

Д. т. н. Н. Г. Валиев, д. т. н. С. Я. Давыдов (✉), д. х. н. Р. А. Апакашев,
к. т. н. Д. И. Симисинов

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 622.271.6:666.76.002.33

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ОГНЕУПОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрена проблема включения в сырьевую базу производства основных огнеупоров продуктов гидродобычи полезных ископаемых (кварцита, песчаников, глины огнеупорной, каолина, бокситов, силлиманита, серпентинита, бишофита и др.). Отмечено, что специфика процесса гидродобычи обуславливает возможность комплексного использования компонентов природного сырья и упрощение технологии его предварительной подготовки для использования в составе огнеупорных изделий. Предложено устройство гидромеханизированной добычи полезных ископаемых, эффективное для обогащения и классификации песчано-глинистой массы на обводненных песчаных и песчано-гравийных месторождениях.

Ключевые слова: огнеупоры, расширение сырьевой базы, полезные ископаемые, комплексное использование, скважинная гидродобыча (СГД), устройство для скважинной гидродобычи.

В настоящее время основную часть промышленных огнеупоров производят из природного сырья. Для изготовления огнеупорных изделий используют полезные ископаемые, различающиеся по своему химическому составу и физико-механическому состоянию. В зависимости от вида исходного минерального сырья получают следующие основные огнеупоры: кремнеземистые (динасовые и кварцевые) — из кварцита, кварцитовидного песчаника и кварцевого песка; алюмосиликатные — из огнеупорной глины, первичного и вторичного каолина, боксита, силлиманита, дистена и ставролита; магнезиальные — из талькомагнезита, серпентинита, калийно-магниевого соли, а также бишофита.

Природное огнеупорное сырье в большинстве случаев не готово к непосредственному использованию. Песчаники — осадочная горная порода, используемая для получения кремнеземистых огнеупоров, состоит из зерен кварца, сцементированных глинистым, кремнеземистым или известковым веществом. Огнеупорные глины по составу являются полиминеральными породами, в которых ведущую роль играют кварц, каолинит, слюды и карбонаты. Поэтому при подготовке природного сырья к использованию в огнеупорном производстве требуется разделить неиспользуемые компоненты и загрязняющие примеси. Сырье подвергается очистке, обогащению, классификации и др. При этом природные запасы легкодоступного высококачественного огнеупорного

сырья в настоящее время близки к исчерпанию, одновременно снижается сортность добываемого сырья, усложняются горно-геологические условия разработки месторождений и, как следствие, растет себестоимость добычи.

Цель настоящей работы — включение в сырьевую базу производства основных огнеупоров продуктов гидродобычи полезных ископаемых (кварцита, песчаников, глины огнеупорной, каолина, бокситов, силлиманита, серпентинита, бишофита и др.). Специфика процесса гидродобычи обуславливает возможность комплексного использования компонентов природного сырья и упрощение технологии его предварительной подготовки для введения в состав огнеупорных изделий.

Гидродобыча полезных ископаемых применяется для механизации горных работ, когда все или часть производственных процессов выполняются за счет энергии высокоскоростного потока воды. Основными производственными процессами при гидромеханизации открытых горных работ являются размыв, транспортирование и укладка породы в гидроотвал. При добыче полезного ископаемого гидромеханизированным способом вода может быть также использована для обогащения полезного ископаемого [1]. Процессы размыва, гидротранспорта и укладки пород в отвал проходят непрерывно, и в этом основное отличие гидравлического способа разработок полезных ископаемых от других способов. Гидромеханизацию используют в следующих схемах технологических процессов:

– гидромониторная разработка рыхлых пород с самотечным или напорным транспортированием пульпы. Эта схема применяется при разработке несвязных и малосвязных грунтов



С. Я. Давыдов

E-mail: davidovtrans@mail.ru

(пески, супеси, легкие суглинки) слоями мощностью 2,5–3,0 м путем непосредственного размыва грунта в забое;

- гидромониторная разработка связных пород (плотные суглинки, тощие и полужирные глины, плотно слежавшиеся песчаные и песчано-гравийные грунты) с предварительным их разрыхлением;

- комбинированная разработка грунтов экскаваторами с погрузкой в автосамосвалы или на ленточные конвейеры и подачи грунта в приемно-смесительный бункер для образования пульпы, с последующим гидротранспортом ее по пульпопроводам при помощи передвижных землесосных установок;

- разработка обводненных месторождений плавучими землесосными снарядами.

