МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

ВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ НА ОБЪЕКТАХ МО



gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

ВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ НА ОБЪЕКТАХ МО

ВСН-02-73
МО СССР

(Утверждены Заместителем Министра обороны СССР по строительству и расквартированию войск 27 июня 1972 г.)

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА—1973

Временные технические указания разработаны ЧЕПЕЛЕВЫМ В. В. и ЛАПТИНЫМ Н. Е. под общей редакцией кандидата технических наук ЧЕПЕЛЕВА В. В.

© Министерство обороны СССР, 1973

Глава I

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1-1. Временные технические указания по электрохимическому закреплению грунтов на объектах МО содержат основные положения по расчету параметров электрохимического закрепления грунтов, технологии производства и контролю качества работ.

1-2. Требования настоящих Временных технических указаний распространяются на работы, связанные с электрохимическим закреплением слабых грунтов, применяемым с целью:

— создания защитных стенок при проходке глубоких выработок;

— повышения несущей способности грунтовых оснований при строительстве сооружений;

— закрепления откосов котлованов, траншей и выемок;

— уплотнения переувлажненных связных грунтов.

1-3. Электрохимический способ должен применяться для закрепления небольших прослоек (до 3—4 *м*) сильно увлажненных супесей, суглинков и глин, т. е. слабых связных грунтов, имеющих коэффициент фильтрации K_Φ менее 0,5 *м/сутки* и коэффициент крепости по Протодьяконову менее 0,6. При этом для закрепления указанных грунтов в зависимости от величины K_Φ должны применяться следующие разновидности электрохимического закрепления:

— при $K_\Phi \leqslant 1 \times 10^{-5}$ *м/сутки* — электрообработка;

— при $1 \times 10^{-5} < K_\Phi \leqslant 1 \times 10^{-2}$ *м/сутки* — электролитическая обработка;

— при $1 \times 10^{-2} < K_\Phi \leqslant 0{,}5$ *м/сутки* — электросиликатизация.

Сущность электрохимического способа закрепления и его разновидностей изложена в приложении 1.

1-4. Электрохимическое закрепление должно производиться в соответствии с проектом производства работ или типовой технологической картой, привязанной к местным условиям. Пример типовой технологической карты на проходку вертикальной выработки с применением электрохимического закрепления прослойки слабого грунта приведен в приложении 2.

1-5. Целесообразность применения электрохимического закрепления грунтов во всех случаях должна обосновываться данными технико-экономической оценки наиболее вероятных способов, применимых в заданных гидрогеологических и производственных условиях. Основные технико-экономические показатели способов закрепления связных грунтов, обладающих низкой фильтрующей способностью, приведены в приложении 3. Методика экономической оценки способов закрепления грунтов изложена в приложении 4.

Глава II

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

А. При электрообработке

2-1. Степень закрепления грунтов электрообработкой характеризуется количеством пропущенного через него электричества и степенью его осушения.

2-2. Степень осушения грунта ΔW определяется разностью влажностей до и после его закрепления. Конечная влажность устанавливается исходя из требуемой прочности закрепленного грунта по графикам, составленным по формулам действующего СНиП. Графики и методика их использования приведены в приложении 5.

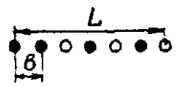
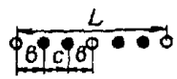
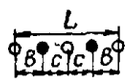
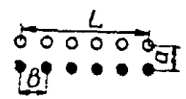
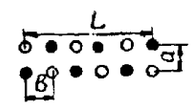
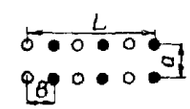
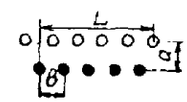
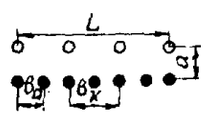
2-3. Для снижения влажности закрепленного грунта от исходной ($W_н$) до конечной ($W_к$) потребуется пропустить через грунт количество электричества, которое определяется из условия

$$Q = 278 \frac{\Delta W \cdot \delta \cdot V}{\gamma_в \cdot K_{о.э}} \ (а \cdot ч),$$

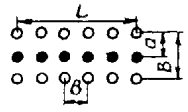
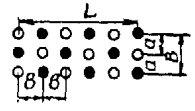
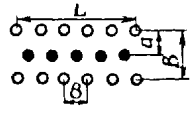
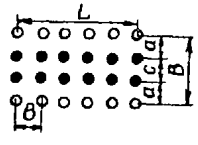
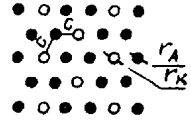
где δ — объемный вес скелета грунта в *кг/м*³;
V — объем закрепляемого грунта в *м*³;
$K_{о.э}$ — объемный коэффициент электроосмоса в *см*³/*к* (принимается из табл. 2.2);
$\gamma_в$ — объемный вес грунтовой воды в *кг/м*³;
278 — переводной коэффициент;
ΔW — разность между начальной и конечной влажностями грунта в долях единицы.

2-4. Объем закрепляемого грунта (V) определяется мощностью горизонта или глубиной заходки, потребной

Таблица 2.1

Тип схемы	Номер схемы	Название схемы		Схема размещения электродов	Рациональное отношение размеров $в/а$; $с/а$	Соотношение между объемом анодной и катодной зон	Способ закрепления	Зона плоскопараллельного поля	Область рационального применения схемы
I	1	Однорядная	Прямая		—	1:1	ЭЛ, ЭС	—	Упрочнение оснований, массивных сооружений (совместно с другими схемами)
	2		Со сдвоенными анодами		$\frac{с}{в}=0,65$	17:1	Э	—	Осушение оснований сооружений, откосов насыпей и выемок
	3		Пакетная		$\frac{с}{в}=0,5$	2:1	ЭС	—	Упрочнение оснований под ленточными фундаментами
II	4	Двухрядная	Прямая		0,75	1,1:1	Э, ЭЛ, ЭС	0,70	1. Создание подпорных или ограждающих стенок вокруг сооружений или выработок. 2. Устранение пучинообразований (вдоль сооружений). 3. Укрепление откосов насыпей и выемок отдельными ячейками. 4. Упрочнение оснований под ленточными фундаментами. 5. Понижение уровня подземных вод
	5		Поперечная		0,75	1,2:1		0,80	
	6		Продольная		1,25	1:1		0,85	
	7		Шахматная		1,00	1:1		0,60	
	8		Комбинированная		$\frac{в_а}{а}=0,4$ $\frac{в_п}{а}=0,8$	1,3:1		0,80	

Продолжение

Тип схемы	Номер схемы	Название схемы	Схема размещения электродов	Рациональное отношение размеров $в/а$; $с/а$	Соотношение между объемом анодной и катодной зон	Способ закрепления	Зона плоскопараллельного поля	Область рационального применения схемы
III	9	Многорядная: Прямая		0,75	1:1	Э, ЭЛ, ЭС	0,85	1. Создание уширенных подпорных и ограждающих стенок вокруг сооружений и выработок. 2. Устранение пучинообразований на больших площадях. 3. Укрепление откосов насыпей и выемок сплошным массивом
	10	Многорядная: Поперечная		0,75	1,1:1	Э, ЭЛ, ЭС	0,85	
	11	Многорядная: Шахматная		1,00	1:1	Э, ЭЛ, ЭС	0,80	
	12	Многорядная: Со сдвоенными анодными рядами		$\frac{в}{а}=0,75$ $\frac{с}{а}=0,65$	1,7:1	Э	0,90	1. Осушение грунтов на больших площадях. 2. Создание утолщенных стенок вокруг выработок. 3. Повышение несущей способности свайных ростверков
IV	13	Кустовой		—	3:1	Э, ЭЛ, ЭС	0,85	1. Закрепление стенок шурфов и колодцев. 2. Повышение несущей способности кустов свай
V	14	Сотовая		—	3:1	Э, ЭЛ, ЭС	0,90	1. Осушение грунтов на больших площадях. 2. Ликвидация пучинообразований под покрытиями. 3. Укрепление откосов насыпей и выемок

● — аноды; ○ — катоды; ⌀ — нейтральные инъекторы; Э — электрообработка; ЭЛ — электролитическая обработка; ЭС — электросиликатизация.

