхность минеральных частиц, графитизированным углистым веществом. Эти разновидности углистых веществ стойки против окисления, их долговечность при воздействии влаги достаточно высока.

Дериватографические исследования характеризуют исследуемые горелые породы как термически инертный материал, что свидетельствует об относительной полноте прошедшего в условиях террикона самообжига. Эндотермический эффект при температуре 670–780 °С объясняется термической диссоциацией карбонатов. При рентгенографическом исследовании пород выделены следующие основные кристаллические минералы: кварц и его модификации; железо в форме магнетита и гематита; глинистое вещество в виде корунда и муллита. В качестве второстепенных минералов присутствуют каолинит, полевые шпаты.

Четвертый уровень: реакционная способность

Реакционная способность горелых пород фактически предопределяет возможные направления их использования.

Горелые породы способны проявлять физико-химическую и скрытую гидравлическую активность. Минеральная часть горелых пород представлена в основном видоизмененным в процессе обжига глинистым веществом. В своем составе они содержат в значительном количестве глинистые, железистые и кремнеземистые гидравлические компоненты. Наличие этих компонентов связано с нарушением кристаллической решетки глинистых минералов при обжиге пород и возникновением у продуктов обжига некоторого энергетического потенциала. Это новое состояние вещества и служит причиной способности горелых пород к гидратации и поглощению извести из раствора [11].

Пятый уровень – физико-механические свойства

Физико-механические свойства породной массы отвалов характеризуются прочностью, истинной и насыпной плотностью, морозостойкостью, истираемостью, водопоглощением, по величине которого можно судить о степени обжига пород. Породные массы в отвале характеризуются значительным диапазоном изменения плотности, прочности, водопоглощения. Прочность пород в отвале изменяется в пределах: от 10 до 100 МПа и выше, водопоглощение не превышает 4,0%, истинная плотность составляет 2,65–2,68 г/см³, насыпная плотность – 1140–1450 кг/м³. Морозостойкость породы – не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. При испытании породы на истираемость потеря массы составляет от 21,6–24,5%, что соответствует марке по истираемости И1.

Изучение размолоспособности, пластичности, водопотребности и других физико-механических свойств пород шахтных отвалов позволяет оценить степень их подготовленности к участию в технологических процессах, уточнить способы и параметры их обработки. По показателям физико-механических свойств и состава породы исследуемых отвалов неоднородны. Это нужно учитывать при предварительной подготовке пород, направленной преимущественно на усреднение техногенного сырья по гранулометрическому составу, физико-механическим свойствам.

Шестой уровень: объем образования

Объем образования позволяет выделить многотоннажные и малотоннажные отходы. Многотоннажным отходам отводится роль основного сырья, малотоннажным – роль корректирующей добавки. Запасы породных масс данных отвалов велики (более 400 тыс. м³), и скопления их в отвале можно рассматривать как техногенные месторождения.

Проведенная оценка породных масс изучаемого отвала по всем указанным выше критериям позволяет рассматривать их как потенциальную сырьевую базу для возведения земляного полотна железнодорожного пути.

Седьмой уровень: технико-экономические показатели

Анализ результатов комплексного исследования пород исследуемых шахтных отвалов позволяет выявить возможность использования их в технологии возведения земляного полотна на железнодорожного пути.

При этом при выборе технологических решений по возведению земляного полотна из горелых пород необходимо учитывать:

- способность замены дефицитного традиционного сырья;
- максимальное вовлечение в производство работ по возведению земляного полотна горелых пород;
- высокие показатели физико-механических и эксплуатационно-технических свойств земляного полотна, изготовленного из пород исследуемых отвалов;
- невысокую стоимость горелых пород;
- небольшой радиус перевозок горелых пород к месту потребления, наличие транспортных коммуникаций.

Проведенная оценка исследуемых породных масс по всем указанным выше критериям позволяет рассматривать их как потенциальное сырье для возведения насыпей, дамб, земляного полотна. Состав и состояние шахтной породы обеспечивают возможность замены традиционного сырья. Гранулометрический состав пород в шахтном отвале (см. рис. 1) представлен как крупными кусками, так и мелкой фракцией. Для укладки пород в земляное полотно их максимальная крупность не должна превышать 70 мм. Куски породы свыше 70 мм подвергались дроблению, фракционированию и исследованию. Испытание физико-механических свойств шахтной породы как грунта для земляного полотна проводилось в соответствии с действующими нормативными документами на грунты для земляного полотна, а также с техническими условиями на материалы из горелых пород шахтных терриконов, в которых изложены требования, учитывающие специфические свойства пород. Результаты исследований физико-механических свойств материалов из шахтных пород исследуемых отвалов приводятся в табл. 2–4. Кривая стандартного уплотнения шахтной породной массы приведена на рис. 2.

