

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ БУРОВЫХ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Жуков И.А.

Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк

Ключевые слова: горная порода, разрушение, бурение, горные машины, удар.

Аннотация. Статья посвящена анализу механических свойств горной породы высокой крепости. Приведено обоснование необходимости построения модель зависимости «сила – внедрение» для рационального проектирования бурового инструмента и ударных узлов горных машин ударного действия. Приведен пример синтеза ударяющего тела по зависимости «сила – внедрение».

MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS, DEFINE THE PARAMETERS OF DRILLING MACHINES PERCUSSION

Zhukov I.A.

Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Keywords: rock, destruction, drilling, mining machines, impact.

Abstract. The article is devoted to the analysis of mechanical properties of rock of high fortress. The substantiation of the need of building the model based on "force – introduction" for the rational design of drilling tools and impact nodes mining machines of shock action. An example of synthesis of the striking body on the dependence "force – introduction" is given.

Ведущая роль в экономике Сибири по праву принадлежит Кузбассу. Кемеровская область считается индустриальным сердцем, опорной базой для промышленного развития России. Кузбасс – один из самых крупных по запасам угля и объемов его добычи бассейнов России. Кузбасские угли уникальны по своему качеству. Они представлены практически всеми технологическими марками и группами от бурых до антрацитов.

Геологические условия образования и развития региона Кемеровской области привели к тому, что большая часть региона, а именно центральная часть, представляет собой котловину, сложенную толщей осадочных пород, имеющих мощность порядка девяти километров. Обрамление этой котловины представляют горные сооружения в рельефе и сложные по глубинному строению комплексы древних осадочных, метаморфических и других пород, богатых различными полезными ископаемыми (рис. 1).

Добыча топливно-энергетических полезных ископаемых Кузбасса является многоотраслевым комплексом, включающим в себя более 100 угледобывающих предприятий и около 30 обогатительных фабрик.



Рис. 1. Полезные ископаемые Кузбасса

Приоритетными направлениями развития Кемеровской области считаются разработка новых месторождений полезных ископаемых, строительство высокотехнологичных шахт и разрезов, создание предприятий по глубокой переработке угля, участие в техническом перевооружении предприятий металлургии, химии и машиностроения, развитие лесоперерабатывающей промышленности, производство потребительских товаров и продуктов питания, строительных материалов с использованием местного сырья.

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых сопряжена с необходимостью разрушения и транспортировки больших объемов горных пород. Для реализации этих целей создаются разнообразные машины и механизмы. Разрушение горных пород высокой крепости соответствует механизму разрушения хрупких сред. Согласно [1] «Хрупкость горных пород – способность горных пород к разрушению без заметных пластических деформаций (не более 5% от величины деформаций разрушения). Абсолютное большинство горных пород предрасположено к такому разрушению и поэтому относится к хрупким материалам».

В монографии В.Н. Кобрановой [2] сформулировано, что горные породы, обладающие малыми пористостью и содержанием жидкостей и газов, при напряжениях, не превышающих предела упругости, ведут себя как однородно упругие среды, полностью восстанавливающие свои размеры и форму после снятия нагрузки. Такие породы называются идеально упругими и рассматриваются как однородные и изотропные среды, характеризующиеся одинаковыми упругими свойствами во всех направлениях и одинаковыми их значениями в различных точках породы. В идеально упругих породах скорость распространения продольных волн является функцией модуля Юнга и коэффициента Пуассона. При этом связь между напряжениями и деформациями устанавливается на основе закона Гука.

К настоящему времени одним из известных, апробированных, получивших широкое применение способов отделения массивов горных

пород является механический, основанный на непосредственном воздействии буровым инструментом, выполненным из прочных и износостойких материалов, на разрушаемую породу. Современные бурильные машины [3-5] создаются по одной из трех схем, обеспечивающих вращательно-поступательное движение инструмента (вращательное бурение), вращательно-поступательное движение инструмента с одновременным нанесением по нему ударов (вращательно-ударное бурение), дискретные повороты инструмента вокруг его геометрической оси с нанесением по нему ударов (ударное или ударно-поворотное бурение).

