Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLI, вып. 2, 1961 г.

К РАЗРАБОТКЕ РЕЖИМОВ ВИБРАЦИОННОГО БУРЕНИЯ ПОИСКОВЫХ И РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН

А. М. Яковлев

Одним из методов механизации бурения мелких скважин в мягких породах, как известно, является вибробурение. В последние годы оно получило сравнительно широкое распространение.

Однако вибрационный способ бурения, в отличие от виброметода в строительстве, в литературе освещен недостаточно.

Настоящая статья посвящена разработке основного породоразрушающего бурового инструмента, а также некоторым режимным параметрам работы вибробуров.

О рациональной конструкции виброзондов. Основные данные по исследованию зависимости механической скорости бурения, величины расходуемой мощности и необходимых тяговых усилий на извлечение бурового снаряда из скважины от конструктивных особенностей виброзонда приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер виброзонда	Наружный диаметр зонда, *мм*	Длина зонда, *мм*	Ширина выреза в зонде по длине окружности, *мм*	Тип и диаметр башмака, *мм*	Тип вибратора
1	89	2500	20	Короночное кольцо со снятой наружной фаской, $d = 91$ *мм*	ВПМ-1
2	89	2500	110		
3	108	2000	Без выреза	Без башмака с наружной заточкой	ВБЛ-3
4	108	2000	150		
6	89	2410	Без выреза		
7	127	1690	То же		

Опытные работы по вибрационному бурению показали (табл. 1, 2), что при бурении зондами 3, 1 механическая скорость бурения почти во всех случаях выше, чем при проходке скважин зондами 4, 2.

Замечено также, что расход мощности на бурение и величина тяговых усилий на извлечение бурового снаряда из скважины уменьшались при работе первыми двумя виброзондами (табл. 2).

Таблица 2

Порода	Интервал глубины бурения, *м*	Средняя скорость бурения, *м/мин*		Тяговое усилие, *т*		Расход мощности на бурение, *квт*	
Вибратор ВПМ-1							
		1	2	1	2	1	2
Почва, песок различной влажности	0,0—1,5 1,5—3,0 3,0—4,6	1,2 2,0 7,2	2,4 2,0 1,8	1.6 1,8 1,6—2,0	1,6 2,0 2,8	4,8 4,32 4,56	5,4 5,28 5,42
Глины вязкие зеленовато-желтые	4,6—5,7 5,7—7,0	3,0 1,2	1,2 0,6	1,6—2,0 2,8—3,2	3,6 4,0	4,92 4,44	5,52 4,8
Вибратор ВБЛ-3							
		3	4	3	4	3	4
Почва, сухой песок	0,6—1,0 1,0—2,0	0,6 0,9	0,9 0,59	2,4 2,4	2,4 2,9	2,8 2,8	3,6 3,6
Глины плотные	2,0—3,0	0,6	0,4	3,0	Срыв с вибратором, 4 *т*	2,7	3,72
	3,0—4,0 4,0—5,0	0,3 0,3	0,2 0,22	2,8 2,6	3,2 3,0	2,8 2,8	3,72 3,78

Примечание. Номера в графах соответствуют номеру зонда по табл. 1.

Так, например, энергия, затрачиваемая на бурение виброзондом 1 в песках, была на 0,8 *квт*, а в глинах на 0,5 *квт* ниже, чем при работе зондом 2 (табл. 2).

Работа виброзондов закрытого типа более эффективна потому, что при этом имеет место только трение металла о породу. При углубке скважины зондами с прорезями приходится дополнительно преодолевать силы сцепления между породой в виброзонде и породой в массиве.

Этим же, по-видимому, можно объяснить часто наблюдающееся явление срезания части породы (по прорези) в виброзонде при извлечении его из скважины, приводящее к снижению выхода керна.

Кроме того, истечение породы из виброзонда через прорезь приводит также к значительному увеличению тяговых усилий при подъеме. Так, тяговые усилия (рис. 1, кривая *P*) возросли на интервале проходки неустойчивых, обводненных песков и влажных глин. С целью избежания этого явления был разработан разъемный виброзонд (рис. 2).

