

Выбор оптимальных параметров низкочастотной генерации ЛЧМ сигнала с учетом поверхностных условий места проведения работ

■ Адиев Т.Р., АО «Башнефтегеофизика», г.Уфа.

Аннотация. Важность наличия низких частот в волновом поле сложно переоценить. Расширение частотного диапазона слева - эффективный способ существенно повысить динамическую разрешенность записи. Однако даже современные вибрационные источники сталкиваются с механическими ограничениями конструкции при генерации сверхнизких частот, а отходить от стандартных ЛЧМ сигналов для расширения частотного диапазона готов не каждый заказчик. В связи с этим возникает необходимость максимально эффективно использовать доступные ресурсы, адаптируя их работу к внешним условиям.

В статье показан пример оптимизации генерации низких частот в зависимости от поверхностных условий в ходе производственных работ. Также даны общие рекомендации и предложены шаги для оценки допустимых параметров работы источника в режиме низкочастотной генерации.

Введение

Вибрационные источники упругих колебаний с гидравлической системой возбуждения ограничены в возможности генерировать сверхнизкие частоты. Это связано с техническими ограничениями оборудования, такими как значения реактивной массы, объемный расход насоса, максимальное смещение поршня и другими параметрами. Все аспекты, связанные с работой механических частей источника, хорошо изучены и описаны, но довольно редко рассматривается влияние поверхностных условий на его работу. Между тем, поверхностные условия оказывают значительное влияние не только на максимальное возможное усилие источ-

ника, но и на форму кривой нарастания усилия в зависимости от частоты. Это, в свою очередь, определяет минимальную частоту, при которой источник достигает максимальной мощности.

В ходе эксперимента был использован вибрационный источник «Батыр» СВ-30/150 (Рис. 1), производства АО «Башнефтегеофизика» (г. Уфа, Россия) совместно с ОАО «Сейсмотехника» (г. Гомель, Белоруссия).

Данная модель, являясь одной из лидирующих на российском рынке по своим техническим характеристикам, имеет частотный диапазон от 1 Гц до 180 Гц (рис.1). Под этим подразумевается, что источник может начинать генерацию с 1 Гц, но лишь с некоторым усилием, иногда

▼ Рис. 1. Технические параметры сеймовибратора «Батыр» СВ30-150.



Модель	СВ30-150
Пиковое усилие,	268.8 кН
Рабочий диапазон частот	1(4.6)-180 Гц
Реактивная масса	5000 кг
Ход реактивной массы	11 см

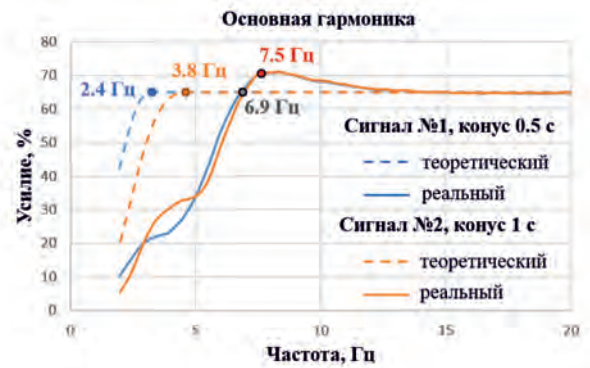
значительно отличающегося от максимального.

Полевой эксперимент

На территории Астраханской области входе производственных работ был произведен эксперимент по оценке минимальной частоты выхода вибратора на полную мощность. Для этого были заданы неестественные параметры линейного свип-сигнала, заведомо недостижимые гидравлической системой установки. Частотный диапазон 1-40 Гц, длительность 14 с, тем самым скорость развертки частоты составила около 2.8 Гц/с. Для испытания взяли два начальных конуса: 1 с (сигнал № 1) и 0,5 с (сигнал № 2).

Производственное усилие было установлено на уровне 65 %, что должно обеспечивать выход на полную мощность на частотах 3,8 Гц (теоретический сигнал № 1) и 2,4 Гц (теоретический сигнал № 2) (Рис. 2). Однако в реальных условиях усилие в 65 % было достигнуто обоими сигналами при частоте около 6,9 Гц, с пиковым значением усилия в 70 % на частоте 7,5 Гц.