Анализ месторождений полезных ископаемых Кузбасса свидетельствует о необходимости использования технологии добычи, основанной на разрушении горной породы механическими воздействиями. Высокая крепость породы не допускает иного воздействия при разрушении, кроме как ударом.

Для ударных систем, применяемых для разрушения горных пород, справедлива связь между напряжениями в стержне и предупредительной скоростью $\frac{\sigma}{E} = \frac{V_0}{a}$. На этом основании, чтобы возникающие в стержне напряжения не превосходили допускаемых, $V_{0\max}$ не должны превосходить величины

$V_{0\max} \leq \frac{a\sigma}{E} \cong 10 \text{ м/с}$. Согласно работе [6], результатом экспериментального

исследования разрушения среды машинами ударного действия, работающими с малыми скоростями, является диаграмма зависимости «сила-внедрение».

Преыдущими исследованиями [7-11] было установлено, что хрупкому разрушению поверхности крепких горных пород предшествует стадия упругого деформирования, и порода на данном этапе может рассматриваться как упругое полупространство.

Все разработки по определению и обобщению зависимости «сила – внедрение», характеризующей процесс внедрения инструмента в хрупкую среду при ударном воздействии, проводимые различными учеными, преследуют цель поиска некоторой универсальной модели, которая хотя бы приближенно позволяла оценивать физико-механические свойства горной породы, определяющие эффективность ударного воздействия. Анализ известных работ [12], позволил сформулировать следующие предположения по обобщению модели зависимости «сила – внедрение»:

– исходной точкой модели является некоторая величина P_0 , равная усилию, с которым инструмент прижат к породе непосредственно перед ударом, т.е. характеризующая взаимодействие инструмента и горной породы в начальный момент времени;

– зависимость «сила – внедрение» близка к линейной, но не может быть представлена только одним участком прямой линии;

– начальный участок модели не является линейным, и пренебрежение им не рационально с точки зрения необходимости более точного описания процесса динамического взаимодействия инструмента с горной породой.

Знание характеристик зависимости силы сопротивления горной породы внедрению инструмента от величины внедрения позволяет определить рациональную форму падающего импульса, энергия которого максимально расходуется на разрушение обрабатываемого объекта.

С целью приближения описания взаимодействия инструмента с породой к истинной картине разрушения проведено экспериментальное исследование [13] с записью диаграммы зависимости «сила – внедрение». В ходе эксперимента определена зависимость силы сопротивления породы, представленной гранитом мелкозернистым, плотным, со средним значением коэффициента крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова $f=18$, внедрению от глубины внедрения для безлезвийного бурового инструмента с одиночным индентором (рис. 2,а); двумя инденторами (рис. 2,б); тремя инденторами, расположенными в вершинах равностороннего треугольника (рис. 2,в); четырьмя индентора, размещенными в вершинах квадрата (рис. 2,г).

