

УДК 622.233

Л.Т. Дворников, И.А. Жуков

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ БУРЕНИЯ ХРУПКИХ
СРЕД БЕЗ ПОВОРОТА ИНСТРУМЕНТА ВОКРУГ
ЕГО ОСИ**

Семинар № 21

Добыча и переработка твердых полезных ископаемых, строительство подземных сооружений различного назначения тесно сопряжены с необходимостью разрушения и транспортировки больших объемов горных пород. Для разрушения пород создаются разнообразные машины и механизмы, разрушение требует затрат энергии, труда и денежных средств. К настоящему времени известными, апробированными являются термические, термомеханические, химические, плазменные, механические способы отделения массивов горных пород. Однако преимущественное применение имеет механический способ – бурение, основанный на непосредственном взаимодействии бурового инструмента, выполненного из прочных и износостойких материалов, на разрушаемую породу. Применяемые в настоящее время бурильные машины 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).

Согласно описанным способам разрушение горных пород ведется посредством образования в них отверстий в результате вращательного движения режущих лезвий инструмента, неизбежно приводящего к их абразивному износу. В последние годы в практике горного дела находят широкое применение инструменты, не имеющие острых краев, – безлезвийные. Идея создания такого рода инструментов появилась в результате поиска путей увеличения износостойкости инструмента. Любой острый край, являясь концентратором напряжений в инструменте, позволяет передавать через себя ограниченную его физико-механическими свойствами энергию, что препятствует решению проблемы повышения производительности буровых машин. Выбор оптимальных геометрических параметров безлезвийных инденторов дает возможность существенного увеличения производительности бурения хрупких сред. Экспериментальные исследования позволили установить, что безлезвийный инструмент может применяться как при ударно-поворотном бурении, так и при ударном.

При бурении хрупких сред преимущественное применение получил ударный способ. Это обусловлено тем, что при нанесении удара по инструменту можно передать в разрушаемый объект

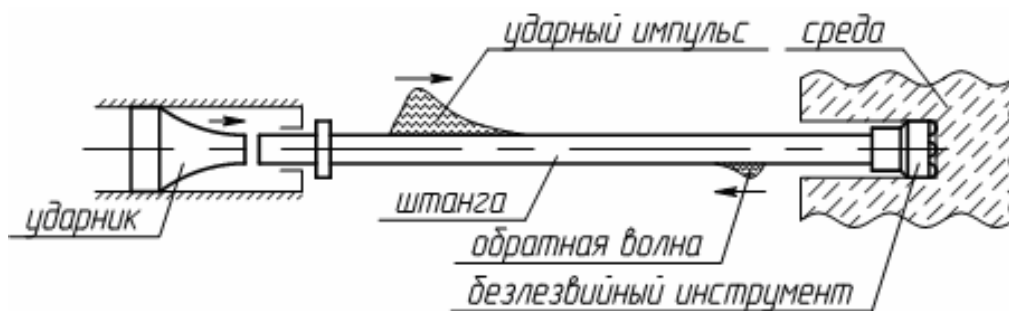


Рис. 1. Бурение хрупких сред без поворота инструмента

наибольшую энергию в единицу времени. Мысль о разрушении хрупких сред путем бурения без поворота инструмента была впервые высказана в работе [1]. Процесс бурения хрупких сред без поворота инструмента вокруг его оси позволяет существенно упростить конструкцию рабочей машины за счет исключения механизма вращения бура, исключить составляющую абразивного износа инструмента, обусловленную его трением о породу при вращении. К тому же, вращая инструмент, нельзя получить иной вид отверстия, кроме круглого. Однако, например, при бурении отверстий в бетонных стенах плотин и при сооружении с помощью бурения шахтных стволов и подземных выработок требуются скважины строго прямоугольного и квадратного сечения. С точки зрения разрушения горных пород круглый шпур наименее эффективен, т.к. он не позволяет концентрировать напряжения ни в одном из направлений. Любая иная форма шпура – ромбическая, треугольная, квадратная – более предпочтительная. Образование некруглого отверстия в хрупких средах можно добиться в тех случаях, когда собственно инструмент выполняется в виде механических систем, в той или иной степени сложных, многозвенных [2]. Аксиоматически считалось, что создать отверстие с помо-

щью инструмента, представляющего собой единое твердое тело, возможно лишь принудив его к вращению. Однако ударный способ бурения хрупких сред без поворота вокруг оси инструмента, являющегося безлезвийным, позволяет получать любую форму сечения шпура – круглую, овальную, треугольную, прямоугольную, ромбическую и др. В связи с этим, бурение без поворота инструмента открывает новые перспективы в механическом способе разрушения горных пород.