толщиной стенки закрепленного грунта и длиной участка закрепления.

Глубина заходки принимается равной 1,5—2,0 *м*. При мощности горизонта свыше 2 *м* закрепление выполняется в две заходки по высоте. Потребная толщина стенки определяется из принятой прочности закрепленного грунта и величины действующего на стенку бокового давления. При закреплении грунтовых оснований толщина стенки принимается равной расстоянию между внешними рядами электродов.

Длина участка закрепления принимается равной периметру защитной стенки или длине захватки (в плане).

2-5. В соответствии с потребной толщиной стенки и целью закрепления грунта назначается наиболее рациональная схема размещения электродов и соотношения расстояний между ними согласно табл. 2.1. При этом расчетная толщина защитной стенки должна приниматься равной зоне плоскопараллельного участка электрического поля в долях от расстояния между разнополярными электродами, которое в свою очередь не должно превосходить отношения $\frac{U}{1,1}$, где U — напряжение предполагаемого источника постоянного тока в вольтах (приложение 6).

2-6. Выбор длины захватки (в плане) или площади (при закреплении грунтовых оснований и уплотнении грунтов) производится исходя из номинальной мощности предполагаемого источника постоянного тока. В целях более рационального использования мощности источника тока оптимальная сила тока определяется по формуле

$$I_0 = \frac{N}{1,2U} \ (a),$$

где N — номинальная мощность источника тока в *вт*;

U — максимальное напряжение тока, вырабатываемого источником, в *в*;

1,2 — коэффициент, учитывающий запас напряжения на преодоление электродного сопротивления.

Максимально допускаемое электрическое сопротивление закрепляемого объема грунта определяется из выражения

$$R = \frac{U}{I_0} \ (ом).$$

По величине R в соответствии с принятой схемой размещения электродов (п. 2-5) из формул, приведенных в табл. 2.3, определяется требуемое количество электродов

или пар электродов, а затем длина захватки L. При этом величина удельного электрического сопротивления ρ принимается согласно натурным измерениям или берется из табл. 2.2*.

Таблица 2.2

Вид грунта	Влажность, %	Удельное сопротивление ρ, *ом·см*	Среднее значение объемного коэффициента электроосмоса $K_{о.э}$, *см²/кул*
Супеси	10—20	2000—4000	0,06
Суглинки	18—28	1000—2000	0,08
Глина	40—70	500—1000	0,09
Илы	60—80	100—500	0,10

Глубина закрепления $h_з$ принимается в соответствии с п. 2-4.

2-7. Объем закрепляемого грунта V определяется по формуле

$$V = h \cdot B \cdot h_з \ (м^3),$$

где B — расстояние между внешними рядами электродов.

Продолжительность электрообработки определяется по формуле

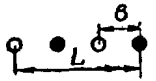
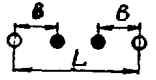
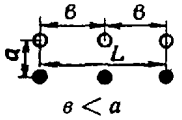
$$T = \frac{Q}{I_0} \ (час).$$

2-8. При необходимости снижения влажности связных грунтов до оптимальных значений (по данным стандартного уплотнения) с целью обеспечения возможности их уплотнения механическими средствами и повышения несущей способности грунтовых оснований продолжительность процесса электрообработки определяется в соответствии с пп. 2-3—2-8. При этом величина ΔW принимается равной разности между начальной и оптимальной влажностями грунта.

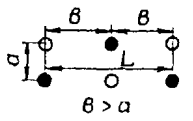
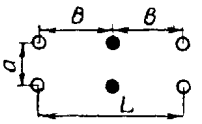
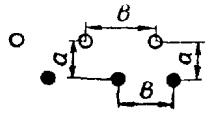
В случае электрообработки грунта в основаниях существующих сооружений, когда величина осадки ограничена или задана, необходимо определить продолжительность об-

* Величина ρ берется средней из диапазонов, указанных в табл. 2.2.

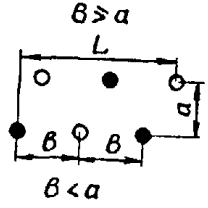
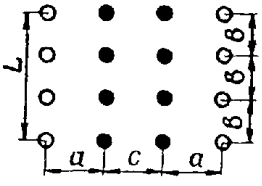
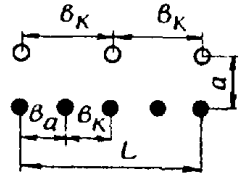
Таблица 2.3

№ по пор.	Схема размещения электродов	Название схемы		Расчетная формула сопротивления
1		Однорядная	прямая	$R = \frac{2\rho}{(n-1)\pi \cdot h_в} \ln \frac{4в}{\pi d}$
2			со сдвоенными анодами	$R = \frac{\rho}{Nnh_в} \ln \frac{4(в+2d)}{\pi d \cdot tg \frac{5d}{4(в+2d)} \cdot \pi}$
3	 $в < a$	Прямая двухрядная		$R = \frac{2\rho\left[\frac{a+2d}{в} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{2в+d}{4\pi d}\right]}{h_в \cdot n}$

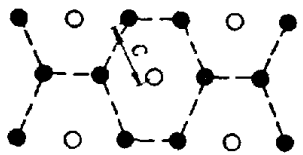
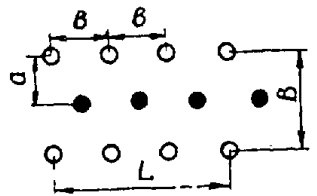
Продолжение

№ по пор.	Схема размещения электродов	Название схемы	Расчетная формула сопротивления
4		Поперечная двухрядная	$R = \frac{2\rho\left(\frac{a}{в} + \frac{1}{\pi}\ln\frac{в}{\pi d}\right)}{h_в \cdot n}$
5		Продольная двухрядная	$R = \frac{\rho\left(\frac{в}{a} + \frac{2}{\pi}\ln\frac{a}{\pi d}\right)}{(n-2)\,h_в}$
6		Шахматная прямая двухрядная	$R = \frac{2\rho\left[\frac{a}{2}\cdot\frac{\sqrt{5}+d}{в} + \frac{2}{\pi}\ln\frac{2в+d}{4\pi d}\right]}{h_в \cdot n}$

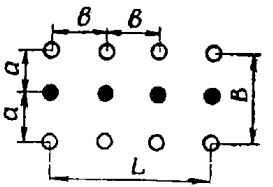
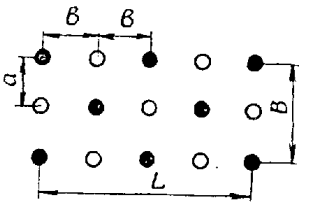
Продолжение

