

С. Я. Левенсон^{1}, М. А. Ланцевич¹, А. В. Морозов¹*

Оценка возможности сооружения скважин большого диаметра инерционно-ударным рабочим органом

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н. А. Чинакала» СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: lev@misd.ru

Аннотация. Обосновано принципиально новое решение задачи безопасного и эффективного сооружения восстающих выработок различного назначения. Предложено в качестве расширителя при сооружении скважин большого диаметра применять породоразрушающий инструмент с рабочими органами в виде молотковых роторов, что дает возможность использования бурового станка, развивающего крутящий момент и напорное усилие, достаточные для бурения пилотной скважины. В процессе расширения энергия привода механизма подачи расходуется на преодоление сил внутреннего трения в самом механизме и не требует участия крутящего момента и напорного усилия бурового станка непосредственно в процессе разрушения материала молотковыми роторами. Предложенный способ позволяет отказаться от использования тяжелого и дорогостоящего импортного оборудования для сооружения скважин большого диаметра безвзрывным методом.

Ключевые слова: скважина большого диаметра, безопасность, импортозамещение, буровой станок, расширитель, молотковый ротор

S. Ya. Levenson^{1}, M. A. Lantsevich¹, A. V. Morozov¹*

Assessment of the possibility of construction of large diameter boreholes by inertial-impact working tool

¹ Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: lev@misd.ru

Annotation. A fundamentally new solution to the problem of safe and efficient construction of up-rising mine workings for various purposes is substantiated. It is proposed to use rock-destroying tools with working bodies in the form of hammer rotors as reamers for construction of large-diameter boreholes, which makes it possible to use a drilling machine developing torque and pressure force sufficient for drilling a pilot borehole. In the process of reaming the drive energy of the feed mechanism is spent on overcoming the internal friction forces in the mechanism itself and does not require the participation of torque and pressure force of the drilling machine directly in the process of material destruction by hammer rotors. The proposed method allows to refuse the use of heavy and expensive imported equipment for construction of large-diameter wells by blastless method.

Keywords: large-diameter well, safety, import substitution, drilling machine, reamer, hammer rotor

Проходка восстающих выработок различного назначения является неотъемлемой частью горного производства. Это дорогостоящая, продолжительная и, при использовании взрыва, опасная операция. В настоящее время взрывная от-

бойка вытесняется методами бурения до проектного диаметра без взрывных работ [1-10]. Сооружение скважин большого (до 3...6 метров) диаметра выполняется следующим образом (рис. 1). Бурится направляющая (пилотная) скважина с верхнего горизонта вниз до транспортно-сортировочной выработки, затем с бурильной колонны снимается пилотное долото, устанавливается расширитель и скважина разбуривается в обратном направлении до окончательного диаметра. Разрушение породы производится шарошками расширителя за счет большого напорного усилия и высокого крутящего момента бурового станка. Разрушенная порода удаляется, как правило, погрузочно-доставочными машинами.

Современный уровень техники и технологий позволяет достаточно легко пройти таким способом выработку диаметром 3...4 метра. В отношении восстающих выработок большего диаметра в большинстве случаев сохраняются методы с использованием взрывной отбойки, несмотря на то, что оборудование для безвзрывного сооружения скважин диаметром до 6 метров существует [11-16].

Основным преимуществом безвзрывного способа сооружения скважин является его безопасность, так как отсутствуют негативные проявления взрывных работ. Однако, очевидны сложности, возникающие при использовании расширителей диаметром 4...6 метров.

