

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ КАФЕДРЫ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СПОСОБОВ И ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

В. П. ДРОБАДЕНКО, зав. кафедрой, проф., д-р техн. наук, drobadenko@mail.ru
Н. Н. КЛОЧКОВ, директор Института современных технологий геологической разведки, горного и нефтегазового дела, канд. техн. наук
Ж. В. БУНИН, проф., д-р техн. наук
А. Л. ВИЛЬМИС, доцент, канд. техн. наук

Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Введение

Кафедра геотехнологических способов и физических процессов горного производства ведет свою историю от кафедры разработки месторождений руд редких и радиоактивных металлов, которая была создана в 1949 г. в Московском институте цветных металлов и золота им. М. И. Калинина профессором Г. Н. Поповым (возглавлял ее в течение 28 лет до конца жизни в 1978 г.). В этот период на кафедре работали видные деятели горной науки: профессора, доктора технических наук Б. П. Боголюбов, Б. П. Юматов, С. М. Шорохов.

В последующий период кафедру возглавляли: в 1979–2003 гг. – проф., докт. техн. наук, действительный член Академии горных наук В. А. Симаков; с 2003 по 2009 г. – проф., докт. техн. наук, академик РАН, лауреат Государственной премии СССР и РФ, премии Президента Российской Федерации, дважды лауреат премии Правительства РФ К. Н. Трубецкой; с 2009 по 2011 г. – проф., докт. техн. наук А. Б. Макаров (после объединения с кафедрой геодезии и маркшейдерского дела); в 2011–2015 гг. – проф., докт. техн. наук, действительный член Академии горных наук, заслуженный работник высшей школы РФ Ж. В. Бунин.

На базе кафедры в 1978 г. была сформирована первая в стране кафедра разработки россыпных месторождений, которую почти 25 лет возглавлял ранее руководивший ВНИИ-1 в г. Магадане проф. С. В. Потемкин.

В том же году благодаря многолетним усилиям профессором С. М. Шороховым при активной поддержке В. Г. Лешкова, работавшего старшим референтом у заместителя Председателя Совета Министров СССР, была открыта специальность 0213 «Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений». В 1988 г. в качестве специализации она вошла в специальность 0905 «Открытые горные работы». В первоначальном составе кафедры были профессора С. В. Потемкин, С. М. Шорохов; доценты Ю. Е. Кацман, В. В. Сборовский, В. Ф. Хныкин, В. П. Дробаденко. Впоследствии (1989–1997 гг.) кафедру возглавлял проф., докт. техн. наук В. Ф. Хныкин.

В 1997 г. в результате объединения кафедр разработки россыпных месторождений и океаноготехнологии (организованной

Освещены основные направления учебной и научно-исследовательской деятельности кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства. На основе новой научной концепции – гидродинамики коаксиально закрученных жидкостных струй (эффекта искусственного смерча) для интенсификации массообменных процессов – специалистами кафедры разработаны различные конструктивные варианты загрузочных аппаратов для гидротранспортирования и гидроподъема минерального сырья.

Ключевые слова: минеральное сырье, гидротранспортирование, гидроподъем, коаксиально закрученные струи, установка, высоконасыщенная гидросмесь, вихри, испытания.

DOI: 10.17580/gzh.2018.11.10

в 1991 г. проф. С. Ю. Истошиным для подготовки горных инженеров по освоению шельфовых и океанических месторождений полезных ископаемых) была образована кафедра комплексного освоения и экологии россыпных и морских месторождений под руководством проф., докт. техн. наук В. П. Дробаденко. В тот период учебный процесс обеспечивали профессора И. С. Калинин, В. И. Решетников, Г. М. Луцкий, А. М. Лев; доценты Н. Н. Клочков, О. А. Луконина, А. В. Сурков, С. В. Тимошенко, А. С. Журавлев, В. Ю. Маркевич, а также приглашенные из других организаций известные ученые профессора И. О. Мурдмаа, Ю. В. Бубис, Е. А. Контарь; доценты Л. Р. Мерклин и И. Я. Ракитин.

