



Н. Г. Малухин
проф., док. техн. наук,
Российский государственный
геологоразведочный
университет имени Серго
Орджоникидзе



В. П. Дробаденко
проф., док. техн. наук,
Российский государственный
геологоразведочный
университет имени Серго
Орджоникидзе
drobadenko@mail.ru



А. Л. Вильмис
доц., канд. техн. наук,
Российский государственный
геологоразведочный
университет имени Серго
Орджоникидзе

Проблемы развития геотехнологических методов

освоения месторождений полезных ископаемых

Рассмотрены основные проблемы развития скважинной гидродобычи, эффективности разрушения горного массива гидромониторными струями, методики расчетов процессов всасывания, пульпоприготовления при геотехнологических методах освоения месторождений полезных ископаемых.

The basic problems of borehole hydraulic output, the efficiency of hills destruction increase by hydraulic monitor streams, perfection of settlement technique of absorption processes, pulp preparation and substantiations of admissible filtration speeds at geotechnological methods of development of mineral deposits are considered at the article.

Ключевые слова: геотехнология, скважинная гидродобыча, подземное выщелачивание, эрлифт, эжектор, гидромонитор.
Keywords: geotechnology, borehole hydraulic output, underground leaching, airlift, ejector, hydraulic monitor.

Геотехнологические методы освоения месторождений полезных ископаемых тесно связаны с проблемой рационального природопользования. К ним относятся, прежде всего, скважинная гидродобыча (СГД), скважинное подземное выщелачивание (СПВ), подземное растворение солей (ПРС), а также сооружение подземных хранилищ газа (ПХГ) и захоронение токсичных и радиоактивных отходов.

Однако непосредственно процесс перевода твердого в подвижное состояние еще не решает проблем добычи полезного ископаемого тем или иным способом. Возникают задачи создания таких внешних и внутренних воздействий на флюид, при которых направленное, управляемое движение становится неизбежным.

Скважинные геотехнологические методы разработки представляют собой сложный многофункциональный процесс физико-химических воздействий на разрабатываемый массив и последующее перемещение твердого в гомогенном или гетерогенном состоянии, поэтому в данной статье остановимся на основных проблемах, связанных со скважинной гидродобычей полезных ископаемых.

При скважинной гидродобыче (СГД) технологические процессы разрушения горной массы, пульпоприготовления, всасывания и гидроподъема осуществляются с помощью напорного потока воды через скважины небольшого диаметра. Технология СГД реализуется следующим образом: в пробуренную и обсаженную скважину опускается специальный гидромонитор и гидроподъемное устройство. При этом массив породы разрушается гидромониторной струей жидкости, а выдача образовавшейся после размыва гидросмеси в очистной камере осуществляется эрлифтом либо эжектором (гидроэлеватором) на поверхность [1, 2].

Первые реальные публикации по технологии скважинной гидродобычи относятся к 1936 г., в которых инженер-исследователь П. М. Тупицын [3] показал, что для определенных горно-геологических условий экономически выгодно вести добычу некоторых видов твердых полезных ископаемых (песок, гравий, уголь) через скважины небольшого диаметра (200-300 мм). Причем, что особо отмечалось, добычу можно осуществлять без проведения дорогостоящих вскрышных работ.

В последующем эта перспективная технология стала разрабатываться во многих странах и получила развитие в различных

отраслях промышленности: в Японии при добыче гравийных смесей для намыва прибрежных территорий, в Польше и Китае – для добычи песка, в Индии и США – при разработке ураноносных и слабощементированных песчанников. РГГРУ (бывший Московский геологоразведочный институт имени Серго Орджоникидзе) участвует в разработке этой технологии с 70-х гг. в различных горно-геологических условиях (*табл. 1*).

Одно из дочерних направлений СГД – так называемая струйная технология [4, 5] быстро заполнила рынок строительной индустрии. В Японии, Италии, Германии, США, СССР и России достаточно успешно ведутся опытно-конструкторские работы по реализации струйной технологии для сооружения (или усиления) фундаментов зданий, укрепления просадочных грунтов при строительстве железных дорог, сооружения противофильтрационных завес («стена в грунте») различной конфигурации и протяженности, устранение (или значительное снижение) оползневых явлений и т.д.

Но все же, при всей схожести оборудования и ведения технологического процесса (гидроразрыв через скважину, создание полости под землей, вынос размываемого грунта на поверхность эрлифтом и последующее заполнение выработанного пространства материалом с заданными прочностными характеристиками), струйная технология не может быть прообразом рассматриваемой технологии добычи полезных ископаемых.

Технология скважинной гидродобычи является самостоятельным способом извлечения полезных ископаемых из недр наряду с открытым, подземным либо комбинированным способами.

