

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИНАМИКИ БУРИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Хузина Л.Б., Габдрахимов М.С.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
филиал в г. Октябрьский*

В нефтяной промышленности, техника и технология буровых работ постоянно совершенствуется, всё чаще строятся скважины с большими отходами от вертикали. При этом основной проблемой становится снижение высокого коэффициента трения при вращении бурильной колонны. Применяемые методы снижения трения обычно связаны с изменением типа бурового раствора или промывочной жидкости, используются и механические методы. Одним из таких, является применение механических наддолотных виброусилителей, основу которых составляют поличастотные маятники. В связи с этим, актуальными становятся исследования, связанные с определением оптимального частотного диапазона работы наддолотных виброусилителей.

Ранее проводились исследования [1,2,3,4и др.], связанные с динамикой бурильного инструмента. Фундаментальные основы исследований механических и абразивных свойств горных пород были выполнены Л.А. Шрейнером и его ученицей Н.П. Павловой, А.И. Спиваком, Б.В. Байдюком и др.

Важнейшие вопросы теории разрушения горных пород при бурении были решены в работах В.С. Владиславлева, Р.М. Эйгелеса, В.В. Симонова, Б.А. Жлобинского, Ф.Ф. Воскресенского и др.

С начала 1960-х гг. под руководством профессора М. Р. Мавлютова велись исследования по разрушению горных пород при динамическом вдавливании инденторов.

Исследованием механических, абразивных свойств горных пород и их разрушения, а также совершенствованием конструкций долот

занимались ведущие коллективы институтов ВНИИБТ, МИНХиГП, БашНИПИнефти, УГНТУ во главе с учеными В.Н. Виноградовым, Н.А. Жидовцевым, Н.Ф. Кагармановым, А.Н. Поповым и др.

Оценка влияния пластичности и дифференциального давления разрушения горных пород при исследованиях устойчивости, обвалообразований, термовязкоупругости была проведена исследователями А.Х. Мирзаджанзаде, М.К. Сеид-Рза, Н.Н. Павловой, Т.Г. Фараджевым, Е.Г. Леоновым и другими.

Динамика бурильного инструмента теоретически и экспериментально изучена в работах М.Р. Мавлютова, Р.Х. Санникова, Б.З. Султанова, М.С. Габдрахимова, Г.А. Кулябина и др.

Экспериментальные исследования Ф.Ф. Воскресенского, М.Р. Мавлютова, А.И. Спивака, А.Н. Попова позволили выявить ряд закономерностей и факторов, влияющих на разрушение горных пород.

Однако, до сих пор нет единого мнения по поводу необходимого частотного диапазона для работы наддолотных механизмов. В связи с этим, на кафедре НПО ОФ УГНТУ проводились экспериментальные исследования для определения оптимальных параметров гидроударных механизмов и моделей их рабочих элементов на лабораторном стенде. При определении оптимального частотного диапазона работы гидроударных механизмов нами применялась следующая схема использования оборудования, входящего в состав лабораторного стенда:

- модель гидроударного механизма с регулируемой частотой;
- измерительный блок;
- вибропреобразователь.

Экспериментальные работы проводились путем воздействия модели гидроударного механизма на горную породу при статической и динамической нагрузке. В качестве образцов горной породы были выбраны гранит и мрамор, как породы обладающие высокой категорией твердости. Индукционный вибропреобразователь (вибродатчик) преобразовывал механические колебания в электрические сигналы, пропорциональные виброскорости. При измерении амплитуды сигналы с вибродатчика через интегратор поступали на аналого-цифровой

преобразователь (АЦП). Выходной сигнал АЦП подавался на вход электронного счетчика и высвечивался затем на цифровом индикаторе.

При проведении лабораторных испытаний контролировались следующие параметры: частота ударов, амплитуда динамической и статической нагрузки, глубина внедрения, время внедрения, величина мощности модели виброусилителя.

Модель виброусилителя имела три режима работы:

- ударный;
- ударно-вращательный;
- вращательный.

Для измерения параметров вибрации применялась измерительная система лабораторного стенда, представленная вибродатчиком, аналого-цифровым преобразователем, электронным счетчиком сигналов .

Экспериментальные работы проводились путем воздействия виброусилителя на горную породу при статической и динамической нагрузке.