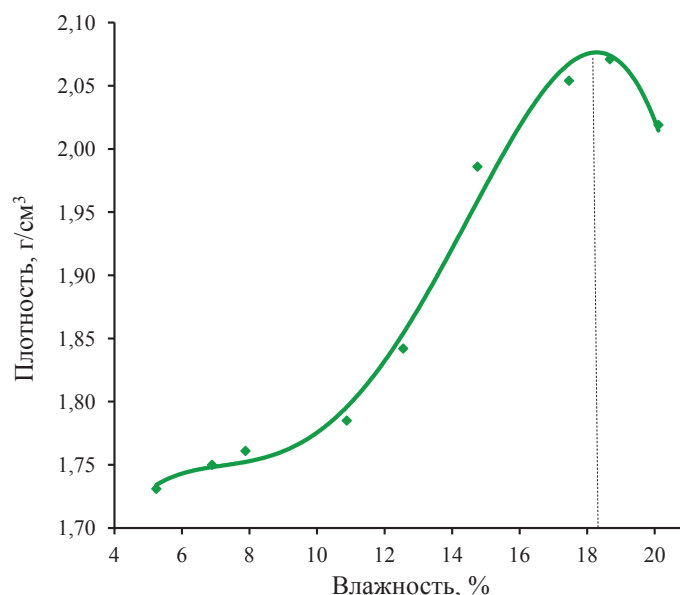


Рис. 2. Кривая стандартного уплотнения

Максимальная плотность сухой породной массы — 2,06 г/см³
 Оптимальная влажность — 18,2%

Таблица 2

Характеристика шахтной породной массы

Основные показатели качества	Значения показателей
Удельный вес, г/см ³	2,57
Объемный вес, кг/м ³	1450
Объемный вес скелета, г/см ³	1,57
Марка щебеночной фракции по прочности при испытании на дробимость: в сухом состоянии	
св. 5 до 10 мм	300
от 10 до 20 мм	400
от 20 до 40 мм	600
Марка по водостойкости	В1
Марка щебеночной фракции по морозостойкости	
св. 5 до 10 мм	F15
от 10 до 20 мм	F25
от 20 до 40 мм	F25
Содержание зерен слабых пород в щебне, %	9,8
Ситовый анализ, остатки на ситах, % по массе:	Частные полные
40 мм	21,28 21,28
20 мм	23,49 44,77
10 мм	17,21 61,98
5 мм	11,63 73,61
2,5 мм	11,20 84,81
1,25 мм	2,71 87,52
0,63 мм	4,27 91,79
0,315 мм	5,63 97,42
0,16 мм	2,31 99,73
<0,16 мм	0,27 У
Стойкость щебеночной фракции против всех видов распада, потеря массы при распаде, %	1,78
Водопоглощение, %	2,13
Влажность на границе текучести, %	28,3
Влажность на границе раскатывания, %	26,0
Пластичность	2,3
Консистенция (показатель консистенции В)	В = -4,96
Группа по степени пучинистости	І (непучинистые)
Коэффициент фильтрации, м/сут	5,88
Коэффициент пористости	0,81
Коэффициент уплотнения	0,98
Плотность сухого грунта при стандартном уплотнении, г/см ³	2,06
Оптимальная влажность при стандартном уплотнении, %	18,8
Угол внутреннего трения, град.	38
Сцепление, МПа	0,02