Незначительное изменение формы нарастания амплитуды основной гармоники при различных параметрах свип-сигнала свидетельствует о том, что данные кривые иллюстрируют максимально возможное физическое усилие, которое



▲ Рис. 2. Основная гармоника свип-сигналов с различными параметрами.

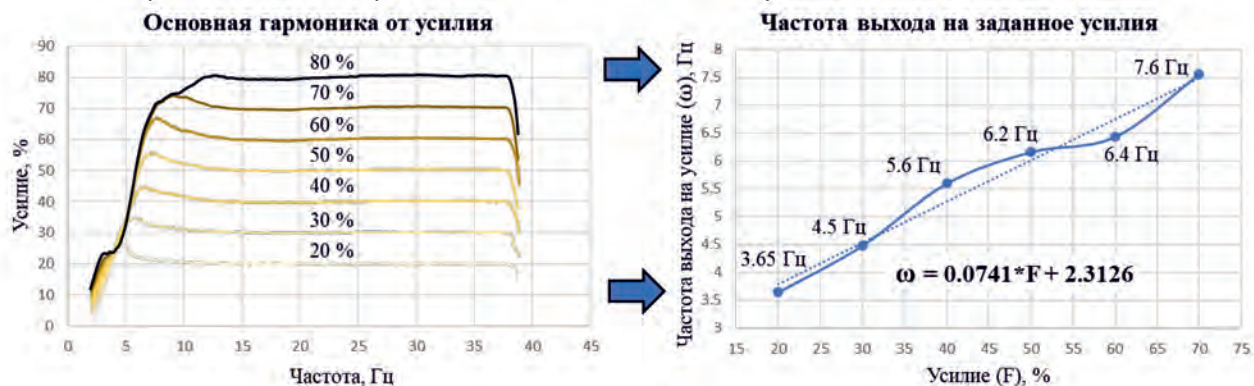
может выдавать сейсмовибратор СВ-30/150 при данных поверхностных условиях.

Для уточнения зависимости выхода на заданное усилие от частоты были проведены дополнительные замеры основной гармоники сигнала (левый график на рис.3) с варьированием усилия от 20 % до 80 % с шагом 10 % для сигнала № 2 (1 – 40 Гц, 14 с, начальный конус 0,5 с).

Таким образом, для данной местности, характеризующейся превосходными поверхностными условиями (твердая и упругая почва, рис. 4), частота выхода на заданное усилие (ω) в интервале 20 % – 70 % может быть выражена линейной зависимостью: $\omega = 0.0741 \cdot F + 2.3126$. Для производственного усилия в 65 %, принятого основным, минимальная частота составляет 6,9 Гц.

Кроме того, если провести анализ физических ограничений вибратора, определенных ранее опытным путем, и

▼ Рис. 3. Форма основной гармоники в зависимости от усилия.



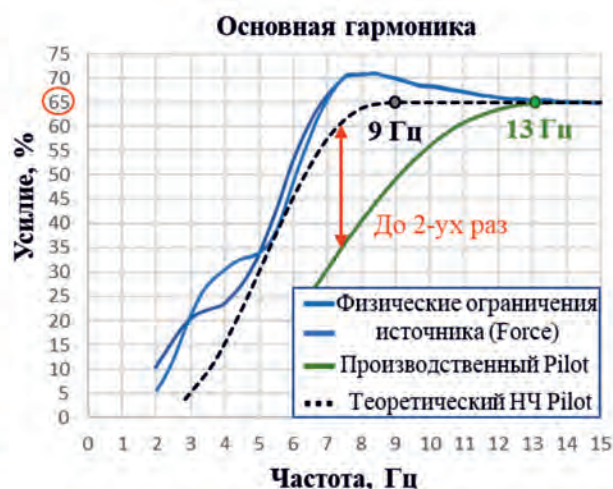
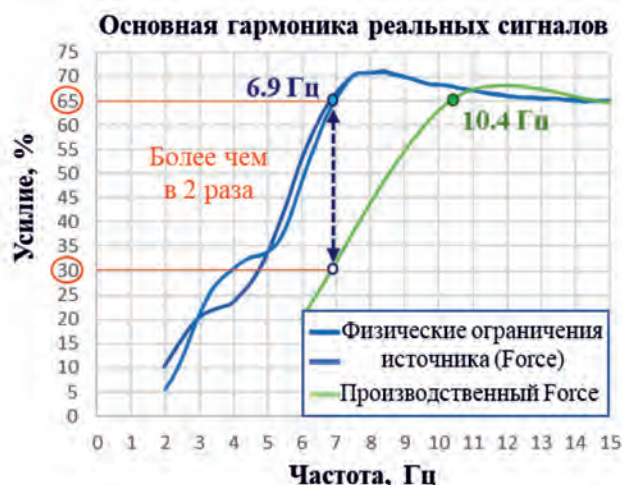


