

16. Borisov K.I. *Nauchny metod otsenki effektivnosti dinamicheskikh protsessov razrusheniya gornykh porod pri burenii skvazhin sovremennymi instrumentami rezhushche-skalyvayushchego deystviya. Dokt. Diss.* [The scientific method of assessing the performance of dynamic processes of rock cutting when drilling by new tools of cutting action. Dr. Diss.]. Tomsk, 2012. 193 p.
17. Neskromnykh V.V., Borisov K.I. *Analiticheskoe issledovanie protsessa rezaniya-skalyvaniya gornoj porody reztsami PDC* [Analytical study of rock cutting-shearing by PDC cutters]. *Inzhener-neftyanik*, 2013, no. 3, pp. 1–3.
18. Borisov K.I. *Nauchnaya baza novogo metoda otsenki effektivnosti protsessov razrusheniya gornykh porod sovremennymi instrumentami rezhushche-skalyvayushchego deystviya* [Scientific basis of a new method for assessing the effectiveness of rock destruction by modern cutting-shearing tools]. *Vestnik Tsentralnoy komissii po razrabotke mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh Rosnedra*, 2011, no. 4, pp. 51–58.
19. Tretiak A.Y., Litkevich Yu.F., Aseeva A.E. *Nauchnye osnovy sozdaniya mnogoyarusnykh burovnykh dolot rezhushchego tipa dlya bureniya neftnykh i gazovykh skvazhin* [Scientific foundations for developing multilevel drill bits of cutting type for drilling oil and gas wells]. *Problemy geologii i osvoyeniya nedr yuga Rossii: Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Proc. International Conference. Problems of geology and exploration of interior of the south of Russia]. Azov, Rostov on Don, 2006, pp. 176–178.
20. Adams M., Amadei B., Argon A.S. *Drilling and Excavation Technologies for the Future*. Washington, D.C., *The National Academies*, 2014. pp.176–188.

УДК 622.277

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ МЕТОДОМ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ

Бондарчук Игорь Борисович,

ассистент кафедры бурения скважин Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: bond_ib@mail.ru

Рябчиков Сергей Яковлевич,

д-р техн. наук, профессор кафедры бурения скважин Института природных ресурсов ТПУ, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: kafedrabs@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью отработки продуктивных пластов твердых полезных ископаемых методом скважинной гидродобычи. Основное достоинство метода заключается в том, что добычу полезных ископаемых можно проводить в сложных горно-геологических условиях, исключая проходку горных выработок и сооружение карьеров.

Цель работы: выявление и анализ основных способов, технических и технологических решений для реализации разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе скважинной гидродобычи.

Методы исследования: анализ и обобщение литературных источников, а также производственных материалов по скважинной гидродобыче, бурению и эксплуатации скважин различного назначения.

Результаты: Выявлены основные способы разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе скважинной гидродобычи. Приведено углубленное представление об основных технологических процессах скважинной гидродобычи, связанных с отработкой продуктивных пластов. Разработаны классификации, которые систематизируют и обобщают информацию о способах, технических и технологических решениях для реализации разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе скважинной гидродобычи. Данные классификации позволят значительно упростить методику выбора и усовершенствования рассмотренных технологических процессов для повышения производительности скважинной гидродобычи полезных ископаемых.

Ключевые слова:

Скважинная гидродобыча, технологические процессы, разрушение горных пород, отделение горных пород от массива, всасывание и подъем гидросмеси на поверхность.

К настоящему времени накоплен значительный опыт работ по скважинной гидродобыче (СГД) полезных ископаемых. СГД является одной из физико-химических технологий, основанной на приведении горных пород на месте залегания в подвижное состояние и выдаче их в виде гидросмеси (пульпы) на поверхность через скважины [1]. Технология и оборудование для СГД применяются в различных направлениях, основными из которых являются разведка и добыча твердых полезных ископаемых, сооружение фундаментов и противофильтрационных завес, интенсифика-

ция работы водозаборных скважин, газо- и нефтедобычи, создание подземных резервуаров различного назначения. Несмотря на значительный опыт работы в этих направлениях, широкого промышленного внедрения способ СГД до сих пор не получил. Одной из причин при этом является низкая производительность добычных работ. Поэтому исследование данной проблемы путем углубленных теоретических и лабораторных исследований, промышленных испытаний, а также проектно-конструкторских разработок является актуальной задачей.

Ниже приводится систематизированное и углубленное представление об основных технологических процессах СГД, связанных с отработкой продуктивного пласта, а именно – с разрушением горных пород, всасыванием и подъемом гидросмеси на поверхность. В результате анализа современных представлений о СГД, а также о бурении и эксплуатации скважин различного назначения нами были разработаны классификации способов, технических и технологических решений для реализации разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность (табл. 1, 2).

Разрушение горных пород. В зависимости от геолого-технических и экономических условий добычи в процессе СГД могут использоваться различные способы разрушения горных пород (РГП) (табл. 1). К таким способам нами отнесены: гидродинамический (гидромониторный, гидроударный и депрессионный), механический и их комбинации.

Гидромониторный способ отделения горных пород от массива осуществляется с помощью высоконапорных струй жидкости, истекающих из гидромониторов различной конструкции. Высоконапорные струи могут быть двух видов [2]: стационарные и нестационарные. Стационарные высоконапорные струи имеют постоянные во времени гидродинамические характеристики. Нестационарные высоконапорные струи периодически изменяют во времени гидродинамические характеристики. К последним струям относятся: непрерывные (пульсирующие) и прерывистые (импульсные). Применение нестационарных струй может существенно повысить эффективность разрушения горных пород за счет создания мгновенных перепадов давления (гидравлических волн).