Таблица 3

Характеристика дробленого щебня из шахтных пород

Основные показатели качества щебня	Значения	
	1-е дробл.	2-е дробл.
Марка по прочности при испытании на дробимость для фракций:		
св. 5 до 10 мм	400	800
от 10 до 20 мм	800	1200
от 20 до 40 мм	800	1000
Марка по морозостойкости для фракций:		
св. 5 до 10 мм	F15	F25
от 10 до 20 мм	F25	F50
от 20 до 40 мм	F25	F50
Марка по истираемости	И1	И1
Марка по водостойкости	В1	В1
Насыпная плотность, кг/м ³ для фракций:		
св. 5 до 10 мм	1150	1080
от 10 до 20 мм	1130	1050
от 20 до 40 мм	1110	1040
Истинная плотность, г/см ³	2,56–2,63	
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	1,07–1,35	
Содержание пластинчатых и игольчатых зерен, %	6,15–21,4	
Содержание зерен слабых пород, %	3,9–8,6	
Содержание глины в комках, %	Отсутствует	
Стойкость против всех видов распада, потеря массы при распаде, %, для фракций:		
св. 5 до 10 мм	0,68	0,58
от 10 до 20 мм	1,02	0,47
от 20 до 40 мм	0,77	0,64
Водопоглощение, %	1,13–0,85	

Таблица 4

Характеристика отсевов дробления из шахтных пород

Основные показатели качества отсевов дробления	Значения	
	1-е дробл.	2-е дробл.
Модуль крупности	3,17	3,88
Насыпная плотность, кг/м ³	1310	1240
Истинная плотность, г/см ³	2,58	
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	2,34	1,58
Содержание глины в комках, %	Отсутствует	
Коэффициент фильтрации, м/сут	5,75	7,30
Содержание щебеночной фракции, %	22–32	
Марка по прочности щебеночной фракции	400; 600	

Полученные показатели качества шахтных пород отвалов соответствуют требованиям, предъявляемым к грунтам, используемым для возведения земляного полотна. По показателям физико-механических свойств и минерального состава породы исследуемых отвалов неоднородны. Это необходимо учитывать при подготовке пород, направленной на усреднение техногенного сырья по гранулометрическому составу, физико-механическим свойствам. Для устройства земляного полотна подъездного железнодорожного пути шахтные породы отвалов подвергались усреднению путем многократной перевалки бульдозером при отгрузке с отвала. Дробление и фракционирование также способствуют усреднению пород. Схема конструкции земляного полотна подъездного железнодорожного пути приведена на рис. 3.

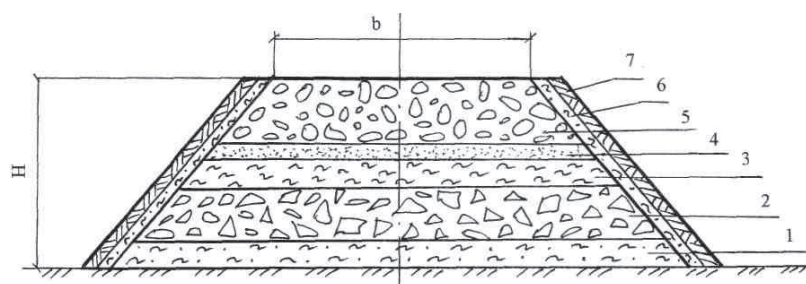


Рис. 3. Конструкция земляного полотна:

1 – подстилающий слой из суглинка; 2 – фракционированная горелая шахтная порода; 3 – изолирующий слой из глины; 4 – песок; 5 – щебень из природного камня; 6 – изолирующий слой из суглинка; 7 – плодородный грунт; b – ширина основной площадки; H – высота насыпи

Технология устройства земляного полотна из шахтных пород аналогична послойному возведению насыпи из традиционного используемого грунта. Порода после предварительного грохочения и дробления транспортируют к месту сооружения полотна. Технологический процесс устройства тела насыпи сводился к последовательной послойной укладке породной массы, к разравниванию породы и уплотнению спланированной поверхности виброкатками. Отвальные шахтные породы хорошо уплотняются. В начале уплотнения в рыхлой россыпи отдельные зерна породы и щебня легко распределяются и взаимно перемещаются. При этом крупные фракции щебня выполняют роль своеобразного пространственного каркаса. Мелкие частицы заполняют пустоты каркаса. Эти материалы хорошо уплотняются, при этом достигается плотная упаковка зерен в слое массива. В этот период уплотнение можно производить без увлажнения. Когда первоначальная осадка слоя достигнута, для дальнейшего уплотнения требуется преодоление трения между частицами. Для повышения уплотняемости породной массы проводится полив. Вода в этом случае облегчает уплотнение, а также увлажняет мелочь и пыль из хорошо обожженной породы, получающиеся от облома кромок щебня в процессе укатки. Максимальное уплотнение достигается при оптимальной влажности породной массы. Ориентировочный расход воды – 12–20 л/м³. Уплотнение заканчивали, когда прекращались деформации после прохода тяжелого катка, а плотность породного слоя достигала значений 1,85–1,90 г/см³.