▲ Рис. 4. Поверхностные условия места проведения эксперимента.

параметров основной гармоники сигнала Force производственного свипа (см. таблицу 1), можно отметить, что потенциальная потеря амплитуды в частотном диапазоне от 2 до 10 Гц достигает более чем двукратной величины (левый график на рис.5).

Учитывая физические ограничения источника, был разработан теоретический низкочастотный (НЧ) сигнал (см. таблицу 1), который наиболее эффективно передает энергию в низкочастотном диапазоне и при этом физически осуществим на данном типе вибратора, в преде-

▼ Рис. 5. Основные гармоники реальных (Force) и теоретических сигналов (Pilot).



Параметры	Производственный	Теоретический НЧ
Г нач.	3 Гц	2 Гц
Г кон.	120 Гц	120 Гц
Длительность	14 с	14 с
Конус нач.	1 с	0.75 с
Конус кон.	0.5 с	0.5 с
Тип сигнала	ЛЧМ	ЛЧМ

▲ Табл. 1. Сравнение параметров свип сигналов.

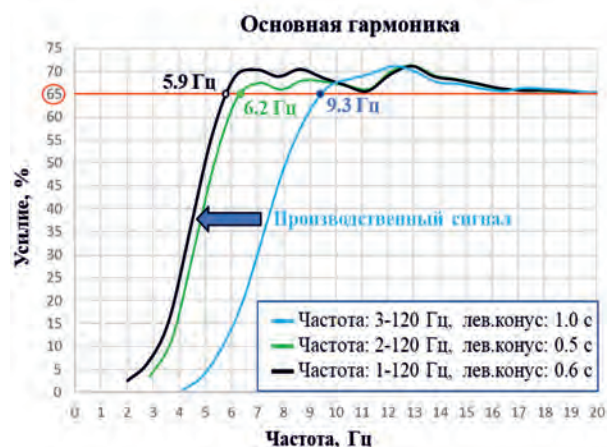
лах обрабатываемой площади (см. правый график на рис. 5). Разница в уровнях усилий между теоретическим НЧ-сигналом, достигающим максимального усилия на частоте 9 Гц, и теоретическим производственным сигналом (Pilot), который достигает максимального усилия на частоте 13 Гц, составляет до двух раз в диапазоне частот от 2 до 13 Гц (правый график на рис. 5). При этом изменения параметров между сигналами минимальны (см. табл. 1).

Выбор оптимальных параметров генерации низких частот

Отталкиваясь от формы теоретического НЧ сигнала, было сформировано два набора сигналов длительностью 14 с:

- Частотный диапазон 2-120 Гц, левый конус: 0.75 с, 0.6 с, 0.5 с.
- Частотный диапазон 1-120 Гц, левый конус: 0.75 с, 0.6 с, 0.5 с.

Входе полевого эксперимента наиболее выигрышными по приросту инфор-



▲ Рис. 6. Основная гармоника сигналов Force.

мативности оказались два свипа:

- 1) Частотный диапазон 2-120 Гц, левый конус 0.5 с.
- 2) Частотный диапазон 1-120 Гц, левый конус 0.6 с.