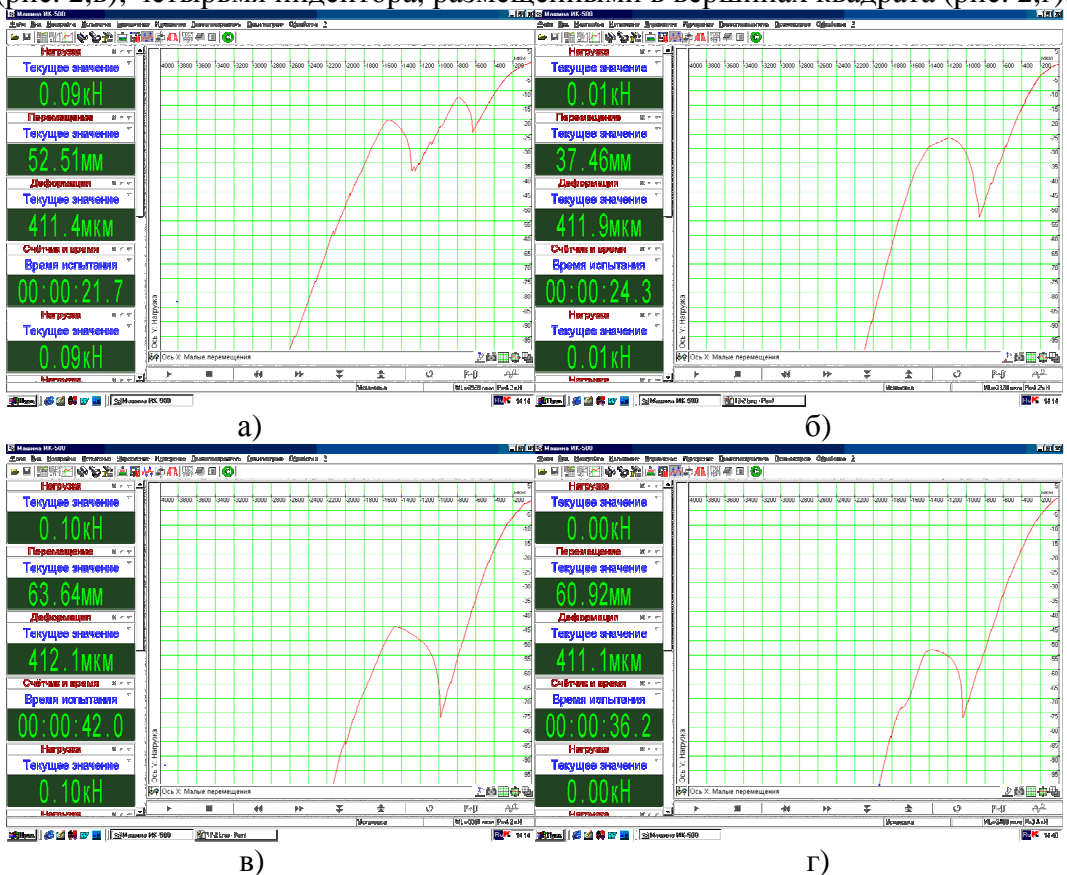


Рис. 2. Диаграммы «сила-внедрение»

Зафиксированные диаграммы «сила-внедрение» иллюстрируют механизм разрушения горных пород, позволяющий идентифицировать этапы процесса внедрения. Первый участок диаграммы до падения нагрузки свидетельствует о накоплении упругой деформации, предшествующей хрупкому разрушению слоя породы под индентором. Далее происходит

резкое падение нагрузки при малых значениях глубины внедрения, что соответствует стадии хрупкого разрушения. Затем практически при постоянной нагрузке нарастает глубина внедрения. Этот участок соответствует стадии пластической деформации. Впоследствии цикл повторяется.

Разработка математической модели зависимости «сила – внедрение» необходима для составления и исследования математической модели ударной системы «боек – волновод – породоразрушающий инструмент – порода» [14].

Полученные экспериментальные результаты позволяют оценить механические свойства обрабатываемого объекта, а именно:

- построить модель зависимость «сила – внедрение» и оценить интенсивность роста сопротивляемости разрушаемой породы внедрению;
- рассчитать энергоемкость использования бурового инструмента;
- сравнить эффективность использования буровых коронок с различными схемами размещения твердосплавных вставок и дать обоснованные рекомендации по разработке рациональных схем;
- по зависимости «сила – внедрение» определить форму ударного импульса, генерируемого бойком ударной системы в штанге-волноводе, по которой в дальнейшем возможно синтезирование геометрии ударяющего тела.

На рисунке 3 показаны результаты синтезирования геометрии бойка, наиболее рационального для разрушения горных пород высокой крепости (16-18 по шкале М.М. Протодяконова), свойства которых определяются зависимостями, изображенными на рисунке 2.