Зольность породной массы – высокая (90–99%). Однако в отвалах присутствуют примеси негорелых пород, и не всегда можно достичь надлежащего усреднения породных масс. Предусмотрен вариант укладки отвальной породы с защитным и изолирующим экраном из глинистого грунта или суглинка. Укрепление обочин земляного полотна проведено из связных грунтов в соответствии с требованиями СНиП III-38–75 [12]. При планировке откосов нанесен слой плодородной почвы и на откосах произведен посев многолетних трав.

Обсуждение

Долговременная служба любой конструкции может быть обеспечена при условии, если материал конструкции соответствует условиям ее эксплуатации. Для обеспечения надежной сопротивляемости конструкции возрастающим нагрузкам в течение всего срока службы необходимо, чтобы энергия структурных связей в материале конструкции постоянно увеличивалась. Это возможно при условии наличия в конструкции самоуплотняющейся системы. Материалы из шахтных пород определенного фракционного состава обладают способностью с течением временем цементировать и упрочнять структуру массива насыпи, образовывать монолит повышенной несущей способности и устойчивости. Создавать монолитную самоуплотняющуюся систему без введения связующего вещества могут материалы из горелых и перегоревших шахтных пород. Эта способность пород обусловлена их химическим и минеральным составом, структурными особенностями, крупностью. Горелые породы – продукты самопроизвольного обжига в силу природы своего образования и термодинамического состояния обладают повышенным запасом внутренней энергии и соответствующей реакционной активностью и могут существенно влиять на упрочнение массива. Основными активными составляющими горелых пород являются метакаолинит, аморфный кремнезем, оксиды алюминия, железа. Наличие этих компонентов обусловлено спецификой их происхождения и связано с наличием ряда структурных дефектов, возникающих при физико-химических процессах, происходящих при высокотемпературном обжиге углесодержащих шахтных пород. Немаловажную роль играет природа поверхности минеральных частиц, наличие активных поверхностных центров, отличающихся повышенным энергетическим потенциалом. Известно, что поверхность всех твердых материалов содержит льюисовские кислотные и основные бренстедовские активные центры [13–15], которые и определяют ее активность. Очевидно, для горелых пород шахтных отвалов при оценке их активности необходимо учитывать как наличие активных компонентов, появившихся в силу их образования, так и центры льюисовского и бренстедовского типов (синергетический эффект). Наличие этих факторов оказывает структурирующее действие при формировании массива насыпи земляного полотна. Это новое состояние вещества и служит причиной способности горелых пород к цементации.

Заключение

Аналитико-лабораторными исследованиями и практическим опытом доказана возможность применения шахтных пород для возведения земляного полотна железнодорожного пути. Состав и состояние шахтной породы обеспечивают возможность замены традиционного сырья. Успешная многолетняя эксплуатация участка подъездной железной дороги подтверждает целесообразность использования техногенного сырья в устройстве земляного полотна. С учетом невысокой стоимости материалов из пород шахтных отвалов снижается общая стоимость работ по возведению земляного полотна. При этом были утилизированы шахтные породы, ликвидированы два шахтных отвала, освобождены земли, пригодные к дальнейшему использованию.

Общим условием использования шахтных пород в возведении земляного полотна является соответствие прочности сооружаемого из них массива тем механическим и физико-механическим воздействиям, которых можно ожидать в данной конструкции. Для принятия решения об использовании минеральных материалов из шахтных пород необходимо предварительно провести комплексную оценку этого техногенного сырья. Методика комплексной оценки шахтных пород включает три этапа:

– на первом этапе необходимо выполнить инженерно-геологическое изыскание шахтных отвалов для получения необходимой информации о характере залегания материалов, степени однородности;

– на втором этапе осуществить оценку показателей физико-механических свойств пород и материалов из них, определенных в лаборатории; установить возможность и условия их использования в земляном полотне;

– на третьем этапе с учетом полученных лабораторных данных выполнить технико-экономическое обоснование целесообразности использования материалов из пород конкретного шахтного отвала в конструкции земляного полотна. Разработать рекомендации по конструкции земляного полотна из пород и особенности технологии их строительства.

