



СВАЙНЫЙ ИСТОЧНИК СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

И. С. Чичинин

Рассмотрена проблема создания невзрывных источников сейсмических волн с широким частотным спектром (свыше трех октав). Приведены конкретные схмотехнические решения, обеспечивающие реализацию волнового сейсмического импульса в частотном диапазоне 10–120 Гц. Выполнены математические оценки модельных конструкций, строго доказывающие правильность полученных результатов. Описан способ невзрывного возбуждения мощного (50–100 кДж) широкополосного сейсмического импульса с использованием свайного источника возбуждения продольных и поперечных сейсмических волн, который можно заглубить под зону малых скоростей. Материалы статьи могут быть использованы для оценки моделей и конструкций сейсмических источников.

Ключевые слова: технология возбуждения сейсмических волн, широкополосный волновой импульс, свайный сейсмоисточник, винтовое сцепление с грунтом, сила Эйлера.

PILE-SUPPORTED SEISMIC-WAVE GENERATOR

I. S. Chichinin

The problem of designing non-explosive sources of seismic energy with a wide frequency spectrum (more than three octaves) is considered. Certain circuitry decisions providing realization of a wave seismic impulse in the frequency range of 10–120 Hz are provided. Some model designs strictly proving the correctness of the obtained results are mathematically estimated. The way of non-explosive excitation of a powerful (50–100 kJ) broadband seismic pulse with the use of a pile-supported energizing source of longitudinal and shear seismic waves which can be buried under a low-velocity zone (LVZ) is described. The paper's materials can be used for evaluating models and configurations of seismic sources.

Keywords: seismic wave excitation technology, broadband seismic pulse, pile-supported seismic-wave generator, screw-shaped ground coupling, Euler force.

Для высокоразрешающей сейсморазведки нефтяных и газовых месторождений идеальной считается такая технология, при которой нижняя граница спектра сигналов, отраженных от целевых границ, находится на частоте 5–10 Гц, верхняя – от 120 Гц [3]. Но такая технология в настоящее время практически не реализуется. В данной статье предлагается обеспечить широкополосный диапазон сейсмических волн посредством возбуждения и приема сигналов под зоной малых скоростей (ЗМС).

Будем определять подошву ЗМС как границу пород, ниже которых скорость поперечных волн $V_s \geq 400$ м/с. Но нельзя же каждый раз в каждой точке выделять поперечную волну и по ней определять, что $V_s \geq 400$ м/с. Нет, конечно, так как выделение поперечной волны – трудоемкая процедура. Жесткость грунта (и вообще любых материалов) в механике определяют по величине «осадки» (смещения) круглого штампа или шарового накопника при заданной силе вдавливания. Возьмем смещение круглого штампа ($Shtamp$) ввиду его наглядности. Заметим, что вертикальное смещение круглого источника при действии вертикальной силы, равномерно распределенной по поверхности, почти равно смещению штампа.

По величине «осадки» штампа будем также определять, можно ли при расчетах пользоваться формулами линейной теории упругости [4, 6]. Автор считает, что если $Shtamp/D_g \leq 0,1$, где D_g – диаметр сваи, то процессы, наблюдаемые в среде

(грунте), можно будет описывать законами линейной теории упругости. При больших деформациях вероятность разрушения материала возрастает. Обратим внимание на то, что величина $Shtamp/D_g$ имеет размерность деформации.

Смещение круглого штампа под действием вертикальной силы F_z можно описать по формуле, которая совпадает со знаменитой формулой Буссинеска [11]: $Shtamp = F_z/K_g$, где $K_g \equiv 4\mu(1 - \gamma^2)D_g$ – жесткость грунта; $\mu \equiv \rho V_s^2$ – модуль сдвига (константа Ламе); $\gamma \equiv V_s/V_p$; D_g – диаметр штампа; $1 - \gamma^2 = [2(1 - \sigma)]^{-1}$, σ – коэффициент Пуассона.

Удобство этой формулы состоит в том, что для многих материалов и грунтов $\gamma^2 \approx 1/3$, при $\gamma^2 = 1/3$ среда называется средой Пуассона, в которой действительно значение $\sigma = 1/4$.

Критерий $Shtamp/D_g \leq 0,1$ применим, когда используемые энергии равны примерно 100 кДж. Тогда можно считать, что подавляющая часть энергии «уходит» на сейсмические волны ($D_g \approx 15$ см). Если $Shtamp/D_g \leq 0,1$, то считается, что этот пункт к работе подготовлен.

Таким образом, главным ориентиром является не скорость поперечной волны, а модуль сдвига. Полагая, что плотность грунта $\rho \approx (1,6 \dots 2,0) \cdot 10^3$, подошвой ЗМС автор называет среду, у которой модуль сдвига $\mu \approx 3 \cdot 10^8$, т.е. $V_s = 390$ –430 м/с.

Критерий $Shtamp/D_g \leq 0,1$ применим при любых силах, но только экспериментатор сам должен видеть величину $Shtamp/D_g$ и оценивать, насколько она близка к $Shtamp/D_g \leq 0,1$.