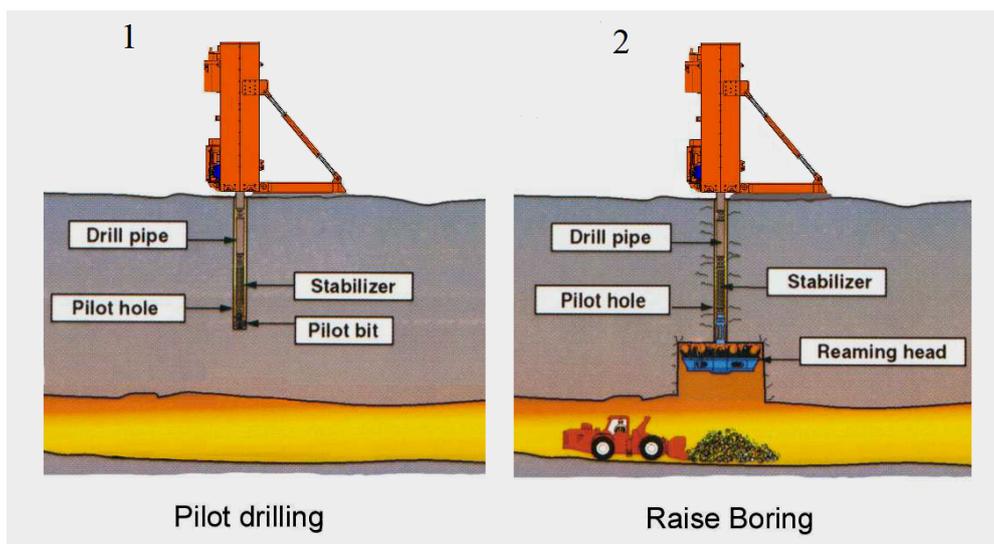


Рис. 1. Схема проведения восстающего методом выбуривания:
1 – бурение пилотной скважины; 2 – выбуривание восстающего с использованием расширителя

Для различных способов механического разрушения горных пород величина отношения удельной энергоемкости разрушения e , кВт ч/м³, к величине их крепости по шкале М.М. Протодяконова ($K = e/f$) разная [2]. Так, при разработке горного массива с применением буровзрывных работ $K = 0,25$, при шарошечном бурении $K = 7,7$, при послойном ударном разрушении $K = 0,25$.

В расширителях большого диаметра используются шарошки с режущим профилем, позволяющим осуществлять проходку, как в монолитной, так и в смешанной или трещиноватой породе.

На рис. 2 представлена установка **Robbins 191RH**. Это самое мощное оборудование для бурения восстающих скважин, производимое компанией Atlas Copco. Модель **191RH** предназначена для проходки длинных восстающих скважин больших диаметров: от 4,5 м до 6,0 м (15-20 футов) при бурении на глубину до 1400 м (4500 футов).



Рис. 2. Буровая установка **Robbins 191RH**

Крутящий момент при расширении достигает 814 кНм, напорное усилие при расширении – 11600 кН, установленный силовой модуль имеет мощность 750 кВт (1000 л.с.). При работе используются буровые трубы диаметром 375 мм.

На рис. 3 представлен один из расширителей, производимых компанией Atlas Copco.



Рис. 3. Расширитель, производимый компанией Atlas Copco

Не каждое горное предприятие, несмотря на потребность, может позволить себе приобретение, монтаж и эксплуатацию, такого, несомненно, дорогостоящего оборудования.

В ИГД СО РАН для непрерывного послойного разрушения горных пород предложено использовать рабочий орган в виде молоткового ротора [17], общий вид которого представлен на рис. 4.

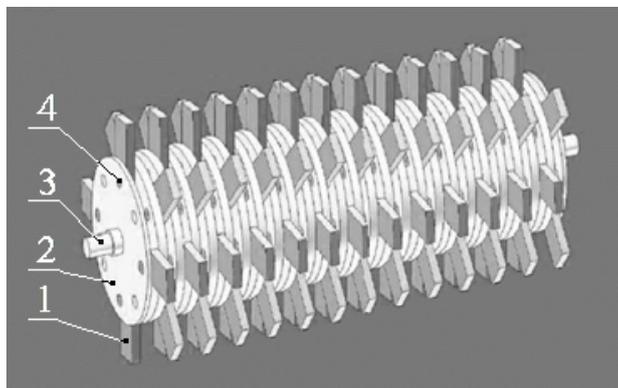


Рис. 4. Общий вид молоткового ротора:
1 – молоток; 2 – диск; 3 – вал; 4 – ось

Молотки 1 расположены между дисками 2, которые жестко закреплены на валу 3. Молотки свободно с зазором подвешены на осях 4, а расположенные между соседними дисками развернуты относительно друг друга на угол 45° . Вращение ротора осуществляется от внешнего двигателя, который может быть электрическим, гидравлическим или пневматическим.

Кинетическая энергия, запасенная движущимся молотком, подвешенным на роторе, расходуется на разрушение скальываемой части породы при ударе по массиву. При взаимодействии молотка с горным массивом реакция породы замыкается в системе «порода – молоток» и лишь незначительно передается на элементы конструкции, поддерживающие молотковый ротор. Следовательно, можно ожидать, что коэффициент K приблизится к значению 0,25, как указано в [2].