В ближайшие два десятилетия и в более отдаленной перспективе будут прогрессировать научно-технологические направления, связанные с ликвидацией накопленного экологического ущерба [16]. Одним из таких направлений является использование техногенного минерального сырья, накопленного в XX веке, – отходов горнодобывающей отрасли, в том числе отходов добычи, обогащения и сжигания твердого топлива.

Работа выполнена по заданию Минобрнауки РФ по проекту № БЧ0110-11/2017-20.

Список литературы

1. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н. Комплексное освоение техногенных месторождений // Горный журнал. 1992. № 1. С. 12–16.
2. Буравчук Н.И., Гурьянова О.В. Влияние техногенного сырья на свойства бетонов // Инноватика и экспертиза. Научные труды М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, 2018. Вып. 2 (23). С. 159–172.
3. Буравчук Н.И. Ресурсосбережение в технологии строительных материалов. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. 224 с.
4. Буравчук Н.И., Рутьков К.И. Переработка и использование отходов добычи и сжигания твердого топлива. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 1997. 224 с.
5. Корнилов А.В., Лыгина Т.З. Комплексная технологическая оценка минерально-строительного сырья // Строительные материалы. 2005. № 4. С. 78–79.
6. Уханева М.И., Хоботова Э.Б. Химическая оценка отходов угледобычи // Вісник Харківського національного університету. 2010. № 895. Хімія. Вип. 18 (41). С. 260–267.
7. Панова В.Ф., Панов С.А., Карпачева А.А. Системный подход при использовании вторичных минеральных ресурсов в производстве строительных материалов // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 1. С. 31–41.
8. Сиверцев Г.Н. Процессы при твердении топливных шлаков и горелых пород // Химические процессы твердения бетонов: сб. ст. М.: Госстройиздат, 1961. С. 108–122.
9. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. М.: Стройиздат, 1966. 206 с.
10. Книгина Г.И., Кучерова Э.А., Житова Н.С. Исследование фазовой и гидротационной активности горелых пород Восточной Сибири // Изв. вузов. Сер.: Строительство и архитектура. 1978. № 3. С. 71–74.
11. Будницкий В.М., Бражников В.Ф., Буравчук Н.И. и др. Минеральные добавки из горелых пород и зол для вяжущих и бетонов // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 1998. № 4. С. 70–74.
12. СП 119.13330.2012 «СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм» (утв. Приказом Министерства регионального развития РФ от 30.06.2012 № 276).
13. Сычев М.М., Казанская Е.Н., Петухов А.А. Роль брэнстедовских кислотных центров в процессах гидратации цемента // Изв. вузов. Химическая технология. 1987. № 10. С. 85–88.
14. Танабе К. Твердые кислоты и основания. М.: Мир, 1973. 183 с.
15. Нечипоренко А.П. Кислотно-основные свойства поверхности твердых веществ: метод. указ. // Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1989. 22 с.
16. Питулько В.М., Илющенко Р.Р. Рациональное природопользование и ключевые вопросы перехода России к «зеленой экономике» // Инноватика и экспертиза. 2017. Вып. 3 (21). С. 113–120.

References

1. Trubetskoy K.N., Umanets V.N. (1992) *Kompleksnoe osvoenie tekhnogennykh mestorozhdeniy* [Integrated development of technogenic deposits] *Gornyy zhurnal* [Mining Journal]. No. 1. P. 12–16.