№ по пор.	Схема размещения электродов	Название схемы	Расчетная формула сопротивления
7		Шахматная поперечная двухрядная	$R = \frac{2\rho\left(\frac{2в}{\sqrt{5a}} + \frac{1}{\pi}\ln\frac{\sqrt{5}\cdot a}{2\pi d}\right)}{n\cdot h_в}$ $R = \frac{2\rho\left(\frac{в}{\sqrt{5}\cdot a} + \frac{1}{\pi}\ln\frac{\sqrt{5}\cdot a}{2\pi d}\right)}{(n-2)\cdot h_в}$
8		Многорядная со сдвоенными анодными рядами	$R = \frac{\rho\left(\frac{a+2d}{в} + \frac{1}{\pi}\ln\frac{в+2d}{\pi d}\right)}{h_в\cdot N}$
9		Комбинированная двухрядная	$R = \frac{2\rho\left[\frac{a+2d}{в_к} + \frac{1}{\pi}\cdot\ln\frac{2в_к+d}{4\pi d}\right]}{h_в\cdot n_a}$

Продолжение

№ по пор.	Схема размещения электродов	Название схемы	Расчетная формула сопротивления
10		Кустовая	$R = \frac{\rho}{2\pi \cdot n_a \cdot h_в} \cdot \ln \frac{C^{n+1}}{n_a \cdot r_a \cdot r_к^n}$
11		Сотовая	$R = \frac{\rho}{2\pi n_a k \cdot h_в} \cdot \ln \frac{C^{n+1}}{n_a \cdot r_a \cdot r_к^n}$
12		Шахматная многорядная	$R = \frac{\rho\left(\frac{a\sqrt{5}}{2в} + \frac{2}{\pi} \cdot \ln \frac{в}{\pi d}\right) a \cdot в}{h_в \cdot B \cdot L}$

Продолжение

№ по пор.	Схема размещения электродов	Название схемы	Расчетная формула сопротивления
13		Прямая многорядная	$R = \frac{\rho\left(\frac{a}{в} + \frac{2}{\pi}\cdot \ln\frac{в}{\pi d}\right) a \cdot в}{h_з \cdot B \cdot L}$
14		Поперечная многорядная	$R = \frac{2\rho\left(\frac{a}{в} + \frac{1}{\pi}\cdot \ln\frac{в}{\pi d}\right)}{h_з \cdot m\left(\frac{L}{в} + 1\right)}$

Условные обозначения:

ρ — удельное сопротивление грунта;
$h_з$ — мощность закрепляемого горизонта;
N — количество пар электродов различной полярности;
n — общее количество электродов на захватке;
m — количество электродных рядов;
d — диаметр анодов;
n_a — количество анодов;
r_a, $r_к$ — радиусы анодов и катодов;
k — количество сот;
○ — катоды;
● — аноды.

работки грунта током при расчетных параметрах по формуле

$$T = \frac{\rho L^2}{\alpha \cdot K_{о.э} \cdot U} \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{S}{H_0}}\right) \text{ (час)},$$

где ρ — удельное сопротивление грунта;
L — расстояние между разнополярными электродами;
$K_{о.э}$ — объемный коэффициент электроосмоса;
U — напряжение тока;
S — допускаемая или заданная осадка;
H_0 — начальная толщина обрабатываемого горизонта;
α — коэффициент, характеризующий несоответствие объемной осадки объему электроосмотически выделенной воды в зависимости от величины внешней нагрузки; при влажности грунта, равной пределу текучести,

$\alpha = 0{,}8 \div 0{,}9$; при меньшей влажности $\alpha = 0{,}4\sqrt{P}$,

где P — нагрузка *кгс/см*^{2}.

Величина возможной осадки сооружения в процессе снижения влажности грунта до оптимальной за время, определенное по п.2-7, определяется из выражения

$$S = H_0\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{T \cdot K_{о.э} \cdot \alpha \cdot U}{\rho L^2}}}\right),$$

где e — основание натурального логарифма.

Степень уплотнения грунта под воздействием внешней нагрузки P определяется по формуле

$$a_0 = \frac{H_0}{P(H_0 - S)}\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{T \cdot K_{о.э} \cdot \alpha \cdot U}{\rho L^2}}}\right).$$

Формулы настоящего параграфа могут быть использованы для расчета параметров уплотнения грунтов при воздействии на них в процессе электрообработки внешней динамической нагрузки. В этом случае вместо величины осадки S следует брать $S_д$, связь между которыми устанавливается выражением

$$S_д = S\left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{S} \cdot \frac{m}{M}}\right),$$

где h — высота падения трамбующего органа;
m — масса трамбующего органа;
M — масса уплотняемого грунта.

2-9. При уплотнении электрообработанного грунта взрывом параметры скважинных зарядов определяются в следующем порядке:

1) Определяется объем закрепляемого грунта, приходящегося на один погонный метр электрода:

$$V = \frac{B \cdot L}{n} \ (м^3),$$

где B — ширина захватки (участка закрепления);
L — длина захватки (участка закрепления);
n — количество электродов на захватке согласно принятой схеме их размещения.

При этом предполагается, что заряды будут помещаться в скважины для электродов после извлечения последних из грунта.

2) Требуемый объем 1 *пог. м* скважины (исходя из условия достижения при взрыве нужной степени уплотнения грунта в объеме V) определяется из выражения

$$\Delta V = \frac{\delta_{нач} \cdot V \cdot \Delta W}{\Delta_в} \ (м^3),$$

где $\delta_{нач}$ — начальная плотность грунта в *кг/м*³;
ΔW — требуемая степень снижения влажности грунта до взрыва способом электрообработки в %;
$\Delta_в$ — удельный вес грунтовой воды в *кг/м*³.

3) Величина ΔW определяется выражением

$$\Delta W = \frac{\Delta_\delta \ \Delta_в}{\delta_{нач} \cdot (\Delta_\delta + \delta_{нач})} \cdot 100\%,$$

где Δ_δ — заданная степень уплотнения грунта взрывом в *кг/м*³.

4) Площадь поперечного сечения зоны вытеснения будет численно равна ΔV, т. е. $S = \frac{\Delta V}{1 \ м} \ (м^2)$.

Тогда радиус зоны вытеснения грунта при взрыве из условия достижения требуемого уплотнения грунта

$$R_1 = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \ (м).$$

С другой стороны

$$R_1 = m \cdot r_0, \text{ т. е. } r_0 = \frac{1}{m}\sqrt{\frac{S}{\pi}},$$

где m — коэффициент, зависящий от свойств взрывчатого вещества (ВВ), берется из табл. 2.4;

r_0 — радиус скважинного заряда в *м*.

$$r_0 = \frac{\sqrt{C_y}}{70},$$

где C_y — вес погонного метра удлиненного заряда в *кгс*.

$$C_y = \frac{C}{l},$$

где C — вес заряда в *кг*;

l — длина заряда.

5) Радиус зоны, в пределах которой произойдут деформации грунта,

$$R_2 = 1{,}20\sqrt{\frac{C_y}{K}} \geqslant \frac{a}{2} \ (м),$$

где K — удельный расход ВВ, зависящий от свойств грунта, берется из табл. 2.5;

a — расстояние между разнополярными электродами (скважинами).

6) Параметры электрического тока и продолжительность электрообработки, при которых будет достигнуто снижение влажности грунта на величину ΔW, определяются в соответствии с пп. 2-2—2-7.

Таблица 2.4

Вид грунта	Значение коэффициента m*
Глина пластичная	37,5—46,0
Глина плотная	16,3—30,8
Суглинок тяжелый	10,4—17,1

* Для аммонитов табличные значения m уменьшаются на 10%, а для аммиачной селитры и динамонов — на 15%.

Таблица 2.5

Вид грунта	Значение коэффициента К*
Глина	1,17—1,28
Суглинок	0,97—1,19
Супесь	0,80—1,10
Песок влажный	1,19—1,27

* Для аммонитов табличные значения К увеличиваются в 1,2 раза, а для аммиачной селитры и динамонов — в 1,8 раза.