В условиях Западной Сибири подошва ЗМС залегает на глубинах 5–10 м, в редких случаях 20–30 м. В условиях Красноярского края (восточнее р. Енисей) ЗМС обычно называют зону выветривания. Подошва этой зоны располагается, как правило, на глубине 2–3 м. А как попасть на глубину 2–25 м? По мнению автора [14], просто. Понятно, что этот процесс надо механизировать и автоматизировать. Мы предлагаем делать это на основе того, что груз массой 2 т сбрасывается с высоты 5 м и бьет по верхнему концу сваи до тех пор, пока нижний ее конец не достигнет пород, расположенных под ЗМС. Такое заглубление сваи осуществляется на первом этапе (в процессе подготовке сейсмического профиля к работе) при помощи циклично-ударного механизма, описанного далее.

Почему предлагаемые значения (масса 2 т, высота 5 м, т.е. энергия $E = M g_0 h = 10^5$ Дж) дают уверенность, что требования [3] будут выполняться?

Сторонники взрывных методов выяснили [8], что достаточно широкополосный (с верхней граничной частотой более 80–120 Гц) сейсмический сигнал продольных волн, необходимый для высококоразрешающей сейсморазведки, получается при взрыве 20 г тротила в скважине под зоной ЗМС. Энергия 20 г тротила составляет 86 кДж. Это означает, что предлагаемый нами источник должен иметь потенциальную энергию не меньше 86 кДж. Поверхностные невзрывные источники с энергией около 100 кДж (например, «Диносейс», ГСК) были низкочастотными, основная энергия была сосредоточена на частотах до 20–25 Гц, и поэтому они не нашли широкого применения в сейсморазведке.

Предлагаемый нами мощный импульсный источник должен работать под ЗМС. Для того чтобы технология работы с ним была эффективной на любых грунтах, она должна иметь запас прочности. Можно обеспечить его посредством следующего приема. Когда нижний конец сваи достигает подошвы ЗМС, на верхнем конце устанавливается вибратор. Вибрационный источник может работать несколько минут или десятки минут на высоких частотах (на октавах 30–60, 60–120 Гц), т.е. в режиме вибросейсмического комплекса «Вибролокатор» [11, 13].

Для обеспечения требуемой высокой производительности полевых работ на профиле должны работать несколько недорогих источников, намного дешевле, чем один вибратор системы «Вибросейс» [12, 15].

Функциональная схема свайного источника

Перейдем к описанию свайного источника («СвайСИ»), имеющего циклично-ударный механизм (рис. 1, а, б). Все оборудование транспортируется в балке.

В пункте возбуждения сейсмических волн сначала вертикально устанавливают мачту (3) подъемного крана, при помощи которого устанавлива-

ется станок (14). Затем крюком подъемного крана цепляют трос (4) грузонесущей стойки (6), включают в работу силовой трос и поднимают стойку в вертикальное положение. При этом нижний конец «пустой» сваи все так же упирается в грунт, как и нижний конец стойки.

Важным элементом описываемого источника является штопорное (винтовое) сцепление вибратора с грунтом, что позволяет использовать вибратор с большой (40–50 т) амплитудой силы и отказаться от необходимости прижимать его к грунту.

Упомянутый штопор сделан следующим образом. Нижний конец сваи затачивают и на расстоянии 0,5–1 м просверливают отверстия с равным шагом по высоте и ставят в них штырьки. Ориентируясь на эти штырьки, на сваю наматывают стальную ленту. Потом эту намотку (толщиной 10–20 мм) по всей длине приваривают к свае. Получается своего рода винт, наружный диаметр D_0 которого на 10–20 мм больше диаметра сваи ($C_{sv} = 147$ мм). Здесь важно, чтобы шаг винта был одинаковым по всей длине.

Сначала слабыми ударами «пустую сваю» с режущим наконечником (со «штопором») внедряют в грунт, при этом непрерывно «подворачивают» при помощи червячного механизма (13), и вся свая вкручивается за счет трения. Для этого на сваю надевают «чулок», имеющий «наждачный» контакт с поверхностью сваи. Червячный механизм прижат с левой стороны к грузонесущей стойке (6), с правой стороны – к поверхности «чулка». Сила сжатия регулируется оператором вибратора. Грузонесущая стойка на участке контакта с червячным механизмом имеет продольные ребра. По мере погружения сваи вглубь «чулок» перемещается вверх за счет поддержки его снизу упором. Когда нижний конец «пустой сваи» погрузится на некоторую глубину, «пустая свая» с керном внутри ведет себя, почти как абсолютно жесткий круглый штамп. Это связано с тем, что сила, действующая на грунт под таким углом на поверхности однородного полупространства, описывается формулой

$$F_z = F_z^0 / (1 - r/r_0), \quad r_0 = D_g/2,$$

т.е. вертикальная сила F_z^0 , действующая на жесткий штамп, передается в грунт в основном через край, $r = r_0$, где $1/(1 - r/r_0) = \infty$, $r_0 = D_g/2$.

Диаметр D_g режущего кольца на 10–20 мм больше диаметра сваи D_{sv} . Поэтому силой, действующей на грунт через боковую стенку сваи, можно пренебречь. Заметим, что нижняя кромка сваи должна иметь форму пилы (15).