В 2009 г. в состав кафедры вошла кафедра оптимизации геологоразведочных процессов, организованная в 1989 г. и руководимая проф., докт. техн. наук, лауреатом Государственной и Ленинской премий СССР Е. А. Козловским, а также кафедра геотехнологии руд редких и радиоактивных металлов, организованная в 1971 г. ректором МГРИ проф. Д. П. Лобановым и осуществляющая специальную подготовку горных инженеров по физико-химическим технологиям извлечения урана и благородных металлов. В последующем (с 1993 по 2009 г.) этим учебным подразделением руководил проф., д-р техн. наук Н. Г. Малухин. В разное время на кафедре трудились известные преподаватели (профессора, доценты) и научные сотрудники Л. И. Лунев, В. П. Небера, В. Ж. Арнс, Н. И. Бабичев, М. Н. Тедеев, Э. И. Черней, С. В. Маркелов, Г. Н. Малухин, И. Г. Абдульманов, А. В. Машьянова, И. А. Дмитриев, В. Н. Сысоев, Д. Н. Ребриков, П. Д. Лобанов, Г. С. Андреева, С. Я. Горюшкина, Т. И. Долгополова, Е. Л. Фонберштейн, С. П. Экомасов, О. В. Подмарков, Н. А. Пучков, В. И. Шендеров, Л. И. Водолазов, С. И. Иванов, И. С. Осмоловский, Н. Г. Попов, Г. Ю. Абрамов, И. Г. Колупаев, С. В. Марчев, в том числе аспирант П. Н. Гусев (ныне главный редактор газеты «Московский комсомолец»).

*В работе принимали участие сотрудники РГГУ им. С. Орджоникидзе: профессора Ю. А. Боровков и С. В. Маркелов, доценты М. И. Буянов, О. А. Луконина и И. С. Калинин.

С 1993 по 2015 г. этим учебным подразделением руководил проф., докт. техн. наук Н. Г. Малухин. В то время здесь трудились профессора Д. П. Лобанов, Л. И. Водолазов, С. В. Маркелов, В. П. Небера, С. И. Иванков; доценты Г. Н. Андреева, С. Я. Горюшкина; старший преподаватель Т. Н. Долгополова.

В 2015 г. преподавательский состав пополнился в результате объединения с кафедрой разработки месторождений стратегических видов минерального сырья и маркшейдерского дела профессорами Ж. В. Буниным, Ю. И. Анистратовым, Ю. А. Боровковым, А. Б. Макаровым, Е. Н. Холобаевым и Л. М. Титовым; доцентами Н. И. Романовым, А. А. Терешиним, А. М. Тимченко; старшим преподавателем Д. В. Величко; преподавателями К. С. Мальским, А. Н. Дроновым, С. В. Федяковым.

В настоящее время на кафедре геотехнологических способов и физических процессов горного производства работают профессор В. П. Дробаденко (зав. кафедрой), Ж. В. Бунин, Ю. А. Боровков, С. В. Маркелов, В. П. Небера, В. И. Паличев; доценты М. И. Буянов, М. Ю. Богачев, А. Л. Вильмис, А. С. Журавлев, Н. Н. Клочков, И. С. Калинин, О. А. Луконина; старшие преподаватели П. В. Богданов, Т. И. Долгополова; инженер А. В. Тимошкин.

Кафедра является учебно-научным подразделением университета для подготовки горных инженеров по специальности 21.05.04 «Горное дело», специализациям «Открытые горные работы» и «Подземная разработка рудных месторождений», а также по специальности 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства», специализации «Физические процессы горного производства».

Кроме больших объемов учебно-методической работы, с 1980 г. кафедрой была оказана помощь в подготовке и защите более 30 докторских диссертаций по различным научным направлениям.

