

УДК 622.233.05

В.П. Рындин

К ВОПРОСУ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ УДАРА БУРИЛЬНЫХ МАШИН

Совершенствование машин ударного действия предусматривает повышение их производительности, увеличение надежности и долговечности элементов, уменьшение энергозатрат, необходимых для выполнения определенного технологического процесса, и улучшение условий труда.

Повышение производительности бурильной машины может быть достигнуто за счет увеличения ее мощности и повышения эффективности разрушения породы.

Анализ литературных данных показывает, что исследования по созданию и совершенствованию машин ударного действия развивались в следующих основных направлениях: 1) определение условий формирования в волноводе волн деформаций с рациональными параметрами и обеспечение наилучшей передачи энергии бойка в волновод; 2) передача волн деформаций по буровым штангам с минимальными потерями энергии; 3) обеспечение оптимального преобразования энергии волн деформации в работу разрушения породы; 4) снижение вредного воздействия на элементы ударного механизма волн деформаций, отраженных от обрабатываемой среды; 5) разработка средств измерения энергетических параметров волновых ударных процессов во время работы бурильной машины.

В настоящее время уровень промышленного развития передовых стран характеризуется не только объемом производства и ассортиментом выпускаемой продукции, но и показателями ее качества. По зарубежным данным примерно 10% национального продукта любой страны теряется из-за низкого качества материалов и изделий. Например, в традиционных отраслях промышленности США за-

траты на контроль качества составляют в среднем 1-3 % стоимости выпускаемой продукции. В оборонной, атомной и аэрокосмической отраслях эти расходы возрастают до 12-18%.

Основными параметрами, определяющими производительность бурильной машины, являются частота и энергия удара (или их произведение –

ударная мощность), крутящий момент и усилие подачи. Работа бурильной машины с пониженной ударной мощностью снижает эффективность буровых работ по экономическим показателям и приводит к увеличению времени пребывания проходчиков в зоне интенсивного шума, что наносит вред их здоровью. Поэтому при эксплуатации бу-

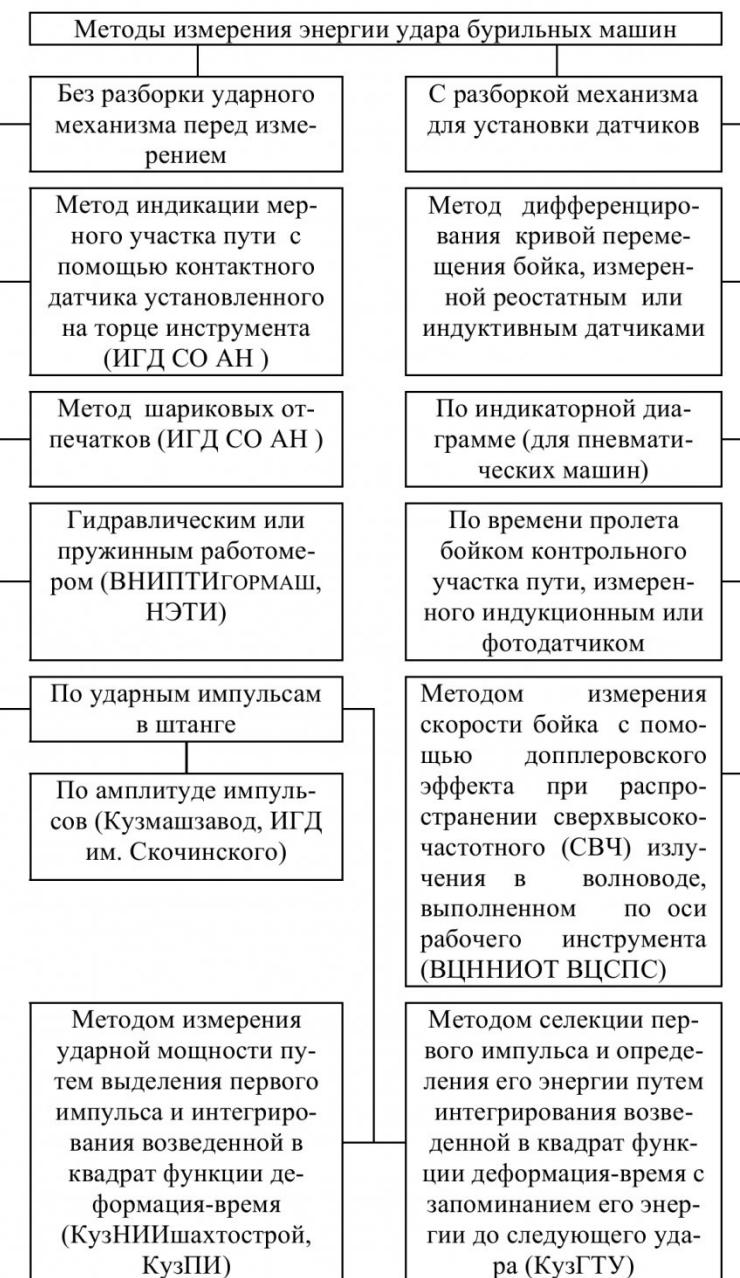


Рис. 1. Классификация методов измерения энергии удара бурильных машин

рильных машин ударного действия необходимо постоянно контролировать их энергетические параметры.