Отметим, что имеется довольно широкий выбор изготовителей винтовых свай, в их числе новосибирское предприятие «СвайТехно», красноярский завод винтовых свай «Основа». Конечно, эти сваи не сейсморазведочные, но с этими заводами, по-видимому, можно договориться о необходимых дополнениях.

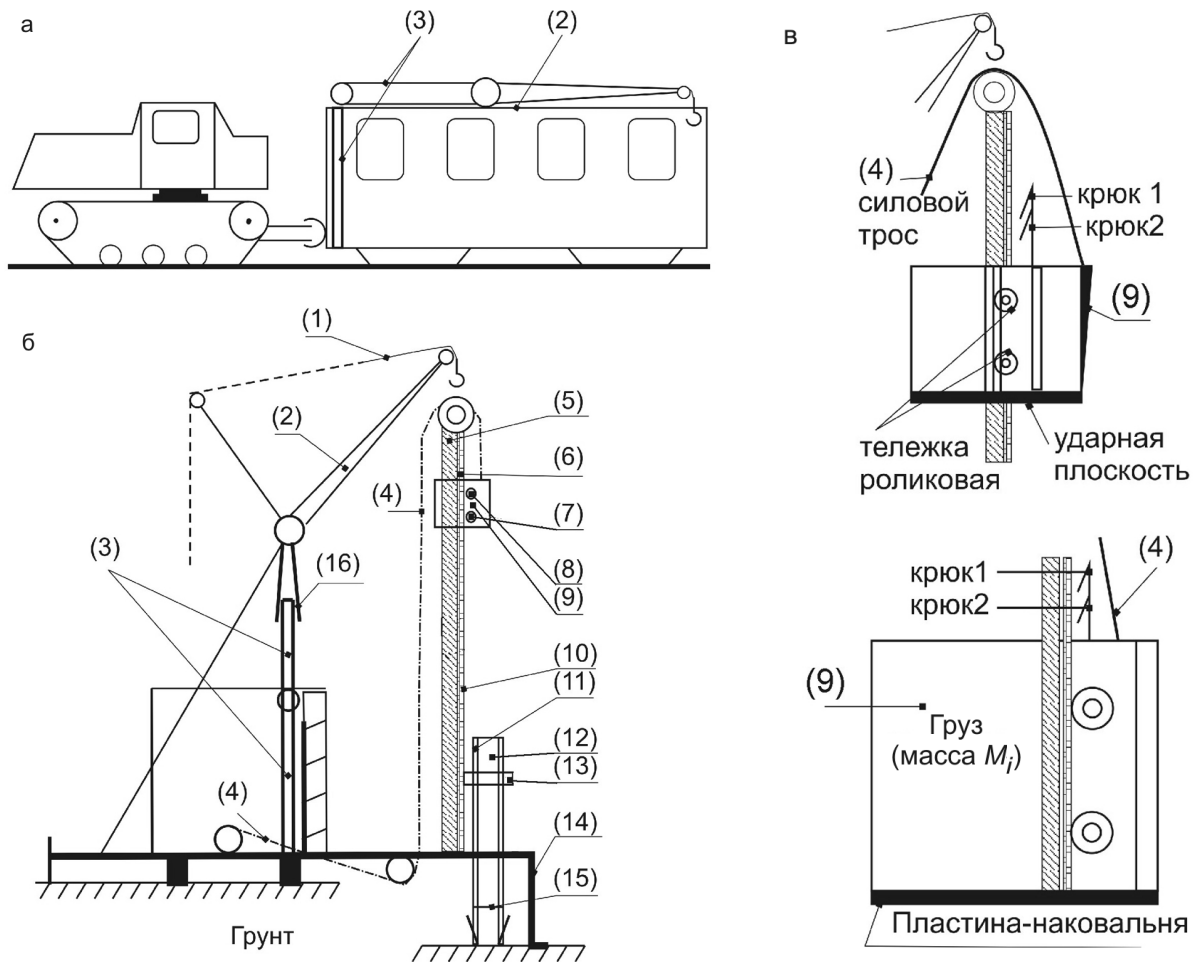


Рис. 1. Свайный сейсмический источник («СвайСИ»): а – в транспортном положении, б – в рабочем положении, в – циклический ударный механизм

1, 4 – трос; 2 – стрела; 3 – мачта; 5 – грузонесущая стойка; 7, 8 – крюк (1, 2); 9 – инертный груз (масса M); 10 – хомут, удерживающий груз (9); 11 – ударный наконечник груза (9); 12 – свая, внедряющаяся под ЗМС; 13 – червячный механизм; 14 – станок; 15 – пила (наконечник штопора)

Известно, если на вертикальную сваю давить сверху с силой, которая больше силы Эйлера, то свая обязательно погнется там, где она еще не вошла в грунт. Чтобы предотвратить эту опасность, свая (12) и грузонесущая стойка (6) соединены скобкой червячного механизма (13), которая не препятствует движению сваи вверх-вниз, но не дает ей согнуться или отклониться.