2. Buravchuk N.I., Guryanova O.V. (2018) *Vliyaniye tekhnogenogo syr'ya na svoystva betonov* [The influence of technogenic raw materials on the properties of concrete] *Innovatika i ekspertiza. Nauchnye trudy FGBNU NII RINKTsE* [Innovatics and expert examination. Scientific works of Federal State Scientific Institution Scientific. Moscow. Issue 2 (23). P. 159–172.
3. Buravchuk N.I. (2009) *Resursosberezhenie v tekhnologii stroitel'nykh materialov* [Resource conservation in building materials technology] *Izd-vo YuFU* [SFU publishing house]. Rostov-on-Don. 224 p.
4. Buravchuk N.I., Rutkov K.I. (1997) *Pererabotka i ispol'zovanie otkhodov dobychi i szhiganiya tverdogo topliva* [Recycling and use of waste mining and combustion of solid fuels] *Izd-vo SKNTs VSh* [Publishing house SKNTS VSH]. Rostov-on-Don. P. 224.
5. Kornilov A.V., Lygina T.Z. (2005) *Kompleksnaya tekhnologicheskaya otsenka mineral'no-stroitel'nogo syr'ya* [Complex technological assessment of mineral and building materials] *Stroitel'nye materialy* [Construction materials]. No. 4. P. 78–79.
6. Ukhaneva M.I., Khobotova E.B. (2010) *Khimicheskaya otsenka otkhodov ugledobychi* [Chemical evaluation of coal mining waste] *Visnik Khar'kivs'kogo natsional'nogo universitetu* [Khimiya Visnik of Kharkiv National University]. Chemistry. No. 895. Vip. 18 (41). P. 260–267.
7. Panova V.F., Panov S.A., Karpacheva A.A. (2016) *Sistemnyy podkhod pri ispol'zovanii vtovichnykh mineral'nykh resursov v proizvodstve stroitel'nykh materialov* [Systematic approach to the use of secondary mineral resources in the production of building materials] *Izv. vuzov. Stroitel'stvo* [News of Universities. Construction]. No. 1. P. 31–41.
8. Sivertsev G.N. (1961) *Protsessy pri tverdenii toplivnykh shlakov i gorelykh porod* [Processes in the hardening of fuel slag and burnt rocks] *Khimicheskie protsessy tverdeniya betonov: sb. st. Gosstroyizdat* [Chemical processes of hardening of concrete: sb. Art. Gosstroyizdat]. Moscow. P. 108–122.
9. Knigina G.I. (1966) *Stroitel'nye materialy iz gorelykh porod* [Building materials from burnt rocks] *Stroyizdat* [Stroyizdat]. Moscow. P. 206.
10. Knigina G.I., Kucherova E.A., Zhitova N.S. (1978) *Issledovanie fazovoy i gidrotatsionnoy aktivnosti gorelykh porod Vostochnoy Sibiri* [Investigation of the phase and hydrotational activity of burning rocks of Eastern Siberia] *Izv. vuzov. Ser. Stroitel'stvo i arkhitektura* [News of Universities. Ser. Construction and architecture]. No. 3. P. 71–74.
11. Budnitsky V.M., Brazhnikov V.F., Buravchuk N.I. et. al. (1998) *Mineral'nye dobavki iz gorelykh porod i zol dlya vyazhushchikh i betonov* [Mineral supplements from burned rocks and evils for binders and concretes] *Izv. vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [News universities. North Caucasus region. Technical science]. No. 4. P. 70–74.
12. SP 119.13330.2012 «SNiP 32-01-95. Zheleznye dorogi kolei 1520 mm» (utv. Prikazom Ministerstva regional'nogo razvitiya RF ot 30.06.2012 No. 276) [SP 119.13330.2012 «SNiP 32-01-95. 1520 mm gauge railways» (approved by the Order of the Ministry of Regional Development of the Russian Federation No. 276 of June 30, 2012)].
13. Sychev M.M., Kazanskaya E.N., Petukhov A.A. (1987) *Rol' brenstedovskikh kislotnykh tsentrov v protsessakh gidratatsii tsementa* [The role of Bronsted acid centers in cement hydration processes] *Izv. vuzov. Khimicheskaya tekhnologiya* [News universities. Chemical Technology. No. 10. P. 85–88.
14. Tanabe K. (1973) *Tverdye kisloty i osnovaniya* [Solid acids and bases] *Mir* [Mir]. Moscow. P. 183.
15. Nechiporenko A.P. (1989) *Kislotno-osnovnye svoystva poverkhnosti tverdyykh veshchestv. Metod. ukazania* [Acid-base properties of solid surfaces. Method. decree] *LTI im. Lensovet* [Lensovet LTI]. P. 22.
16. Pitulko V.M., Ilyushchenko R.R. (2017) *Ratsional'noe prirodopol'zovanie i klyucheveye voprosy perekhoda Rossii k «zelenoy ekonomike»* [Environmental management and key issues of Russia's transition to a «green economy»] *Innovatika i ekspertiza* [Innovatics and expert examination]. Vol. 3 (21). P. 113–120.