Б. При электролитической обработке

2-10. Основным параметром закрепления грунта при электролитической обработке является степень насыщения его электролитами.

Наиболее неблагоприятным случаем является электролитическая обработка при одностороннем введении в грунт электролитов (через аноды), применительно к которой должен производиться расчет характеристик электрического тока и времени его пропускания.

2-11. Порядок размещения электродов и характеристики электрического тока определяются в соответствии с методикой, изложенной в пп. 2-5 и 2-6. При этом оптимальная сила тока определяется по формуле

$$I_0 = \frac{N}{0{,}8U} \ (a),$$

где 0,8 — коэффициент, учитывающий снижение проводимости грунта ввиду насыщения его электролитами.

Продолжительность пропускания электрического тока определяется по формуле

$$T = \frac{S' \cdot a}{v_0 \cdot U} \ (час),$$

где S' — расстояние, определяемое по табл. 2.6 в зависимости от принятой схемы размещения электродов;

v_0 — скорость продвижения ионов в грунте, значение которой принимается в среднем равной 0,6 *см²/час · в* независимо от вида ионов;

a — расстояние между разнополярными электродами, принимается в соответствии с п. 2-5 и табл. 2.1.

Таблица 2.6*

№ по пор.	Схема размещения электродов		Расстояние S'
1	Однорядная		$\frac{\pi \cdot в}{2}$
2	Двухрядная и многорядная	Прямая	$a + \frac{в}{2}$
		Поперечная	$a + \frac{в}{2}$
		Продольная	$\frac{\pi \cdot в}{2}$
		Шахматная	1,7 a
3	Кустовая		1,4 c
4	Сотовая		1,4 c

* Значения $в$ и c принимаются в соответствии с п. 2-5 и табл. 2.1.

2-12. При циркуляционном способе закрепления кроме определения параметров электрического тока и времени его пропускания производится расчет скорости циркуляции катодного раствора через песчаную засыпку, начальной и конечной его концентрации (плотности), количества сливаемого отработанного и доливаемого высококонцентрированного катодного раствора.

2-13. Скорость циркуляции катодного раствора через песчаную засыпку определяется из условия разбавления раствора жидкого стекла или Na_2CO_3 и из условия перехода всех анионов SiO_3'' или CO_3'' в грунт.

Исходя из первого условия

$$v_ц = \frac{K \cdot d_c \cdot E \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma_2 - 1} + \frac{K_{о.в}}{n} \cdot j}{m(\gamma_1 - \gamma_2)},$$

где K — константа скорости передвижения ионов в грунте.

$$K=\pi \cdot v_a,\ \pi=3{,}14;\ v_a=0{,}6\ \left(\frac{см^2}{в \cdot сек}\right);$$

d_c — диаметр скважины в *см*;

E — напряженность электрического поля в *в/см*, которую можно принимать $E=\frac{U}{S'}$;

γ_1 и γ_2 — плотность раствора жидкого стекла в начале и в конце цикла в *г/см*^{3};

S′ — расстояние, определяемое из табл. 2.6;

$K_{о.э}$ — объемный коэффициент электроосмоса в *см*^{3}*/к*, берется из табл. 2.2;

j — линейная плотность тока на электроде;

$$j=\frac{I}{h_з}\left(\frac{а}{см}\right),$$

где I — сила тока, проходящего через один катод, в *а*;

$h_з$ — глубина закрепления в *см*;

m — геометрическая характеристика электрода в *см*;

$$m=\frac{S_з}{h_в},$$

$S_з$ — площадь поперечного сечения песчаной засыпки в *см*^{2}.

Исходя из второго условия

$$v_ц=\frac{v_a \cdot E \cdot h_з}{l_з}\ (см/сек),$$

где $l_з$ — толщина песчаной засыпки, равная разности радиусов скважины и катодной трубы; при диаметре скважины 90—100 *мм* $l_з \approx 4$ *см*.

Наибольшее из двух значений $V_ц$ принимается за расчетную величину.

2-14. Количество катодного раствора, прошедшего через песчаную засыпку всех катодов:

$$Q_к=3{,}6v_ц^{max} \cdot S_з \cdot n \cdot T \cdot t\ (л),$$

где T — продолжительность процесса закрепления в *ч*, определяемая по п. 2-11;

t — количество катодов на захватке.

2-15. Исходя из объема смесительного или расходного баков назначается количество циклов циркуляции или количество «подзаправок» отработанного раствора:

$$N = \frac{Q_к}{V_б},$$

где $V_б$ — объем расходного бака, обычно принимается равным 0,5—1,0 $м^3$.

2-16. Количество воды, которое выделится из грунта в процессе его закрепления, составит

$$W = 3{,}6 \cdot K_{о.э} \cdot \frac{U}{R} T \ (л),$$

где U — напряжение на электродах;

R — электрическое сопротивление закрепляемого грунта согласно принятой схеме размещения электродов.

2-17. Количество исходного катодного раствора перед началом каждого нового цикла

$$A_1^к = \frac{\gamma_2 \cdot \frac{W}{N}}{\gamma_1 - \gamma_2} \ (л).$$

Наиболее рациональными плотностями раствора жидкого стекла являются:

— в начале цикла $\gamma_1 = 1{,}35$ $г/см^3$;

— в конце цикла $\gamma_2 = 1{,}10$ $г/см^3$;

— до разбавления $\gamma_0 = 1{,}40—1{,}50$ $г/см^3$.

2-18. После окончания одного цикла требуется отлить из смесительного бака отработанный раствор в количестве

$$X = \frac{W(\gamma_0 - 1)}{N(\gamma_0 - \gamma_2)} \ (л)$$

и долить в него такое же количество высококонцентрированного раствора плотностью γ_0.

В. При электросиликатизации

2-19. Основными параметрами закрепления грунта электросиликатизацией являются:

— тип гелеобразующей смеси;

— концентрация и соотношение компонентов гелеобразующей смеси;

— величина давления нагнетания смеси в грунт;

— продолжительность нагнетания;

— характеристики постоянного электрического тока.

2-20. Тип гелеобразующей смеси обусловливается процентным содержанием в закрепляемом грунте глинистых частиц, карбоната кальция и величиной водородного показателя.

При содержании в грунте глинистых частиц более 5%, наличии карбоната кальция и величине водородного показателя более 7,0 должны применяться однорастворные смеси на основе жидкого стекла.

При содержании в грунте глинистых частиц менее 5%, незначительном содержании карбоната кальция и водородного показателя (pH) среды менее 6 могут применяться однорастворные смеси на основе карбамидной смолы (крепителя «М»). При тех же условиях, но при pH среды более 6 требуется предварительное насыщение закрепляемого грунта 3—5% раствором кислоты, применяемой в качестве отвердителя (соляной или щавелевой) *.

2-21. Концентрация и соотношение компонентов гелеобразующих смесей оказывают существенное влияние на продолжительность их устойчивого состояния до начала процесса гелеобразования, а также на прочность геля. Первый показатель обусловливает продолжительность работ по нагнетанию смеси в грунт, при которой исключается коагуляция смеси в полостях насосов, шлангах и расходных емкостях. Второй показатель обусловливает прочность закрепленного грунта.

Выбор концентраций и соотношений компонентов однорастворных смесей производится по табл. 2.7 и 2.8.

2-22. Величина давления нагнетания гелеобразующей смеси ориентировочно назначается из условия превышения им гидростатического напора подземных вод в закрепляемом горизонте на 2—3 *кгс/см*^{2}.