Применение разъемного виброзонда в условиях опытного и производственного бурения (Башкирская АССР) доказало его преимущество перед обычно применяемыми в практике зондами с прорезями. Эта конструкция обеспечила повышение скорости бурения, получение керна без срезов и других нарушений при одновременном увеличении выхода образцов, а также облегчила процесс извлечения вязких и плотных глин из зонда (рис. 3); сократила более чем в 10 раз (2,5 *мин* вместо 26—30 *мин* при работе с зондами с прорезями) время на очистку зонда.

Таким образом, разъемные виброзонды могут быть рекомендованы для бурения по II, III и IV категориям вибробуримости пород. По породам I категории следует применять зонды закрытого типа и разъемные с клапанными устройствами в башмаке. Одновременно с уточнением

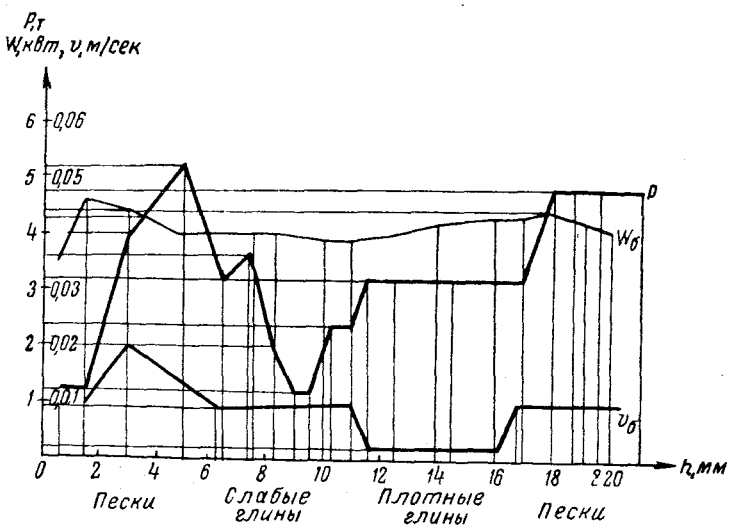


Рис. 1. Зависимость изменения скорости углубки $v_б$, расходуемой мощности $W_б$ и величины тяговых усилий P от физико-механических свойств породы и глубины бурения h для вибратора ВПМ-1

конструкции виброзондов был исследован вопрос о влиянии величины боковой поверхности (длины и диаметра зонда) на механическую скорость бурения и расход мощности при бурении. Сила трения F по боко-

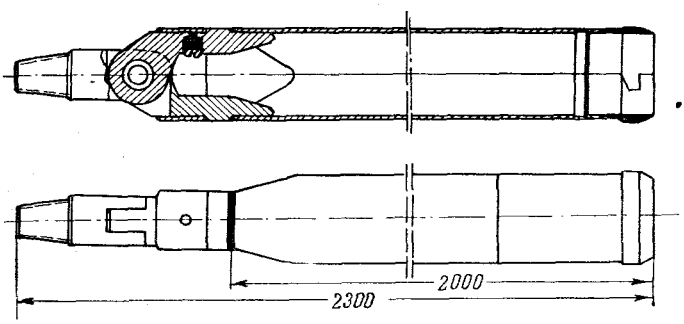


Рис. 2. Конструкция разъемного виброзонда системы ЛГИ в двух проекциях

вой (наружной) поверхности зонда может быть определена в начальный момент срыва

$$F = fP_г S,$$

где $P_г$ — величина горного давления на виброзонд по П. М. Цимбаревичу ($P_г = \Delta h A$);

h — глубина скважины, $м$;

Δ — объемный вес породы, $т/м^3$;

A — коэффициент распора;

f — коэффициент трения между породой и виброзондом, зависящий от физико-механических свойств породы и режима работы вибратора;

S — боковая поверхность, $м^2$.

