УДК 622.236.234

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ ШПУРОВ С НАЛОЖЕНИЕМ НА ИНСТРУМЕНТ ОСЕВЫХ И МОМЕНТНЫХ ИМПУЛЬСОВ

Гринько Д.А. [1]

[1]*ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», Новочеркасск, Россия (346400, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: dingo17@mail.ru*

Обоснована необходимость исследований режимов бурения шпуров с наложением на инструмент дополнительных осевых и моментных импульсов путем физического моделирования. Проанализированы существующие конструкции стендов для исследования режимов бурения горных пород и предложена оригинальная конструкция экспериментального стенда с возможностью наложения дополнительных осевых и моментных импульсов на инструмент. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволяющая сократить количество опытов в эксперименте без снижения достоверности получаемых результатов и оценить совместное влияние двух факторов на скорость бурения. Результаты экспериментальных исследований влияния наложения на инструмент осевых и моментных импульсов на скорость бурения свидетельствуют о том, что при наложении импульсов осевого усилия скорость бурения повышается в большей степени, чем при наложении моментных импульсов. Наложение моментных и осевых импульсов на инструмент, а также выбор и поддержание режимных параметров бурения, включающих моментные и осевые импульсы, на рациональном уровне может быть реализовано бурильными машинами мехатронного класса.

Ключевые слова: физическое моделирование, бурение шпуров, режимные параметры, стенд, экспериментальные исследования, осевой импульс, моментный импульс.

PHYSICAL MODELING OF DRILLING TECHNIQUES BLAST-HOLES WITH SUPERPOSITION OF AXIAL AND MOMENT IMPULSES ON THE TOOL

Grinko D.A.[1]

[1]*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), (346400, Rostov region, Novocherkask, Prosveshcheniya st. 132), e-mail: dingo17@mail.ru*

Necessity of research drilling techniques of blast-holes with superposition of axial and moment impulses on the tool by the physical modeling is proved. Analyzed the existing structures of the stands for investigation of rock drilling and proposed an original design of an experimental stand with the possibility of imposing additional axial and moment impulses to the instrument. The technique of experimental studies, which allow to reduce the number of experiments in the experiment without compromising the reliability of the results and evaluate the joint effect of the two factors on the speed of drilling was developed. The experimental studies of the effect of superimposed on the tool axis and moment impulses on the drilling speed indicate that applying an axial impulses increases drilling speed greater extent than when applied moment impulses. Superposition moment and axial impulses on the tool, as well as the selection and maintenance of regime parameters of drilling including moment and axial impulses on a rational level may be implemented by boring machines mechatronic class. Superposition moment and axial impulses on the tool, as well as the selection and maintenance of regime parameters of drilling including moment and axial impulses on a rational level may be implemented by blast-hole drilling machines of mechatronic class.

Keywords: physical modeling, blast-hole drilling, regime parameters, stand, experimental studies, axial impulse, moment impulse.

Введение

Выбор рациональных режимных параметров бурения шпуров и его поддержание на этом уровне это сложная техническая задача по установлению сочетания регулирующих параметров [5]. Решить такую задачу не представляется возможным без знания закономерностей, отражающих взаимосвязи между основными параметрами режима

бурения. Из-за сложности процесса взаимодействия резца с разрушаемой породой эти закономерности традиционно устанавливаются путем физического моделирования.

Физическое моделирование – это метод экспериментальных исследований различных физических явлений, основанный на изучении этого явления на масштабной модели. Проведение физического моделирования на моделях меньших масштабов дает возможность значительно ускорить экспериментальные исследования при большем их объеме [1].

Цель исследования

Целью физического моделирования режимных параметров бурения шпуров с наложением на инструмент осевых и моментных импульсов являлось установление закономерностей, отображающих влияние импульсов осевого усилия и импульсов крутящего момента на скорость бурения. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: произведен обзор существующих конструкций стендов для исследования режимов бурения горных пород; разработана конструкция стенда для исследования режимов бурения горных пород, позволяющая накладывать на инструмент осевые и моментные импульсы; разработана методика проведения экспериментальных исследований.