Основные направления научно-исследовательских работ

Ключевыми направлениями научных исследований на кафедре являются следующие.

1. Повышение эффективности геотехнологических способов и производственных процессов при освоении осадочных континентальных и морских месторождений на основе нового научного направления – использования кинетической энергии коаксиально закрученных жидкостных струй (искусственного смерча) для интенсификации массообменных процессов, подтвержденного многочисленными отечественными и зарубежными патентами. Два из них получили золотую и серебряную медали на Всемирной выставке изобретений в Брюсселе. Закрученные потоки, известные в атмосферных явлениях (циклоны, смерчи, торнадо), а также наблюдаемые в природе (океанические вихри, водовороты, вихревые воронки) имеют определенные преимущества перед прямоточными – интенсивная турбулизация, ускорение процессов смешения, повышение эжекционной способности, наличие зон рециркуляции, что способствует увеличению массообмена. Исследования по гидродинамике показали, что закрутка жидкостного потока является интенсивным средством воздействия на технологический процесс в целом вследствие влияния центробежных сил вращения на пульсационное движение.

2. Совершенствование геотехнологий комбинированной (открыто-подземной) разработки рудных месторождений цветных, редких и радиоактивных металлов.

3. Развитие технологии открытых горных работ и гидромеханизированной разработки россыпных месторождений.

4. Обоснование устойчивых параметров горных выработок с учетом влияния рельефа земной поверхности на напряженно-деформированное состояние подработанного массива горных пород, позволяющих повысить эффективность природоохранных мероприятий.

5. Интенсификация процессов физико-химических геотехнологий.

Учебно-научной базой кафедры является лаборатория новых гидротехнологий, в которой функционируют по различным научным направлениям более 10 моделей, входящих в уникальную стендовую установку (УСУ), зарегистрированную в Минобрнауке под № 4-73. Она включена в научно-образовательный центр (НОЦ) «Геологическое изучение и освоение морских месторождений полезных ископаемых», образованный с Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН.

Кроме выполнения научных исследований, в лаборатории проходят практические и лабораторные занятия, а также учебно-технологические практики для подготовки горных инженеров по технологии и технике разведки месторождений полезных ископаемых, разработке осадочных (россыпных) морских и техногенных месторождений, а также горных инженеров-геотехнологов для золото- и уранодобывающих предприятий.

На основе новой научной концепции разработаны различные конструкции загрузочных аппаратов.

В отличие от известных способов [1–4] гидротранспортирования, применение загрузочного аппарата с использованием кольцевых закрученных струй жидкости, эффекта искусственного смерча позволяет формировать высоконасыщенную пульпу (30–40 % по объему), т. е. сократить удельный расход воды на транспортирование более чем в 2,5–3 раза, тем самым значительно уменьшив удельную энергоемкость процесса. Способ и технические устройства запатентованы в России, США, Германии, Австралии, Финляндии и других странах [5–7]. Применение этих аппаратов позволяет:

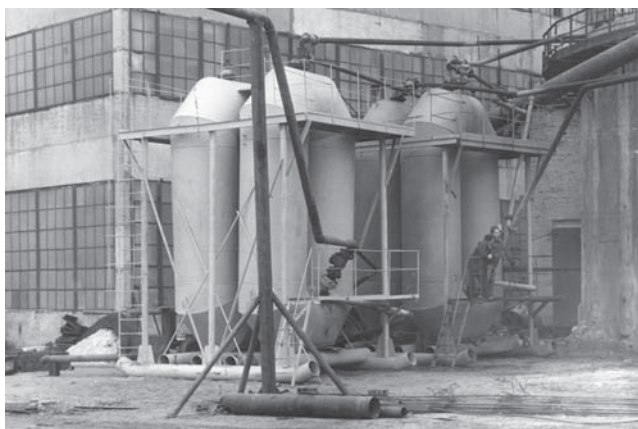
- увеличить в 2,5–3 раза дальность транспортирования концентрированной гидросмеси, (~10 км на 1 агрегат), что резко снижает многоступенчатость процесса;