Очевидно, сдвиг виброзонда относительно породы наступит при

$$P_в = F,$$

где $P_в$ — возмущающая сила вибратора, т. е.

$$P_в = f\Delta hAS$$

и

$$S = \frac{P_в}{f\Delta hA}. \qquad (1)$$

Следовательно, длина зонда при заданном диаметре бурения и режиме работы вибратора определяется в основном физико-механическими свойствами пород.

Коэффициент трения пород о виброзонд при его вибрировании резко уменьшается в породах от I до IV категорий. При этом тяговые усилия, необходимые для извлечения бурового снаряда из скважины, в 3—4 раза обычно ниже при вибрировании, чем без воздействия на породу вибрации.

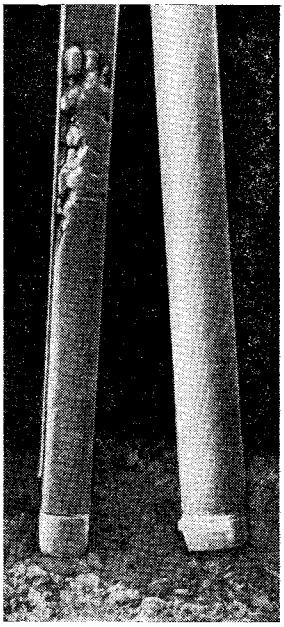


Рис. 3. Момент очистки виброзонда от поднятой породы

Расчеты возможной длины виброзонда (без учета лобовых сопротивлений), исходя из указанных условий, для вибраторов ВПМ-1 и ВБЛ-3, коэффициента распора 0,4, среднего диаметра бурения 0,01 *м* и различных значений коэффициента трения иллюстрируются графиком, приведенным на рис. 4 (с достаточной для практики точностью эти данные справедливы для виброзонда диаметром 108 и 89 *мм*).

Для пород 1 категории по вибробуримости длина зонда (труб) для обоих вибраторов может достигать 8—10 *м*. Северо-Западное геологическое управление производит вибробурение трубами диаметром 108 *мм* в породах I—II категорий до глубины 6—10 *м*. Для пород IV категории длина зонда не должна превышать 1,5—2 *м*, что также хорошо согласуется с данными практики [1]. Влияние диаметра виброзонда (D) на механическую скорость бурения можно уточнить зависимостью

$$v = \frac{a}{D^n}, \qquad (2)$$

где a и n — опытные коэффициенты.

Для суглинков $a = 138{,}4$; $n = 2{,}088$; для глин $a = 7{,}18$; $n = 1{,}48$. Величина тяговых усилий при извлечении инструмента из скважины и расход мощности на бурение с увеличением диаметра зонда от 89 до 127 *мм* возрастают.

Бурение виброзондами с различной формой башмаков позволило установить следующее.

1. Наибольшая механическая скорость бурения по пескам с показателем вибробуримости $K_п < 0{,}3$ и глинам $K_г < 1{,}7$ получена при установке на зонд башмака, превышающего его по диаметру в пределах 10 *мм*.

2. Наиболее рациональной высотой башмака следует считать 30 *мм*.

3. Повышение скорости бурения при одновременном увеличении выхода керна в песках и глинах II категории (по вибробуримости) может быть получено при башмаке с внутренним обратным конусом.

4. Бурение виброзондами с клапанным устройством в башмаке снижает скорость углубки примерно в два раза по сравнению со скоростью бурения зондами без керноудерживающих устройств. В связи с этим