Материал и методы исследования

Для реализации физического моделирования режимных параметров бурения шпуров нами были проанализированы существующие стенды для исследования режимов бурения горных пород, основанные на использовании токарно-винторезных и вертикально-сверлильных станков, а также специально изготовленные стенды [4]. Однако все известные стенды позволяют проводить исследования режимов бурения только во вращательном режиме или вращательно-ударном (с наложением осевых импульсов). По этой причине нами была разработана оригинальная конструкция стенда для исследования режимов бурения горных пород, позволяющая накладывать на инструмент осевые и моментные импульсы [6]. На конструкцию стенда получено положительное решение о выдаче патента на изобретение [7].

Для проведения экспериментальных исследований режимов бурения горных пород был применен метод рототабельного центрально-композиционного планирования (РЦКП), позволяющий в сравнении с другими (D-оптимальными, ортогональными) предсказывать значения выходной величины с одинаковой точностью во всех направлениях на одинаковом расстоянии от центра плана. Получение математической модели, проверку значимости ее коэффициентов, проверку на адекватность и исследование модели проводили в соответствии с методикой РЦКП, изложенной в источнике [3].

Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены цементно-песчаные образцы диаметром 63 мм. Контактная прочность образцов определялась по методу Л.И. Барона и Л.Б. Глатмана [2] на прессе ПСУ-10. В качестве породоразрушающего инструмента использовалась уменьшенная в 4 раза модель углепородного резца БИ-741А.

Экспериментальные исследования

Для проверки сходимости экспериментальных данных, полученных на нашем стенде для исследования режимов бурения горных пород, была проведена группа контрольных экспериментов во вращательном режиме бурения. Контрольные эксперименты, проведенные при бурении цементно-песчаных образцов с контактной прочностью P_k = 500-600 МПа, моделью резца БИ-741А при осевом усилии 550 Н и частотах вращения 200-500 об/мин, показали удовлетворительную сходимость результатов (рис. 1). При обработке результатов экспериментов были использованы известные методы математической статистики.

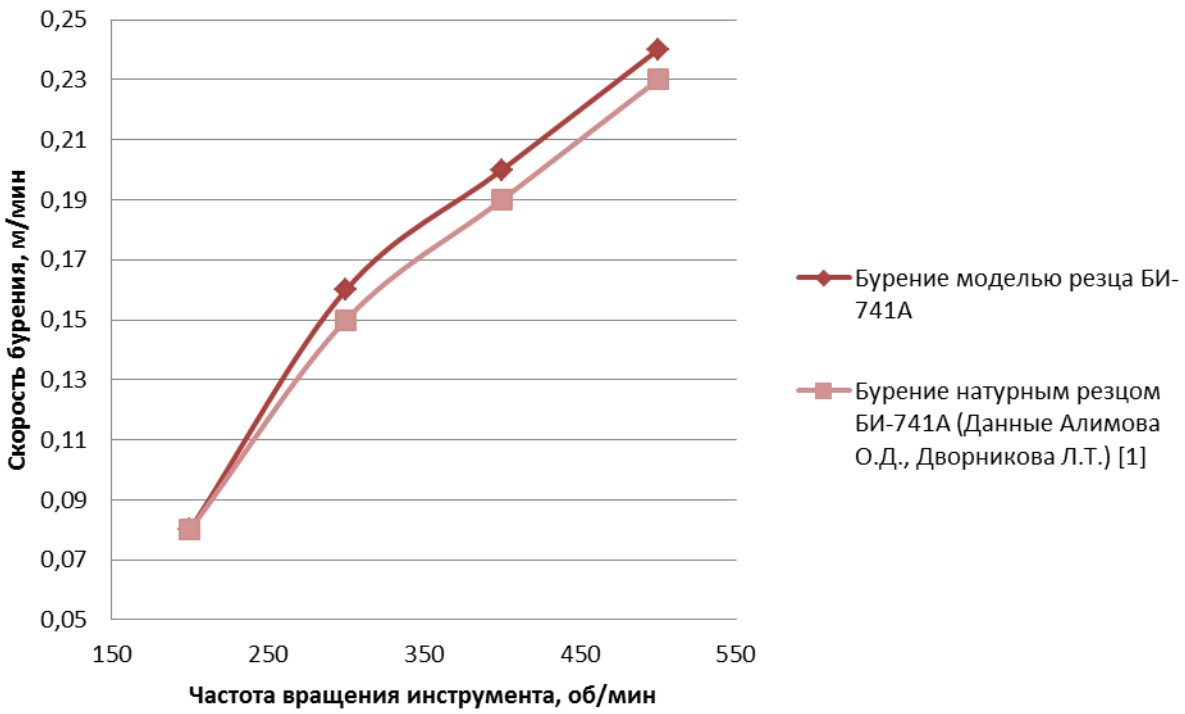

Рисунок 1 – Зависимости скорости бурения *V* от частоты вращения инструмента *n*

Иследование влияния моментных импульсов на скорость бурения проводилось в диапазоне частот вращения 200-360 об/мин и частот моментных импульсов 2200-4000 имп/мин. Указанные диапазоны значений моментных имульсов выбраны исходя из рекомендаций рационального угла поворота инструмента между ударами [1].