- исключить абразивный износ движущихся частей транспортного оборудования, так как движителем является не грунтовый насос, а водяной, что позволяет снизить металлоемкость процесса транспортирования;

- значительно уменьшить переизмельчение транспортируемых минеральных частиц, что характерно для грунтовых центробежных насосов при прохождении твердого материала через проточные каналы;

- транспортировать крупные куски твердого материала, размеры которых, в отличие от грунтонасосов, определяются не проходным сечением проточных каналов, а диаметром транспортного трубопровода;

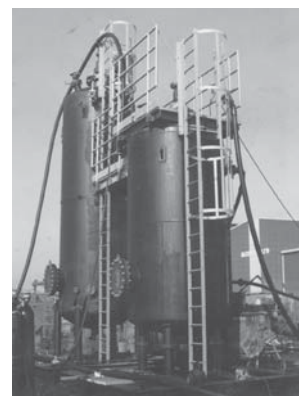
- повысить стабильность подачи гидросмеси на обогатительные аппараты, что способствует повышению извлечения ценных



Промышленные испытания загрузочно-гидротранспортных установок на Верхне-Днепровском ГМК при подаче хвостов обогащения на расстояние 4,7 км



Испытания гидро-подъемного аппарата на Черном море в акватории г. Новороссийска



Испытания гидро-транспортного аппарата в Шотландии (компания MERPRO)

компонентов при переработке их на обогатительных фабриках.

Кроме перечисленных выше операций, аппарат параллельно с гидротранспортированием может удалять тонкодисперсные фракции, т. е. осуществлять их классификацию.

Опытно-промышленные испытания установки осуществляли при гидротранспортировании редкометалльных песков и черного концентрата (Верхне-Днепровский ГМК и Иршинский ГОК) при подаче хвостов обогащения на прииске «Отрожный» (ПО «Северовостокзолото»), при гидроподъеме минерального сырья с глубины 100 м в акватории Черного моря. Морские испытания системы подъема с такими аппаратами проводили сотрудники МГРИ–РГРУ совместно с ЦКБ «Океангеотехника» и Черноморской опытно-методической экспедицией; они подтвердили работоспособность и эффективность предложенных конструкций загрузочного аппарата, который также успешно прошел испытания на предприятиях в Шотландии и ЮАР.

Эрлифтные и эжекторные (гидроэлеваторные) установки, оснащенные разработанными учеными кафедры устройствами для достижения высокой управляемой турбулизации газожидкостного и жидкостного потоков, значительно повышают интенсивность процесса всасывания. При этом улучшаются качественные параметры, часовая производительность по горной массе возрастает в 1,5–2

раза. Это позволяет с высокой эффективностью применять их для выемки и подъема полезных ископаемых из подводных глубин, для гидроподъема твердого материала на подземных работах, а также интенсифицировать процессы агитационного выщелачивания.

В отличие от применяемых технологий подводной добычи твердых полезных ископаемых, на кафедре разработан опытно-промышленный образец эрлифтного грунтозаборного устройства с механогидравлическим рыхлителем, который был смонтирован на борту судна Samicor. На морском дне шельфа Намибии были проведены промышленные испытания новой технологии добычи с эрлифтным подъемом с глубин ~200 м. Результаты испытаний, основанные на различных экспертных оценках, показали увеличение часовой производительности по алмазосодержащим гравийно-галечно-песчаным породам в среднем в 2,9 раза (~150 м³/ч). Продолжительность (стабильность подачи) обеспечения такой высокой часовой производительности по горной массе составила 67 % против 12 % у прежней конструкции, применяемой на алмазодобывающем судне.