Важно, что гидромеханизация горных работ обеспечивает следующие преимущества [1]: поточность технологического процесса; сокращение объемов капитальных работ и, соответственно, сроков строительства карьеров; высокую производительность труда; простоту, малую стоимость, незначительный вес и небольшие размеры основного оборудования; возможность популярного обогащения полезных ископаемых.

Наибольшее развитие гидромеханизированный способ получил для добычи, обогащения и классификации песчано-глинистой массы на обводненных песчаных и песчано-гравийных месторождениях [1]. Пески в значительных количествах применяют в стекольном производстве, при литейных работах (формовочные пески), в производстве цемента, силикатного кирпича и изделий из автоклавных бетонов, для локомотивных песочниц. В сравнительно небольших количествах песок используют для производства тонкой и строительной керамики, огнеупоров, абразивов и для других назначений.

Месторождения смеси песка с глиной широко распространены. Смесь, использование которой в природном виде часто ограничивается из-за повышенного содержания в ней глинистого материала и (или) валунов, требует их сортировки [2]. Представляет прикладной интерес изучение возможности применения гидромеханизированного способа разработки (с учетом наличия источников водоснабжения, характера рельефа, рыхлости пород вскрыши и т. д.), при котором частичное обогащение песков (удаление глинистых фракций, мелких фракций песка) происходит в процессе добычи. Выбор технологической схемы переработки песков зависит от зернового состава материала, степени его загрязнения пылевидными и глинистыми частицами, присутствия других посторонних примесей и включений, требований к качеству и ассортименту выпускаемой продукции, режима работы карьера и сезона года. Пески с содержанием глинистой составляющей 10 % и более подвергаются двух- или трехкратной промыв-

ке, для чего используют виброгрохоты, разного рода корытные лотки и гидравлические классификаторы.

Стекольная промышленность является одним из основных потребителей кварцевого песка [2]. К качеству кварцевого песка для стекольной промышленности предъявляются определенные требования [3], согласно которым минимальное содержание SiO_2 допускается в пределах от 95,0 % для низких марок и до 99,8 % для высоких марок, Fe_2O_3 0,01–0,25 %, Al_2O_3 0,1–4,0 %, тяжелой фракции для высоких марок 0,05 %, для низких марок содержание тяжелой фракции не нормируется. Ограничивается также зерновой состав песка. Кроме того, лимитируются содержание CaO , MgO , Cr_2O_3 , TiO_2 , K_2O и Na_2O , пылевидных и глинистых частиц, равномерность зернового состава. В наиболее чистых природных кварцевых песках содержание SiO_2 достигает 99,8 %, однако такие разности в природе встречаются сравнительно редко, и в большинстве случаев сырье для стекольной промышленности получают путем обогащения песков.

В *литейном производстве* пески используются как формовочные, в качестве основного компонента смесей, применяемых для литейных форм и стержней. Обычно это кварцевые пески чистые или с примесью глинистого материала. Требования к качеству песков также регламентируются [4].

В *производстве силикатных строительных материалов* (силикатного кирпича, изделий из армированного и неармированного силикатного бетона, плотного и ячеистого) применяют относительно чистые кварцевые пески (SiO_2 для силикатного кирпича не менее 50 %, для ячеистого бетона не менее 70 %, в качестве компонента вяжущего не менее 50 %); ограничивается содержание сернистых и сернокислых соединений, щелочей, слюды, зерен пластинчатой формы, пылевидных, илистых и глинистых частиц, органических примесей. Требования к зерновому составу песков предъявляются при их использовании для приготовления плотного бетона и силикатного кирпича. Зерновой состав для остальных назначений не нормируется. Оценка пригодности сырья осуществляется в основном по результатам испытаний готовой продукции [2].