В результате проведения исследования влияния моментных импульсов на скорость бурения по методу РЦКП была получена следующая математическая модель:

$$V = -5{,}67 \cdot 10^{-6} \cdot n_в^2 + 3{,}98 \cdot 10^{-3} \cdot n_в + 1{,}73 \cdot 10^{-5} \cdot n_{ми} - 0{,}52;$$

где $n_в$ – частота вращения инструмента, об/мин; $n_{ми}$ – частота моментных импульсов, имп/мин.

Статистическую оценку значимости коэффициентов модели проводили по критерию Стьюдента, а проверка математической модели на адекватность выполнялась по критерию Фишера. После проверки адекватности математической модели на уровне значимости α = 0,05 можно с вероятностью не менее 95% считать, что полученная модель адекватно описывает рассматриваемое явление. По полученной математической модели построен график поверхности (рис. 2) и сделаны срезы этой поверхности (рис. 3).

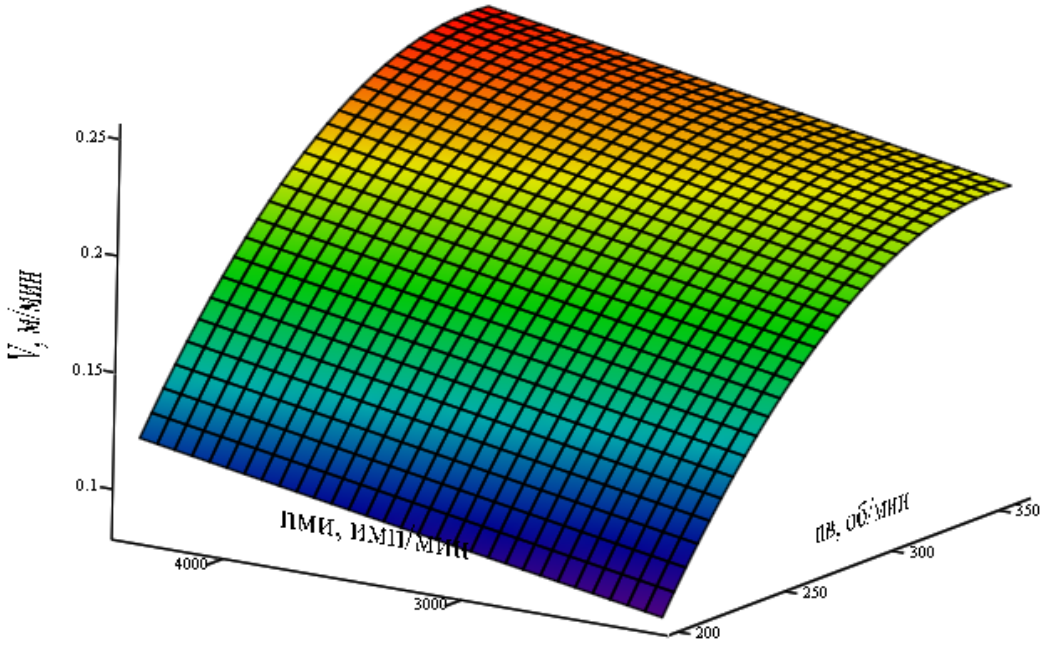

Рисунок 2 – Зависимость скорости бурения от частоты вращения и частоты моментных импульсов