Преимуществом способа, предложенного в ИГД СО РАН [18, 19] (рис. 5), является возможность использования бурового станка, развивающего крутящий момент и напорное усилие, достаточные для бурения пилотной скважины.

Это связано с тем, что при разрушении материала молотковыми роторами расширителя (рис. 6) основные затраты энергии приходятся на вращение рабочих органов (молотковых роторов) 1 через цепную передачу пневматическими двигателями 2, установленными непосредственно на расширителе, с подачей сжатого воздуха по буровому ставу 3, а крутящий момент бурового станка преодолевает возникающие при вращении бурового става силы трения. Дополнительного момента сопротивления вращению бурового става при вращении рабочего органа вокруг оси бурового става практически не возникает. Напорный механизм станка при разбурировании воспринимает в основном силу тяжести расши-

рителя при его перемещении вверх в процессе окончательного формирования скважины большого диаметра. Дополнительные осевые нагрузки на буровой став при работе молотковых роторов малы и ими можно пренебречь при выборе бурового станка.

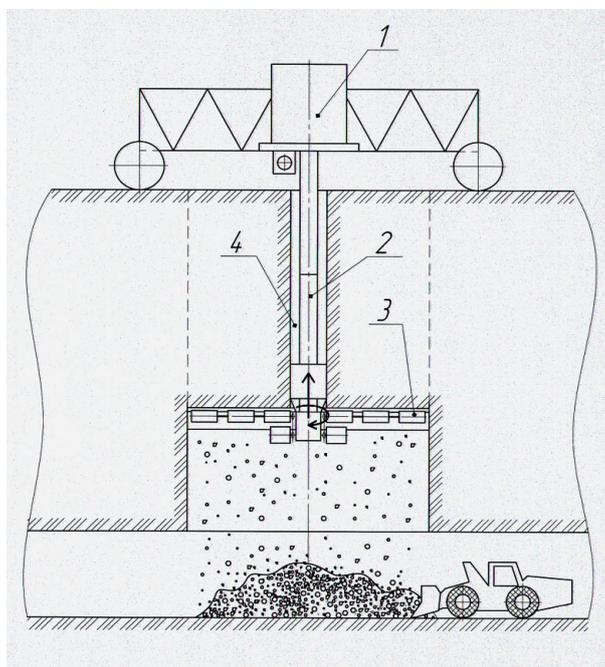


Рис. 5. Схема разбуривания пилотной скважины молотковыми роторами при ходе буровой колонны из транспортно-сортировочной выработки к устью пилотной скважины: 1 – буровой станок; 2 – буровой став; 3 – молотковый ротор; 4 – пилотная скважина

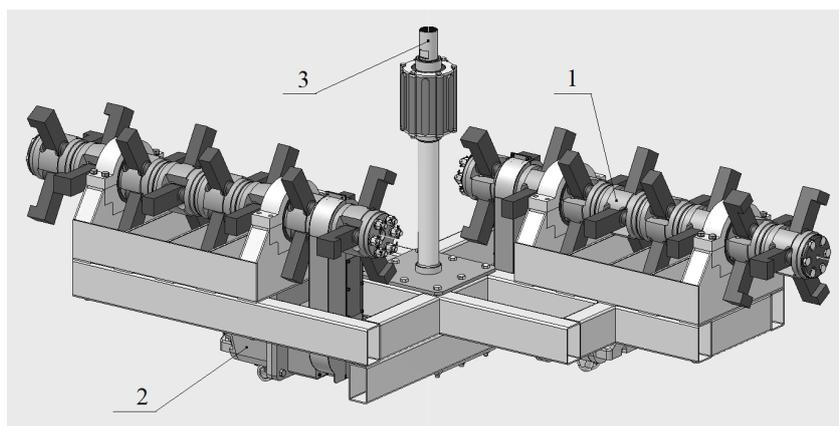


Рис. 6. Породоразрушающий инструмент с рабочими органами в виде молотковых роторов: 1 – молотковый ротор; 2 пневматический двигатель; 3 – буровой став

Подача молотковых роторов на забой при разбурировании складывается из двух движений: вращения молоткового расширителя вокруг оси бурового става и перемещения расширителя вдоль этой оси.

Косвенно оценить затраты энергии на подачу можно на стенде, разработанном в ИГД СО РАН (рис. 7), в процессе прямолинейного перемещения образца материала относительно вращающегося молоткового ротора.