В *фарфорофаянсовом производстве* кварцевый песок используют в качестве отошающей добавки, которая вносится в фарфорофаянсовые массы для уменьшения усадки керамических изделий. Основное требование, предъявляемое керамической промышленностью к песку, — чистота его химического состава. Вредными примесями являются красящие оксиды (железа и титана); лимитируются также содержание CaO , каолина и потери при прокаливании.

Требования к качеству песка для *тонкой керамики* регламентирует государственный стан-

дарт [5], который для разных марок песка допускает содержание SiO_2 93–95 %, оксидов железа и титана 0,2–0,3 %, CaO 1–2 %, каолина 1–2 %, $\Delta m_{\text{прк}}$ 1–2 %. Для этого назначения используется также кварц-полевошпатовый песок в природном виде или после разделения на составляющие.

В производстве огнеупоров песок применяют в небольшом количестве при изготовлении динаса как добавка в шихту для повышения огнеупорности и облегчения формовки сырца, а также при изготовлении набивных масс для футеровки сталеразливочных ковшей. Для этих целей наиболее пригодны пески с крупными (0,5–1 мм) остроугольными зернами. Вредными примесями, снижающими температуру плавления, являются слюда и полевой шпат. Ограничивается содержание Fe_2O_3 и Al_2O_3 .

Для включения в сырьевую базу производства основных огнеупоров продуктов гидродобычи полезных ископаемых в Уральском государственном горном университете разработано универсальное устройство для гидродобычи полезных ископаемых, пригодное как в карьерных, так и в шахтных условиях. Скважинная гидродобыча (СГД) [6] представляет собой способ дистанционной подземной разработки месторождений через скважины, при котором полезные ископаемые переводятся в состояние суспензии, способной к транспортировке на поверхность. Этот способ можно использовать при отработке запасов, сложенных легкодиспергируемыми рыхлыми или слабосвязанными полезными ископаемыми. К ним можно отнести месторождения песков и глин, бокситы.

Основными технологическими процессами СГД являются вскрытие залежи с помощью скважин, разрушение полезного ископаемого напорной струей воды, его дезинтеграция, перевод в забое разрушенной массы в гидросмесь, самотечная или напорная транспортировка от забоя до пульпоприемных скважин, подъем гидроэлеваторами или эрлифтами на дневную поверхность. СГД требует весьма небольших капитальных затрат, которые в 3–5 раз ниже, чем на открытой добыче сопоставимой мощности, и в 10–15 раз меньше необходимых на подземную разработку. В частности, издержки на проходку скважин обычно не превышают 20–25 % эксплуатационных затрат. С увеличением глубины разработки капитальные затраты возрастают незначительно. Рассчитано, что безубыточная скважинная гидродобыча возможна до глубины 2300 м. На создание рудника с этой технологией требуется в 3–15 раз меньше времени, чем на строительство карьера или шахтного комплекса сопоставимой мощности. Тем самым сокращаются сроки возврата капиталовложений.

Многие месторождения не вовлекаются в отработку ввиду их сильной обводненности или

из-за расположения под дном рек, озер и морей. Для таких объектов СГД становится единственно возможной технологией. За счет дезинтеграции и самообогащения материала в системе подземная камера – скважина-карта намыва добываемый продукт приобретает новые качества, зачастую лучшие, чем получаемые на обогачительных фабриках. Технология СГД обладает рядом привлекательных черт, которые можно реализовать в конкретных условиях месторождений, когда другие системы разработки невозможны или нерентабельны. На наш взгляд, для СГД наиболее перспективны объекты месторождения бокситов на Полярном Урале. Для дальнейшего развития технологии СГД необходимо продолжать исследования, решая при этом следующие задачи: повышение эффективности гидравлического разрушения пород; снижение энергоемкости подъема гидросмеси при больших глубинах разработки.