Для глубоководного подъема железомарганцевых конкреций на арендуемом Россией участке в зоне Клариион-Клиппертон в Тихом океане предложен полифункциональный загрузочно-масообменный гидроподъемный комплекс [6], в котором техноло-

Применение скважинной гидротехнологии на горных предприятиях

Объект, цель работ	Состав руды	Глубина отработки, м	Мощность пласта, м	Производительность по добыче, м ³ /ч
КМА, Белгородская область, добыча	Магнетит-мартит обводненные	До 830	До 250	20–25
Прикаспийская ГМК, уран	Глины с костным детритом	До 95	1–1,5	10
Верхне-Днепровский ГМК	Редкометалльные пески	40–50	10–12	20–29
Томская ГРЭ, отбор технологической пробы	Пески влажные каолинизированные	15–20	10	4–5
Томская ГРЭ	Титаноциркониевые пески каолинизированные	35–40	10–12	15–20
Колубара (Сербия), добыча	Песок кварцевый	20–25	15–20	50–80
Тургайская ГРЭ, опробование	Глинистые с янтарем руды	40–50	1–3	4–5
Янтарное месторождение	Синие руды	25	1–2	15
Месторождение Заамарын-Эх, (Монголия), проект	Золотоносные пески	20	1–2	12
Лукояновское месторождение, отбор технологической пробы	Обводненные титано-циркониевые пески	40	5	10–15
ЗАО «ТГПК» и ОАО «Цирконгеология», Тарское месторождение	Обводненные титано-циркониевые пески	60	6	25,5
Золоторудное месторождение Самти (Афганистан), проект 2009 г.	Золотоносные обводненные пески	30	5	25



Испытания гидроподъемного аппарата на шахте в ЮАР

гически взаимосвязаны работа загрузочно-гидротранспортного аппарата с вихревым пульпоприготовлением и пульсационной колонной, расположенными на погружной платформе. Комплекс осуществляет процесс сепарации, отделяя зёрненную часть полезного компонента горной массы от глинистых (илистых) фракций в пульсационной колонне. При этом зёрненные компоненты гидросмеси загрузочным аппаратом поднимаются по вертикальному пульповоду на плавсредство, а тонкие частицы (шламы) укладываются

в выработанное пространство океанического дна, образованное в результате выемки агрегатом сбора, что позволяет снизить загрязнение океанических толщ воды за счет сброса тонких твердых частиц в придонную часть океана.

Скважинная гидротехнология (СГТ) – эффективный безвскрышной способ добычи полезных ископаемых [8–11] был развит и апробирован на горных предприятиях России, других стран СНГ, Сербии (см. **таблицу**).

Вихревое выщелачивание – экологически чистая технология извлечения золота и редких металлов из бедного минерального сырья, хвостов обогащения. Разработана на базе вышеупомянутых гидротранспортных аппаратов. Технологический процесс осуществляется в обменно-циркуляционных емкостях с загрузкой горной массы в сухом виде от землеройной техники или в виде пульпы от гидроэлеватора (грунтонасоса). При этом основными факторами высокой интенсификации и экологичности процессов выщелачивания являются:

- интенсивное перемешивание твердого материала с раствором крупномасштабными вихрями, образованными напорными жидкостными либо воздушно-жидкостными закрученными струями с использованием эффекта искусственного смерча;
- поточность всех циклов технологического процесса, включая погружно-разгрузочные операции, основанные на транспортировании с использованием струйных аппаратов;
- циркуляция высоконасыщенной смеси по трубопроводу в замкнутой системе при полной экологичности и управляемости процессов.

Патентно-чистая технология кучного выщелачивания, разработанная на кафедре, предусматривает формирование компактного штабеля способом намыва высоконасыщенными пульпами (~45 % по объему) в растворе реагента вышеупомянутыми гидротранспортными аппаратами вихревого пульпоприготовления. Это позволяет, в отличие от традиционно используемого способа отсыпки куч землеройной техникой [12, 13], избежать переуплотнения штабеля, исключить кольматационные явления и улучшить фильтрационные свойства намываемого массива в процессе кучного выщелачивания.