Стрела подъемного крана может поворачиваться влево и вправо на «тарелке» стойки, чтобы стойка повисла строго вертикально. Для этого ударная масса имеет строго симметричную форму, изготавливается из отрезков свайных труб. Эти отрезки длиной около 1 м привариваются друг к другу симметрично относительно центра (см. рис. 1, в). Емкость труб заполняют песком, гравием и водой, чтобы общий вес был около 2 т. Поэтому, несмотря на неровности кювета, удары наносятся строго вертикально и стойка не гнется.

Работа циклично-ударного механизма

Как было сказано, нижний конец пустой сваи надо забить в грунт на глубину 5 м и более. Это делают при помощи циклично-ударного механизма.

Устанавливают вертикально грузонесущую стойку (6), она подвешена на тросе подъемного крана и упирается в грунт. Ударный груз M_i висит на крюках. Перед ударом внутренней автоматикой несколько отматывают (ослабляют) трос. Затем крюки расцепляются и груз M_i летит вниз. После удара, к моменту отскока груза, электродвигатель, наматывающий трос, автоматически включает намотку троса в полную силу, что исключает повторный удар.

Это достаточно технологично, а трубы могут торчать в кювете хоть месяцами. Отсюда существенное преимущество перед взрывным источником, так как оставлять в скважине не взорванный заряд нельзя, не говоря уже о том, что сеймопартия освобождается от хлопот со взрывчаткой и, как следствие, от опасности кражи взрывчатки.

Источник наносит по торцу торчащей трубы необходимое количество ударов, т.е. вторая проблема взрывного источника (повторяемость) решается здесь просто. Потом эти трубы можно выдернуть и использовать на других участках профиля. Понятно, что для этого нужно устройство с мощным домкратом и электрическим обогревателем,



которые позволяют освободить стенки обсадной трубы от примерзшего грунта.

После окончания сейсмических работ объезжают точки возбуждения и засыпают лунки, образовавшиеся после выдергивания свай. Такие геофизические работы только улучшают дренажные свойства грунта. Заметим, что операции, близкие к подобным процедурам, выполняет вибровдавляющий агрегат ВВПС-20–11. Многие узлы этого агрегата (электростанция, лебедки и др.) могут использоваться в предлагаемой установке, но полностью заменить ее он не может, так как предназначен для работ в городских условиях: механизмы не защищены от мороза и пурги, свая (не забитая полностью) загораживает проезжую часть дороги и т. д.

Вибрационный источник

Когда нижний конец сваи («штопора») достигнет крепких пород, то выкатывают «трехоктавный» вибратор [7, 10]. Платформу вибратора (рис. 2) «насаживают» на верхний конец пустой сваи и закрепляют в такой позиции при помощи соответствующего замка.

Дебалансы этого вибратора такие же, как в виброустановке, описанной в статье [13]. Здесь дебалансные массы крутятся в разные стороны за счет передачи вращения при помощи зубчатых колес, поэтому горизонтальные компоненты вибрационной силы уничтожаются, остаются только вертикальные, иначе верхний конец сваи совершал бы горизонтальные колебания с очень большой амплитудой.

Регулировать амплитуду силы вибратора внутри октавы не требуется. При этом амплитуда цен-

тробежной силы внутри октавы $f_1 - f_2$ ($f_2 = 2f_1$) будет возрастать в 4 раза, что при «штопорном» сцеплении вибратора с грунтом вполне допустимо.

Когда замки заперты (стойки прижаты друг к другу), вибрационная сила дебалансов октавы 15–30 Гц передается к свае через стойки. Когда один замок заперт, а другой открыт, в работу включают вибратор октавы 30–60 Гц. И наконец, когда оба замка открыты, в работу включают вибратор октавы 60–120 Гц. При этом вибраторы двух первых октав обычно выключают, и они выполняют функции прижимной массы.

Математическая оценка построений

Математическую строгость построений можно обеспечить при импульсном возбуждении волн в частном случае, когда помехи отсутствуют. Действительно, есть формула, которая описывает скорость смещения $j_{pl} = pU_{pl}$ платформы или просто смещение U_{pl} платформы.

Из физических соображений следует, что упомянутый штамп при кратковременном ударе должен двигаться по закону

$$U_{pl}(t) = Ae^{-\alpha t} \sin(\Omega t), t \geq 0, [U_{pl}(t) = 0 \text{ при } t < 0].$$

До момента соприкосновения силы с грунтом очевидно $U_{pl}(t) = 0$. Этому в указанной формуле способствует то, что $\sin(\Omega t) = 0$ при $t = 0$. Дальше при $t > 0$ $U_{pl}(t)$ возрастает. При $\Omega t \approx 90^\circ$ значение («заглубление») достигает максимума. Дальше груз M качается на пружине K_g с некоторой частотой Ω_{ipg} . Чтобы эти соображения обрели реальность, надо сделать так, чтобы спектр функции $U_{pl}(t)$ имел вид

$$U_{pl}(p) = A\Omega_{ipg} / [p + \alpha^2 + \Omega_{ipg}^2].$$

Преобразование Лапласа этой функции выглядит следующим образом:

$$U_{pl}(t) = Ae^{-\alpha t} \sin \Omega_{ipg} t, t \geq 0,$$

$U_{pl}(t) = 0$ при $t < 0$, что и требуется. Это несложно выполнить [13]:

$$U_{pl}(p) = U_0 p M_i / [K_g P_{snam}],$$

$$P_{snam} = p^2 M_{ipg} + p R_g + K_g = M_{ipg} [p^2 + p R_g / M_{ipg} + \Omega_{ipg}^2],$$

$$\Omega_{ipg}^2 = K_g / M_{ipg}.$$

Последнее выражение можно представить в форме

$$U_{pl}(p) = U_0 p M_i / [K_g P_{snam}] = A\Omega_{ipg} / (p^2 + p R_g / M_{ipg} + \Omega_{ipg}^2),$$

$$A = U_0 (p^2 M_i / M_{ipg}) (1/b) \approx \text{const}, b \equiv \Omega_{ipg}.$$