В зависимости от плотности среды, в которой распространяются струи, они подразделяются на затопленные и незатопленные. Струя считается затопленной, если она истекает в среду, плотность

Таблица 1. Классификация способов, технических и технологических решений для реализации разрушения горных пород в процессе СГД полезных ископаемых

Способы разрушения горных пород	Пути реализации способов разрушения горных пород	Технические и технологические решения для реализации способов разрушения горных пород	
Гидродинамический	Гидромониторный	Воздействие на продуктивный пласт высоконапорных струй жидкости, истекающих из гидромониторов различных конструкций	Гидромониторы с жестким стволом: – встроенные (внутренние); – выводные (внешние): • шарнирные; • телескопические; • комбинированные
			Гидромониторы с гибким стволом: – управляемые; – неуправляемые
			Струйные (гидроаэродинамические) мониторы
			Гидротурбинные мониторы
		Гидроимпульсные мониторы	
		Изменение свойств среды, в которой распространяется высоконапорная струя жидкости	Разрушение горных пород затопленной струей Разрушение горных пород незатопленной струей
Гидродинамический	Гидроударный	Воздействие на продуктивный пласт гидравлических ударных волн не струйного характера	Создание гидроударов импlosionными методами: – эрлифтами; – гидроэлеваторами (эжекторными насосами)
			Создание гидроударов волновыми методами: – пневмоизлучателями; – взрывами; – гидродинамическими генераторами; – акустическими излучателями
Гидродинамический	Депрессионный	Снижение гидростатического давления на продуктивный пласт	Понижение уровня подземных вод при откачивании: – пульпы из добычных скважин; – воды из вспомогательных скважин
			Создание разрежения в выемочной камере: – эрлифтами; – гидроэлеваторами (эжекторными насосами); – вихреобразующими устройствами
Механический		Воздействие на продуктивный пласт специальных породоразрушающих элементов и частиц	Породоразрушающий инструмент различных конструкций: – расширители; – долота
			Абразивные, твердые частицы (кварцевый песок, стальные и твердосплавные шары и др.), перемещаемые потоком жидкости
Комбинированный		Совместное воздействие гидромониторного, гидроударного, депрессионного и механического способов разрушения горных пород	Технические и технологические решения для реализации указанных способов разрушения горных пород

которой равна или больше плотности вещества струи. Незатопленная струя – это струя, истекающая в среду, плотность которой значительно меньше плотности вещества струи. Эффективность разрушения горных пород незатопленными струями значительно выше, чем разрушение затопленными. Кроме того, увеличение гидростатического давления в скважине ухудшает параметры гидромониторной струи и существенно уменьшает дальность ее действия [3]. В процессе СГД условия для формирования незатопленных струй, а также снижение гидростатического давления можно создавать за счет осушения выемочной камеры (создания воздушной подушки) при нагнетании в скважину сжатого воздуха [4, 5]. Кроме этого, данная цель достигается при водопонижении с образованием депрессионной воронки [6].

В практике СГД можно использовать гидромониторы 2-х видов, определяющими признаками которых является состояние гидромониторного ствола и характер воздействия на породу.

По первому признаку гидромониторные устройства делятся на [1]:

- *гидромониторы с жестким стволом*, которые подразделяются на:
 - встроенные (с неподвижно установленными внутри ствола насадками). Такие гидромониторы не позволяют достигать больших радиусов размыва в затопленной среде, но просты в управлении и надежны в работе;
 - выводные (выводятся в рабочее положение за счет давления воды). Такие гидромониторы могут быть шарнирными и телескопическими [7]. Данные устройства позволяют увеличивать радиус размыва камеры, однако они имеют сложную конструкцию и большую вероятность выхода из строя при завале их горной породой;
- *гидромониторы с гибким стволом*, которые подразделяются:
 - на неуправляемые (характеризуются хаотичным движением гибкого ствола за счет действия реактивной силы струи) [8]. Преимущество данных гидромониторов заключается в полной автоматичности действия, обеспечения значительного радиуса размыва и простоте конструкции. Но устройства фактически не управляемы, что значительно снижает область их применения;
 - управляемые (выводятся в рабочее положение с помощью специальных устройств) [9]. Такие гидромониторы более эффективны в работе, чем неуправляемые. Их можно эффективно использовать при отработке продуктивных пластов в скважинах с горизонтальным или пологим окончанием [10]. Однако гибкие гидромониторы имеют сложную конструкцию и большую вероятность выхода из строя при повреждении механизмов управления.

По второму признаку гидромониторные устройства делятся на [11]:

- *струйные (гидроаэродинамические) мониторы* – имеют две соосно расположенные насадки, одна из них предназначена для подачи рабочей жидкости, вторая – для подачи сжатого воздуха. Данные мониторы позволяют увеличивать эффективность разрушения горных пород за счет движения водяной струи внутри воздушной оболочки, которая экранирует ее от основной массы заполняющей скважину жидкости [12];
- *гидротурбинные мониторы* – обеспечивают вращение насадок вокруг оси инструмента за счет реактивной силы струи жидкости без вращения колонны труб с поверхности [13];
- *гидроимпульсные мониторы* – обеспечивают формирование нестационарных высоконапорных струй жидкости. Для создания прерывистых (импульсных) струй служат мониторы с механическими генераторами колебаний жидкости (внешние и внутренние прерыватели, мультипликаторы и др.) [2, 11, 14]. Для создания непрерывных (пульсирующих) струй служат:
 - мониторы с гидродинамическими генераторами колебаний жидкости в виде кавитаторов различных конструкций [15]. В таких устройствах формируются струи пульсирующе-кавитационного характера, способствующие интенсивному разрушению твердой поверхности. Разрушающее действие обусловлено возбуждением гидравлических ударных волн в процессе схлопывания кавитационных пузырьков [16, 17];
 - мониторы с воздушным пульсатором, работающим за счет введения порции воздуха в струю по принципу эжектора [18].

Гидроударный способ отделения горных пород от массива осуществляется действием гидравлических ударных волн (гидроударов) не струйного характера в призабойной зоне скважины. Основными разрушающими факторами данного способа являются волны сжатия и разряжения, при формировании которых горные породы разрушаются за счет ударного, репресссионного и депрессионного воздействий (проявления горного или пластового давления, гидротоков и фильтрационных потоков) [19, 20]. Гидроударный способ РГП в процессе СГД рационально использовать с целью инициирования и интенсификации добычи. При этом можно выделить 2 группы методов данного способа.

К первой группе относятся имплозионные методы РГП, принцип действия [19, 21] которых основан на создании гидроударов за счет мгновенных перепадов между пластовым и забойным давлениями, используя при этом столб жидкости, заполняющей скважину. Ко второй группе относятся волновые методы РГП, принцип действия [22] которых основан на создании гидроударов за счет формирования гидродинамических упругих колебаний жидкости различной частоты.