Устройство для СГД [7] полезных ископаемых содержит (рис. 1, а) водовод 1, установленный в наклонной скважине 2, и вращающийся гидромонитор 3 с хвостовой частью. Гидромонитор 3 создает струю пульпы для формирования забоя (рис. 1, б) в виде полуокружности 4 с заданным радиусом R в сечении, перпендикулярном оси 5 скважины 2. На конце 6 водовода 1 (рис. 1, в) смонтирован вращатель 7, в который вставлен гибкий патрубок 8. Хвостовая часть гидромонитора 3 соединена со вторым концом 9 гибкого патрубка 8. Вращатель 7 снабжен штангами 10, присоединенными к стенке в виде вращающегося диска 11 с окном 12. Диск 11 установлен подвижно на вращающейся оси 13 опоры 14 с возможностью обеспечения вращения гидромонитора с гибким патрубком 8 вокруг конца 6 водовода 1 и вокруг оси диска 11 с окном 12 с переменным радиусом R_r в зависимости от изменения заданного радиуса R полуокружности забоя.

Работа устройства с использованием гидромонитора производится следующим образом. В массиве бурят наклонные скважины 2, расположенные рядами, расстояние между которыми равно эффективной длине струи размыва (см. рис. 1, в). Для наиболее эффективного размыва в сочетании угла наклона струи используется вращательное движение гидромонитора по окружности с переменным радиусом R_r в зависимости от изменения заданного радиуса R полуокружности забоя. Радиус R устанавливается с учетом стесненности участка размыва. Изменение радиуса R_r вращения гидромонитора по окружности производится без замены конструкции гибкого патрубка путем перемещения его второго конца 9 вдоль окна 12.

Первоначальная компактность струи воды, вылетающей из гидромонитора, зависит в основном от гидравлического совершенства его точной части. В результате сопротивления