Последнее равенство (т.е. $A \approx \text{const}$) можно обеспечить в системе автоматического регулиро-

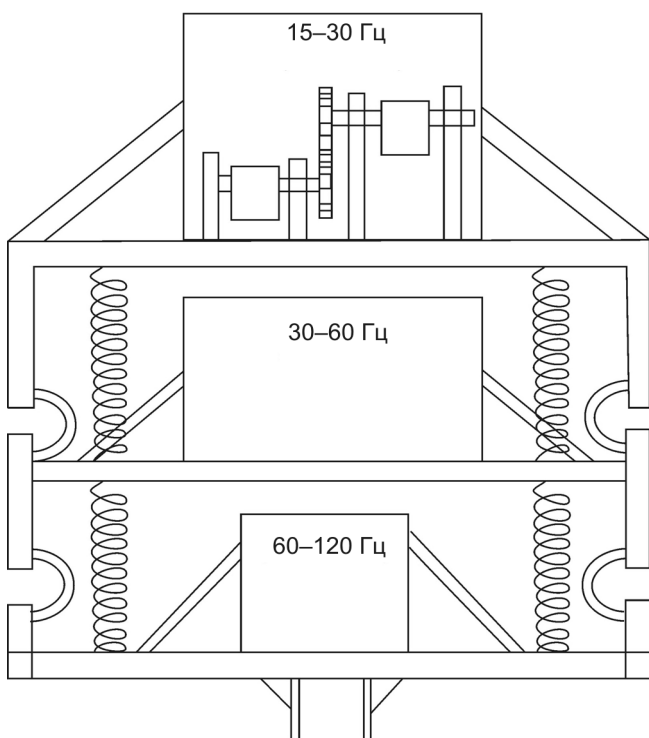


Рис. 2. Схема трехоктавного вибрационного источника



вания. Если это сделано, то строго математически получаем (строже некуда!)

$$U_{pl}(t) = Ae^{-\alpha t} \sin \Omega_{ipg} t \\ \text{при } t \geq 0, [U_{pl}(t) = 0 \text{ при } t < 0].$$

Свайные источники поперечных волн для многоволновой сейсморазведки

В многоволновой сейсморазведке, кроме продольных волн, используют поперечные и обменные. В конце XX в. в отечественной практике многоволновых сейсмических работ применялись наклонные источники поперечных волн Б. Д. Ермакова [15]. Суть сейсмических работ с наклонным источником состоит в следующем. В каждом пункте возбуждения производят два воздействия под углами φ_1 и φ_2 к земной поверхности. Можно вычитать и складывать сейсмозаписи двух воздействий, например:

$$\vec{U}_2 = U_0 [\cos \varphi_1 \vec{e}_x + \sin \varphi_2 \vec{e}_z], \quad \varphi_1 = 45^\circ, \quad \varphi_2 = \pi - 45^\circ.$$

Рекомендуемые в настоящей статье источники отличаются от источников Ермакова только тем, что наклонные силы действуют не на поверхность земли, а на верхний конец наклонной сваи. Описываемый источник может показаться слишком трудоемким. Но надо иметь в виду, что он предназначен для вертикального сейсмического профилирования, т.е. он будет стоять на одном месте долго, пока вся скважина не будет пройдена с шагом 5–10 м.

Обзор литературы по источникам

К нашей задаче близки методика и оборудование, используемые при ударном способе бурения скважин [4, 9], когда удары внедряемой в грунт сваи производятся свободно падающим грузом с высоты 1 м $M_i = 100, 150, 250$ кг. Энергия одного удара равна $E \approx 2500$ Дж, но удары производятся циклически с периодом 1–2 с: крутится колесо диаметром 1 м, на верхней точке колеса груз M_i срывается с обода и летит вниз.

Для наших целей эта машина не пригодна, так как удары слабые и частые, через каждые 1–2 с, нам же нужны удары с интервалами не меньше 5 с, чтобы успеть зарегистрировать отраженные волны с глубин 3–5 км. Самым ценным в [9] является скрупулезное описание полевого эксперимента. Заметим также, что в [15] приведено описание нескольких скважинных невзрывных источников. Из них наиболее интересен ИСП – источник сейсмический погружной: камера высокого давления опускается в скважину, на нужной глубине заполняется сжатым воздухом, и по команде от сейсмостанции окна камеры мгновенно открываются. По сравнению с предлагаемым свайным источником «СвайСИ» ИСП имеет существенный недостаток – погружение камеры в скважину, которая начинает обваливаться сразу же после бурения, представляет собой непростую задачу

и может вызвать трудно прогнозируемые простои сейсмопартии.