Диаграмма зависимости скорости внедрения виброусилителя от частоты для гранита при ударно-вращательном режиме приводится на рисунке 1. Точками обозначены экспериментальные значения, которые аппроксимировались при помощи полиномиальной линии тренда (показана сплошной линией). Приведем полученное уравнение регрессии:

$$y = -1E - 0,8x^4 + 9E - 0,6x^3 - 0.002x^2 + 0,1757x + 1,0162$$

Величина достоверности аппроксимации R^2 составила 0,8933. Из диаграммы видно, что частота внедрения виброусилителя в гранит существенно влияет на скорость внедрения. Так, в интервале от 5 до 111 Гц скорость увеличивается, далее от 111 до 150 Гц начинается небольшое уменьшение скорости и, наконец, в интервале от 150 до 220 Гц - стабилизация значений.

Скорости внедрения виброусилителя в мрамор при ударно-вращательном режиме имеет значения, которые почти на порядок ниже, чем для гранита при аналогичных условиях.

Тем не менее, зависимость скорости внедрения от частоты также четко прослеживается, а именно, с увеличением частоты растет скорость. Данные таблицы нашли отражения в диаграмме (рис. 2.), также приведем уравнение регрессии:

$$y = -2E - 0,8x^3 - 1E - 0,6x^2 + 0,0035x + 0,003$$

и величину достоверности аппроксимации $R^2 = 0,8313$.

Зависимости скорости внедрения виброусилителя от частоты воздействия при ударном режиме в гранит и мрамор приводятся на диаграммах (рисунки 3 и 4.)

Отметим, что тенденция к увеличению скорости внедрения в зависимости от частоты воздействия сохраняется.

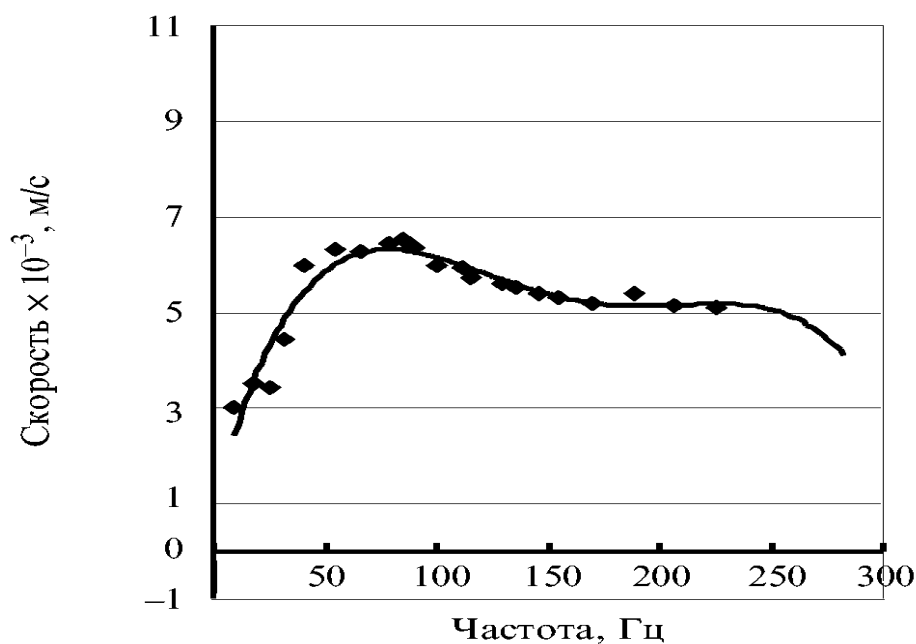


Рисунок 1. Зависимость скорости внедрения виброусилителя в гранит от частоты воздействия при ударно-вращательном режиме