Из имплозионных методов РГП применительно для условий СГД можно выделить следующие:

- *создание гидроударов эрлифтами.* При этом происходит вытеснение столба жидкости в скважине сжатым воздухом, при котором горные породы воспринимают большие нагрузки. Далее производится резкий сброс сжатого воздуха в атмосферу, при котором образуется мгновенная депрессия и создаются растягивающие нагрузки на горную породу [23];
- *создание гидроударов гидроэлеваторами (эжекторными насосами).* Данный метод положительно зарекомендовал себя при освоении водозаборных [19] и нефтяных скважин [21, 22]. Он обеспечивается при использовании скважинных гидроэлеваторных (эжекторных) снарядов с гидравлическими пакерами. При этом данные устройства спускаются в скважину на одинарной (бурильной) колонне труб, по которой подается рабочая жидкость, а вынос эжектируемого агента (пульпы) осуществляется по затрубному пространству (по обсадной колонне). В процессе работы эжекторного насоса происходит одновременное пакерование скважины (перекрывается кольцевое пространство между бурильной и обсадной колоннами). При откачке пульпы в пространстве под пакером образуется зона пониженного давления, которая определяется статическим уровнем и интенсивностью откачки. В результате резкой остановки насоса происходит распакование скважины и давление на продуктивный пласт увеличивается вследствие передачи давления столба жидкости, заполняющего скважину от динамического уровня до ее устья.
Из волновых методов РГП применительно для условий СГД можно выделить следующие:
- *создание гидроударов пневмоизлучателями.* Данный метод характеризуется выхлопами под большим давлением сжатого воздуха в призабойную зону скважины [24]. При этом процесс пневмоизлучения сопровождается пульсацией воздушного пузыря. В процессе СГД железных руд Курской магнитной аномалии положительные результаты были получены при интенсификации разрушения рудного массива с помощью импульсной установки АСП-С конструкции института «ВНИПИВзрывгеофизика» [25];
- *создание гидроударов взрывами.* Данный метод может существенно интенсифицировать процесс разрушения горных пород в процессе СГД [26]. Механизм действия взрыва в призабойной зоне скважины характеризуется схлопыванием газового пузыря, при котором возникают импульсы давления, сопровождающиеся волнами сжатия и разряжения, пульсирующим гидротоком переменного направления и фильтрационным потоком с большим градиентом. Взрывание зарядов положительно зарекомендовало себя при интенсификации добычи нефти [22] и декольматации фильтров водозаборных скважин [19, 20];
- *создание гидроударов гидродинамическими генераторами.* Данный метод характеризуется виброволновым воздействием на продуктивный пласт с формированием высокоамплитудных и низкочастотных (40–800 Гц) колебаний жидкости [22]. Испытание гидродинамических генераторов типа ГЖ и ГД2В (на основе вихревых усилительных центробежных форсунок) при СГД железных руд на Шемраевском месторождении Курской магнитной аномалии показало перспективность использования виброволнового воздействия с целью инициирования и интенсификации процесса добычи [27];
- *создание гидроударов акустическими излучателями.* Данный метод характеризуется волновым воздействием на продуктивный пласт с формированием высокочастотных (звуковых и ультрозвуковых) колебаний жидкости (акустическая кавитация). При этом в качестве акустических излучателей [28] могут использоваться пьезоэлектрические и магнетострикционные устройства. Известны положительные лабораторные данные [29] о применении ультразвука при скважинной гидродобыче для дезинтеграции глинистых золотосодержащих песков и увеличения радиуса полезного действия струи за счет снижения прочностных характеристик глинистых песков.
Депрессионный способ отделения горных пород от массива обеспечивается снижением гидростатического давления в скважине на продуктивный пласт, при котором нарушается равновесие сил, обуславливающих напряженное состояние пород. При этом горное давление вышележащей толщии пород или пластовое давление продуктивного горизонта превышают гидростатическое, что сопровождается обрушением или осыпанием пород, либо течением водонасыщенной массы несвязанных твердых частиц (пльвунов) [20]. Для данного способа характерно разрушающее действие от постоянного перепада между пластовым и забойным давлениями в отличие от гидроударного способа, в котором преобладают мгновенные перепады.
В процессе СГД снижение гидростатического давления в скважине можно создать двумя методами:
 - понижением уровня подземных вод с образованием депрессионной воронки. Статический уровень при этом уменьшается до динамического. Данный метод реализуется при откачивании пульпы из добычных скважин, либо воды из вспомогательных (водопонижающих) скважин [6];
 - созданием разряжения в ограниченном объеме выемочной камеры при работе эрлифта, гидроэлеватора или вихреобразующего устройства.
Механический способ отделения горных пород от массива осуществляется с помощью специальных боковых и забойных породоразрушающих инструментов, входящих в состав скважинных снарядов. К таким инструментам относятся расширители и долота различных конструкций. Кроме то-

го, механическое разрушение возможно осуществлять при воздействии на горную породу абразивных частиц, перемещаемых потоком жидкости [30, 31].

В процессе СГД механическое отделение горных пород от массива используется при:

- увеличении производительности добычи крепких пород;
- бурении ствола скважины с целью углубки снаряда в процессе добычи;
- расширении призабойной зоны для образования камеры диаметром 500–1200 мм в зависимости от конструкции добычного снаряда [32]. Это необходимо для обеспечения устойчивой и более эффективной работы добычных устройств (выводных гидромониторов, гидроэлеваторов) в период их включения.

Основным недостатком данного способа отделения горных пород от массива, при использовании расширителей, является создание выемочных камер относительно малых диаметров. Обеспечить расширение до большого диаметра технически сложно, породоразрушающие органы (лопасти) при этом могут ломаться в опасном сечении. Уменьшить нагрузку на лопасти можно за счет ступенчатого увеличения диаметра скважины [11].

Комбинированный способ отделения горных пород от массива достигается совместным либо последовательным применением вышеназванных способов. На практике СГД часто используются гидродобычные снаряды, в которых реализуются как минимум 2 способа гидродинамического разрушения горных пород: гидромониторный и депрессионный. При этом основными функциями гидромонитора на начальном этапе работ по добыче являются первоначальное расширение скважины (на величину действия гидромониторной струи) и разубоживание пульпы. На последующем этапе работ основной функцией гидромонитора является разубоживание пульпы, а отделение горных пород от массива обеспечивается преимущественно депрессионным способом (эрлифтом или эжекторным насосом).

Известны такие способы комбинированного разрушения горных пород, как гидромониторно-эрозионный и гидроударно-эрозионный [30]. Гидромониторно-эрозионный способ заключается в разрушении пород высоконапорной струей жидкости, несущей твердые частицы, которые бомбардируют поверхность породы, что вызывает ее разрушение. Гидроударно-эрозионный способ представляет собой комбинацию эрозионного и гидроударного способов разрушения. Разрушение пород в этом случае осуществляется под действием гидравлических ударов жидкости большой частоты и ударами твердых частиц, насыщающих эту жидкость.