Следует отметить, что процедуры, описываемые в данной статье, по существу, являются дополнением операций, описанных в [5]. Это связано с тем, что вместо тракторных буровых станков типа «УГБ-50М», «АВБ-2М», «МБГ» и др., рекомендуемых в [5], мы предлагаем использовать специализированный буровой станок. По мнению автора, только тогда станет возможным почти все операции в поле выполнять из кабины теплого балка.

Рассмотрим конкретный пример полевых сейсмических работ по методу МОГТ-ЗД. Сеть наблюдений на исследуемой площади представляет собой систему из 14 параллельных профилей, идущих по оси x на расстоянии 300 м друг от друга, т.е. отрабатывается полоса шириной $14 \times 300 = 4200$ м.

Одна расстановка приемников представляет собой следующее: на каждом профиле устанавливаются 14 приемных пункта с шагом 50 м. Длина расстановки $14 \times 50 = 7200$ м. Используется аппаратура с количеством регистрирующих каналов 2016.

Таким образом, одна расстановка занимает площадь $4,2 \times 7,2$ км, каждый приемный канал представляет собой группу из 12 вертикальных сейсмоприемников, т.е. на одной расстановке устанавливается $2016 \times 12 = 24192$ сейсмоприемников. При использовании *агрегата погружения сейсмоприемников* (пока гипотетического) можно вместо группы сейсмоприемников ставить одиночные приборы.

«Отстреливать» эту площадь предлагается по параллельным профилям, идущим на расстоянии 400 м, т.е. количество профилей, пересекающих указанную полосу, равно 18, общая их длина $18 \cdot 4200 = 75,6$ км. Шаг между пунктами возбуждения 50 м, т.е. количество пунктов возбуждения равно $75600:50 = 1512$. Чтобы освободить такую дорогостоящую приемную систему, надо эти 1512 воздействий осуществить как можно быстрее. Поэтому *подготовку этих пунктов возбуждения к работе* делают заранее, когда приемная система еще не развернута.

Агрегат погружения сейсмоприемников под ЗМС

Здесь лучше без лишних слов сразу начинать с его величества эксперимента. На рис. 3 приведена одна из множества сейсмограмм тюменских геофизиков (в частности, приведенную сейсмограмму прислал Б. М. Козак). Верхние каналы (1–12) – одиночные сейсмоприемники, установленные на поверхности (в ямках глубиной 15–20 см). Нижние каналы (13–24) – тоже одиночные сейсмоприемники, погруженные на глубину 2,25–4,4 м и «задавленные» в плотную глину усилиями 2–3 человек. Расстояние между приборами 20 м, глубина взрыва 15 м, заряд 5,2 кг. Авторы этого способа В. К. Монастырев, И. И. Бобровник, Ю. Г. Коновалов и А. И. Будников [2]. Потом к ним присоединился Б. М. Козак. Они

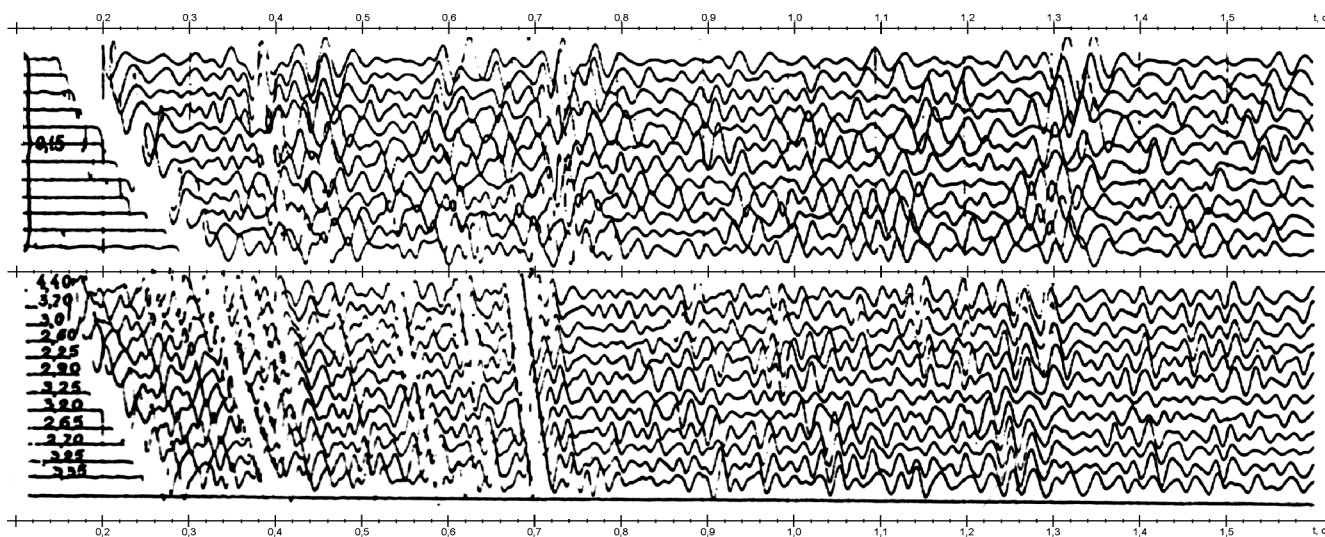


Рис. 3. Сейсмограммы, зарегистрированные от одного взрыва (в скважине) на одних и тех же пунктах наблюдения: на верхних каналах сейсмоприемники расположены на поверхности земли (0,15 м), на нижних – на глубинах 2,25–4,4 м

разработали «Агрегат пенетрационного погружения приборов» на базе серийной буровой машины, но внедрить эти идеи в широкую практику не смогли. К сожалению, в СССР не удалось внедрить в широкую практику не только «Вибролокатор».