Специфической особенностью процесса ударного бурения хрупких сред является процесс передачи энергии от ударяющего тела (бойка) к штангеволноводу, продвижения ударного импульса по волноводу, прохождения его через буровой инструмент и превращения его энергии в полезную энергию разрушения среды и частичного отражения ударной волны (рис. 1).

Проблему бурения без поворота инструмента можно разделить на несколько крупных задач, представляющих существенную значимость как совместно, так и по отдельности:

- исследование физико-механических свойств горных пород, определяющих эффективность процесса разрушения;

Рис. 2. Экспоненциальная зависимость «сила - внедрение»

– исследование процесса взаимодействия безлезвийного инструмента с разрушаемой средой;

– исследование влияния геометрических параметров инструмента на форму волнового ударного импульса;

– исследование влияния формы, размеров и соединений буровых штанг на процесс продвижения и форму ударного импульса.

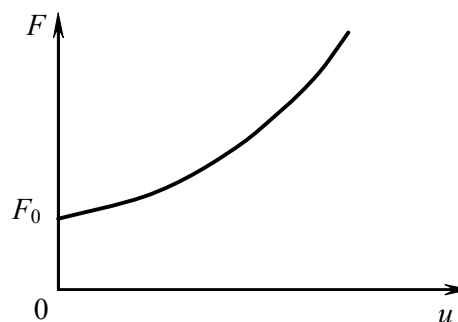
– исследование влияния форм и размеров ударника на форму генерируемой им в штанге упругой волны деформации;

– отыскание условий обеспечения максимальных значений глубины внедрения инструмента и коэффициента передачи энергии (КПЭ) ударного импульса;

– исследование прочности бойков, волноводов, инструмента и ударных буровых машин в целом.

Определяющим фактором при выборе конструкции и параметров машины ударного действия является характеристика объекта разрушения. Рациональное проектирование невозможно без знания механизма разрушения среды и прежде всего зависимостей, связывающих силу сопротивления обрабатываемой среды и величину внедрения в неё инструмента, т.е. характеристик «сила – внедрение». В целях приближения описания взаимодействия инструмента с обрабатываемой средой к истинной картине разрушения авторами настоящего доклада было сделано предположение, что обобщенная математическая модель зависимости «сила – внедрение» имеет экспоненциальный вид и описывается аналитически в следующем виде (рис. 2)

$$F(u) = F_0 \cdot e^{ku}, \quad (1)$$



где $F(u)$ – сила сопротивления разрушаемого объекта, u – внедрение инструмента, k , F_0 – некоторые константы, характеризующие физико-механические свойства среды.

Разрушение хрупкой среды путем бурения без поворота инструмента возможно лишь в том случае, когда взаимное расположение твердосплавных вставок на конце инструмента позволит разрушить весь забой шпура, иначе коронка «сядет» участками корпуса между вставками на забой. Таким образом, чтобы обеспечить стабильное внедрение инструмента в породу, необходимо определить соответствующее этому требованию количество и особое расположение твердосплавных вставок между собой. Физическая сущность процесса взаимодействия безлезвийного инструмента с хрупкой средой к настоящему времени исследована недостаточно, и в этом отношении весьма актуальными представляются задачи о воздействии на среду единичных инденторов различных форм и об одновременном воздействии групп инденторов. К настоящему времени разработаны несколько видов твердосплавных вставок и буровых коронок, применяемых при ударном разрушении хрупких сред [3-5].