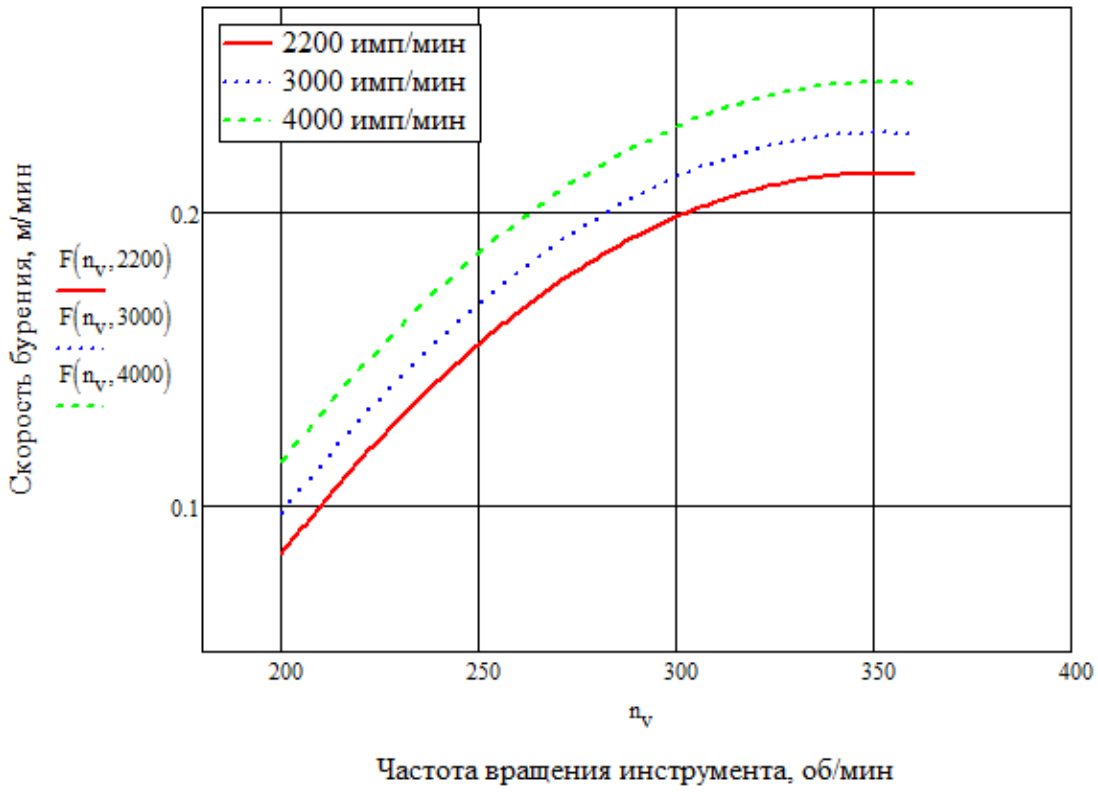

Рисунок 3 – Зависимости скорости бурения от частоты вращения инструмента при различных частотах моментных импульсов

Исследованием установлено, что наложение моментных импульсов на инструмент дает прирост скорости бурения и имеет линейный характер. По мере увеличения частоты вращения инструмента интенсивность приращения скорости бурения снижается, что объясняется снижением удельной подачи инструмента.

Иследование влияния частоты осевых импульсов на скорость бурения проводилось в тех же диапазонах, что и предыдущем случае. В результате проведения исследования влияния осевых импульсов на скорость бурения была получена следующая математическая модель:

$$V = -5{,}44 \cdot 10^{-6} \cdot n_в^{\ 2} + 4{,}29 \cdot 10^{-3} \cdot n_в + 9{,}36 \cdot 10^{-9} \cdot n_{ои}^2 - 3{,}14 \cdot 10^{-5} \cdot n_{ои} - 0{,}51,$$

где $n_в$ – частота вращения инструмента, об/мин; $n_{ои}$ – частота осевых импульсов, имп/мин.

Оценку значимости коэффициентов математической модели и проверку на адекватность проводили по тем же критериям и на том же уровне доверительной вероятности, что и предыдущую. По полученной математической модели построен график

поверхности (рис. 4) и сделаны срезы этой поверхности (рис. 5).

