



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4111422/29-33

(22) 29.08.86

(46) 29.02.88. Бюл. № 8

(71) Белорусский политехнический институт

(72) Н.Н. Баранов и И.М. Клейнер

(53) 624.154.342(088.8)

(56) Егоров А.И. Львович Л.Б.,
Мирочник Н.С. Опыт проектирования
и строительства фундаментов из буро-
инъекционных свай. Основания, фун-
даменты и механика грунтов, № 6,
1980, с. 18-21.

(54) СПОСОБ ВОЗВЕДЕНИЯ БУРОИНЪЕКЦИ-
ОННОЙ СВАИ

(57) Изобретение относится к строи-
тельству, а именно к технологическо-
му процессу возведения буроинъекци-
онных свай в песчаных и глинистых
грунтах, в поры которых не проника-
ет цементный раствор, а происходит
отжатие воды из раствора. Целью
изобретения является повышение
несущей способности возводимой

сваи. Способ включает образова-
ние скважины, заполнение ее це-
ментным раствором с армированием,
герметизацию устья и опрессовку пу-
тем дополнительной подачи раствора
при ступенчатом повышении давления
с выдержкой на каждой ступени, при-
чем приращение давления ΔP на каж-
дой ступени принимают меньшим крити-
ческого давления $P_{кр}$ гидроразрыва
грунта, а время выдержки Δt давле-
ния на каждой ступени принимают при
коэффициенте фильтрации грунта
 $K_f > 10^{-6}$ м/с равным $\Delta t = 0,89 (r_0^2 \cdot$
 $\times C_3)$, где r_0 - радиус скважины;
 $C_3 = 0,5 \cdot 10^{-4}$ м²/с - коэффициент кон-
солидации цементного раствора, а
при $K_f < 10^{-6}$ м/с - равным $\Delta t =$
 $= [V_w \cdot l_h (R:r_0) \gamma_w] : (2 \pi \cdot \Delta P \cdot K_f \cdot l)$,
где R - радиус влияния скважины;
 V_w - объем отжимаемой воды; l - дли-
на скважины; γ_w - удельный вес воды,
причем полное давление опрессовки
принимают равным предельному давле-
нию при равномерном нагружении сте-
нок скважины. 3 табл.

Изобретение относится к строительству, а именно к технологическому процессу возведения буронагнеточных свай в песчаных и глинистых грунтах, в поры которых не проникает цементный раствор, а происходит отжатие воды из раствора.

Цель изобретения - повышение несущей способности возводимой свай.

Способ включает образование скважины, заполнение ее цементным раствором с армированием, герметизацию устья и опрессовку путем дополнительной подачи раствора в скважину при ступенчатом повышении давления с выдержкой на каждой ступени, причем приращение давления ΔP на каждой ступени принимают меньшим критического давления $P_{кр}$ гидроразрыва грунта.

$$P_{кр} = \frac{V}{1-V} \gamma H + C, \quad (1)$$

где γ - удельный вес грунта;
 H - глубина скважины;
 V - коэффициент Пуассона грунта;
 C - сцепление грунта.

Величину $P_{кр}$ можно установить также с помощью графика прессиометрического испытания по полученной зависимости

$$P_{кр} = P_n + \alpha(P_{п.п} - P_n), \quad (2)$$

где $P_{п.п}$ - предел пропорциональности прессиометрической кривой

$$\alpha = \frac{1 + \text{tg}^2\left(\frac{\bar{\pi}}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)}{2};$$

$P_n = \frac{V}{1-V} \gamma H$ - горизонтальная составляющая природного давления.

Учитывая значения $P_{кр}$ величина ступени давления может быть равной: 0,1-0,15 МПа - пески рыхлого сложения и глинистые грунты пластичной консистенции; 0,3-0,4 МПа - пески плотного сложения и глинистые грунты полутвердой и твердой консистенции.

Время выдержки на каждой ступени Δt устанавливается из условий завершения фильтрационной консолидации раствора давлением ступени; инфильтрации (просачивания) отжимаемой воды в поры грунта.

Дифференциальное уравнение фильтрационной консолидации цементного раствора в скважине имеет вид

$$\frac{a}{a} \frac{P_w}{t} = C_3 \left(\frac{a^3 P_w}{a r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{a P_w}{a r} \right), \quad (3)$$

где r - радиальная координата ($0 < r < r_0$);

r_0 - радиус скважины;

P_w - давление в поровой воде;

C_3 - коэффициент консолидации раствора (золя).