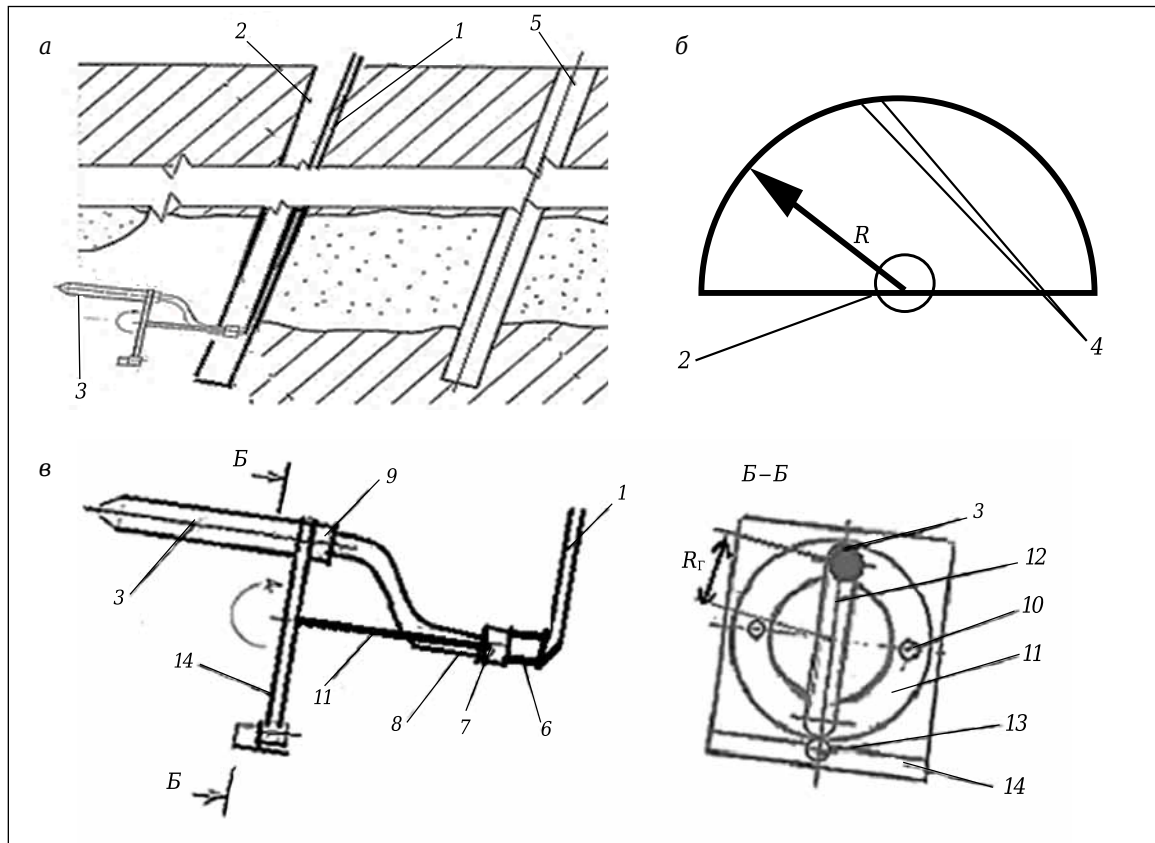


Рис. 1. Схема устройства для СГД полезных ископаемых: а — скважина в разрезе; б — забой в виде полукруглости в сечении; в — забой гидромонитора

воздуха первоначальная компактность струи гидромонитора постепенно теряется, струя расслаивается и рассеивается. Свободную струю гидромонитора принято делить на три различных по структуре участка (рис. 2):

1-й участок — участок компактной струи. На этом участке струя имеет цилиндрическую форму и плотную структуру;

2-й участок — участок насыщения струи воздухом. На этом участке струя приобретает коническую, расширяющуюся форму — начинается распыление струи, заметно теряющей свою компактность;

3-й участок — участок, сильно насыщенный воздухом. На этом участке струя представляет собой смесь отдельных струек и капель с воздухом. Сечение струи значительно возрастает, и она полностью теряет свою компактность [8].

Показателем компактности струи гидромонитора является угол ее конусности, который может быть определен по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha / 2 = (D - d_0) / (2l),$$

где $\alpha / 2$ — угол конусности; D — диаметр струи

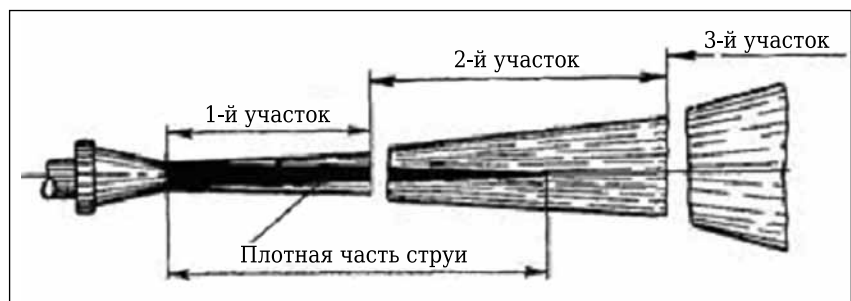


Рис. 2. Схема струи гидромонитора

на расстоянии l от насадки, м; d_0 — диаметр насадки, м.

Принимают, что размывающая способность гидромониторной струи характеризуется давлением ее на забой. Величина этой силы P определяется выражением [8]

$$P = 2kpFHg \sin \alpha,$$

где k — коэффициент зависимости уменьшения ударной силы струи от удаления забоя; ρ — плотность воды, кг/м³; F — поперечное сечение насадки, м²; H — полный напор у насадки, м вод. ст.; g — ускорение свободного падения; α — угол встречи струи с забоем.