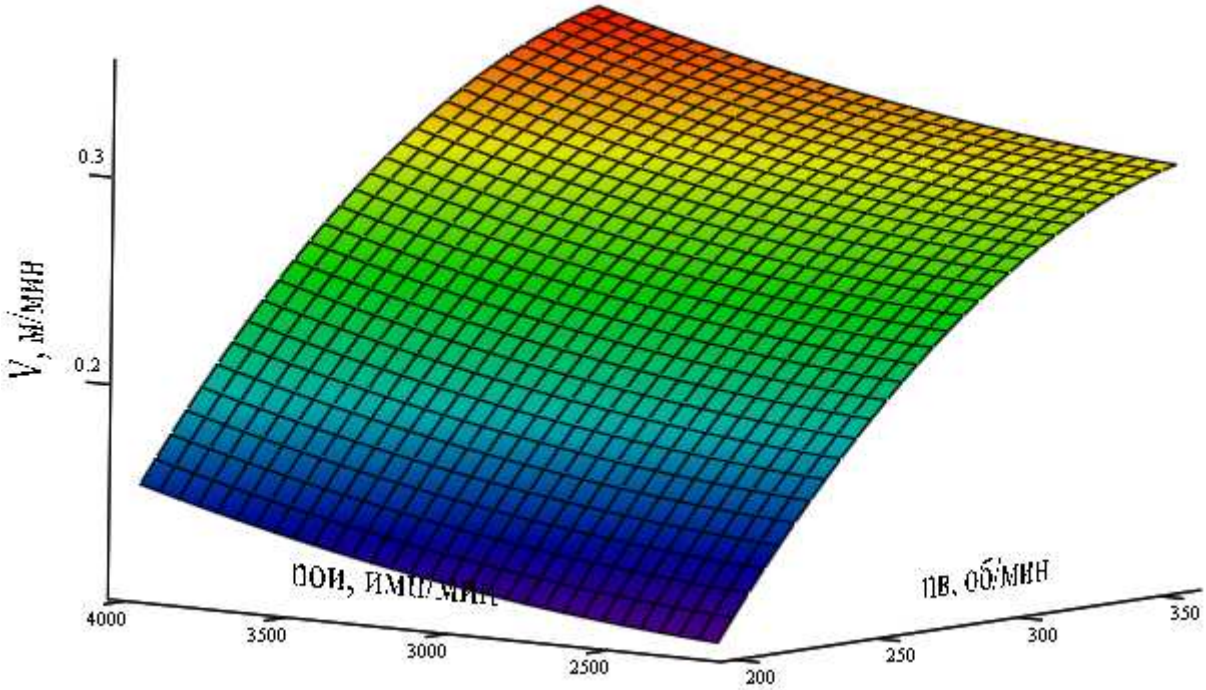

Рисунок 4 – Зависимости скорости бурения от частоты вращения инструмента при различных частотах осевых импульсов