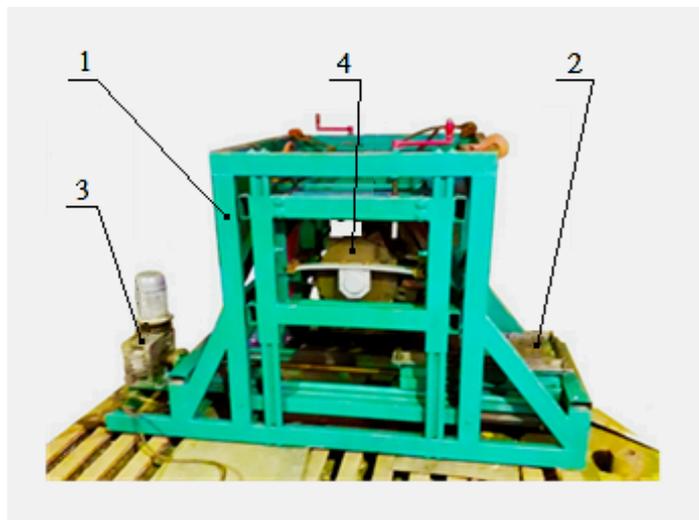


Рис. 7. Общий вид стенда для исследования инерционно-ударного разрушения материалов разной крепости

1 – рама; 2 – подвижный стол; 3 – механизм подачи; 4 – молотковый ротор

Стол 2 с закрепленным на нем материалом приводится в движение за счет работы привода 3, изменяя положение обрабатываемой поверхности образца горной породы, прикрепленного к этому столу, относительно вращающегося ротора 4 в процессе поступательного перемещения. Скорость движения стола 2 может изменяться в широких пределах и имитирует подачу рабочего органа (молоткового ротора) на забой. Скорость вращения молоткового ротора также может изменяться в широких пределах.

На рис. 8 представлена кинематическая схема стенда. Образец разрушаемого материала располагается на подвижном в продольном направлении столе, имеющем привод от электродвигателя M_2 . Над ним размещается молотковый ротор, приводимый во вращение электродвигателем M_1 . Положение ротора в вертикальной и горизонтальной плоскостях регулируется с помощью винтовых передач.

Затраты энергии могут оцениваться по изменению величины тока $I_{вр}$ и $I_{п}$ в обмотках электродвигателей приводов молоткового ротора M_1 и механизма подачи M_2 соответственно. Для получения необходимых данных в электрическую схему стенда включены датчики тока. Сигналы с датчиков фиксируются цифровым запоминающим осциллографом АКПП–72203 и передаются на персональ-

ный ЭВМ для сбора, последующей обработки с помощью специального программного обеспечения и анализа результатов измерений.