Такой контроль необходимо проводить при исследовательских работах, заводских испытаниях бурильных машин и перед отправкой их в забой после ремонта. Влияние износа ударника на его производительность вполне очевидна, но степень изношенности в большинстве случаев вовсе не определяется.

На крупных рудниках США для контроля качества бурильных машин еще в тридцатые годы прошлого века оборудовались специальные рудничные лаборатории. Различные устройства для определения энергии удара и числа ударов применялись уже тогда.

Одним из таких приборов был аппарат Пейтнера (США). Перфоратор закреплялся на станции, его импульсные нагрузки воспринимал гидравлический цилиндр с поршнем и штоком, заполненным маслом. Удар передавался маслом мемbrane, которая перемещала перо на бумажной ленте, регистрирующей импульсы, соответствующие величине ударной нагрузки. Перед использованием устройство предварительно тарировали, сбрасывая с определенной высоты боек на шток поршня. По скорости вращения барабана с бумагой и количеству пик на диаграмме определяли частоту ударов.

В Германии в эти годы применяли прибор Мюллера аналогичного принципа действия, только вместо цилиндра с маслом применялась сильная пружина, в которую упиралась штанга перфоратора. Другой конец пружины закреплялся на массивном основании. Подвижный конец пружины был связан с записывающим устройством, состоящим из пера, бумажной ленты и барабана.

С особой остротой вопрос измерения энергии ударов и частоты встал после создания мощных пневматических и гидравлических перфораторов с

энергией удара 150-300 Дж. До настоящего времени нет серийных контрольных приборов, позволяющих оперативно производить отбраковку неисправных машин в производственных условиях. Не всегда в должном объеме производится контроль энергетических параметров на заводах-изготовителях при выпуске бурильных машин.

На рис.1 показана классификация методов измерения энергии удара бурильных машин.

Среди известных, наиболее удобен метод определения энергии по ударным импульсам деформации штанги во время ударов, применимый как для пневматических перфораторов, так и для гидроударников. Он пригоден также для устройств с большой энергией удара и малой частотой – гидромолотов, предназначенных для забивки труб, свай, разрушения негабаритов породы и дорожного полотна при ремонте.

Высокие энергия и частота ударов гидравлических бурильных машин усложняют измерение энергетических параметров, поскольку на датчики, установленные на штанге, действуют большие ударные ускорения, что определяет жесткие требования к их массе и прочности.

Расчет распределения напряжений, действующих в ударной системе, основан на решении волнового уравнения по теории Сен-Венана, которая предполагает, что при ударе стержней контакт соударяющихся тел осуществляется по всей поверхности соударения. При этом напряжения и деформации в тела рас пространяются не мгновенно, а с конечной скоростью ударной волны.

Движение поперечных сечений описывается одномерным волновым уравнением

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2},$$

где u - перемещение сечения в момент времени t и c - скорость ударной волны, решение которого представляется сум-

мой волновых функций

$$u = f(x - ct) + g(x + ct). \quad (1)$$

На основе этого решения рядом исследователей разработаны методы расчета распространения плоских волн в твердых и жидких телах.

Известно несколько методов измерения энергии ударов по амплитуде импульсов в штанге. Измерение амплитуды связано со значительными погрешностями. Более перспективным является определение энергии удара по площади импульса (интегральный метод). Здесь на результаты измерения мало влияют локальные изменения в форме импульса.

В современных бурильных машинах ударный импульс по длине меньше буровой штанги. Это дает возможность выделять первый ударный импульс без наложенных на него отраженных импульсов. Быстро действующие аналоговые приборы или современные микро-ЭВМ позволяют достаточно точно измерять его параметры (продолжительность, частоту, энергию, количество движения, перемещение сечения штанги и коронки).

Ударные импульсы в штангах бурильных машин, преобразованные в электрический сигнал, относятся к видеоимпульсам. Для оценки их параметров нами применен интегральный метод измерения, разработанный для радиотехнических измерений и приспособленный для оценки характеристик механических импульсов упругой деформации штанги.