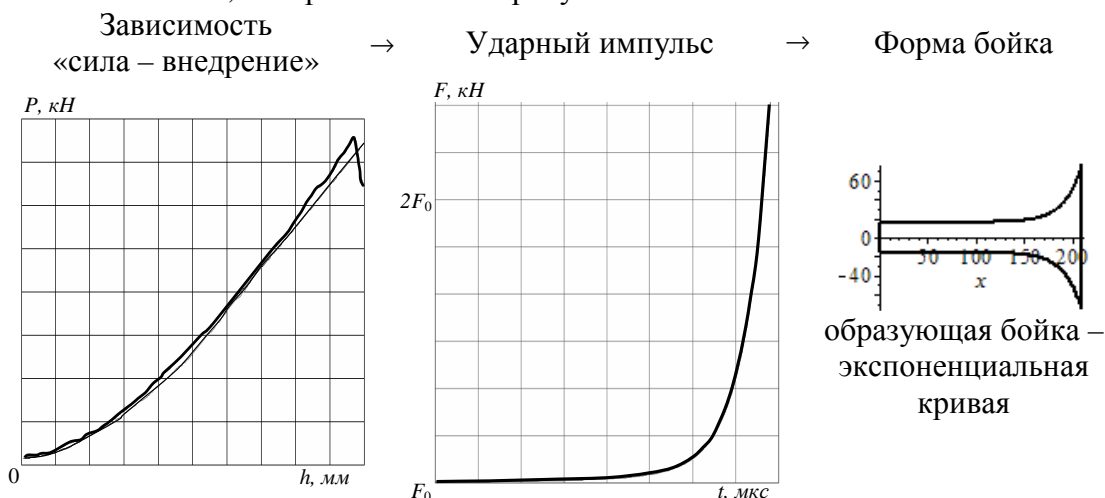


Рис. 3. Пример решения задачи синтеза бойка

Проблема нахождения и обоснования рациональных конструктивных решений ударных узлов бурильных машин, обеспечивающих генерирование в волноводе ударного импульса, при котором достигается максимальная передача энергии ударной системы разрушаемому объекту, без изменения других параметров системы является одним из перспективных направлений в исследовании горных машин ударного действия.

Список литературы

1. Горная энциклопедия. Том 5. СССР-Яшма. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1991. – 541 с.
2. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 487 с.
3. Алимов О.Д. Бурильные машины / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников – М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
4. Бегагоен И.А. Бурильные машины. Расчет, конструкции, долговечность / И.А. Бегагоен, А.Г. Дядюра, А.И. Бажал. – М.: Недра, 1972. – 368 с.
5. Иванов К.И. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. Изд. 2, перераб. / К.И. Иванов, М.С. Варич, В.И. Дусев и др. – М.: Недра, 1974. – 408 с.
6. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974. – 640 с.
7. Александров Е.В. Исследование взаимодействия инструмента и горной породы при ударном разрушении / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский, Г.М. Захариков и др. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1967. – 62 с.
8. Латышев В.А. Исследование влияния геометрических параметров породоразрушающих инденторов на эффективность ударного разрушения горных пород / В.А. Латышев, В.С. Куртов, В.М. Солдатова // Сборник трудов НИПИГОРМАШ. – Свердловск, 1985.
9. Тимонин В.В. Обоснование параметров породоразрушающего инструмента и гидравлической ударной машины для бурения скважин в горных породах: автореф. дисс. ... кан. тех. наук. / Тимонин Владимир Владимирович. – Новосибирск, 2009. – 23 с.
10. Шрейнер Л.А. Твердость хрупких тел. – Изд. АН СССР, 1949. – 144 с.
11. Лисовский А.Ф. К вопросу о сопротивлении горных пород динамическому внедрению инструмента / А.Ф. Лисовский, Л.Т. Дворников // Совершенствование буровых машин. – Фрунзе: Изд-во «Илим», 1970. – С. 75-83.
12. Дворников Л.Т. Анализ и обобщение закономерностей внедрения инструмента в горные породы при ударном воздействии / Л.Т. Дворников, И.А. Жуков // МашиноСтроение. – 2006. – №16. – С. 138-143.
13. Zhukov I.A. About creation of machines for destruction of rock with formation of apertures of various cross-section / I.A. Zhukov, L.T. Dvornikov, S.M. Nikitenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124. – №1. – P. 012171 – doi: 10.1088/1757-899X/124/1/012171.
14. Жуков И.А. Развитие научных основ повышения эффективности ударных машин для бурения скважин в горных породах: автореф. дисс. ... докт. техн. наук / Жуков Иван Алексеевич. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2017. – 39 с.