Для раствора из портландцемента величина C_3 может быть принята равной $C_3 = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Граничные и начальные условия фильтрационной консолидации следующие

$$P_w = 0 \quad \text{при } r = r_0; \quad (4)$$

$$P_w = P_0 \quad \text{при } t = 0.$$

Методами математической физики решают уравнение (3) при условиях (4)

$$P_w(r,t) = 2P_0 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1 - C_3 \left(\frac{\mu_m}{r_0}\right)^2 \cdot \tilde{S}_0\left(\frac{\mu_m}{r_0} r\right)}{\tilde{S}_1(\mu_m) \mu_m}, \quad (5)$$

где \tilde{S}_0 , \tilde{S}_1 - функция Бесселя нулевого и первого порядка;

μ'_m - корни уравнения

$$\tilde{S}_0(\mu_m) = 0.$$

Ограничиваясь первым членом ряда (5) и принимая $P_w(r=0,t) = 0,01 P_0$ условием завершения консолидации получают

$$\Delta t = 0,89 \frac{r_0^2}{C_3}, \quad (6)$$

где Δt - продолжительность фильтрационной консолидации цементного раствора на ступени опрессовки.

По формуле (6) время фильтрационной консолидации цементного раствора в скважинах диаметром 0,15, 0,2 и 0,25 м соответственно составляет 1,7, 3 и 4,3 мин.

Время инфильтрации отжимаемой воды в грунт может быть определено по видоизмененной формуле Дюпи

$$\Delta t_i = \frac{V_w \cdot l_n \cdot \frac{R}{r_0} \cdot \gamma_w}{2\pi \cdot \Delta P \cdot K_{\phi} \cdot l}, \quad (7)$$

где K_{ϕ} - коэффициент фильтрации
грунтового основания;
 R - радиус влияния скважины;
 V_w - объем отжимаемой воды.

Значения величины V_w определяются по формуле

$$V_w = \frac{m_c}{\rho_w} [(V/C)_{нач} - (V/C)_{ост}], \quad (8)$$

где ρ_w и γ_w - плотность и удельный вес воды;

m_c - масса цемента.

Радиус влияния скважины R с учетом нестационарного характера фильтрации принимается равным

K_{ϕ} , м/с	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-8}
R , м	2,8	2,2	1,4	1

В песчаных грунтах ($K_{\phi} > 10^{-6}$ м/с) время опрессовки определяется фильтрационной консолидацией цементного раствора, а в глинистых ($K_{\phi} < 10^{-6}$ м/с) - инфильтрацией (просачиванием) отжимаемой воды в грунт.

Полное давление опрессовки

$$P = \sum_{i=1}^n \Delta P_i,$$

где n - число ступеней, принимается равным предельному $P_{пред}$ при равномерном нагружении стенок скважины.

Значение $P_{пред}$ определяется как наибольшее давление прессиометрического испытания или расчетом

$$P_{пред} = (P_{п.п} + C \cdot \text{ctg} \varphi) \left(\frac{1+B}{1+2B} \right)^{\alpha} - C \cdot \text{ctg} \varphi,$$

где $B = \frac{E}{(1+\nu)(P_{п.п} - P_n)}$;

$$P_{п.п} = P_n(1 + \sin \varphi) + C \cdot \cos \varphi,$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}.$$

При глубине до 10 м значения $P_{пред}$ могут быть установлены по табл. 1.

При опрессовке согласно предлагаемому способу давление возрастает по мере отжатия воды из цементного раствора и не вызывает действия максимальных нейтральных разрывающих грунт напряжений. Опрессовка начина-

ется с небольшого давления в жидком растворе, при котором образование гидроразрывов не происходит. На последующих ступенях, по мере отжатия воды, цементный раствор превращается в золь, обладающий пластическим и вязким сопротивлением течению табл. 2. При передаче давления на такой уплотненный цементный золь последний обжимает стенки скважины, увеличивая ее диаметр.

В табл. 2 приведены механические свойства цементного золя.

Таким образом, при ступенчатом режиме удается отжать воду из цементного раствора и достигнуть максимального обжатия околоскважинного грунта. Это обеспечивает, с одной стороны, плотность и прочность цементного камня, а с другой - высокую несущую способность свай по грунту.