---

* Применение кислот в качестве отвердителей жидкого стекла и крепителя «М» не оказывает вредного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции сооружений, так как, имея низкую концентрацию и будучи введенными в грунт в эквивалентных количествах, они практически полностью связываются вновь образующимися водонерастворимыми соединениями.

Таблица 2.7

Удельный вес жидкого стекла	H_2SO_4		$Al_2(SO_4)_3$		Отношение: $\frac{H_2SO_4}{Al_2(SO_4)_3}$	Отношение: отвердитель / жидкое стекло	Время гелеобразования, ч-мин	Относительный показатель прочности геля
	Нормальность	Уд. вес	Нормальность	Уд. вес				
1,18	2,0	1,06	1,2	1,06	1,8	1,20	5-30	1,2
						1,30	20-20	2,2
						1,40	21-40	2,4
						1,45	25-10	2,6
						1,50	27-40	2,7
						1,60	42-30	3,0
1,18	2,0	1,06	1,2	1,06	2,0	1,20	8-50	1,2
						1,30	20-30	1,8
						1,40	24-50	2,10
						1,45	30-30	2,6
						1,50	38-20	2,8
						1,60	60-00	6,0
1,18	2,0	1,06	1,2	1,06	1,50	1,20	7-00	1,2
						1,40	19-30	2,2
						1,45	22-20	2,5
						1,50	24-10	2,8
						1,60	36-00	3,0
						1,70	47-00	3,2

2-23. Продолжительность нагнетания гелеобразующей смеси в один или группу электродов-инъекторов зависит от принципиальной схемы размещения электродов-инъекторов, расстояния между ними (радиуса распространения раствора), характеристик грунта и вязкости смеси.

$$T = \frac{12\beta \cdot n \cdot R^2 \cdot \gamma_р}{P \cdot K_ф \cdot \gamma_р} \ (час),$$

где β — степень заполнения пор грунта раствором, принимается равной 0,6—0,7;

n — пористость закрепляемого грунта в долях единицы;

R — требуемый радиус распространения раствора от одного электрода-инъектора (с учетом образования сплошного массива закрепленного грунта) в *м*;

P — давление нагнетания смеси в *кгс/см*^{2};

$K_ф$ — коэффициент фильтрации закрепляемого грунта в *м/сутки;*

$\gamma_р$ — плотность раствора в *г/см*^{3};

$\eta_р$ — динамическая вязкость гелеобразующего раствора в *спз.*

Таблица 2.8

№ по пор.	Состав однорастворной смеси	Концентрация компонентов, % (плотность, *г/см*^{3})			Соотношение компонентов в частях*	Ориентировочное время гелеобразования, *час*	Ориентировочная прочность закрепленного грунта, *кгс/см*^{2}
1	Жидкое стекло + сернокислый алюминий + серная кислота (сер. к.)	ж. ст. 1,18	$Al_2(SO_4)_3$ 1,06	H_2SO_4 1,06	$\frac{H_2SO_4}{Al_2(SO_4)_3} = 1{,}5$; $\frac{\text{ж. ст.}}{\text{сер. к.}} = 1{,}2$	5—7	3—5
2	Жидкое стекло + ортофосфорная кислота (оф. к.)	ж. ст. 1,19	H_2PO_4 1,025	—	$\frac{\text{ж. ст.}}{\text{оф. к.}} = \frac{1}{3 \div 4}$	10—30	3—6
3	Жидкое стекло + кремнефтористоводородная кислота (кфв. к.)	ж. ст. 1,04	H_2SiF_6 1,037	—	$\frac{\text{ж. ст.}}{\text{кфв. к.}} = \frac{8 \div 1}{1}$	5—20	2—4
4	Крепитель „М" + соляная кислота (с. к.)	кр. „М" 1,08	HCl 3—5%	—	$\frac{\text{кр. „М"}}{\text{с. к.}} = \frac{10 \div 5}{1}$	1—4	15—30
5	Крепитель „М" + щавелевая кислота (щ. к.)	кр. „М" 1,08	щ. к. 5%	—	$\frac{\text{кр. „М"}}{\text{щ. к.}} = \frac{8 \div 12}{1}$	2—12	10—20

* Влияние соотношений компонентов смеси на время ее гемообразования показано в табл. 2.7.

Для практических расчетов величины динамической вязкости гелеобразующих растворов и их плотности рекомендуемых концентраций могут приниматься по табл. 2.9.

Таблица 2.9

№ по пор.	Состав гелеобразующих растворов	Плотность, *г/см*³	Вязкость в сантипуазах
1	Карбамидная смола (крепитель „М“) + щавелевая или соляная кислота	1,080	3,5
2	Жидкое стекло + $Al_2(SO_4)_3$ + H_2SO_4	1,10	1,5
3	Жидкое стекло + ортофосфорная кислота	1,06	1,6
4	Жидкое стекло + кремнефтористоводородная кислота	1,04	1,2

2-24. Характеристики постоянного электрического тока и продолжительность электрообработки определяются в соответствии с пп. 2-5, 2-6, 2-10 и 2-11. При этом величина удельного сопротивления принимается равной 100—200 *ом · см*.

2-25. Расчет сечения магистральных кабелей и подводящих проводов производится из условия их временной эксплуатации. В этом случае допустимая токовая нагрузка составляет 8—10 *а/мм*². Вся электрическая сеть делится на три участка: общую магистраль, разводящие линии и подводящие провода, которые должны рассчитываться самостоятельно. Так, сечение магистрального кабеля

$$S_0 = \frac{I_0}{j} \ (мм^2).$$

Сечение кабеля отдельной линии, питающей ряд электродов:

$$S_n = \frac{I_0}{n \cdot j} \ (мм^2).$$

Сечение питающих проводов (провода от разводящих линий к электродам)

$$S_n = \frac{I_0}{m \cdot j} \ (мм^2),$$

где I_0 — общая сила тока, определенная по пп. 2-6 и 2-10;
j — допустимая токовая нагрузка при временной эксплуатации сети ($j = 8 \div 10$ *а/мм*²);
n — количество разветвлений магистрали;
m — количество пар электродов, используемых при закреплении.

Глава III

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ

3-1. Состав работ по электрохимическому закреплению, а также технология их производства должны назначаться в зависимости от принятого способа и цели закрепления, а также в соответствии с требованиями данной главы.

А. При электрообработке

3-2. Работы по электрообработке переувлажненных связных грунтов при закреплении откосов котлованов, выемок, траншей и грунтовых оснований включают:

— уточнение гидрогеологических условий и определение электрических и электроосмотических характеристик закрепляемого грунта;

— устройство скважин под рабочие электроды и контрольные электроды-датчики;

— подготовку и погружение электродов;

— монтаж водоотводящей, электрической и измерительной сетей;

— обработку закрепляемого грунта постоянным электрическим током;

— контроль качества закрепления грунта;

— извлечение электродов.

3-3. Уточнение гидрогеологических условий производится путем отбора и анализа проб грунта из закрепляемого горизонта с помощью бурового инструмента, позволяющего извлекать керны ненарушенной структуры (например, с помощью установки для поискового бурения УПБ-25), или с помощью разъемной обоймы. Пробы должны отбираться не

реже чем через 0,5 *м* в пределах каждого горизонта слабых пород. Устройство разъемной обоймы и методика отбора проб с ее помощью изложены в приложении 7.

Анализ основных физико-механических и физико-химических характеристик (влажность, плотность и прочностные показатели) должен производиться по существующим методикам лишь в порядке уточнения данных гидрогеологических изысканий или при их отсутствии. Одновременно с уточнением гидрогеологических условий залегания слабого грунта определяются его фактические удельное электрическое сопротивление и объемный коэффициент электроосмоса, в соответствии с которыми уточняются расчетные данные. Эти характеристики определяются в строительной лаборатории или в полевых условиях согласно методике, изложенной в приложении 8.