По осциллограммам реальных ударных импульсов трудно определить их продолжительность. Автором введено понятие эквивалентной продолжительности импульса, равной отношению массы бойка к "массовому расходу" вещества через сечение штанги, если условная скорость в этом сечении будет равна скорости перемещения ударного импульса. Применяя гидравлическую аналогию, можно сказать, что это время, за которое масса бойка

пройдет через данное сечение штанги, если примем условно, что скорость перемещения этой массы равна c . Эквивалентная продолжительность импульса численно равна площади под графиком нормированной функции относительной деформации.

Обобщенная продолжительность прямоугольного импульса, энергия и количество движения которого равны, соответственно, энергии и количеству движения импульса произвольной формы, равна двойной эквивалентной продолжительности импульса. Применение интегрального метода обработки ударных импульсов, то есть замена импульсов произвольной формы прямоугольными, которые эквивалентны по энергии и количеству движения, дали основу для построения калибровочных устройств измерителей параметров бурильных машин ударного действия. Основные этапы определения энергии ударов бурильной машины по ударным импульсам в штанге показаны на рис. 2.

Тензодатчики, установленные на штанге, измеряют ударные импульсы относительной деформации штанги. Длина импульсов при вращательно-ударном бурении изменяется в пределах 1,5-2,5 м, в зависимости от длины и массы ударника. Длина штанги таких машин дает возможность выделить полностью первый после удара импульс и определить его интегральные характеристики. Специальными схемами селекции из серии импульсов выделяется первый ударный импульс и отраженные от породы во время ее разрушения. По первым после ударов импульсам определяется энергия удара и ударная мощность.

Энергия ударного импульса определяется по формуле Ф. Арнданта, полученной из уравнения (1)

$$A = \rho c^3 F \int_0^{t_u} \varepsilon^2(t) dt, \quad (2)$$

где ρ - плотность материала

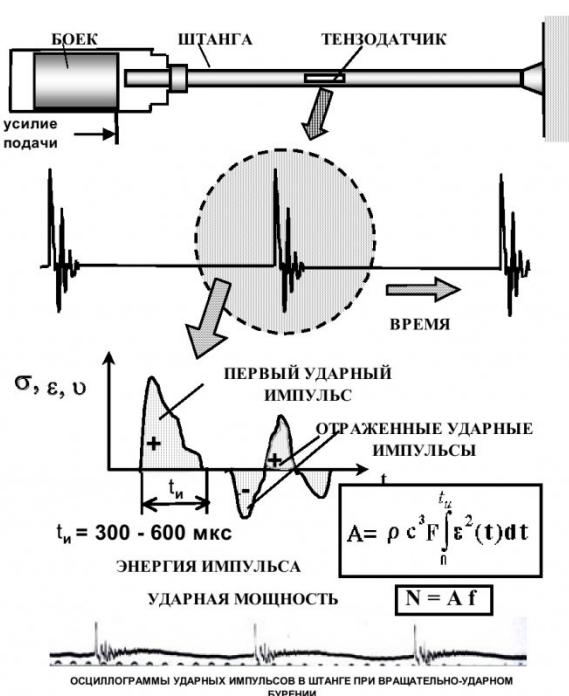


Рис.2. Измерение энергии удара по интегральным характеристикам импульсов относительной деформации штанги

штанги; c – скорость ударной волны; F – площадь сечения штанги; ε - относительная деформация штанги; t_u - продолжительность импульса.

Обработка выходного сигнала датчика после его усиления и селекции по указанной формуле производится в аналоговых приборах специальными электронными схемами или программным путем, если применяется микро-ЭВМ.

Ударные импульсы при вращательно-ударном бурении полностью затухают до следующего удара (рис. 2). Промежуток времени между ударами равняется 10000-20000 мкс, этого времени достаточно для селекции импульсов по времени при соответствующем быстродействии аппаратуры. Под селекцией импульсов в пространстве подразумевается такое расположение датчиков на штанге, при котором прямой и отраженные импульсы не налагаются друг на друга.

Известны работы по измерению энергии удара по максимальной амплитуде импульсов, генерируемых в штанге. Измерение амплитуды производится автоматически электрон-

ными приборами. Однако, такой способ требует тарировки для каждой конструкции бойка и ударной системы на специальном стенде.

Автором был выбран принцип измерения мощности и энергии ударных импульсов по их площади. При этом измеряется поток энергии в виде импульсов упругой деформации, перемещающихся в штанге по направлению к коронке, независимо от того, какой ударный генератор возбудил их. Такой метод требует только однократной тарировки специальной измерительной штанги, снабженной датчиками, определяющими относительную деформацию штанги во время прохождения ударных импульсов.