Скважинная гидротехнология включает следующие процессы:

- гидроразрыв продуктивного массива напорными струями воды с формированием двух либо трехфазной смеси;

- самотечное или принудительное транспортирование разрушенного (отделенного от забоя) твердого к зумпфу эксплуатационной скважины (подъемного аппарата);

- пульпоприготовление доставленной в зумпф горной массы для процесса всасывания;

- всасывание горной массы с учетом энергетических возможностей всасываемого потока и гидравлических характеристик отдельных кусков твердого материала в объеме горной массы;

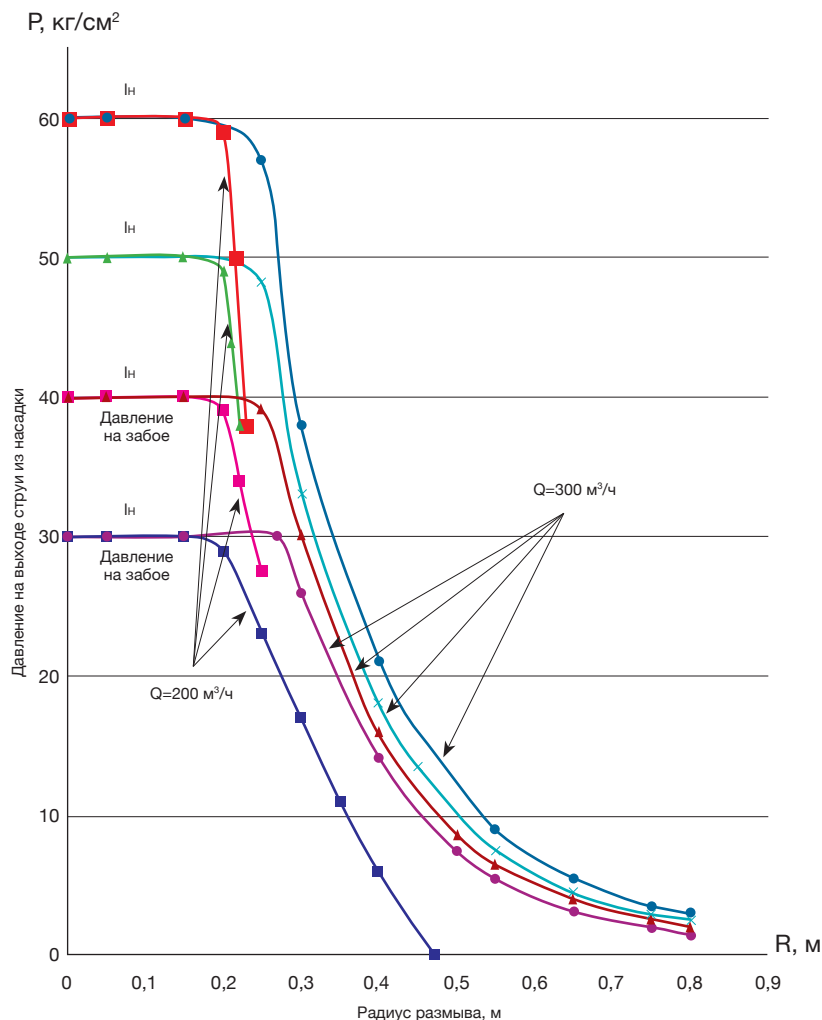


Рис. 1.
Зависимость уменьшения осевого давления по длине затопленной струи

- гидроподъем гидросмеси на поверхность с учетом возможностей подъемного аппарата, работающего в стесненных условиях эксплуатационной скважины;
- поверхностный напорный гидротранспорт двух–трехфазного потока.

Эти технологические процессы тесно взаимосвязаны между собой и в своей совокупности представляют решение сложной задачи – совмещение разнотипных процессов в единый технологический цикл добычи полезных ископаемых через скважины с учетом различных горно-геологических требований к процессу СГД.

Несмотря на значительный период научно-технических работ по технологии СГД (с 1961 г.) и значительное количество публикаций (в статьях, патентах, монографиях или докладах) многими научными и производственными коллективами или отдельными исследователями, способ СГД рассматривается не как комплексная задача, а как решение отдельных известных в других отраслях промышленности процессов. Но в условиях ведения работ по СГД (при отсутствии визуального контроля процесса добычи) требуется

более разносторонний подход ко всем технологическим процессам [6].

Процесс гидроразмыва (гидроразрушения) является первым звеном всей технологической цепи технологии скважинной гидродобычи. Максимально возможную производительность добычи через скважины определяет именно процесс гидроразмыва.