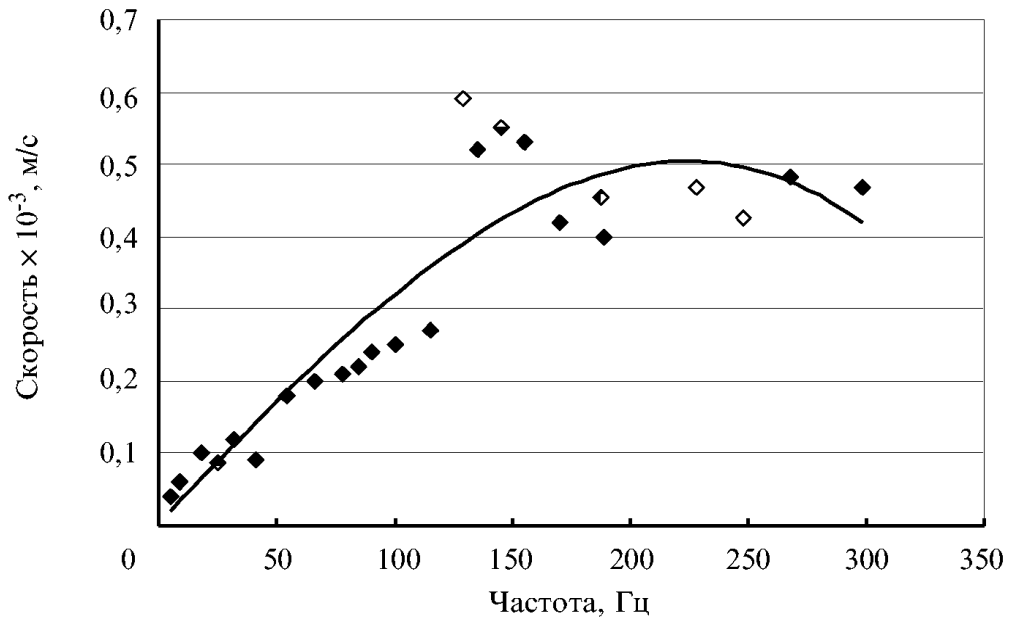


Рисунок 2. Зависимость скорости внедрения виброусилителя в мрамор от частоты воздействия при ударно-вращательном режиме

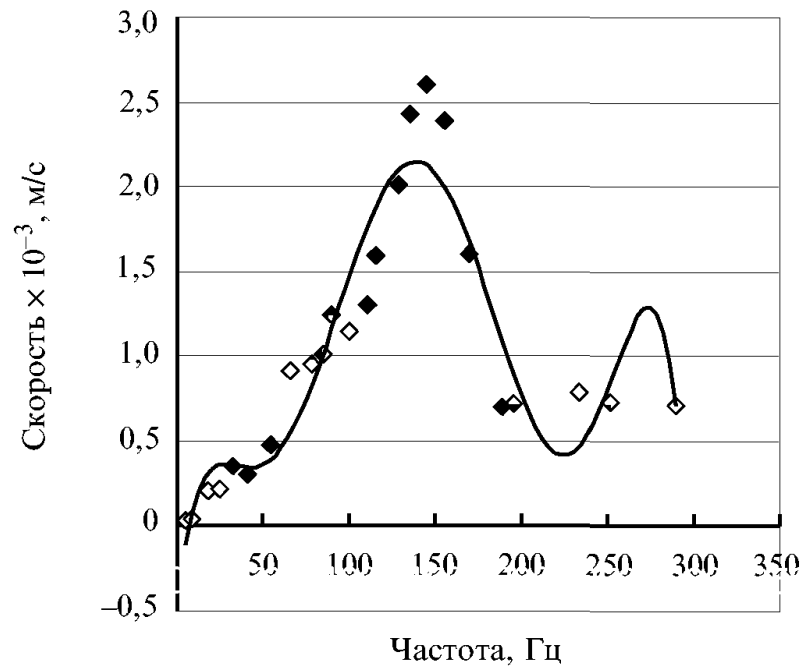


Рисунок 3. Зависимость скорости внедрения виброусилителя в гранит от частоты воздействия при ударном режиме

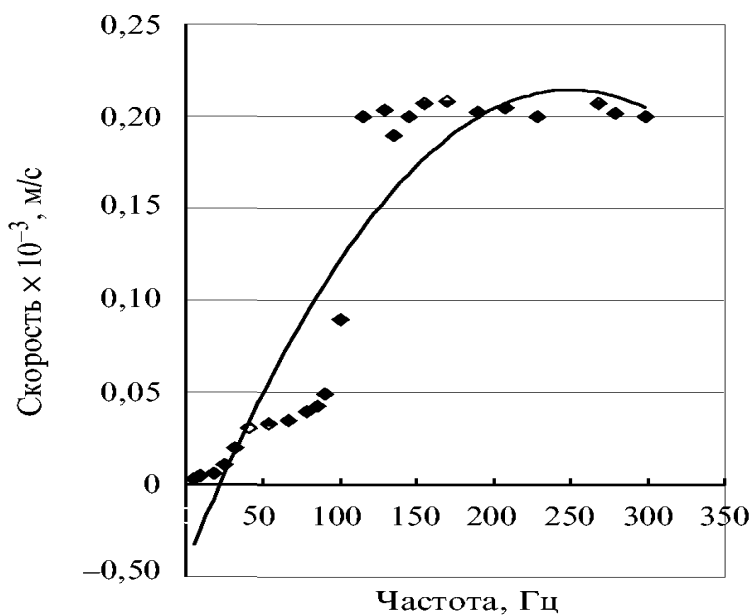


Рисунок 4. Зависимость скорости внедрения виброусилителя в мрамор от частоты воздействия при ударном режиме

При изучении зависимости скорости внедрения виброусилителя в гранит от частоты воздействия при ударно-вращательном режиме установлено, что после значений 100-200 Гц существенного прироста скорости внедрения не наблюдается, напротив, происходит плавное ее снижение (рис. 4). Это нашло отражение и других графиках.