References

1. Mountain encyclopedia. Volume 5. USSR-Yashma. – M.: Publishing House "Soviet encyclopedia", 1991. – 541 p.
2. Kobranova V.N. Physical properties of rocks. – M.: Gostoptekhizdat, 1962. – 487 p.
3. Alimov O.D. Drill machine / O.D. Alimov, L.T. Dvornikov. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 295 p.
4. Begagoen I.A. Drilling machines. Design, construction, durability / I.A. Begagoen, A.G. Vyadyura, A.I. Bazhal. – M.: Nedra, 1972. – 368 p.
5. Ivanov K.I. Drilling technique in the development of mineral deposits. Ed. 2. / K.I. Ivanov, M.S. Varich, V.I. Gusev and others. – M.: Nedra, 1974. – 408 p.
6. Cherepanov G.P. Mechanics of brittle fracture. – M. Science, 1974. – 640 p.
7. Aleksandrov E.V. Research of the interaction of the tool and the rocks at impact destruction / E.V. Aleksandrov, V.B. Sokolinskii, G.M. Zhakharikov and others. – M.: IGD named A.A. Skochinsky, 1967. – 62 p.
8. Latyshev A.V. Research of influence of geometrical parameters of the destruction of indentation on the efficiency of shock destruction of rocks / V.A. Latyshev, V.S. Kurtov, V.M., Soldatova // Proceedings of NIPIGORMASH. – Sverdlovsk, 1985.

9. Timonin V.V. Substantiation of the parameters of rock cutting tool and a hydraulic percussive machines for boring wells in rocks: abstract diss. ... cand. tech. sc. / Timonin Vladimir Vladimirovich. – Novosibirsk, 2009. – 23 p.
10. Schreiner L.A. The hardness of the fragile bodies. – Ed. USSR Academy of sciences, 1949. – 144 p.
11. Lisovskii A.F. on the resistance of rocks to a dynamic implementation tool / A.F. Lisovskii, L.T. Dvornikov // Improvement of drilling machines. – Frunze: Publishing house "Ilim", 1970. – P. 75-83.
12. Dvornikov L.T. Analysis and synthesis of the patterns of implementation of the tool in the rock under the impact / L.T. Dvornikov, I.A. Zhukov // mechanical engineering. – 2006. – №16. – P. 138-143.
13. Zhukov I.A. About creation of machines for destruction of rock with formation of apertures of various cross-section / I.A. Zhukov, L.T. Dvornikov, S.M. Nikitenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 124. – №1. – P. 012171 – doi: 10.1088/1757-899X/124/1/012171.
14. Zhukov I.A. Development of scientific bases of increase of efficiency of impact machines for drilling of wells in rocks: abstract diss. ... doct. tech. sc. / Zhukov Ivan Alekseevich. – Novosibirsk: IM SB RAS, 2017. – 39 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

<p>Жуков Иван Алексеевич – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет, директор Научно-исследовательского центра «МашиноСтроение», г.Новокузнецк</p>	<p>Ivan A. Zhukov –doctor of technical sciences, associate professor, head of department of mechanics and engineering, Siberian state industrial university, Scientific Research Centre "MachineStructure", Novokuznetsk</p>
--	---

Получена 15.03.2019