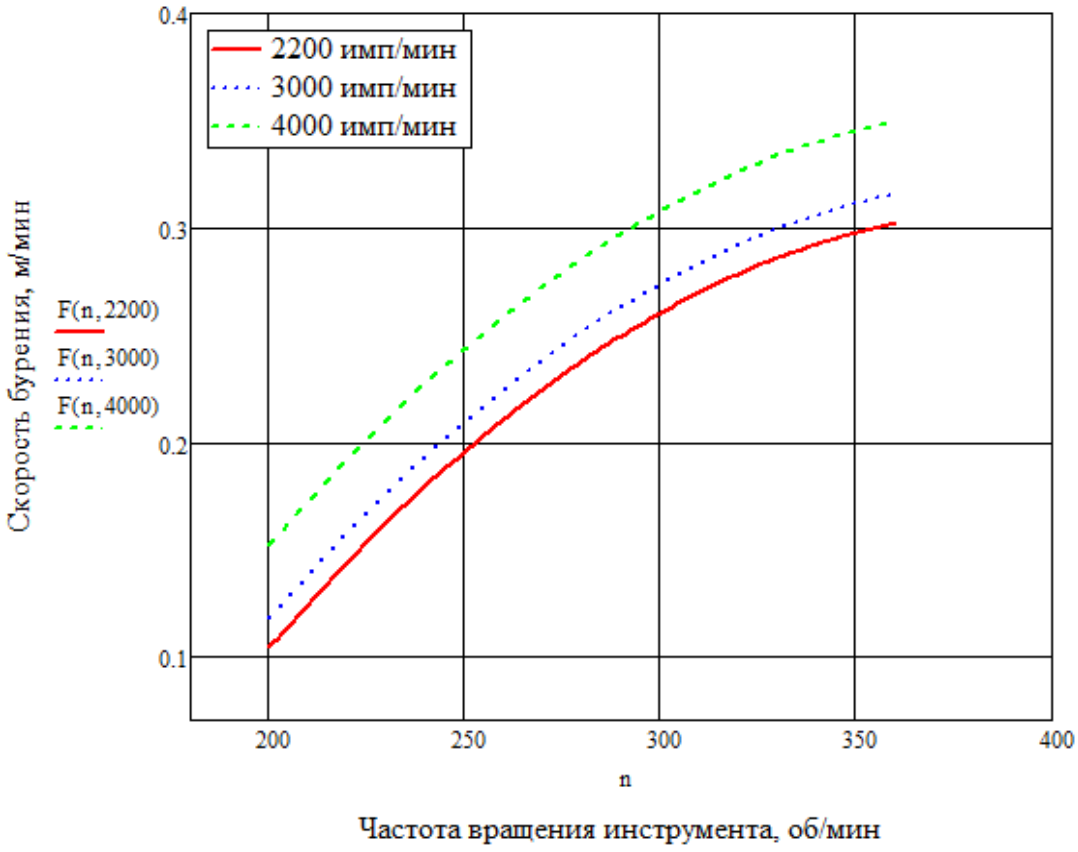

Рисунок 5 – Зависимости скорости бурения от частоты вращения инструмента при различных частотах осевых импульсов

Анализ полученных зависимостей показал, что наложение осевых импульсов на инструмент дает больший прирост скорости бурения, чем наложение моментных импульсов, и имеет нелинейный характер. По мере увеличения количества импульсов на один оборот резца интенсивность приращения скорости бурения увеличивается. При увеличении частоты вращения инструмента интенсивность приращения скорости бурения снижается.

Выводы

1. Применение физического моделирования режимных параметров бурения шпуров с наложением на инструмент осевых и моментных импульсов позволяет сократить количество опытов в эксперименте без снижения достоверности получаемых результатов и оценить совместное влияние двух факторов на скорость бурения.

2. Результаты экспериментальных исследований влияния осевых и моментных импульсов на скорость бурения показывают, что их наложение на инструмент повышает скорость бурения, причем наложение осевых импульсов повышает скорость бурения в большей степени, чем наложение моментных импульсов. При этом увеличение частоты вращения приводит к снижению интенсивности приращения скорости бурения, а частота осевых импульсов, наоборот, к увеличению скорости бурения. Частота моментных импульсов влияет на скорость бурения по линейной зависимости.

3. Установленные зависимости свидетельствуют о целесообразности применения машин мехатронного класса для бурения шпуров, т.е. машин, самостоятельно определяющих режимные параметры, включающие моментные и осевые импульсы в сочетании с частотой вращения инструмента с целью повышения их производительности.

Список литературы

1. Алимов О.Д., Дворников Л.Т. Бурильные машины. - М. : Машиностроение, 1976. - С. 295.

2. Барон Л.И., Глатман Л.Б. Методика испытаний горных пород на контактную прочность. - ИГД им. Скочинского, 1961. — 245 с.

3. Завадский Ю.В. Планирование эксперимента в задачах автомобильного транспорта : учебное пособие. - М. : МАДИ, 1978. - 156 с., с ил.

4. Крапивин М.Г., Раков И.Я., Сысоев Н.И. Горные инструменты. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Недра, 1990. - 256 с.

5. Сысоев Н.И., Мирный С.Г. Основы теории функционирования бурильных машин вращательного действия : учеб. пособие / Юж.-Рос. гос. тех. ун-т (НПИ). – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2006. - 104 с.

6. Сысоев Н.И., Мирный С.Г., Гринько Д.А. Стенд для исследования режимных параметров бурения горных пород // Студенческая научная весна – 2012 : материалы регион. науч.-техн. конф. (конкурса науч.-техн. работ) студентов, аспирантов и молодых ученых вузов (Новочеркасск, 24-25 мая 2012 г.). – Новочеркасск : ЛИК, 2012. - С. 111-112.
7. Сысоев Н.И., Мирный С.Г., Гринько Д.А. Стенд для исследования режимов бурения горных пород : заявка на изобретение № 2012151807/03(082657) от 03.12.2012.

Рецензенты:

Глебов Н.А., д.т.н., профессор кафедры «Мехатроника и гидропневмоавтоматика» Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М.И. Платова, г.Новочеркасск.

Луганцев Б.Б., д.т.н., генеральный директор ОАО «Шахтинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский угольный институт», г.Шахты.