Для проверки эффективности способа возведения буроньекционных свай в глинистых ($I_L = 0,01$, $e = 0,53$, $I_D = 0,07$) и песчаных ($e = 0,80$, $S_r = 0,13$) грунтах проводятся полевые испытания моделей. Сваи устраиваются в скважинах $\phi 35$ мм, длиной соответственно 2,0 и 1,2 м. Применяются следующие технологические схемы заполнения скважин раствором: 1 - заливка без опрессовки; 2 - опрессовка в течение 2-3 мин постоянным давлением 0,2-0,3 МПа; 3 - опрессовка с постоянным расходом раствора 0,5-0,7 л/мин; 4 - ступенчатый режим с параметрами $\Delta P = 0,25$ МПа, $P = 0,75$ МПа, $\Delta t = 10$ мин, $t = 30$ мин в глинистых грунтах; $\Delta P = 0,2$ МПа, $P = 0,6$ МПа, $\Delta t = 2$ мин, $t = 6$ мин в песчаных грунтах.

В табл. 3 приведены средние расходы раствора (числитель) и количество свай каждого вида (знаменатель).

Испытания моделей и буроньекционных свай подтверждают эффективность способа. Несущая способность свай возрастает в 1,5-1,7 раза в глинистых грунтах и в 1,2-1,3 раза в песчаных. Прочность цементного камня увеличивается в 1,3-1,4 раза.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ возведения буроньекционной свай, включающий образование скважины, заполнение ее цементным

раствором с армированием, герметизацию устья и опрессовку путем дополнительной подачи раствора в скважину под давлением, отличающийся тем, что, с целью повышения несущей способности возводимой сваи, дополнительную подачу раствора производят при ступенчатом повышении давления с выдержкой на каждой ступени, причем приращение давления ΔP на каждой ступени принимают меньшим критического давления $P_{кр}$ гидроразрыва грунта, а время выдержки Δt давления на каждой ступени принимают при коэффициенте фильтрации грунта $K_{\phi} > 10^{-6}$ м/с с равным

$$\Delta t = 0,89 \frac{r_0^2}{C_3},$$

где r_0 - радиус скважины;
 $C_3 = 0,5 \times 10^{-4}$ м²/с - коэффициент консолидации цементного раствора,
 а при $K_{\phi} < 10^{-6}$ м/с - равным

$$\Delta t = \frac{V_w \cdot l \cdot n \cdot \frac{R}{r_0} \cdot \gamma_w}{2 \pi \cdot \Delta P \cdot K_{\phi} \cdot l},$$

где R - радиус влияния скважины;
 V_w - объем отжимаемой воды;
 l - длина скважины;
 γ_w - удельный вес воды,
 причем полное давление опрессовки принимают равным предельному давлению при равномерном загрузении стенок скважины.

20

Т а б л и ц а 1

Виды грунтов	$P_{пред}$ при е равном		
	0,45	0,7	0,9
Супеси и $I_L < 0$	1,2-1,6	0,8-1,0	1,6-0,9
суглинки $0 \leq I_L \leq 0,25$	1,9-1,2	0,6-0,8	0,4-0,7
$0,25 \leq I_L \leq 0,75$	0,5-0,8	0,3-0,6	0,1-0,4
Пески	1,3-1,7	0,7-1,0	-

Т а б л и ц а 2

Водосодержание В/Ц: :(В/Ц) _{н.г.}	Сопротивление сдвигу, τ , Па	Вязкость μ , $\frac{Н \cdot с}{м^2}$
1,65	4,6	0,02
1,5	21,5	0,2
1,33	54	0,7
1,16	120	1,5

П р и м е ч а н и е: (В/Ц)_{н.г.} соответствует золю нормальной густоты.

Т а б л и ц а 3

Грунты	Схемы заполнения скважин раствором			
	1	2	3	4
Глинистые	2,6/5	3,1/3	5,0/2	4,7/6
Песчаные	1,8/3	2,5/2	-	2,8/3

Редактор И.Касарда Составитель В.Гоник Техред М.Дидык Корректор А.Обручар

Заказ 819/19 Тираж 636 Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета СССР
по делам изобретений и открытий
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-полиграфическое предприятие, г. Ужгород, ул. Проектная, 4