Кроме вышеназванных способов отделения горных пород от массива в процессе СГД известны предложения по интенсификации разрушения с помощью химического [33] и бактериологического [1] воздействий на продуктивные пласты.

Всасывание и подъем гидросмеси на поверхность. В процессе СГД всасывание и подъем гидросмеси (пульпы) на поверхность реализуется следующими способами (табл. 2): разряжением, вытеснением, механическим и их комбинацией. При этом разряжение в очистной камере можно создавать эрлифтами, гидроэлеваторами (эжекторными насосами) и вихревыми устройствами.

Способ подъема выбирается исходя из горно-геологических условий отработки продуктивных пластов: глубина залегания, гидрогеологическая характеристика продуктивного пласта и вмещающих пород, физико-механические свойства (удельный вес, размер максимальной фракции) и др. Кроме того, на выбор способа подъема гидросмеси на поверхность влияют технико-технологические особенности СГД: производительность добычи, консистенция пульпы на выходе из скважины, наличие и характеристика насосно-компрессорного оборудования.

Эрлифтный способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется за счет создания разряжения в выемочной камере энергией расширения предварительно сжатого воздуха. Применение эрлифтного подъема в процессе СГД эффективно на обводненных месторождениях, представленных породами с большой проницаемостью [34].

Основными достоинствами эрлифтного способа являются [8, 32, 34, 35]: простота конструкции и высокая надежность работы, высокая производительность, возможность регулирования его работы, сравнительно большой диапазон высоты подъема гидросмеси, возможность подъема неоднородных по кусковатости горных пород за счет постоянного сечения подъемной трубы от всаса до слива. Основными недостатками технологии СГД с использованием эрлифтов являются: относительно низкий к.п.д., большие капитальные затраты на строительство компрессорных станций и воздухопроводов.

В зависимости от расположения воздухопроводных и пульпоподъемных труб в скважине, различают две основные схемы эрлифта [36]. По первой схеме трубы располагают параллельно (эксцентрично). Достоинством этой схемы является большое проходное отверстие для подъема пульпы, благодаря чему снижаются гидравлические сопротивления, требуются меньшее давление и расход воздуха. К недостаткам данной схемы эрлифта следует отнести сложную технологичность монтажа.

По второй схеме трубы располагают концентрично. При этом по сравнению с первой схемой монтаж эрлифта более прост, но создает большие гидравлические сопротивления. По данной схеме эрлифт может быть выполнен в различных вариантах: с расположением воздухоподающих труб внутри пульпоподъемных труб и с расположением пульпоподъемных труб внутри воздухоподающих труб.

Важным элементом эрлифта является смеситель (форсунка), который предназначен для смешивания жидкости и сжатого воздуха с возможно более полной передачей энергии воздуха потоку пульпы. Кроме того, он должен обеспечивать про-

пуск твердого материала без помех в пульпоподъемную трубу в рабочем режиме эрлифта. Смеситель чаще всего представляет собой перфорированный отрезок трубы длиной 2,0–2,5 м и с диаметром отверстий 4–6 мм. Количество отверстий выбирается с таким расчетом, чтобы их суммарная площадь была не менее чем в 2 раза больше площади сечения воздухопровода в свету. Известны также конструктивно другие типы смесителей – форсунки кольцевого и центрального подпружиненного типа [37]. При этом эрлифт с центральной форсункой работает с меньшими пульсациями и имеет наибольшую производительность, а автоматическое закрывание кольцевой щели при отсутствии подачи сжатого воздуха предотвращает попадание песка в щель и ее закупорку.

При использовании эрлифтного подъема гидросмеси из глубоких скважин необходимо повышать пусковое давление сжатого воздуха, что при-

водит к значительным энергозатратам. Для решения данной проблемы Е.В. Винц предложил применить несколько смесителей, последовательно установленных на пульповыдачной трубе [8]. Это решение позволяет увеличить глубину разработки при снижении пускового давления сжатого воздуха. Аналогичная технология применяется для вызова притока нефти (газа) с использованием пусковых клапанов в процессе освоения скважин [38].

Расчет параметров эрлифта заключается в определении длины и диаметров пульпоподъемных и воздухоподающих труб, которые будут определять необходимую глубину и диаметр эксплуатационной колонны или скважины, по которым подбирается необходимый компрессор, а также расхода и давления воздуха. Исходными данными для расчета эрлифта являются: глубина статического и динамического уровня, высота уровня разлива и проектный дебит скважины [36].

Таблица 2. Классификация способов, технических и технологических решений для реализации всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе СГД полезных ископаемых

Способы всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	Пути реализации способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	Технические и технологические решения для реализации способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность
Разряжение	Создание разряжения в выемочной камере за счет энергии расширения предварительно сжатого воздуха	Использование эрлифтов, различающихся по расположению воздухоподающих и пульпоподъемных труб в скважине: <ul style="list-style-type: none"> – параллельное расположение; – расположение воздухоподающих труб внутри пульпоподъемных; – расположение пульпоподъемных труб внутри воздухоподающих
		Использование эрлифтов, различающихся по конструктивному исполнению смесителей: <ul style="list-style-type: none"> – с кольцевым смесителем; – с центральным смесителем; – с перфорированным смесителем
		Использование эрлифтов, различающихся по количеству установленных смесителей: <ul style="list-style-type: none"> – с одним смесителем; – с последовательно установленными по глубине смесителями
Гидроэлеваторный (эжекторный)	Создание разряжения в выемочной камере за счет кинетической энергии потока жидкости	Использование гидроэлеваторов, различающихся по местоположению активной струи в плоскости начального сечения камеры смешения: <ul style="list-style-type: none"> – гидроэлеваторы центрального типа: <ul style="list-style-type: none"> • с нисходящей рабочей струей; • с восходящей рабочей струей; – гидроэлеваторы кольцевого типа: <ul style="list-style-type: none"> • с одноповерхностной рабочей струей; • с двухповерхностной рабочей струей
Вихревой	Создание разряжения в выемочной камере за счет закрученного потока жидкости	Использование вихреобразующих устройств: <ul style="list-style-type: none"> – гидромониторные; – механические
Вытеснение	Создание противодействия в выемочной камере рабочим агентом	Нагнетание сжатого воздуха Нагнетание рабочей жидкости
Механический	Подъем разрушенной породы с помощью механических устройств, входящих в состав гидродобычных снарядов	Винтовые транспортеры (шнеки, змеевики)
		Породосборники
Комбинированный	Совместное применение разряжения, вытеснения и механических способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность	Технические и технологические решения для реализации указанных способов всасывания и подъема гидросмеси на поверхность

Гидроэлеваторный (эжекторный) способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется за счет создания разрежения в выемочной камере кинетической энергией потока жидкости. Для этой цели используют специальные струйные насосы – гидроэлеваторы (эжекторные насосы).