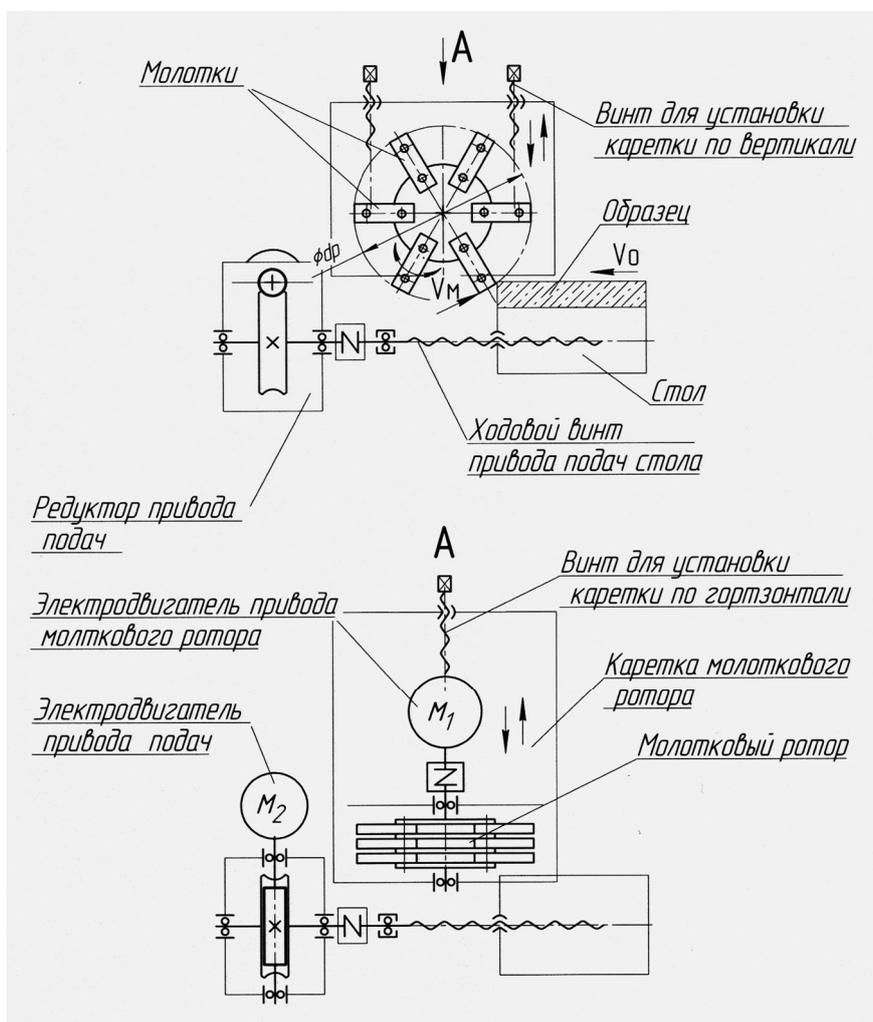


Рис. 8. Кинематическая схема стенда

Изменение динамической нагрузки на упругие поддерживающие элементы рабочего органа в зависимости от его конструктивных параметров и режима работы оценивается опосредованно через измерение амплитуды A и частоты ω колебаний корпуса молоткового ротора, возникающих в процессе формирования штробы. С этой целью используется пьезоэлектрический акселерометр, закрепляемый на корпусе ротора и передающий сигнал на ЭВМ через усилитель заряда типа 2635 (фирма Брюль и Кьер, Дания) и аналого-цифровой преобразователь Е-440 (ЗАО Л-Кард, Россия). Сбор информации и последующая ее обработка осуществляются с помощью «Программного комплекса автоматизации экспериментальных и технологических установок АСТест©».

На стенде для исследования инерционно-ударного разрушения материалов разной крепости (рис. 7) выполнена серия экспериментов с целью обоснования формы ударных элементов молоткового ротора [20], в ходе которых оценивалось

изменение величины тока $I_{вр}$ и $I_{п}$ в обмотках электродвигателей приводов молоткового ротора M_1 и механизма подачи M_2 соответственно. Было установлено, что при изменении величины подачи в меньшую и большую стороны от рациональных значений, соответствующих наименьшим значениям затрат энергии на вращение молоткового ротора, изменения величины тока $I_{п}$ в обмотках электродвигателя привода механизма подачи M_2 в процессе разрушения не зафиксировано. Из этого следует, что энергия привода механизма подачи расходуется на преодоление сил внутреннего трения в самом механизме и не требует участия крутящего момента и напорного усилия бурового станка непосредственно в процессе разрушения материала молотковыми роторами.

Выводы

Использование молотковых роторов в качестве рабочих органов расширителей при сооружении скважин большого диаметра безвзрывным способом позволит отказаться от использования тяжелого и дорогостоящего импортного оборудования в пользу распространенного и доступного отечественного оборудования.

Предлагаемое принципиально новое техническое решение может стать основой при разработке эффективных и безопасных методов проходки восстающих выработок различного назначения