Сравнение основных гармоник Force сигналов приведено на рис.6. С помощью сигнала №1 получилось расширить частотный диапазон посылаемого сигнала в сторону низких частот на 3.4 Гц, в сравнении с производственным свипом, повысив энергию закачивания низких частот до 10 Гц местами до 4 раз и уменьшить минимальную частоту выхода на максимальное усиление с 9.3 Гц до 5.9 Гц при заданном усилии в 65%, что даже превышает в лучшую сторону полученные ранее оценки минимального значения этого параметра (рис. 3). Этот эффект объясняется улучшением поверхностных

▼ Табл. 2. Контроль вибрационных источников.

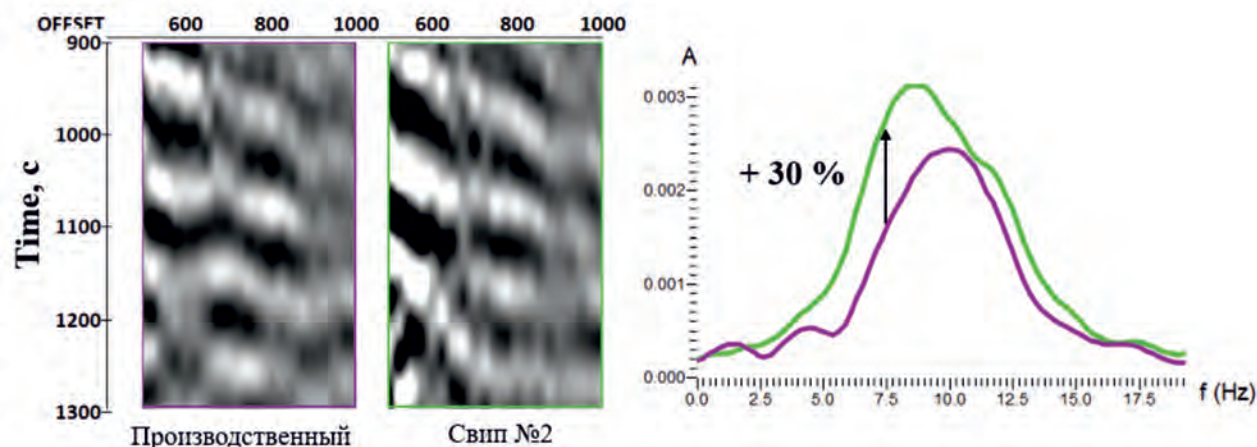
Параметры	Средняя сила (%)	Пиковая сила (%)	Средняя фаза (град)	Пиковая фаза (град)	Среднее искаж. (%)	Пиковые искаж. (%)
Допустимые	62-68	-	от -15 до 15	5	30	50
№1. 2-120 Гц, л.конус 0.5	64	69	1	7	11	31
№2. 1-120 Гц, л.конус 0.6 с	64	71	1	3	11	24
№3. 3-120 Гц, л.конус 1 с	64	69	1	2	11	17

условий в сравнении с прошлым экспериментальным ПВ.

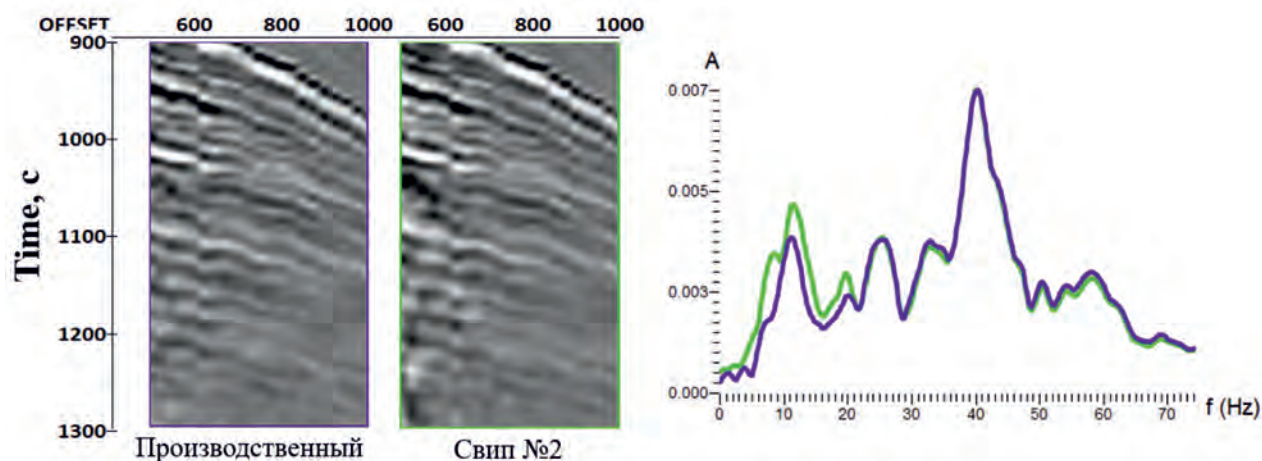
В ходе работы осуществлялся контроль вибрационных источников в соответствии с параметрами, установленными в процессе производственных работ (см. табл. 2). Свип-сигнал №1 полностью удовлетворяет всем требованиям и показателям, его параметры лишь незначительно отличаются от параметров свип-сигнала №3, используемого в производстве.