Удельное давление струи на забой, т. е. давление, приходящееся на единицу площади, зави-

Значения удельного давления струи на забой

Расстояние от насадки, м	Удельное давление струи, МН/м ² , при диаметре насадки, мм		
	75	90	100
5	0,30	0,38	0,43
10	0,10	0,14	0,17
15	0,05	0,07	0,08
20	0,03	0,04	0,05

сит от напора перед насадкой, диаметра струи и расстояния до забоя, а также от продвижения вперед, например с помощью каната. В таблице приведены значения удельного давления струи на забой при $H = 60$ м вод. ст. [8].

Длина струи, используемой для разрушения пород, составляет 9,4 м, что достаточно для образования добычной камеры диаметром 19 м [9]. При наличии суглинистых отложений касатель-

ные движения струй как бы сглаживают поверхность потолочины, что способствует увеличению устойчивости стенок и предотвращению обрушения потолочины.

Изменение радиуса вращения гидромонитора по окружности производится без замены конструкции гибкого патрубка путем перемещения его второго конца вдоль окна. Использование автоматизации процесса отработки забоя, а также совмещение расширения площади охвата струей гидромонитора при его непрерывном продвижении вперед, например с помощью каната, значительно увеличит объем полезного ископаемого, вырабатываемого из каждой скважины.

Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки России.

Библиографический список

1. **Юсупова, Г. М.** Специальные способы ведения открытых горных работ : уч. пособие / Г. М. Юсупова. — Алматы : КазНТУ имени К. И. Сатпаева, 2014. — 185 с.
2. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Песок и гравий : Утв. МПР России от 05.06.2007 № 37-р. — М., 2007. — 39 с.
3. ГОСТ 22551-77. Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности. — М. : Изд-во стандартов, 1997. — 16 с.
4. ГОСТ 2138-91. Пески формовочные. Общие технические условия. — М. : Изд-во стандартов, 2005. — 7 с.
5. ГОСТ 7031-75. Песок кварцевый для тонкой керамики. — М. : Изд-во стандартов, 1976. — 8 с.
6. **Арене, В. Ж.** Скважинная гидродобыча полезных ископаемых : уч. пособие / В. Ж. Арене, Н. И. Бабичев, А. Д. Башкатов. — М. : Горная книга, 2011. — 295 с.

7. **Заявка 030036 Российская Федерация.** Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых / Валиев Н. Г., Давыдов С. Я., Здоровец И. Л. ; заявитель ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» ; заявл. 17.05.16.

8. **Шкундин, Б. М.** Оборудование гидромеханизации земляных работ : учебник для учащихся гидроэнергетических, энергетических и энергостроительных техникумов / Б. М. Шкундин. — М. : Энергия, 1970. — 240 с.

9. **Пат. 2499140 Российская Федерация.** Способ скважинной гидродобычи из горных выработок с предварительным осушением полезного ископаемого ; опубл. 20.11.13. ■

Получено 22.09.16

© Н. Г. Валиев, С. Я. Давыдов, Р. А. Апакашев,
Д. И. Симисин, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



II научно-техническая конференция «Высокотемпературные керамические композиционные материалы и защитные покрытия»

Конференция состоится 15 декабря 2016 г. в ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по адресу: Москва, пр-т Буденного, 25а (территория № 2, вход со стороны 9-й ул. Соколиной Горы).

Основные темы докладов:

- ▷ получение композиционных материалов с использованием современных методов, практический опыт применения разработок тугоплавких керамических матриц, неорганических армирующих волокон и покрытий
- ▷ корреляция между микроструктурой композиционных материалов и их механическими свойствами
- ▷ физико-химическое взаимодействие между матрицей и армирующим наполнителем
- ▷ улучшение рабочих характеристик материалов путем применения инновационных технологических подходов, нанесения высокотемпературных защитных покрытий и др.

По итогам II научно-технической конференции будет выпущен сборник докладов (в электронном виде).

ОРГКОМИТЕТ:

(495) 365-56-52 Денисова
Валентина Сергеевна

(495) 366-72-65 Ваганова
Мария Леонидовна

(499) 263-89-17 Сумакова
Алла Витальевна

E-mail: mkm@viam.ru