Определение энергии удара производится путем селекции первого ударного импульса и интегрирования квадрата функции деформации – время по формуле (2). Прямая волна содержит всю информацию об ударе бойка о штангу, а отраженная волна – показывает величину усилий, скоростей и глубину внедрения коронки в породу. Анализ скорости перемещения лезвия коронки и дей-

ствующих при этом усилий дает ценную информацию о процессе разрушения породы во время ударного бурения. Это может быть использовано для автоматизации процесса бурения. Штанга в таком случае представляет собой измерительный стержень, который позволяет определить многие тонкости процесса разрушения породы под лезвием коронки. Было разработано устройство для селекции прямого и отраженного импульсов,

а также функциональные блоки, которые обеспечивали обработку сигнала, пропорционального относительной деформации штанги, согласно формуле (2).

В измерительных устройствах перед рабочими тензодатчиками на некотором расстоянии устанавливаются специальные датчики, обеспечивающие подготовку процесса измерения. Ударный импульс проходит по штанге со скоростью около

5100 м/с. Размещением датчиков в различных сечениях штанги, смещенных по ее длине, регулируется время срабатывания ключевых устройств, то есть штанга используется в качестве линии задержки.

В КузГТУ изготовлено несколько модификаций аналоговых приборов и устройств на базе микро-ЭВМ для измерения энергетических параметров бурильных машин.

УДК 622.233.05

В.П. Рындин

ОТРАЖЕННЫЕ ИМПУЛЬСЫ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОМ БУРЕНИИ

При разрушении породы во время бурения ударный импульс сжатия частично перемещается в породу, разрушая ее, а частично отражается в обратном направлении (к бурильной машине), оказывая силовое воздействие на элементы ударного механизма. Это вызвано различиями в акустических свойствах породы и материала штанги. Полная передача энергии может быть достигнута при механическом импедансе внедрения лезвия коронки равном акустическому сопротивлению штанги:

$$\frac{P_B}{v} = \rho \cdot c \cdot F,$$

где P_B / v - механический импеданс внедрения лезвия коронки; P_B - мгновенное значение действующей силы на лезвии коронки; v - скорость перемещения точки приложения силы; ρ - плотность материала штанги; c - скорость перемещения ударного импульса в штанге; F - площадь сечения штанги.

Механический импеданс на пути внедрения лезвия меняется от нуля до бесконечности, а жесткость штанги - величина постоянная, поэтому указанное равенство соблюдается только в одной точке. Следствием этого является неизбежное возникновение отраженного ударного импульса сжатия или растяже-

ния, который по штанге возвращается к бурильной головке, вызывая дополнительные нагрузки на ее корпусе.

Особенно велики импульсы сжатия, разрушающие опорные подшипники, через которые на штангу передаются осевые усилия.

Исследования нагрузок, возникающих в штанге при вращательно-ударном бурении, показали, что осевые нагрузки имеют динамический характер и представляют собой затухающие колебания с частотой около 800 Гц. Амплитуда усилий колеблется в пределах 24 – 43 кН, в зависимости прочности бурильной породы. Большие нагрузки могут быть и в перфораторах при бурении крепких пород.

Исследования, проведенные автором, показали, что импульсные усилия, действующие на корпус механизма вращателя бурильной головки, за счет от-

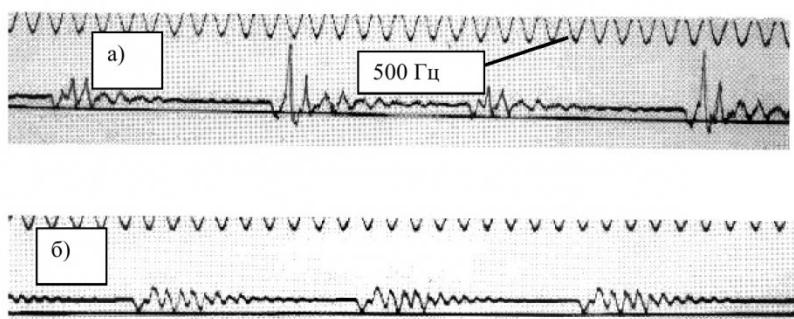
раженных ударных волн достигают величины 100 кН.

Частота таких импульсных нагрузок определяется временем пробега ударной волны двойной длины штанги.

Были попытки уменьшить действия осевых нагрузок постановкой между хвостовиком и корпусом машины пакета дисковых пружин. На практике эти пружины часто ломались в процессе эксплуатации машины.

Наиболее приемлемым решением было размещение гидравлической подушки вместо дисковых пружин. Она обеспечивала эффективное гашение амплитуды отраженных волн, проходящих в корпус машины. Однако такое решение осложняет эксплуатацию бурильной машины, так как требует специальной гидравлической системы для подпитки.

Конструкция фильтра должна обеспечивать постоян-



Оscиллограммы усилий на упорном стакане бурильной головки:
а) без фильтра; б) с фильтром