При этом формирование штабеля может выполняться с использованием в качестве транспортирующей жидкости как воды, так и раствора реагента. Эти растворы будут находиться в замкнутом циркуляционном потоке: загрузка емкости – ее разгрузка – гидротранспортирование – намыв штабеля – фильтрация раствора реагента в штабеле – сбор продуктивного раствора в отстойнике и повторная подача насосом (можно использовать песковый или грязевый насосы) в емкость, заполненную твердым осевшим исходным материалом для ее разгрузки и подачи на штабель. По мере насыщения продуктивного раствора металлом часть его удаляется из процесса на сорбцию, а циркуляционный поток восполняется свежим раствором реагента. Последующее выщелачивание штабеля осуществляется посредством орошения по традиционной схеме.

В течение нескольких лет специалисты кафедры проводили изыскания, направленные на повышение производительности гидродобычных комплексов при разработке золотосодержащих песков на прииске «Экспериментальный» (ПО «Северовостокзолото»), редкометалльных пород на Иршинском ГОКе и Верхне-Днепровском ГМК. Эти исследования были связаны с разработкой и внедрением в производство системы оперативного учета и контроля режимов работы гидротранспортного оборудования на базе контрольно-измерительной аппаратуры, работающей по принципу перепада давлений (расходомеры «Антивентури», дифманометры типа ДМ, гидростатический плотномер с шаровым датчиком К. В. Диминского). Установлено, что в специфических условиях работы горного предприятия они обладают достаточными точностью, надежностью, простотой в эксплуатации.

Внедрение системы оперативного контроля режимов работы гидродобычных комплексов позволяет в ритме производственного процесса вести автоматический контроль за следующими параметрами:

- мгновенной и суммарной производительностью насосной станции по воде, поступающей в карьер, и грунтонасосной установки по гидросмеси;
- мгновенной и средней объемной плотностью гидросмеси за определенный промежуток времени;
- производительностью карьера по горной массе, поступающей на обогатительную фабрику (промывочную установку);
- фактическим временем работы гидрокомплексов карьера.

Экономическая эффективность от внедрения данной системы в целом выражается в общей стабилизации производственного процесса и поддержании его в заданных режимах; обеспечении согласованной работы всего комплекса «карьер – фабрика» за счет вскрытия и устранения дефектов в работе, выявления резервов и «узких мест» по отдельным производственным процессам; создании нормальных условий эксплуатации оборудования, увеличении межремонтных периодов и повышении коэффициента его использования.

Заключение

Таким образом, в процессе становления и развития кафедры, расширения области научных исследований профессорско-преподавательским коллективом в содружестве со специали-

стами горных предприятий достигнуты значительные успехи в области повышения эффективности геотехнологических способов комбинированной разработки рудных месторождений,

гидромеханизированной добычи минерального сырья из россыпей, а также интенсификации процессов при реализации физико-химических геотехнологий.