Основными достоинствами применения гидроэлеваторов для СГД являются [8, 32, 34]: относительная простота конструкции, возможность подъема пульпы высокой консистенции, возможность подъема гидросмеси из незатопленной очистной камеры, что значительно увеличивает эффективность гидромониторного размыва пород. Основными недостатками применения гидроэлеваторов для СГД являются: относительно низкий к.п.д., высокий абразивный износ некоторых узлов эжекторного насоса (конфузора и камеры смешения), снижение эффективности работы при увеличении высоты подъема гидросмеси, ограничение по крупности поднимаемых кусков породы.

Для подъема пульпы при СГД применяются гидроэлеваторы двух типов: кольцевого и центрального, которые различаются по местоположению активной струи в плоскости начального сечения камеры смешения [32]. Гидроэлеваторы кольцевого типа при равных расходах активного потока лучше работают на всасывание по сравнению с гидроэлеваторами с центральной рабочей струей. Гидроэлеваторы центрального типа обладают более высоким напором, и им следует отдать предпочтение при подъеме пульпы с больших глубин. Совместная работа гидроэлеваторов центрального и кольцевого типа приводит к повышению к.п.д. до 27–30 %.

Расчет гидроэлеваторов сводится к определению их конструктивных и гидравлических параметров, развиваемого при этом к.п.д. и докавитационного режима работы. При СГД полезных ископаемых возможны следующие варианты расчета эжекторных устройств [39]:

- при заданных значениях производительности добычи руды по твердому компоненту и глубине подъема пульпы определяются необходимая производительность и давление нагнетания рабочей жидкости, по которым выбирается насос;
- при заданных значениях глубины подъема пульпы и напорно-расходной характеристики насоса определяется производительность добычи по твердому компоненту;
- при заданных значениях производительности добычи руды по твердому компоненту, глубины залегания продуктивного пласта, напорно-расходной характеристики насоса определяется высота подъема пульпы.

Вихревой способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется при создании разрежения в выемочной камере специальными вихреобразующими устройствами. Данные устройства формируют закручивание потока жидкости и по принципу работы могут быть двух видов: механические и гидромониторные. При этом

механические устройства могут создавать вихревой поток жидкости (гидросмеси) при вращении с большой частотой шнека [40] или лопастного устройства (турбинки). Гидромониторные устройства создают вихревой поток жидкости за счет кольцевой струи, вытекающей из вращающегося гидромонитора. При этом установлено, что обеспечить эффективное удаление горной массы в процессе СГД, при вращении гидромонитора, можно путем регулирования мощности, угла атаки и высоты позиционирования над забоем струи жидкости [41]. Гидромониторные вихреобразующие устройства нашли широкое применение в струйно-вихревой геотехнологии [12].

Всасывание и подъем гидросмеси на поверхность способом вытеснения заключается в создании противодействия в выемочной камере. Данный способ подъема гидросмеси эффективно зарекомендовал себя при добыче соли методом подземного растворения через скважины и при строительстве подземных хранилищ в отложениях каменной соли и мерзлых осадочных породах [34]. Его положительной стороной является большая производительность по гидросмеси и низкая энергоёмкость подъема, обусловленная только гидравлическим сопротивлением в трубах и плотностью поднимаемой пульпы. Однако для реализации данного способа подъема необходимым условием является непроницаемость пород, а также обеспечение герметичности очистной камеры.

Вытеснение может создаваться двумя способами, характеризующимися видом рабочего агента: нагнетанием сжатого воздуха [13] или рабочей жидкостью [42].

Механический способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется с помощью специальных устройств, входящих в состав скважинных снарядов. К таким устройствам относятся:

- винтовые транспортеры (шнеки, змеевики), которые поднимают разрушенную породу на поверхность при их вращении. Данный вариант подъема гидросмеси нашел применение в струйной геотехнологии [12];
- породосборники, которые накапливают крупные куски породы, не проходящие в приемные отверстия всаса, и поднимаются на поверхность в месте со снарядом после окончания запланированной добычи [5]. Данный вариант подъема позволяет повысить достоверность отбора проб за счет снижения потерь полезного ископаемого.

Комбинированный способ всасывания и подъема гидросмеси на поверхность осуществляется при совместном использовании комбинаций вышеуказанных способов. Необходимость создания комбинаций возникает для увеличения высоты подъема гидросмеси и производительности добычи.

При СГД полезных ископаемых используются следующие варианты комбинаций способов всасывания и подъема пульпы на поверхность:

- гидроэлеваторно-эрлифтный, где всасывание гидросмеси производится гидроэлеватором, а дальнейший подъем – эрлифтом [43];
- эрлифтно-вытесняющий, в котором подъем гидросмеси осуществляется эрлифтом, а всасывание – за счет создания противодействия в отработываемой камере рабочей жидкостью [34] или сжатым воздухом [42];
- эрлифтно-струйный, в котором используются струйные устройства с рабочим агентом в виде сжатого воздуха [44];
- гидроэлеваторно (эрлифтно)-вихревой [40];
- вытесняюще-вихревой [12].