Знание зависимости, связывающей силу сопротивления разрушаемой горной породы и величину внедрения в нее

инструмента, позволяет производить рациональное проектирование и оценивать эффективность параметров ударного импульса, генерируемого тем или иным бойком. Наиболее рациональное использование энергии удара, запасенной бойком при его разгоне, возможно при условии генерирования в волноводе ударного импульса такой формы, при которой амплитуда начинается с некоторого определенного значения и возрастает с интенсивностью, соответствующей интенсивности роста сил сопротивления разрушаемого объекта. Данные требования подразумевают также необходимость обеспечения такой ситуации, когда отраженный импульс отсутствует, или его энергия стремится к минимуму, что будет способствовать увеличению значения КПЭ, определяемого непосредственно из соотношения энергии E_1 падающего ударного импульса и энергии E_2 отраженного:

$$\eta = \frac{E_1 - E_2}{E_1}. \quad (2)$$

Коэффициент передачи энергии является одним из главных критериев эффективности работы буровых машин ударного действия, рациональное проектирование которых должно обеспечить максимальное значение данного коэффициента при заданной энергии удара. Установлено, что синтезирование геометрии бойка, наиболее эффективно удовлетворяющего требованиям разрушения определенной среды является одним из наиболее действенных методов проектирования, приводящий к увеличению значения КПЭ. Согласно этому методу по форме первой волны ударного импульса возможно синтезирование геометрии ударяющего тела посредством применения таких известных методов решения задачи о продольном ударе, как одномерная волновая теория

Сен-Венана, метод Даламбера, методы операционного исчисления, графоаналитический метод. Но в случае бурения без поворота инструмента одномерная волновая теория Сен-Венана требует уточнения. Эта теория построена для тонких стержней с плоскими торцами на допущениях, что:

- плоские поперечные к оси стержня сечения остаются плоскими в процессе распространения волн продольной деформации;

- материал стержня подчиняется закону Гука, т.е. деформации остаются в пределах упругости.

В случае разрушения хрупких сред путем образования в них отверстий некруглого сечения применяются инструменты и детали ударных узлов достаточно сложной геометрической формы, представление о процессе распространения упругих волн деформаций в которых посредством одномерной волновой теории будет с некоторыми погрешностями. Устранение этого недостатка возможно уточнением волновой теории продольного соударения стержней с учетом трехмерности деформаций.

На форму волны ударного импульса, несущую в себе энергию необходимую для разрушения среды, а, следовательно и на величину этой энергии, влияют также типы и качество соединений буровых штанг, геометрия и конструкция буровой коронки. Данная проблема требует проведения дополнительных исследований с целью отыскания и обоснования таких геометрических параметров штанги и инструмента, которые могут привести как к падению величины передаваемой энергии, так и к ее увеличению.

Решение всех вышеизложенных задач, возникающих при бурении хрупких сред без поворота инструмента вокруг его оси, позволит производить управле-

ние полезной энергией, идущей на разрушение среды, в течение всего процесса ее преобразования от разгона бойка до непосредственного разрушения забоя, и в перспективе позволит выполнять модернизацию и проектирование

буровых машин ударного действия, применение которых в практике горного дела приведет к существенному увеличению производительности буровых работ и уменьшению энергозатрат на бурение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дворников Л.Т.* Бурение шпуров без вращения инструмента с рациональным размещением твердосплавных вставок / Л.Т. Дворников, Ю.А. Прядко, С.Н. Гудимов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1987. – № 11.
2. *Копылов В.Е.* Бурение?.. Интересно! – М.: Недра, 1981.
3. *Патент №2005174 РФ.* Бурильная машина / Дворников Л.Т., Гудимов С.Н., Прядко Ю.А. – Оpubл. 30.12.1993. Бюл. №47-48.
4. *Патент №2065022 РФ.* Буровая коронка для ударного бурения / Дворников Л.Т., Прядко Ю.А., Губанов Е.Ф. – Оpubл. 10.08.1996. Бюл. №22.
5. *Патент №2090753 РФ.* Ударная бурильная машина / Дворников Л.Т., Губанов Е.Ф. – Оpubл. 20.09.1997. Бюл. № 26. **ИИAB**

Коротко об авторах

Дворников Леонид Трофимович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теории механизмов и машин и основ конструирования,
Жуков Иван Алексеевич – кандидат технических наук, заместитель заведующего кафедрой теории механизмов и машин и основ конструирования, доцент,
Сибирский государственный индустриальный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 21 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *Л.И. Кантович*.