3-4. Устройство скважин под рабочие и контрольные электроды производится с помощью бурового инструмента или разъемной обоймы после разметки поверхности участка закрепления согласно принятой схеме размещения электродов (табл. 2.1). Диаметр скважин должен быть на 10—15 *мм* меньше диаметра трубчатых электродов, а их глубина соответствовать глубине закрепления. В неустойчивых грунтах (при быстром оплывании стенок скважин) скважины должны устраиваться только до верхней отметки слабого горизонта. Технология устройства скважин разъемной обоймы такая же, как и при отборе проб грунтов.

3-5. Подготовка трубчатых электродов заключается в очистке их поверхности, установке рабочих секций требуемой длины и проверке тщательности их соединения. При закреплении глинистых грунтов, находящихся в текучем состоянии, перед погружением электродов, особенно катодов, их перфорированная часть должна (в пределах винтовой выточки) обвертываться лентой из редкой хлопчатобумажной ткани (бязь, тонкая мешковина) или тонкой проволочной сеткой.

3-6. Погружение электродов производится с помощью вибропогружателей, копровых устройств легкого типа, пневмомолотками или вручную. В целях обеспечения надежного контакта трубчатых электродов (особенно анодов) со стенками скважины в последние предварительно (до погружения) заливается 3—4 *л* жидкого глиняного раствора.

В слабых оплывающих грунтах скважины не устраиваются, а электроды на всю глубину погружаются вибропогружателями или ручными пневмо- и электромолотками.

После погружения электродов производится их промывка водой или продувка сжатым воздухом с целью удаления из них ила. Промывка производится насосом через шланг со стальным наконечником, опускаемым внутрь электродов на всю их глубину. Порядок погружения контрольных электродов-датчиков изложен в приложении 11.

3-7. Монтаж водоотводящей сети осуществляется из секций стальных труб диаметром $^3/_4'$—1,0′ и резиновых шлангов. Соединение секций производится муфтами или патрубками из резинового шланга.

Электрическая сеть монтируется из общего двух- или четырехжильного питающего кабеля типа ПРГД и подводящих проводов сечением, обеспечивающим прохождение электрического тока расчетной величины. Электрическая схема приведена в приложении 2.

Соединение кабелей и подводящих проводов с электродами должно осуществляться на клеммах или болтами с плотным поджатием гаек и контргаек. Места соединений должны тщательно изолироваться. Применение скруток, а также подвязывание проводов к корпусу электродов не допускается. Магистральный кабель должен располагаться на временных опорах.

При закреплении грунтов с применением двух- и трехрядных схем необходимо, чтобы аноды располагались в ближнем к выработке ряду.

3-8. Обработка закрепляемого грунта постоянным электрическим током должна производиться при расчетных параметрах тока. При этом нагружение источников тока осуществляется постепенно с помощью нагрузочных реостатов или регуляторов напряжения.

В процессе электрообработки из катодов периодически должна удаляться электроосмотически выделяемая вода. Откачка воды производится вакуум-насосами (одновременно из всех катодов) или ручными и приводными самовсасывающими насосами поочередно из каждого катода в отдельности (при длине электродов не более 6 *м*). При длине электродов более 6 *м* откачка воды производится путем продувки их сжатым воздухом под давлением 3—5 *кгс/см*^{2}. При отсутствии в проекте необходимых указаний параметры электрообработки принимаются согласно пп. 4-5 и 4-7.

3-9. Извлечение электродов из грунта производится с помощью вибропогружателя, домкратов или подъемного крана после проверки качества закрепления в соответствии с гл. IV.

Для снижения усилия выдергивания электродов (особенно анодов) необходимо предварительно осуществлять незначительный их «добой» применяемыми средствами погружения.

Для извлечения электродов с целью сохранения целости их элементов должны применяться специальные захватные приспособления (рис. 3.1). Закрепление троса за патрубки

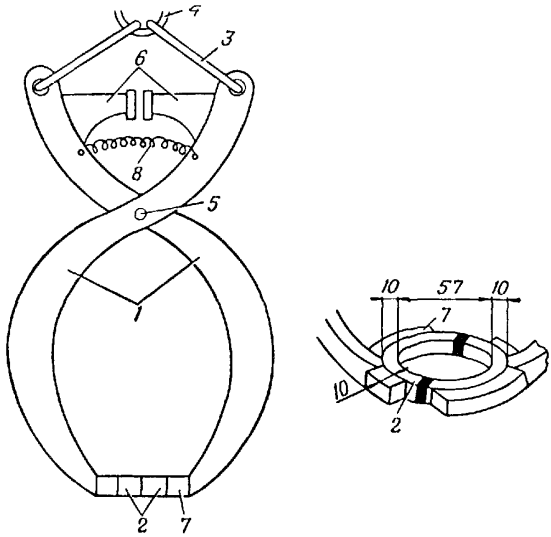


Рис. 3.1. Захват:
1 — скобы; *2* — полукольца; *3* — серьга; *4* — кольцо; *5* — ось; *6* — упоры; *7* — накладки; *8* — пружина

и клеммы не допускается. Порядок извлечения контрольных электродов-датчиков изложен в приложении 11.

3-10. Работы по электрообработке переувлажненных глинистых грунтов при проходке глубоких вертикальных выработок круглого в плане очертания производятся в соответствии с требованиями пп. 3-2 и 3-9 при соблюдении следующих дополнительных условий. При залегании слабого горизонта на глубине до 5 *м* от поверхности земли электроды размещаются вертикально по двум-трем концентрическим окружностям вокруг будущей выработки (рис. 3.2, *а*). При

этом диаметр скважин в устойчивых породах (выше закрепляемого) должен быть больше диаметра электродов не менее чем на 20 *мм*. Внешняя поверхность верхней (нерабочей) части электродов должна покрываться токонепроводящим материалом (толь-кожей, шеллаком и т. п.).

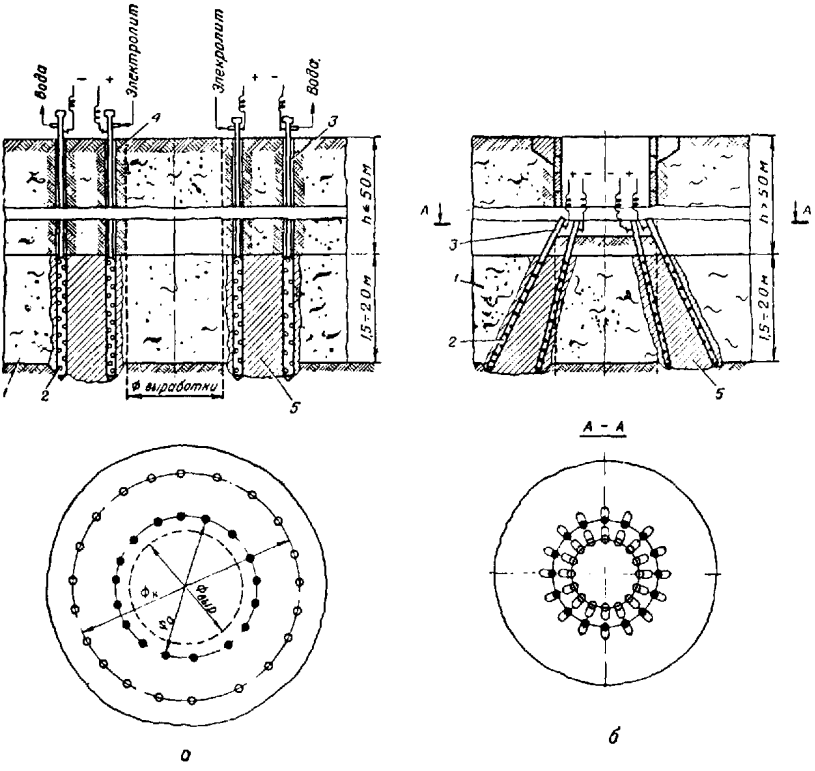


Рис. 3.2. Схемы размещения электродов:
а — при закреплении с поверхности; *б* — при закреплении из выработки; *1* — слабый грунт; *2* — рабочая часть электрода; *3* — нерабочая часть электрода; *4* — скважина; *5* — закрепленный грунт