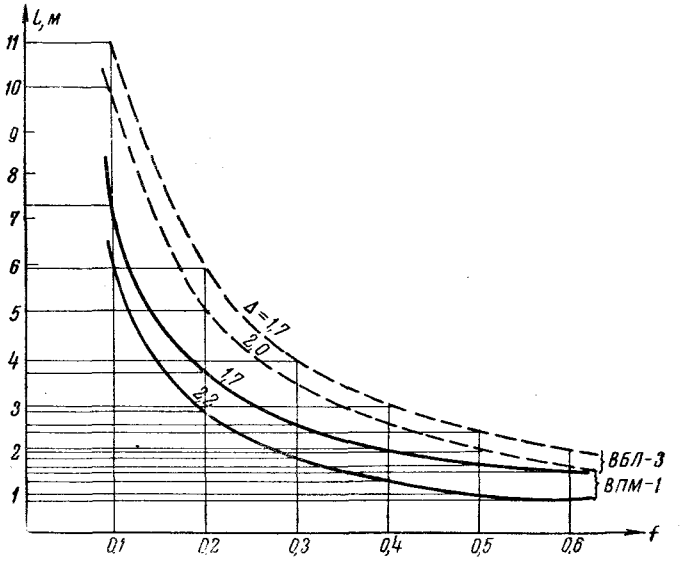


Рис. 4. Зависимость длины виброзонда L от величины коэффициента трения породы f о зонд при различных объемных весах породы A для вибраторов ВПМ-1 и ВБЛ-3 (D=89 *мм*, h=10 *м*, A=0,4)

применение указанных устройств в башмаках целесообразно только в породах I категории по вибробуримости.

Влияние режима колебаний на скорость бурения и расход мощности. Опытное бурение проводилось с помощью вибратора ВБЛ-3. Изменение числа оборотов эксцентриков было 600—1900 *об/мин*. Все опыты велись при различных фиксированных значениях момента эксцентриков, который составлял 50, 60, 70 и 100 *кгсм*. Наблюдения производились на глубинах от 0 до 10 *м*.

Скорость бурения при проходке по пескам с влажностью 14—24% и ленточным глинам (и супесям) с влажностью до 23% нарастает с увеличением как числа колебаний, так и момента эксцентриков вибратора. Зависимость эта носит прямолинейный характер, что видно из следующих данных.

1. Вибратор ВБЛ-3, диаметр штанг 57 *мм*, диаметр бурового наконечника 127 *мм*; момент эксцентриков вибратора 100 *кгсм*.

На глубине 1,5—3 *м* слабый торф (Ленинград)

Число оборотов эксцентриков, *об/мин*	650	810	1000	1200
Средняя скорость бурения, *м/мин*	0,25	0,6	0,9	до 3

2. Вибратор ВБЛ-3, диаметр штанг 57 *мм*, диаметр бурового наконечника 108 *мм;* момент эксцентриков вибратора 50 *кг/см*

На глубине 2—3 *м* слабовлажный песок

Число оборотов эксцентриков вибратора, *об/мин*	800	900	980	1200	1500	1800
Средняя скорость бурения, *м/мин*	Нет углубки	0,018	0,48	3,0	6,0	6,72
Расход мощности, *квт*	2,1	2,1	2,1	4,3	6,5	6,0

На глубине 5—7 *м* влажные пески 113 *см*, ленточные глины 52 *см*

Число оборотов эксцентриков вибратора, *об/мин*	860	1100	1300	1600	1800	1900
Средняя скорость бурения, *м/мин*	1,56	2,58	2,76	3,3	4,26	4,56
Расход мощности, *квт*	3,3	4,2	4,4	5,8	5,8	6,0

На глубине 7—9 *м* ленточные глины с прослойками серого песка

Число оборотов эксцентриков вибратора, *об/мин*	800	960	1300	1400	1600	1800
Средняя скорость бурения, *м/мин*	0,78	2,34	3,6	4,98	5,22	6,36
Расход мощности, *квт*	2,2	3,9	4,4	5,0	6,0	6,25

3. Вибратор ВБЛ-3, диаметр штанг 57 *мм*, диаметр бурового наконечника 108 *мм*, наблюдения проводились при числе колебаний вибратора, равном 1000 *кол/мин.*