Выводы

1. Выявлены основные способы разрушения горных пород, всасывания и подъема гидросмеси на поверхность в процессе СГД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скважинная гидродобыча полезных ископаемых / В.Ж. Аренс, Н.И. Бабичев, А.Д. Башкатов, О.М. Гридин, А.С. Хрулев, Г.Х. Хчеян. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 295 с.
2. Шавловский С.С. Основы динамики струй при разрушении горного массива. – М.: Наука, 1979. – 174 с.
3. Исмагилов Б.В., Селищев М.А. Экспериментальное исследование параметров затопленной струи и гидромониторной головки // Проблемы геотехнологии: сборник статей. – М.: ГИГХС, 1972. – Вып. 21. – С. 286–296.
4. Process of mining ore from beneath an overburden of earth formation: pat. 3393013 US; filling date 17.01.1966; publ. 16.07.1968.
5. Способ извлечения слабосвязанных пород полезных ископаемых из подземных формаций и устройство для его осуществления: а.с. 1682574 СССР. № 4702961/03; заявл. 09.06.1989, опубл. 07.10.1991, Бюл. № 37. – 3 с.
6. Скважинный гидродобычный комплекс: пат. 51107 Рос. Федерация. № 2005124648/22; заявл. 02.08.2005; опубл. 27.01.2006, Бюл. № 03. – 2 с.
7. Apparatus for inserting down hole mechanism through bore holes: pat. 3400980 US; filling date 11.03.1966; publ. 10.09.1968.
8. Шпак Д.Н. Добыча глубинных песчано-гравийных строительных материалов через скважины // Проектирование и строительство трубопроводов и газонефтепромысловых сооружений: научно-технический обзор. – М.: Информнефтегазстрой, 1982. – Вып. 4. – 36 с.
9. Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых: а.с. 825966 СССР. № 2812000; заявл. 10.08.1979; опубл. 30.04.1981, Бюл. № 16. – 3 с.
10. Borehole mining method: pat. 6688702 US. № 10/318, 680; filling date 16.12.2004; publ. 10.02.2004.
11. Башкатов А.Д. Прогрессивные технологии сооружения скважин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 554 с.
12. Бройд И.И. Струйная геотехнология. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 448 с.
13. Устройство для подземной разработки полезных ископаемых гидравлическим способом: а.с. 58591 СССР. № 196161; заявл. 15.06.1936; опубл. 01.01.1940.
14. Совершенствование гидроструйных технологий в горном производстве / В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, М.М. Щеголевский, Ал.В. Поляков, Ан.В. Поляков. – М.: Изд-во МГТУ Горная книга, 2010. – 343 с.
15. Кавитатор для подводной очистки закольматированных поверхностей твердых тел: пат. 2258130 Рос. Федерация. № 2004135274/03; заявл. 03.12.2004; опубл. 10.08.2005, Бюл. № 22. – 7 с.
16. Сердюк Н.И. Совершенствование технологии кавитационного декольматажа фильтровой области гидрогеологических скважин: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 2005. – 294 с.
17. Conn A.F. et al. Cavitating Bit Jets Promise Faster Drilling for Deep-Hole Operations // Oil and Gas Journal. – 1977. – V. 75. – P. 129–146.
18. Сигаев Е.А. Исследование гидроотбойки пульсирующими гидромониторными струями // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1964. – № 2. – С. 39–43.
19. Специальные работы при бурении и оборудовании скважин на воду / Д.Н. Башкатов, С.Л. Драхлис, В.В. Сафонов, Г.П. Квашнин. – М.: Недра, 1988 – 268 с.
20. Квашнин Г.П. Технология вскрытия и освоения водоносных пластов. – М.: Недра, 1987. – 247 с.
21. Попов А.А. Импульсия в процессах нефтедобычи. – М.: Недра, 1996. – 186 с.
22. Дыбленко В.П. Волновые методы воздействия на нефтяные пласты с трудноизвлекаемыми запасами. Обзор и классификация. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2008. – 80 с.
23. Способ скважинной гидродобычи: пат. 2038480 Рос. Федерация. № 5033738/03; заявл. 18.02.1992; опубл. 27.06.1995, Бюл. № 4. – 3 с.
24. Добычной снаряд: пат. 2012812 Рос. Федерация. № 5033749/03; заявл. 18.02.1992; опубл. 15.05.1994, Бюл. № 4. – 3 с.
25. Опыт скважинной гидродобычи руд на Шемраевком участке КМА / В.Ж. Аренс, А.В. Панков, А.Г. Балашов, И.И. Толочков, И.П. Петров // Горный журнал. – 1995. – № 1. – С. 23–26.
26. Способ разработки месторождений твердых полезных ископаемых: пат. 2032074. Рос. Федерация. № 4949444/03; заявл. 21.05.1991; опубл. 27.03.1995, Бюл. № 4. – 3 с.
27. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия / В.П. Дыбленко, Р.Н. Камалов, Р.Я. Шарифулин, И.А. Туфанов. – М.: Недра, 2000. – 381 с.
28. Устройство для скважинной гидродобычи: а.с. 1620631 СССР. № 4639363; заявл. 17.01.1989; опубл. 15.01.1991, Бюл. № 2. – 3 с.
29. Наймушин А.С., Штреслер К.А., Овинников В.А. Об экономической целесообразности отработки высокоглинистых россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 10. – С. 62–67.
30. Сулакшин С.С., Чубик П.С. Разрушение горных пород при проведении геологоразведочных работ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 367 с.

31. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Алматы, 1995. – 18 с.
32. Сергиенко И.А., Мосеев А.Ф. Бурение и оборудование геотехнологических скважин. – М.: Недра, 1984. – 224 с.
33. Chemical comminution and mining of coal: pat. 3850477 US; filing date 29.06.1973; publ. 26.11.1974.
34. Хрулев А.С. Способы и средства подъема гидросмеси при скважинной гидродобыче // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – № 5. – С. 112–116.
35. Гидроподъем полезных ископаемых / Я.К. Антонов, Л.Н. Козыряцкий, В.А. Малошкина, Холмогоров А.П., Хунис Я.Е. – М.: Недра, 1995. – 172 с.
36. Шестеров В.П., Шмурыгин В.А., Бондарчук И.Б. Сооружение, ремонт и эксплуатация водозаборных скважин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 148 с.
37. Аренс В.Ж., Исмагилов Б.В., Шпак Д.Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 229 с.
38. Освоение скважин: Справочное пособие / под ред. Р.С. Яремейчука. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. – 473 с.
39. Горшенин Н.Е., Бондарчук И.Б. Особенности расчета и конструирования эжекторных устройств для снарядов скважинной гидродобычи полезных ископаемых // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XII Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – С. 529–531.
40. Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и скважинный гидродобычной агрегат для его осуществления: пат. 2109949 Рос. Федерация. № 97100494/03; заявл. 22.01.1997; опубл. 27.04.1998, Бюл. № 4. – 3 с.
41. Горшенин Н.Е. Организация массопереноса в затопленном очистном пространстве при скважинной гидродобыче // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 179–183.
42. Устройство для добычи полезных ископаемых через скважины: а.с. 1700249 Рос. Федерация. № 4722963; заявл. 24.07.1989; опубл. 23.12.1991, Бюл. № 47. – 4 с.
43. Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых: пат. 2113591 Рос. Федерация. № 97119113/03; заявл. 26.11.1997; опубл. 20.06.1998, Бюл. № 4. – 3 с.
44. Куликов В.В., Габдрахманова М.С., Пенкевич С.В. Использование эрлифтно-струйных водоподъемников // Изв. ВУЗов: Геология и разведка. – 2003. – № 5. – С. 63–66.