При залегании прослоек слабых грунтов на глубине более 5 *м* от поверхности сначала производится проходка выработки до отметки, которая выше слабого горизонта на 0,7—1,0 *м*. Затем устраиваются скважины под электроды по принятой схеме (прямой или шахматной). Электроды размещаются в два ряда по периметру выработки с различным уклоном, обеспечивающим требуемую толщину защитной стены (рис. 3.2, б). Для устройства скважин в цёлике долж-

ны применяться шаблоны, позволяющие задавать проектные углы отклонения осей электродов от вертикали.

3-11. Работы по уплотнению переувлажненных связных грунтов с применением электрообработки (механоэлектрическим способом) производятся в соответствии с требованиями пп. 3-2—3-9 при соблюдении следующих дополнительных условий.

Электроды должны размещаться на всей уплотняемой поверхности по многорядной (со сдвоенными анодными рядами) или сотовой схеме. При этом головки электродов должны располагаться ниже дна котлована на 0,2—0,3 *м* (рис. 3.3).

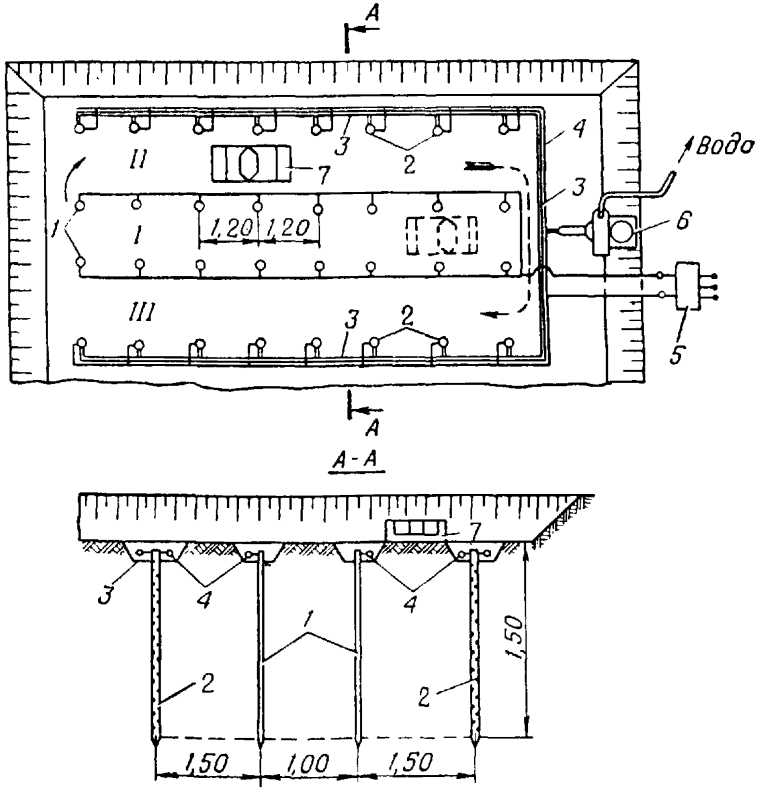


Рис. 3.3. Схема механоэлектрического уплотнения грунтового основания:

1 — аноды; *2* — катоды; *3* — водоотводная магистраль; *4* — электросеть; *5* — источник тока; *6* — насос; *7* — уплотняющее средство; I, II, III — очередность зон уплотнения

Электрообработка должна производиться в два или три этапа с интервалами времени, необходимыми на уплотнение грунта трамбующими средствами.

Первый этап уплотнения производится в анодной зоне через $^1/_3$ расчетного периода электрообработки, определенного по п. 2-7, второй этап (в анодной и средней зонах) — через $^2/_3$ этого периода и последний этап уплотнения осуществляется после окончания электрообработки по всей площади захватки. Тип трамбующих средств определяется соответствующим проектом или ТУ в зависимости от требуемой толщины уплотнения. При отсутствии расчетных данных общая продолжительность периода электрообработки при механоэлектрическом способе принимается равной 40—60 *ч*.

3-12. Работы по уплотнению переувлажненных связных грунтов взрывоэлектрическим способом (т. е. уплотнение грунта скважинными взрывами после предварительной его электрообработки) производятся согласно пп. 3-2—3-11 при соблюдении следующих дополнительных требований.

Скважинные заряды размещаются в шпурах согласно рис. 3.4 или в скважинах под электроды после извлечения последних (рис. 3.5).

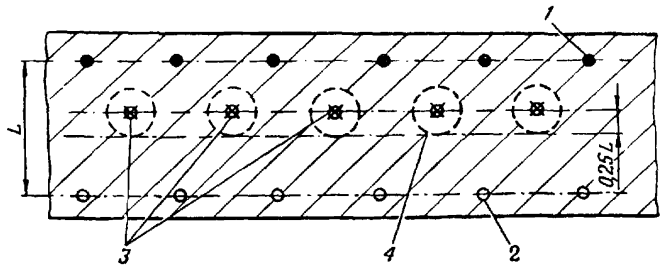


Рис. 3.4. Схема размещения зарядов в шпурах:
1 — аноды; *2* — катоды; *3* — шпуры со скважинными зарядами; *4* — контуры шпура после взрыва; L — расстояние между разнополярными электродами

3-13. Удлиненные заряды готовятся специализированным звеном взрывников согласно указаниям на производство буро-взрывных работ и исходя из имеющегося вида ВВ.

3-14. В целях уточнения погонного веса заряда, при котором образуется расчетная величина радиуса зоны вытеснения, должен производиться один или несколько одиночных взрывов скважин, расположенных на краю захватки.