Порода	Момент эксцентриков вибратора, *кгсм*	Средняя скорость бурения, *м/мин*	Амплитуда колебаний, *мм*	Расходуемая мощность, *квт*
На глубине 2—3 *м*, n = 1000 *кол/мин*				
Плотный слабовлажный песок	50	0,3	3,5	2,1
	60	0,7	4,2	2,9
	70	2,9	4,5	6,0
На глубине от 3 до 5 *м*, n = 1000 *кол/мин*				
Влажный песок	50	0,72	3,7	2,6
	60	2,2	4,4	4,0
	70	4,8	5,0	5,9
На глубине 3—5 *м*, n = 1200 *кол/мин*				
Влажный песок	50	0,6	3,5	3,7
	60	3,12	4,0	4,45
	70	3,84	5,0	6,5

Экспериментальное бурение скважин позволило также установить начальные пределы чисел колебаний и моментов эксцентриков, ниже которых углубка бурового снаряда почти полностью прекращалась.

Для диаметра бурения 108—127 *мм* момент эксцентриков вибратора

50—60 *кгсм* — 1000 *кол/мин*
70 *кгсм* — 850 *кол/мин*
100 *кгсм* — 800 *кол/мин*

Для диаметра бурения 50—65 *мм* момент эксцентриков вибратора: 8,4 *кгсм* — 1000 *кол/мин.*

Однако в практике работ следует исходить не из указанных начальных пределов, а из пределов, учитывающих величину допустимой рациональной скорости бурения для каждого типа пород, ниже которой бурение вести нерентабельно. Если принять за предельно допустимую скорость бурения по плотным пескам и супеси 0,2 *м/мин*, то, как показала практика опытного бурения, увеличение предельных чисел колебаний на 100—150 *кол/мин* уже обеспечивает необходимую скорость углубки до 0,5 *м/мин* и более. В различных геологических условиях наблюдается прямая зависимость между скоростью бурения и амплитудой колебаний

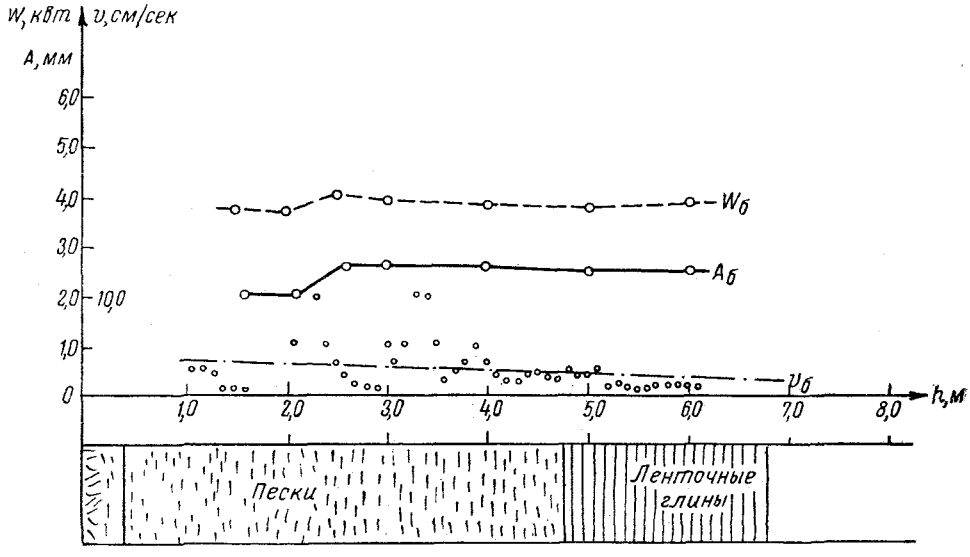


Рис. 5. Зависимость скорости бурения $v_б$, амплитуды колебаний $A_б$ и расходуемой мощности $W_б$ от свойств проходимых пород и глубины бурения h для вибратора ВБЛ-3

вибратора. Изменение величины последней приводит, как правило, к соответствующему изменению и скорости углубки.

В породах с более или менее выдержанными физико-механическими свойствами при малоизменяющемся показателе вибробуримости амплитуда колебаний и расход мощности на бурение практически остаются постоянными (рис. 5).

На графике рис. 1 отчетливо видно изменение скорости бурения и зависимости от физико-механических свойств пород.