Библиографический список

1. Jačimovski D. R., Garič-Grušič R. V., Grbavčić Ž. B., Đuriš M. M., Bošković-Vragolović N. M. Analogija prenosa količine kretanja, toplote i mase pri vertikalnom hidrauličkom transportu inertnih čestica // *Hemijska Industrija*. 2014. Vol. 68. Iss. 1. P. 15–25.
2. Vlasak P., Kysela B., Chara Z. Fully Stratified Particle-Laden Flow in Horizontal Circular Pipe // *Particulate Science and Technology*. 2014. Vol. 32. No. 2. P. 179–182.
3. Aleksandrov V. I., Vasilyeva M. A., Pomeranets I. B. Estimation of efficiency of hydrotransport pipelines polyurethane coating application in comparison with steel pipelines // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 87. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022001
4. Furlan J. M., Visintainer R. J. Centrifugal pump performance when handling highly non-Newtonian clays and tailings slurries // *Proceedings of the 19th International Conference on Hydrotransport*. – Golden, 2014. P. 117–130.
5. Дробаденко В. П., Луконина О. А., Вильмис А. Л. Полифункциональная установка на основе использования коаксиальных закрученных струй для моделирования новых гидротранспортно-подъемных технологий // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013. № 3. С. 297–301.
6. Пат. 2558594 РФ. Способ ведения массообменных процессов и устройство для его осуществления / В. П. Дробаденко, Н. Г. Малухин, О. А. Луконина, А. Л. Вильмис, Д. Н. Ребриков, М. Ю. Козлов; заявл. 04.08.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 22.
7. Verichev S., Drobadenko V., Malukhin N., Vilmis A., Lucieer P., Heeren J., van Doesburg B. Assessment of Different Technologies for Vertical Hydraulic Transport in Deep Sea Mining

- Applications // *Proceedings of the 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAЕ 2012)*. – Rio de Janeiro, 2012. Vol. 3. Pipeline and Riser Technology. P. 137–144.
8. Британ И. В., Лейзерович С. Г. О перспективах использования скважинных геотехнологий при освоении минеральных ресурсов Белгородской области // *Горный журнал*. 2014. № 8. С. 49–53.
9. Малухин Н. Г., Кудряшов Р. В. Обоснование эффективности процессов всасывания при скважинной гидродобыче // *Вестник Российской академии естественных наук*. 2013. № 6–1. С. 53–56.
10. Саммал А. С., Анциферов С. В., Деев П. В., Сергеев С. В. Оценка устойчивости массива при скважинной добыче богатых железных руд // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. 2016. Т. 3. № 1. С. 176–179.
11. Хрулев А. С. Скважинная гидротехнология – проблемы и решения // *Вестник Российской академии естественных наук*. 2013. № 5. С. 51–54. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012049
12. Dhawan N., Safarzadeh M. S., Miller J. D., Moats M. S., Rajamani R. K. Crushed ore agglomeration and its control for heap leach operations // *Minerals Engineering*. 2013. Vol. 41. P. 53–70.
13. Karev V. I., Kovalenko Yu. F. Well stimulation on the basis of preliminary triaxial tests of reservoir rock // *Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment : Proceedings of EUROCK 2013 – The 2013 ISRM International Symposium*. – Leiden : CRC Press/Balkema, 2013. P. 935–940. **PK**

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 11, pp. 56–60
DOI: 10.17580/gzh.2018.11.10

Key research projects of the Chair of Geotechnical and Physical Processes in Mining

Information about authors

V. P. Drobadenko¹, Head of Chair, Professor, Doctor of Engineering Sciences, drobadenko@mail.ru
N. N. Klochkov¹, Dean of School of Exploration and Mining Technologies, Candidate of Engineering Sciences
Zh. V. Bunin¹, Professor, Doctor of Engineering Sciences
A. L. Vilmis¹, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, Russia

Abstract

The Chair undertakes research activities in such areas as:

- improving efficiency of development of continental and marine sedimentary deposits;
- advancing hybrid ore mining technologies;
- expansion of hydraulic mining at placers;
- validation of stability parameters for underground openings with regard to ground surface relief;
- intensification of processes within physicochemical geotechnologies.

Based on the new scientific concept—hydrodynamics of coaxially twisted jets (artificial waterspout phenomenon)—aimed to intensify mass-exchange processes, the Chair research team has designed various modifications of feeding machines. The latter are basically advantageous for: generation and long-distance feed of high-concentration two-phase mixtures; elimination of abrasive wear of movable parts of transport facilities; considerable reduction in energy consumption of production process. The semi-commercial tests of the machines in hydraulic transport and lift of minerals in the land and marine environment in Russia and abroad proved high efficiency and applicability of the machines in various industrial branches. At the present times, the experts of the Chair focus on the increase in efficiency of hydraulic mining systems and improvement of their operating regimes.