Эффективность процесса гидроразмыва определяется:

- а)** конструктивными особенностями и геометрическими параметрами инструмента разрушения массива – гидромонитора;
- б)** расходно-напорными и физическими характеристиками агента разрушения – напорной жидкости;
- в)** гидростатической обстановкой в очистной камере и порядком ведения очистных работ в ней;
- г)** взаимодействием со смежными технологическими процессами: предварительной подготовкой массива (или без нее), гидродоставкой (принудительно или под действием сил тяжести) разрушенной горной массы к зумпфу гидродобывного агрегата; возможность управления процессом пульпоприготовления при всасывании горной массы в режиме работы гидроагрегата «из-под слоя» – как наиболее эффективном.

Гидромонитор должен состоять из ствола (длиной не менее 50 его диаметров) и рабочей насадки. Обеспечить гидромонитор минимально необходимой длиной ствола в пределах диаметра скважины (около 300-350 мм) возможно только при использовании выводного гидромонитора или гибкого ствола.

Выводной гидромонитор, принимающий рабочее горизонтальное положение за счет управляемых сил реакции струи, наиболее эффективен при ведении процесса гидроразмыва в незатопленных камерах (в затопленных камерах), но при небольших глубинах разработки (не более 80–100 м) и малых радиусах размыва. Это связано с тем, что потери напора рабочего потока жидкости при подаче его по трубопроводам к насадке относительно невелики. Причем диаметр напорного водовода ограничен стесненными условиями поперечного сечения эксплуатационной скважины.

Так, гидромониторная струя характеризуется своей мощностью, как функцией производительности гидроразмыва по расходу жидкости Q.

$$W = \frac{\rho}{2g} \left(\frac{4}{\pi d^2 \varphi} \right) \cdot Q^3, \quad (1)$$

где d – диаметр насадки гидромонитора, м;
 φ – коэффициент скорости ($\varphi=0,95$).

Таким образом, мощность струи зависит от величины подаваемого расхода воды в кубической степени.

Но доставить необходимое количество воды на насадку гидромонитора для глубоких скважин сложно, т.к. в значительной степени возрастают потери на трение.

Размывающая способность затопленной гидромониторной струи по мере ее распространения в массе окружающей жидкости интенсивно снижается [7]. Так, при рабочих давлениях 7–10 МПа и диаметрах насадки 25–30 мм, на расстояниях 1–1,5 м от выхода из насадки, гидромониторная струя уже не может создавать разрушающих усилий на забое и процесс размыва прекращается. Энергетические способности затопленной гидромониторной струи интенсивно снижаются по мере ее перемещения в массе жидкости. При этом струя характеризуется начальным участком l_n , по длине которого скорость и давление остаются неизменными и равными начальным параметрам струи при выходе ее из насадки P_0 и V_0 (рис. 1).

В дальнейшем осевая скорость резко уменьшается. Достаточно интенсивно уменьшается и среднее давление по поперечному сечению струи.

Анализ по изменению осевой скорости и давления в контакте с забоем по длине затопленной струи показывает, что разрушающая способность струи уже на расстоянии 0,5–0,75 м от забоя практически отсутствует, т.е. гидромониторная струя является практически неработоспособной.

Расчетные данные, представленные на графике, показывают, что при рабочих давлениях перед насадкой от 3–6 МПа длина начального участка находится в пределах $l_n=0,2-0,25$ м.

Так, нетрудно оценить, что подавая на забой вместо расхода $Q=300$ м³/ч, только $Q=200$ м³/ч, скорость в водоводе уменьшается в 1,5 раза. Но поскольку потери напора находятся в квадратной зависимости от скорости, то уменьшение потерь возможно при этом в 1,5–2,25 раза, что достаточно существенно.

Практическое значение этого фактора заключается в том, что, когда руды массива недостаточно разуплотнены, чтобы начать их размыв, необходимы значительные осевые скорости струи (осевые давления). В этом случае размыв производится значительным осевым давлением на забое при

уменьшенных диаметрах насадки. Диаметр водовода по эксплуатационной скважине может быть использован меньших размеров. С другой стороны, для разуплотненного массива (для интенсивного смыва и транспорта руды к зумпфу эрлифта) должны использоваться струи, формируемые насадками увеличенных диаметров и, соответственно, при больших расходах напорной воды.

Исходя из вышеприведенного, расстояние гидромониторной насадки до забоя не должно превышать, как было отмечено выше, длину начального участка струи, вдоль которого динамические характеристики струи сохраняются равными начальным выходным параметрам у выходного сечения насадки.