Лабораторные исследования позволили выявить зависимость скорости бурения от применяемого режима. Для одной и той же горной породы рассматривались три режима бурения – вращательный, ударный и ударно-вращательный.

При вращательном режиме, что в реальных условиях бурения соответствует случаю, когда шарошки сильно изношены, без зубьев, скорость внедрения была настолько низкой, что не поддавалась измерениям. Ввиду этого этот режим был признан неэффективным и далее не исследовался.

При ударном режиме (воздействие осуществлялось в продольном направлении, что в реальных условиях соответствует работе пневмоударников в скважине без вращения долота) скорость внедрения была небольшая.

Ударно-вращательный режим, в реальных условиях ему сопоставлялось бурение с виброусилителем, при котором происходит

ударное воздействие на долото в то время, когда долото находится во вращательном движении. Этот режим дает в несколько раз большую скорость внедрения, чем ударный и вращательный. Так, из таблиц зависимости скорости внедрения виброусилителя в гранит видно, что при ударном режиме на частоте 100 Гц - $v_{yd} = 1,15 \cdot 10^{-3}$ м/с, при ударно-вращательном режиме $v_{yep} = 6,44 \cdot 10^{-3}$ м/с. Для мрамора при той же частоте $v_{yd} = 0,09 \cdot 10^{-3}$ м/с, $v_{yep} = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м/с.

При сопоставлении основных результатов наиболее эффективным, с точки зрения скорости бурения горных пород, является ударно-вращательный режим.

Сопоставление результатов скорости внедрения в гранит при ударно-вращательном и ударном режиме.

ν , Гц.....	5	9	18	54	66	78	111	145	189
v_{yep} , м/с · 10 ⁻¹	0,3	0,36	2,66	3,43	4,45	5,98	6,51	5,75	5,4
v_{yd} , м/с · 10 ⁻¹	0,03	0,04	0,216	0,48	0,92	0,953	1,30	2,80	0,7

Проведенные лабораторные эксперименты показали, что при неизменном значении: величины нагрузки, времени воздействия, образца горной породы, частоты воздействия - ударно-вращательный режим бурения дает в несколько раз большую скорость внедрения, чем ударный, а при постоянных величинах: режима работы, образца породы, динамической нагрузке, времени воздействия - оказалось, что скорость внедрения растет с увеличением частоты воздействия. Но, начиная с частоты 145 Гц (при ударном режиме) и 111 Гц (при ударно-вращательном режиме) существенного прироста скорости внедрения не наблюдалось.

Как следует из графиков, при увеличении частоты воздействия после 145 Гц не увеличивается скорость внедрения. Это связано, в определенной мере, с уменьшением продолжительности контакта индентора с породой, происходит как бы "зависание" индентора.

Для повышения скорости бурения скважин, особенно роторного, следует разрабатывать наддолотные виброусилители с частотным диапазоном до 145 Гц. Желательно, чтобы эти инструменты использовали динамическое воздействие на горную породу, в этом случае, эффект должен быть лучше.

Литература

1. Воскресенский Ф.Ф., Кичигин А.В., Славский В.М., Славский Ю.Н., Тагиев Э.Н. Вибрационное и ударно-вращательное бурение. - М.: Гостоптехиздат, 1961.- С. 243.
2. Кулябин Г.А. К определению динамической нагрузки на долото в упруго-пластичных породах // Технология бурения нефтяных и газовых скважин. Сб. науч. тр. – Тюмень, 1972. – Вып.13. – С. 33-37.
3. Любарский Л.Г., Ефимов В.Д. Исследования динамических усилий, возникающих при вращении шарошечного долота // Машины и нефтяное оборудование. – 1977. - № 10 – С. 29-31
4. Мавлютов М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. - М.: Недра. 1978 .– С.215 .
5. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород . – М.: Московский горный университет. 2002. –С. 453.
6. Спивак А.И., Попов А.И.. Разрушение горных пород при бурении скважин.- М. Недра, 1986. - С.208.
7. Султанов Б.С., Габдрахимов М.С., Сафиуллин Р.Р., Галеев А.С. Техника управления динамикой бурильного инструмента при проводке глубоких скважин. – М.: Недра, 1997. – С.165 .