Заменить погружение приборов под ЗМС группированием сейсмоприемников, установленных на поверхности, не удастся. Такие попытки тоже были. Число элементов в группе доводилось до 100, но материал получался хуже, чем при погружении одиночного сейсмоприемника в плотные породы. В работах Б. М. Козака и др. приводятся сейсмограммы, доказывающие это утверждение. Тюменские геофизики отмечают, что при использовании метода погружных сейсмоприемников и при хорошем задавливании контейнеров (с сейсмоприемниками) в плотные породы, подстилающие рыхлые грунты, резко снижается уровень ветровых и других помех, возрастает коррелируемость осей синфазности по профилю. В сейсморазведке, освоившей метод погружных сейсмоприемников, удавалось снизить вес используемых взрывных зарядов в 10–20 раз. Качество записи сейсмических сигналов оставалось высоким (природа ветровых помех очень проста: под действием ветра «волнуется» земная поверхность, как волновалась бы вода на поверхности озера).

Что же надо предпринять, чтобы возродить отчаянные попытки тюменских геофизиков? По нашему мнению, надо сделать так, чтобы способ погружных сейсмоприемников работал без всякого напряжения со стороны геофизиков-полевиков, так же как цифровая запись сейсмических сигналов ныне не доставляет никаких хлопот (а ведь как сложно было делать это раньше!). Очень важно не мучить людей в суровых зимних условиях, подобный героизм совершенно не оправдан!

Принимая во внимание эту точку зрения, определим, что следует сделать для погружения сейсмоприемников под ЗМС. Для этого необходимы буровая мачта со стрелой, чтобы размещать сейс-

моприемники в кювете, и циклическое ударное устройство, которую мы и создали (см. рис. 1). Тюменские геофизики считают, что сейсмоприемник надо обязательно вдавливать в плотные породы, подстилающие рыхлые породы. Для этого требуются усилия 3–4 человек. Агрегат, разработанный Б. М. Козаком, очень хорош, но геофизик должен находиться около этого агрегата при любых погодных условиях. Это нетехнологично. А ведь надо всего лишь балок (см. рис. 1, а), превращенный в агрегат погружения сейсмоприемников (агрегат Козака) дополнить современными устройствами компьютеризации и использовать конструкцию контейнера для установки погружаемого сейсмоприемника из [5], а также применять при этом бескабельную приемную сейсмическую аппаратуру типа РОСА-А [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Базовые** характеристики сейсмического канала для регистрации слабых сигналов (на примере автономной станции РОСА-А) [Текст] / О. М. Сагайдачная, А. С. Сальников, А. В. Вершинин [и др.] // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2010. – № 3. – С. 37–41.
2. **Бобровник, И. И.** Способ погружных сейсмоприемников [Текст] / И. И. Бобровник, В. К. Монастырев // Геология и геофизика. – 1968. – № 8.
3. **Гогоненков, Г. Н.** Изучение детального строения осадочных толщ сейсморазведкой [Текст] / Г. Н. Гогоненков. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
4. **Зубов, В. Г.** Механика [Текст] / В. Г. Зубов. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
5. **Козак, Б. М.** Комплексная механизация и автоматизация сейсморазведочных работ [Текст] / Б. М. Козак. – М.: Недра, 1992. – 158 с.
6. **Косте, Ж.** Механика грунтов [Текст] / Ж. Косте. – М.: Стройиздат, 1981. – 455 с.
7. **Многооктавный** вибратор с амплитудой силы 25–50 т [Текст] / И. С. Чичинин, В. А. Детков, Г. В. Егоров [и др.] // Сейсмические исследования



земной коры: Сб. докл. Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 23–25 ноября 2009 г.). – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – С. 209–210.

8. **О малых** зарядах для сейсморазведки [Текст] / Б. М. Колосов, И. А. Кобылкин, А. М. Голиченко, В. А. Жингель // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2003. – № 1. – С. 6–10.

9. **Поляков, Г. Д.** Проектирование, расчет и эксплуатация буровых установок [Текст] / Г. Д. Поляков, Е. С. Булгаков, Л. А. Шумов. – М.: Недра, 1983. – 250 с.

10. **Способ** вибрационной сейсмической разведки и дебалансный вибровозбудитель для его осуществления [Текст] / И. С. Чичинин, О. М. Сагайдачная, В. А. Детков [и др.] // Пат. РФ № 2387488 (RU). – Оpubл. 27.04.2010. – Бюл. № 12.