Как видно из графиков, приведенных на рис. 1, 5, глубина бурения оказывает весьма слабое влияние на скорость бурения, расходуемую мощность и величину потребных усилий для извлечения бурового снаряда из скважины. Следовательно, при выборе рационального режима бурения необходимо в первую очередь учитывать физико-механические свойства пород и в меньшей степени — глубину бурения (при существующих глубинах вибрационного бурения до 25 *м*).

На основании установленной зависимости между скоростью бурения, с одной стороны, числом и амплитудой колебаний, с другой, для различных пород можно записать уравнение

$$v_б = \alpha (v_{кол} - v_0), \qquad (3)$$

где $v_б$ — скорость бурения, *см/сек*;

α — коэффициент пропорциональности, зависящий от характера пород, типа, формы, размера башмака и виброзонда и т. д.;

$v_{кол}$ — скорость колебаний вибратора, *см/сек*;

v_0 — начальная предельная скорость колебаний вибратора, ниже которой углубки бурового снаряда не происходит, *см/сек*.

На основании опытных работ величина α и нижние пределы скорости колебания были определены следующим образом.

Начальная скорость колебаний для всех испытываемых вибраторов и различных моментов эксцентриков для виброзондов диаметром 57—127 *мм* составила около 10 *см/сек* по породам I и II категорий по вибробуримости.

Коэффициент α при диаметре бурения 108 *мм* и различных категорий пород для песков с $K_п = 0{,}25—0{,}30$ (II категория)

$$\alpha = 0{,}04 — 0{,}05;$$

для песков с $K_п > 0{,}30$ (I категория)

$$\alpha = 0{,}08 — 0{,}11;$$

для глин с $K_г < 0{,}07$ (I и II категории)

$$\alpha = 0{,}13 — 0{,}15.$$

Таким образом, можно установить режимные параметры вибраторов в зависимости от физико-механических свойств проходимых пород.

По предварительным данным для пород I—III категорий вибробуримости увеличение скорости вибробурения можно получить за счет роста числа колебаний при фиксированном моменте эксцентриков. Следует только учесть, что величина этого момента должна быть не менее рекомендуемого предела для данного числа колебаний и пород. Граница увеличения числа колебаний может быть определена исходя из рациональных пределов расходуемой мощности. Как установлено опытами, изменение числа колебаний во всех случаях приводит к увеличению расходуемой мощности (табл. 3).

Таблица 3

Число колебаний вибратора, *кол/мин*	Расходуемая мощность (*квт*) при моменте эксцентриков вибраторов, *кгсм*			
	50	60	70	100
	$d = 108$ *мм*			$d = 127$ *мм*
800	2,1	—	3,0	6,5
1000	2,1	2,9	6,0	—
1200	3,7	4,45	6,5	—
1500	5,8	6,1	6.5	—
1600	6,0	6,12	7,0	—

Величину мощности в значительной степени определяет диаметр бурения. При работе с виброзондами диаметром 50—60 *мм* мощности снижались при том же моменте эксцентриков в 5—6 раз, что позволяет при бурении виброзондами диаметрами 50—60 *мм* использовать вибраторы с малыми моментами эксцентриков и повышенным числом колебаний. Это имеет большое значение для практики, так как дает возможность применять для поисково-разведочных работ легкие малогабаритные вибраторы.

Выводы

1. Необходимо отказаться от установившейся практики вибробурения зондами с прорезями. Применение зондов закрытого типа (для обводненных пород) и разъемных при проходке плотных осадочных отложений обеспечивает снижение тяговых усилий, расходуемой на бурение мощности при одновременном повышении скорости бурения, количества и качества отбираемых образцов.

2. Увеличение диаметра зондов приводит к резкому снижению скорости вибробурения.

3. Для различных пород по вибробуримости следует применять зонды определенной длины, которые приближенно можно оценивать по выражению (1) или графику 4.

4. Установленная зависимость между механической скоростью вибробурения и режимом колебаний вибратора обеспечивает возможность выбора режимных параметров вибратора для пород I и II категорий по вибробуримости.