The authors appreciate participation of Professors Yu. A. Borovkov and S. V. Markelov, as well as Associate Professors M. I. Buyanov, O. A. Lukonina and I. S. Kalinin, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, in this study.

Keywords: mineral raw materials, hydrotransport, hydraulic lift, coaxially twisted jets, high solids content hydro-mix, vortexes, testing.

References

1. Jačimovski D. R., Garič-Grušič R. V., Grbavčić Ž. B., Đuriš M. M., Bošković-Vragolović N. M. Analogija prenosa količine kretanja, toplote i mase pri vertikalnom hidrauličkom transportu inertnih čestica. *Hemijska Industrija*. 2014. Vol. 68. Iss. 1. pp. 15–25.
2. Vlasak P., Kysela B., Chara Z. Fully Stratified Particle-Laden Flow in Horizontal Circular Pipe. *Particulate Science and Technology*. 2014. Vol. 32, No. 2. pp. 179–182.
3. Aleksandrov V. I., Vasilyeva M. A., Pomeranets I. B. Estimation of efficiency of hydrotransport pipelines polyurethane coating application in comparison with steel pipelines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. Vol. 87. DOI: 10.1088/1755-1315/87/2/022001
4. Furlan J. M., Visintainer R. J. Centrifugal pump performance when handling highly non-Newtonian clays and tailings slurries. *Proceedings of the 19th International Conference on Hydrotransport*. Golden, 2014. pp. 117–130.
5. Drobadenko V. P., Lukonina O. A., Vilmis A. L. Coaxial swirling jet-based multifunctional installation for modeling new hydrotransport-hoisting technologies. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2013. No. 3. pp. 297–301.
6. Drobadenko V. P., Malukhin N. G., Lukonina O. A., Vil'mis A. L., Rebrikov D. N., Kozlov M. J. Method of conducting mass-transfer processes and apparatus therefor. Patent RF, No. 2558594. Applied: 04.08.2014. Published: 10.08.2015. Bulletin No. 22.
7. Verichev S., Drobadenko V., Malukhin N., Vilmis A., Lucieer P., Heeren J., van Doesburg B. Assessment of Different Technologies for Vertical Hydraulic Transport in Deep Sea Mining Applications. *Proceedings of the 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAЕ 2012)*. Rio de Janeiro, 2012. Vol. 3. Pipeline and Riser Technology. pp. 137–144.
8. Britan I. V., Leizerovich S. G. Prospects for borehole geotechnologies in mineral mining in the Belgorod Region. *Gornyy Zhurnal*. 2014. No. 8. pp. 49–53.
9. Malukhin N. G., Kudryashov R. V. Substantiation of efficiency of processes suctions for hydraulic borehole mining. *Bulletin of Russian Academy of Natural Sciences*. 2013. No. 6–1. pp. 53–56.
10. Samal A. S., Antsiferov S. V., Deev P. V., Sergeev S. V. Estimate of rock mass stability in surface-borehole mining of high-grade iron ore. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornyykh nauk*. 2016. Vol. 3, No. 1. pp. 176–179.
11. Khrulev A. S. Well-drilling hydraulic technology. Issues and options. *Bulletin of Russian Academy of Natural Sciences*. 2013. No. 5. pp. 51–54. DOI: 10.1088/1755-1315/43/1/012049e
12. Dhawan N., Safarzadeh M. S., Miller J. D., Moats M. S., Rajamani R. K. Crushed ore agglomeration and its control for heap leach operations. *Minerals Engineering*. 2013. Vol. 41. pp. 53–70.
13. Karev V. I., Kovalenko Yu. F. Well stimulation on the basis of preliminary triaxial tests of reservoir rock. *Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment : Proceedings of EUROCK 2013 – The 2013 ISRM International Symposium*. Leiden : CRC Press/Balkema, 2013. pp. 935–940.