Работа выполнена в рамках проекта НИР (№ государственной регистрации 121052600390-5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Регионы Севера и Арктики Российской Федерации: современные тенденции и перспективы развития: монография / Под науч. редакцией д.э.н., проф. Т. П. Скуфьиной, к.э.н. Н. А. Серовой. – Апатиты: КНЦ РАН, 2017. – 171 с.
2. Маттис А.Р., Ческидов В.И., Яковлев В.Л. и др. Безвзрывные технологии открытой добычи твердых полезных ископаемых. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2007. – 337 с.
3. Барях, А.А. Комплексное геомеханическое и геофизическое обеспечение безопасности подземных работ / А.А.Барях, И.А.Сапфиров // Горный журнал. – 2005. – № 12. – С.79–83.
4. Каманин, Ю. Н. Ределин Р. А., Кравченко В. А. Моделирование разрушения скальных пород гидравлическим устройством ударного действия // Горное оборудование и электромеханика. – 2017. - №2 (129). – С. 30-34.
5. Каркашадзе, Г.Г. Механическое разрушение горных пород / М.; МГГУ-2004.- 222 с.
6. Холмский, А.В. Мероприятия по повышению эффективности ведения горных работ на глубоких рудниках / А.В. Холмский, Д.В. Сидоров // Маркшейдерия и недропользование. - 2019. – № 4. - С. 29-31.
7. Ушаков, Л. С. Рациональное природопользование на основе применения безвзрывных технологий для проведения подземных (горных) выработок / Л. С. Ушаков, В. Е. Климов // Проблемы и инновационные решения в области инженерного обеспечения экологической и промышленной безопасности урбанизированных территорий: Сб. тр. конф. / Под ред. В. А. Васильева. – Самара. – 2017. – С. 246. 46.
8. Лабутин, В.Н. Перспективы применения комбинированного способа разрушения горных пород / В.Н. Лабутин, В.С. Марков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - №12.

9. Демшина Н.А. Сверху вниз и обратно. Спецвыпуск журнала «Промышленные страницы Сибири» «Добывающая промышленность» №2 – 2015 г. <https://epps.ru/journal/detail.php?id=1436>.
10. Дж. Де Мура, Цзяньмин Ян, Батт С.Д. Обоснование модели прогнозирования скорости проходки тоннелепроходческих комплексов и установок для бурения восстающих // ФТПРПИ. – 2023. – № 1. – С. 79 – 91.
11. Лабутин, В.Н. Безвзрывная технология добычи полезных ископаемых: состояние и перспективы. Ч. II: Оценка эффективности применения различных способов разрушения в технологиях открытых горных работ / В.Н. Лабутин, А.Р. Маттис, Г.Д. Зайцев, В.И. Ческидов // ФТПРПИ. - 2004. - № 2. – С.66-74. 115
12. Титанов, А. В. Тенденции развития технологических установок для проходки восстающих / А. В. Титанов, С. А. Чернухин, А. А. Абдрахманов, Г. Г. Сафин. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2015. — № 22 (102). — С. 194-197. — URL: <https://moluch.ru/archive/102/23340/> (дата обращения: 03.04.2024).
13. Великанов В. С., Гуров М. Ю., Долганов А. В., Олизаренко В. В. Горные машины и оборудование подземных рудников. Конструкция и принцип работы. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2008. — 102 с.
14. Бенджамин Кюнстле, Александр Фрай. Установки для проходки восстающих выработок и стволов глубиной до 2000 м // Горная промышленность. - 2015. - № 6 (124). – С. 44-47. - ISSN 1609-9192.
15. Фокин А.Б. Обоснование конструкции стенда для исследования процесса инерционно-ударного разрушения твердых горных пород // Труды XXIV Международного симпозиума «Проблемы геологии и освоения недр». – г. Томск: ТПУ, 2020. – Т. 2. – С. 496 – 497.
16. Лабутин В.Н., Марков В.С. Перспективы применения комбинированного способа разрушения горных пород – /Горный информационноаналитический бюллетень. – 2015. – №12. – С. 325-333
17. Голдобин В.А, Левенсон С.Я., Ланцевич М.А., Морозов А.В. Обоснование параметров рабочего органа струга для разрушения горных пород // Сборник трудов Всероссийской конференции «Проблемы развития горных наук и горнодобывающей промышленности» – Новосибирск, 2016. – Т.2 – С. 31–37.
18. Пат. 2709863 РФ. Способ сооружения скважин большого диаметра / В.В. Тимонин, В.А. Еременко, С.Я. Левенсон, М.А. Ланцевич и др., заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН, № 2019117375; заявл. 05.06.2019// Оpubл. в БИ. – 2019. – № 36.
19. Пат. 2762658 РФ. Устройство для сооружения скважин большого диаметра / М.А. Ланцевич, С.Я. Левенсон, А.Б. Фокин, заявитель и патентообладатель ИГД СО РАН, № 2021119673; заявл. 06.07.2021// Оpubл. в БИ. – 2021. – № 36.
20. Куликова Е.Г., Левенсон С.Я., Морозов А.В. Обоснование формы ударных элементов молоткового ротора инерционно-ударного действия // ФТПРПИ. – 2023. – № 3. – С. 96 – 107.

© С. Я. Левенсон, М. А. Ланцевич, А. В. Морозов, 2024