11. **Чичинин, И. С.** Вибрационное излучение сейсмических волн [Текст] / И. С. Чичинин. – М.: Недра, 1984. – 224 с.

12. **Чичинин, И. С.** Невзрывные сейсмические источники с широким частотным спектром. Ч. 1. Постановка задачи на примере гидравлических вибраторов [Текст] / И. С. Чичинин, О. М. Сагайдачная // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2013. – № 2. – С. 61–68.

13. **Чичинин, И. С.** Невзрывные сейсмические источники с широким частотным спектром. Ч. 2. Дебалансные вибраторы (или что надо сделать, чтобы невзрывные сейсморазведочные источники имели широкий частотный спектр) [Текст] / И. С. Чичинин, О. М. Сагайдачная // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2013. – № 3. – С. 23–32.

14. **Чичинин, И. С.** Передача сейсмической энергии вглубь через стержень [Текст] / И. С. Чичинин // Геология и геофизика. – 1997. – № 6. – С. 5–40.

15. **Шнеерсон, М. Б.** Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки [Текст] / М. Б. Шнеерсон. – М.: Недра, 1998. – 527 с.

REFERENCES

1. Sagaidachnaya O. M., Salnikov A. S., Vershinin A. V., et al. [Basic characteristics of a seismic channel for registration of weak signals (on the example of the POCA-A autonomous station)]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Geoexploration equipment and systems*, 2010, no. 3, pp. 37–41. (In Russ.).

2. Bobrovnik I. I., Monastirev V. K. [Method of buried seismic pick-ups]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1968, no. 8. (In Russ.).

3. Gogonenkov G. N. *Izuchenie detal'nogo stroeniya osadochnykh tolshch seysmorazvedkoy* [Studying of a detailed structure of sedimentary units by seismic exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 221 p. (In Russ.).

4. Zubov V. G. *Mekhanika* [Mechanics]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 352 p. (In Russ.).

5. Kozak B. M. *Kompleksnaya mekhanizatsiya i avtomatizatsiya seysmo-razvedochnykh работ* [Complex mechanization and automation of seismic prospecting operations] Moscow, Nedra Publ., 1992. 158 p. (In Russ.).

6. Koste Zh. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1981. 455 p. (In Russ.).

7. Chichinin I. S., Detkov V. A., Yegorov G. V., et al. [Multi-octave vibrator of 25–50 t force amplitude]. *Seysmicheskie issledovaniya zemnoy kory: Sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii (Novosibirsk, Akademgorodok, 23–25 noyabrya 2009 g.)* [Collection of reports of the All-Russian Scientific Conference “Seismic investigations of the Earth’s crust”. Novosibirsk, November 23–25, 2009]. Novosibirsk, INGG SB RAS, 2011, pp. 209–210. (In Russ.).

8. Kolosov B. M., Kobylykin I. A., Golichenko A. M., Zhingel' V. A. [On small charges for seismic exploration]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Geoexploration equipment and systems*, 2003, no. 1, pp. 6–10. (In Russ.).

9. Polyakov G. D., Bulgakov E. S., Shumov L. A. *Proektirovanie, raschet i ekspluatatsiya burovnykh ustanovok* [Design, calculation and operation of drilling rigs]. Moscow, Nedra Publ., 1983. 250 p. (In Russ.).

10. Chichinin I. S., Sagaidachnaya O. M., Detkov V. A., et al. *Sposob vibratsionnoy seysmicheskoy razvedki i debalansnyy vibrovobuditel' dlya ego osushchestvleniya* [Vibration seismic exploration method and unbalance vibration exciter for its implementation]. Patent RF no. 2387488 (RU), 2010, no. 12. (In Russ.).

11. Chichinin I. S. *Vibratsionnoe izluchenie seysmicheskikh voln* [Vibration radiation of seismic waves]. Moscow, Nedra Publ., 1984. 224 p. (In Russ.).

12. Chichinin I. S., Sagaidachnaya O. M. [Non-explosive seismic sources with a wide frequency spectrum. Pt 1. Problem definition on the example of hydraulic vibrators]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Geoexploration Equipment and Systems*, 2013, no. 2, pp. 61–68. (In Russ.).

13. Chichinin I. S., Sagaidachnaya O. M. [Unbalanced-mass vibration generator (or what it is necessary to do that nonexplosive seismic prospecting sources would have a wide frequency spectrum). Pt 2]. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki – Geoexploration Equipment and Systems*, 2013, no. 3, pp. 23–32. (In Russ.).

14. Chichinin I. S. [Seismic energy transfer deep into through a core]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1997, no. 6. (In Russ.).

15. Shneerson M. B. *Teoriya i praktika nazemnoy nevzryvnoy seysmorazvedki* [Theory and practice of ground nonexplosive seismic exploration]. Moscow, Nedra Publ., 1998. 527 p. (In Russ.).

© И. С. Чичинин, 2015

ЧИЧИНИН Иннокентий Сафьянович, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, гл. науч. сотр., д. т. н., проф. E-mail: mail@ipgg.sbras.ru

CHICHININ Innokenty, DSc., Prof., A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: mail@ipgg.sbras.ru