Поступила 19.12.2013 г.

UDC 622.277

MODERN CONCEPTS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN DEVELOPMENT OF PRODUCTIVE FORMATIONS BY HYDRAULIC BOREHOLE MINING

Igor B. Bondarchuk,

Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia.

E-mail: bond_ib@mail.ru

Sergey Ya. Ryabchikov,

Dr. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Avenue,

Tomsk, 634050, Russia. E-mail: kafedrabs@mail.ru

The relevance of the work is determined by the need to develop productive formations of solid commercial minerals by hydraulic borehole mining. The main advantage of the method consists in mineral extracting in difficult geological conditions, excluding tunneling of mine workings and construction of the quarries.

Objective of the work: identification and analysis of major means, technical and technological solutions for implementation of rock destruction, absorption and rising of hydraulic fluid to the surface at hydraulic borehole mining.

Research methods: analysis and summary of the literary sources.

Results: The authors have determined the main methods of rock destruction, absorption and rising of hydraulic fluid to the surface at hydraulic borehole mining. The paper introduces the advanced idea of the basic technological processes of hydraulic borehole mining, related to productive formation development. The classifications were worked out. They systematize and generalize the information on means, technical and technological solutions for implementation of rock destruction, absorption and rising of hydraulic fluid to the surface at hydraulic borehole mining. The classification data will significantly simplify the choice and improvement of technological processes to improve the performance of minerals hydraulic borehole mining.

Key words:

Hydraulic borehole mining, technological processes, rock breaking, rock separation from mass, absorption and rise of slurry.

REFERENCES

- Arens V.Zh., Babichev N.I., Bashkatov A.D., Gridin O.M., Hrulev A.S., Hchejan G.H. *Skvazhinnaya gidrodobycha poleznykh iskopaemykh* [Hydraulic borehole mining]. Moscow, Gornaya kniga Publ., 2007. 295 p.
- Shavlovsky S.S. *Osnovy dinamiki struy pri razrushenii gornogo massiva* [The basis of the jet dynamics in mountain massif destruction]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 174 p.
- Ismagilov B.V., Selishchev M.A. Eksperimentalnoe issledovanie parametrov zatoplennoy strui i gidromonitornoy golovki [Experimental research of submerged jet parameters and jet head]. *Problemy geotekhnologii: sbornik statey* [Problems of geotechnique: papers]. Moscow, GIGHS Publ., 1972, vol. 21, pp. 286–296.
- Harper D.C., Hammer O. *Process of mining ore from beneath an overburden of earth formation*. Patent US, no. 3393013, 1968.
- Nikolaev V.A., Maltsev V.M., Durnikin V.I. *Sposob izvlecheniya slabosvyazannykh porod poleznykh iskopaemykh iz podzemnykh formatsy i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of extracting loosely rocks minerals from underground formations and the device for its implementation]. Patent USSR, no. 1682574, 1991.
- Ponomarenko Yu.V., Petrichenko V.P., Streltsov V.I. *Skvazhinny gidrodobychnoy kompleks* [Downhole hydrodevices complex]. Patent RF, no. 51107, 2006.
- Dahms J.B., Edmonds B.P. *Apparatus for inserting down hole mechanism through bore holes*. Patent US, no. 3400980, 1968.
- Shpak D.N. *Dobycha glubinykh peschanno-graviynykh stroymaterialov cherez skvazhiny* [Mining deep sand-gravel materials through wells]. *Proektirovanie i stroitelstvo truboprovodov i gazoneftpromyslovyyh sooruzheniy: nauchno-tehnicheskyy obzor* [Design and construction of pipe lines and gas and oil-field facilities. Scientific review]. Moscow, Informneftgazstroy Publ., 1982. Vol. 4. 36 p.
- Shpak D.N., Arens V.Zh., Bukseev V.V., Mishutkin V.F., Frolov N.P., Lyakhov A.I. *Ustroystvo dlya skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh* [Device for hydraulic borehole mining]. Patent USSR, no. 825966, 1981.
- Abramov G.A., Wiley M.A. *Borehole mining method*. Patent US, no. 6688702, 2004.
- Bashkatov A.D. *Progressivnyye tehnologii sooruzheniya skvazhin* [Well construction progressive technologies]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2003. 554 p.
- Broyd I.I. *Struynaya geotekhnologiya* [Inkjet Geotechnology]. Moscow, Associatsii stroitelnykh vuzov Publ., 2004. 448 p.
- Tupitsyn P.M. *Ustroystvo dlya podzemnoy razrabotki poleznykh iskopaemykh gidravlicheskim sposobom* [Device for underground mining of minerals hydraulic method]. Patent USSR, no. 58591, 1940.
- Brenner V.A., Zhabin A.B., Shchegolevsky M.M., Polyakov Al.V., Polyakov An.V. *Sovershenstvovanie gidrostruynykh tekhnologiy v gornom proizvodstve* [Improvement of water-jet technologies in mining production]. Moscow, MGGU Gornaya kniga Publ., 2010. 343 p.
- Serdyuk N.I., Cherkasov V.I., Kravchenko A.E., Bebenin V.Yu. *Kavitator dlya podvodnoy oчитki zakolmatirovannykh poverkhnostey tverdykh tel* [Cavitator for underwater cleaning kolmat solid surfaces]. Patent RF, no. 2258130, 2005.
- Serdyuk N.I. *Sovershenstvovanie tekhnologiy kavitatsionnogo dekolmatazha filtrovoy oblasti gidrogeologicheskikh skvazhin*. *Dokt. Diss.* [Perfection of cavitation decolletage of filter field in hydrogeological wells. Dr. Diss.]. Moscow, 2005. 294 p.
- Conn A.F. *Cavitating Bit Jets Promise Faster Drilling for Deep-Hole Operations*. *Oil and Gas Journal*, 1977, vol. 75, pp. 129–146.
- Sigaev E.A. *Issledovanie gidrootboyki pulsiruyushchimi gidromanitornymi struyami* [The study of hydraulic winning with pulsating giant jets]. *Izvestiya VUZov. Gornyy zhurnal*, 1964, no. 2, pp. 39–43.
- Bashkatov D.N., Drakhlis S.L., Safonov V.V., Kvashnin G.P. *Spetsialnye raboty pri burenii i oborudovanii skvazhin na vodu* [Special works for drilling and equipping wells for water]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 268 p.
- Kvashnin G.P. *Tekhnologiya vskrytiya i osvoeniya vodonosnykh plastov* [Aquifer opening and development]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 247 p.
- Popov A.A. *Implaziya v protsessakh neftedobychi* [The implosion in production]. Moscow, Nedra Publ., 1996. 186 p.
- Dyblenko V.P. *Volnovyye metody vozdeystviya na neftyanye plasty s trudnoizvlekaemymi zasasami. Obzor i klassifikatsiya* [Wave methods of influence on oil reservoirs with hard to recover reserves. Overview and classification]. Moscow, VNIIO ENG Publ., 2008. 80 p.
- Gostyukhin P.D., Bolotov V.A., Toloknov I.I. *Sposob skvazhinnoy gidrodobychi* [The method of hydraulic borehole mining]. Patent RF, no. 2038480, 1995.
- Toloknov I.I., Pankov A.V., Prokshits V.I., Kolomiets A.M. *Dobychnoy snaryad* [Mining shell]. Patent RF, no. 2012812, 1994.
- Arens V.Zh., Pankov A.V., Balashov A.G., Toloknov I.I., Petrov I.P. *Opyt skvazhinnoy gidrodobychi rud na Shemraevkom uchastke KMA* [The experience of ore hydraulic borehole mining on Shamraevka plot KMA]. *Gornyy zhurnal*, 1995, no. 1, pp. 23–26.
- Dmitriev V.A., Babichev N.I., Iskuzhin S.M., Abramov G.Yu., Simich R. *Sposob razrabotki mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh* [The method of mining solid minerals]. Patent RF, no. 2032074, 1995.
- Dyblenko V.P., Kamalov R.N., Shariffulin R.Ya., Tufanov I.A. *Povyshenie produktivnosti i reanimatsiya skvazhin s primeneniem vibrovolnovogo vozdeystviya* [Increased productivity and resuscitation of wells applying vibration wave action influence]. Moscow, Nedra Publ., 2000. 381 p.
- Pakulov A.I., Krayzmaya E.M. *Ustroystvo dlya skvazhinnoy gidrodobychi* [Device for hydraulic borehole mining]. Patent USSR, no. 1620631, 1991.
- Naymushin A.S., Shtresler K.A., Ovinnikov V.A. *Ob ekonomicheskoy tselesoobraznosti otrabotki vysokoglinistykh rossypey* [Economic expediency of mining high-clayey placers]. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten*, 2007, vol. 10, pp. 62–67.
- Sulakshin S.S., Chubik P.S. *Razrushenie gornykh porod pri provedenii geologorazvedochnykh rabot* [Rock destruction at exploration works]. Tomsk, TPU Publ., 2011. 367 p.
- Zaurbekov S.A. *Povyshenie effektivnosti prizaboynykh gidrodinamicheskikh protsessov pri sharostruynom burenii skvazhin*. *Avto-ref. Kand. Diss.* [Improving the efficiency of bottom hole hydrodynamic processes at impact drilling. Cand. Diss. Abstract]. Almaty, 1995. 18 p.
- Sergienko I.A., Moseev A.F. *Burenie i oborudovanie geotekhnologicheskikh skvazhin* [Drilling and equipment for geotechnological wells]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 224 p.
- Aldrich R., Keller D., Sawyer R. *Chemical comminution and mining of coal*. Patent US, no. 3850477, 1974.
- Khrulev A.S. *Sposoby i sredstva podema gidrosmesi pri skvazhinnoy gidrodobychi* [Ways and means of lifting slurry in hydraulic borehole mining]. *Gornyy informatsionno-analiticheskyy byulleten*, 2000, no. 5. pp. 112–116.
- Antonov Ya.K., Kozyryatsky L.N., Maloshkina V.A., Kholmogorov A.P., Khunis Ya.E. *Gidropodem poleznykh iskopaemykh* [Minerals hydraulic lift]. Moscow, Nedra Publ., 1995. 172 p.
- Shesterov V.P., Shmurygin V.A., Bondarchuk I.B. *Sooruzhenie, remont i ekspluatatsiya vodozabornykh skvazhin* [Construction, repair and operation of water supply wells]. Tomsk, TPU Publ., 2009. 148 p.
- Arens V.Zh., Ismagilov B.V., Shpak D.N. *Skvazhinnaya gidrodobycha tverdykh poleznykh iskopaemykh* [Hydraulic borehole mining of solid minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1980. 229 p.