На данной территории использовались сейсмические приемники с центральной частотой 5 Гц, при этом частоты ниже этого уровня подвержены искажению и снижению амплитуды. Это приводит к менее значительному абсолютному приросту по энергии при регистрации сигнала по сравнению с энергией его генерации.

Для опробования был выбран свип-сигнал №2, дающий наибольшее приращение амплитуды низких частот и при этом находящийся в допуске по всем параметрам отвечающих за качество работы вибрационного источника. Амплитуда (Mean 1D RMS) полезного сигнала, вычисляемая в окнах в качестве атрибута, характеризующего качество данных, увеличилась на 30% для частот ниже 10 Гц (рис. 7). В то же время расширение частотного диапазона в сторону



▲ Рис. 7. Амплитуда сигнала после ФНЧ 10 Гц в окнах расчёта полезного сигнала.



▲ Рис. 8. Амплитудный спектр в окнах расчёта полезного сигнала.

низких частот не оказало негативного влияния на уровень амплитуды в остальной части частотного спектра (рис. 8).

Методика выбора оптимальных параметров генерации низких частот

На максимальное возможное усилие и форму кривой нарастания усилия в зависимости от частоты, оказывают значительное влияние поверхностные условия, которые могут существенно изменяться от одной площади к другой. В связи с этим предлагается не использовать однозначно прописанное в технической документации значение выхода на максимальное усилие, а каждый раз перед началом работ, вычислять параметры низкочастотной генерации для конкретных поверхностных условий по следующей методике:

1) Проводится испытание гидравлического вибратора с использованием недостижимого для гидравлической системы источника сигнала с первых герц (рекомендуемое максимальное усилие при переборе не более 70%, для избежания повреждения механических узлов источника).

2) Фиксируется основанная гармоника отработанного сигнала Force, которая характеризует максимальное физически возможное усилие источника на данной поверхности в зависимости от частоты.

3) На основе данного графика строятся теоретические свип-сигналы, чьи параметры не будут противоречить выявленным ограничениям установки, но при этом будут максимально к ним приближены.

4) Свип-сигналы отрабатываются на наиболее характерных участках площади. Выбирается свип-сигнал показавший наибольший прирост информативности, при котором параметры работы установки остаются в допуске.

5) Выбранный свип-сигнал тестируется дополнительно на участках с самыми неблагоприятными поверхностными условиями. В процессе тестирования изучается возможность уменьшения усилия для компенсации негативного влияния условий грунта.

Выводы

В ходе ОМР работ получилось сдвинуть частотный диапазон сигнала на несколько Гц в сторону низких частот, при этом сейсмическая установка по всем принятым параметрам контроля находилась в допуске.

Следуя предложенной методике, можно определить и настроить наиболее эффективные параметры для генерации низкочастотного сигнала, адаптированные под любую модель современных гидравлических источников и любые типы поверхностных условий. Такой подход позволяет учитывать все ограничения оборудования, а также вариативность характеристик площадных условий. В результате становится возможным обеспечить оптимальную закачку низких частот, что существенно повышает качество получаемого сейсмического материала

Подробнее об авторе



Адиев
Тимур Рустемович

Ведущий специалист
по научному развитию
дирекции разведочной
геофизики
АО «Башнефтегеофизика».
Окончил Московский
государственный
университет имени
М.В. Ломоносова
в 2023 г.