Поэтому разработка конструкций гидромониторов, способных создавать управляемое струеформирование, обеспечивает благоприятные факторы для размыва породы и перевода ее в текучее состояние. Степень насыщения образуемой гидросмеси твердой составляющей в значительной степени зависит от условий всасывания и пульпоприготовления, которые должны быть взаимосвязаны с процессами гидроразрушения и самотечного гидротранспортирования по почве очистной камеры. Анализ практики проектирования СГД показывает, что непосредственные расчеты всасывания и пульпоприготовления при этом практически отсутствуют. Так, например, общепринятая методика проектирования СГД даже не упоминает об этом процессе, выделяя только следующие методы расчета: свободной незатопленной струи; затопленной гидромониторной струи; доставки руды в очистной камере; эрлифта; гидроэлеватора; укладки руды в карты намыва. Кроме того, все предлагаемые расчетные уравнения, зависимости скорости фильтрации с градиентом напора в геотехнологических методах получены эмпирически, путем подбора по результатам экспериментов аппроксимирующих уравнение, поэтому физическая сущность входящих в него коэффициентов остается нераскрытой. Не составляет исключения такой параметр, как начальный градиент фильтрации. При всей очевидности его физической интерпретации, как некоторого сдвигового сопротивления жидкости, остается неясной связь его с другими показателями, характеризующими процесс фильтрации.

Таким образом, для успешной реализации скважинной гидродобычи (СГД) в первую очередь необходимо:

Апробация скважинной гидродобычи на горнодобывающих предприятиях (по результатам работ Российского государственного геологоразведочного университета МГРИ-РГГРУ)

Таблица 1

№ п/п	Наименование объекта, цель работ	Руда	Глубина отработки, м	Мощность пласта, м	Производительность добычи, м ³ /ч
1	КМА (Белгородская область) (добыча)	Магнетит-мартит обводненные	до 830	до 250	20-25
2	Прикаспийский ГМК (добыча урана)	Глины с костным детритом	до 95	1-1,5	10
3	Верхнеднепровский ГМК (добыча редкометаллических песков)	Пески влажные	40-50	10-12	20-29
4	Томская ГРЭ (отбор технологической пробы)	Пески влажные сильно коагулированные	15-20	10	4-5
5	Томская ГРЭ (добыча титаноциркониевых песков)	Пески влажные сильно коагулированные	35-40	10-12	15-20
6	Колубара (Югославия) (добыча)	Песок кварцевый	20-25	15-20	50-80
7	Тургайская ГРЭ (опробование)	Глинистые руды	40-50	1-3	4-5
8	Пальникенское месторождение янтаря, Калининградская область (добыча 1994 г.)	Синие глины	25	2	15
9	Монголия. Месторождение «Заамарын-Эх» (проект)	Золотоносные пески	20	1-2	12
10	Мордовская ГРЭ (отбор технологической пробы на Лукояновском месторождении)	Обводненные титаноциркониевые пески	40	5	10-15
11	ЗАО «ТГПК» и ОАО «Цирконгеология» (добыча на Тарском месторождении)	Обводненные титаноциркониевые пески	60	6	25,5
12	Афганистан золоторудное месторождение «Самти» (проект 2009 г.)	Золотоносные обводненные пески с большим содержанием валунов и гальки	30	5	25
13	Пальникенское месторождение янтаря, Калининградская область (проект 2010 г.)	Обводненные песчано-глинистые породы	до 25	2	30

– повышение эффективности процесса разрушения горного массива за счет создания гидромониторов с управляемым качеством струеформирования;
 – разработка методики проектирования скважинной гидродобычи с уче-

том расчетов процессов всасывания и пульпоприготовления;
 – обоснование допустимых скоростей фильтрации при геотехнологических методах освоения месторождений полезных ископаемых. ■

Литература

1. Арнс В.Ж., Гридин О.М., Крейнин Е.В., Небера В.П., Фазлуллин М.И., Хрулев А.С., Хчян Г.Х. Физико-химическая геотехнология. М., Изд-во МГГУ, Горное образование, 2010.
2. Арнс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д., Гридин О.М., Хрулев А.С., Хчян Г.Х. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых. М.: Горная книга, 2007.
3. Тулицын П.М. Устройство для подземной разработки полезных ископаемых гидравлическим способом. А.с. №58591, 1936 г.
4. Бройд И.И. Струйная технология. М.: 2004 г.
5. Хасин М.Ф. Струйная геотехнология в строительстве. Гидротехническое строительство. 2000. №8. С. 35-42.
6. Малухин Н.Г., Дробаденко В.П., Малухин Г.Н., Вильмис А.Л. Развитие теории и методов расчета скважинной гидротехнологии и их реализация при разработке месторождений полезных ископаемых. Горн. инф.-анал. бюл., Моск. гос. горн. ун-т, 2008. №12.
7. Дробаденко В.П., Малухин Г.Н., Калинин И.С. Методика и техника морских геологоразведочных и горных работ. Волгоград: 2010 г. Изд. дом. «Ин-Фолио».