38. *Osvoenie skvazhin: Spravochnoe posobie* [Development of wells: a Reference Guide]. Ed. R.S. Yaremeychuk. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 1999. 473 p.
39. Gorshenin N.E., Bondarchuk I.B. Osobennosti rascheta i konstruirovaniya ezhektornykh ustroystv dlya snaryadov skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh [Features of ejecting device calculation and design for hydraulic borehole mining]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: Trudy XII Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova* [Problems of Geology and exploration of mineral resources: Proc. of the XII Intern. scientific Symposium of academician M.A. Usov]. Tomsk, TPU Publ., 2008, pp. 529–531.
40. Agoshkov A.I., Babichev N.I., Vasyanovich A.M. *Sposob skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh i skvazhinny gidrodobychnoy agregat dlya ego osushchestvleniya* [The method of hydraulic borehole mining and device for its implementation]. Patent RF, no. 2109949, 1998.
41. Gorshenin N.E. Organizatsiya massoperenosa v zatoplennom ochistnom prostranstve pri skvazhinnoy gidrodobyche [Organization of mass transfer in a flooded space during hydraulic borehole mining]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1. pp. 179–183.
42. Romanenko V.A., Zinovev K.V., Rachinsky F.A. *Ustroystvo dlya dobychi poleznykh iskopaemykh cherez skvazhiny* [Device for extraction of minerals through wells]. Patent RF, no. 1700249, 1991.
43. Gushchin V.G. *Ustroystvo dlya skvazhinnoy gidrodobychi poleznykh iskopaemykh* [Device for hydraulic borehole mining]. Patent RF, no. 2113591, 1998.
44. Kulikov V.V., Gabdrakhmanova M.S., Penkevich S.V. Ispolzovanie erliftno-struynykh vodopodemnikov [The use of airlifting-inject devices for lifting water]. *Izvestiya VUZov: Geologiya i razvedka*, 2003, no. 5, pp. 63–66.