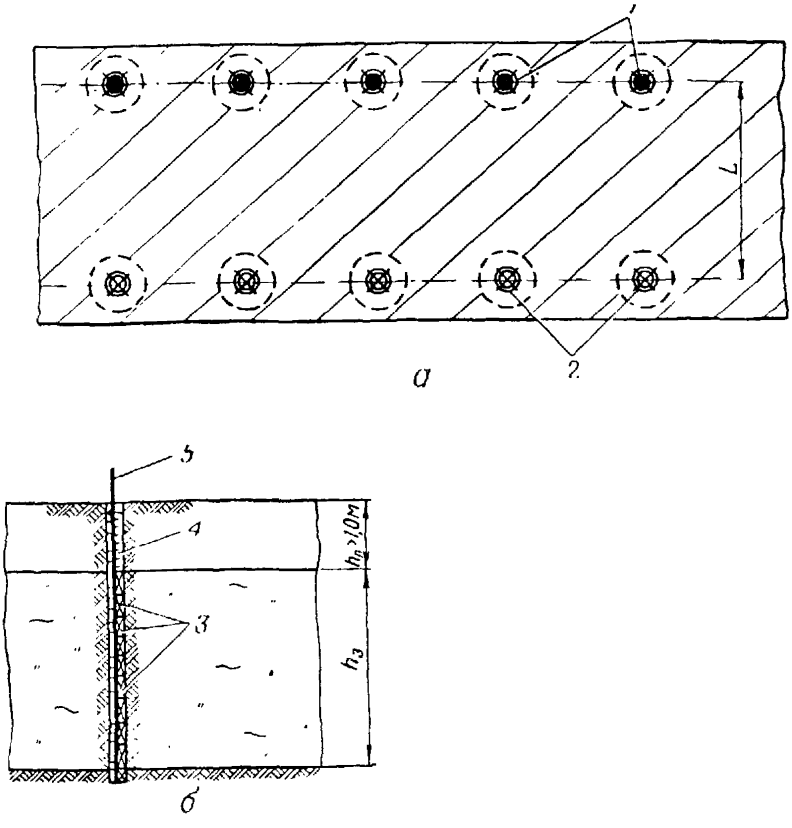


Рис. 3.5. Схема размещения зарядов в скважинах под электроды:
а — план; *б* — разрез; *1* — скважины с зарядами; *2* — контур скважины после взрыва; *3* — скважинный заряд; *4* — замок из глиняного раствора; *5* — деревянная рейка

3-15. После уточнения веса зарядов и установки их в скважины последние заполняются глиняным раствором.

3-16. При глубине скважин до 3 *м* работы по уплотнению грунтов взрывом должны производиться с поверхности без предварительного снятия растительного слоя грунта. При этом следует учитывать, что в результате воронкообразования у устьев скважин происходит разрыхление верхнего слоя грунта мощностью 0,5—1 *м*.

Толщина слоя глиняного раствора над верхним патроном скважинного заряда должна быть не менее 1—1,5 *м*.

При уплотнении слоя грунта, залегающего на глубине свыше 3 *м*, заряд должен располагаться только в пределах

уплотняемого горизонта, а толщина слоя глиняного раствора над зарядом также не должна быть меньше 1 *м*.

3-17. После монтажа электрической взрывной сети производится взрыв зарядов. При уплотнении грунта на глубине до 3 *м* взрывы должны производиться в 2—4 залпа, а при глубине более 3 *м* — все одновременно. Количество скважинных зарядов, включаемых в один залп, уточняется при проведении контрольных взрывов (см. п. 3-14), с тем чтобы исключить образование воронки или сплошного разрыхления верхних горизонтов.

3-18. После взрыва все скважины должны быть обнаружены, а устья их расчищены от завалов. При этом необходимо соблюдать повышенную осторожность, ибо в скважинах могут содержаться взрывоопасные (огнеопасные) ядовитые газы. В случае необходимости образовавшиеся скважины расчищаются и заполняются песком, грунтопесчаной или грунтощебеночной смесью, тощим бетоном или другим материалом с целью использования их в качестве набивных свай.

При отсутствии такой необходимости скважины заполняются глиняным грунтом, имеющим влажность, близкую к оптимальной. При этом должно производиться послойное уплотнение грунта ручными пневмо- или электротрамбовками, снабженными специальными наконечниками.

Б. При электролитической обработке

3-19. Работы по электролитической обработке слабых грунтов выполняются в соответствии с требованиями пп. 3-2—3-10 при соблюдении следующих дополнительных условий.

В случае применения беструбных анодов (рис. П1.3) скважины под них бурятся диаметром 70—100 *мм* на всю глубину закрепления. Пробуренные скважины засыпаются крупнозернистым песком *15*, а их устье снабжается герметизирующим кондуктором, который ввинчивается в целик из плотного грунта *11* на глубину 20—30 *см*. Затем производится погружение стержневого электрода (токовода) *3* и обжатие герметика *13* путем завинчивания гайки *2*.

При закреплении циркулярным способом в катодах вместо стержневых электродов применяются стальные толстостенные трубы диаметром 1/2′—3/4′ с перфорированной нижней частью и наконечником. При этом перфорированная нижняя часть трубы (длиной 20—30 *см*) должна об-

вертываться мелкой металлической сеткой или редкой хлопчатобумажной тканью.

3-20. В случае применения трубчатых электродов (анодов и катодов) работы по их погружению должны производиться в следующем порядке.

Сначала бурятся скважины под электроды на всю глубину закрепления диаметром, равным диаметру электродов или несколько меньшим (на 10—15 *мм*). Затем в толще целика на глубину 30—40 *см* эти скважины разбуриваются до диаметра 90—100 *мм*, равного внешнему диаметру герметизирующего кондуктора (рис. П1.6), который ввинчивается в грунт с помощью специального ключа. Через кондукторы с ослабленными гайками *3* в скважины погружаются трубчатые электроды. Погружение производится вручную или с помощью отбойного молотка. После погружения электродов на проектную глубину производится обжатие герметика *6* путем завинчивания гаек *3*.

При введении электролитов в закрепляемый грунт без избыточного давления кондукторы могут не устанавливаться, а герметизация устьев скважин производится путем втрамбовывания мятой глины с паклей в кольцевое пространство между трубчатыми электродами и стенками скважины в толще целика.

3-21. После погружения и герметизации электродов наряду с водоотводящей сетью осуществляется монтаж растворной сети из звеньев стальных труб диаметром 1—3/2′ и резиновых шлангов. При этом каждое ответвление магистрали должно снабжаться запорным вентилем на случай ее отключения от общей магистрали. Соединение распределительных участков сети с электродами должно осуществляться резиновыми патрубками длиной 0,3—0,5 *м*.

3-22. В процессе обработки грунта электрическим током в него самотеком или под естественным напором (при проходке глубоких выработок) вводятся электролиты.

При закреплении зажимным способом раствор хлористого кальция вводится в аноды. Раствор в магистраль должен подаваться из расходного бака емкостью 0,5—1 $м^3$. Продолжительность хранения приготовленного раствора не влияет на изменение его химического состава. После обработки грунта током в течение 2/3 расчетного времени подача электролита в аноды прекращается, а дальнейшая электрообработка производится с целью осушения грунта. Откачка воды из катодов должна производиться в течение всего периода закрепления. Периодическая подпитка рас-

ходного бака производится из емкости, в которой производится приготовление раствора заданной концентрации.

3-23. Приготовление раствора соли заданной концентрации должно осуществляться следующим образом. Навеска соли, составляющая примерно 1/20 часть объема смесительной емкости, растворяется в небольшом сосуде с теплой водой (40—60° С). Получившийся концентрированный раствор выливается в смесительную емкость, куда доливается холодная вода в таком количестве, при котором общий объем раствора в литрах равнялся бы двадцатикратному весу соли в килограммах. В связи с высокой гигроскопичностью хлористого кальция его хранение должно осуществляться в герметической деревянной или оцинкованной таре.

3-24. При закреплении циркуляционным способом (рис. П1.4) в аноды в первую треть расчетного периода закрепления вводится 5% раствор хлористого кальция. После этого оставшийся в расходном баке раствор сливается, а магистраль промывается водой. Во вторую треть периода закрепления в аноды вводится смесь 5% растворов алюмокалиевых квасцов и сернокислого окисного железа, смешиваемых в отношении 1 : 1. В заключительную треть периода закрепления электролиты в аноды не вводятся. В катоды в течение всего периода закрепления вводится раствор жидкого натриевого стекла плотностью γ_1 (см. пп. 2-12—2-17) или 5—10% раствор углекислого натрия Na_2CO_3. При этом для обеспечения циркуляции расходный бак *3* с раствором должен размещаться на специальной подставке выше головок катодов не менее чем на 1—1,5 *м*. Регулирование скорости циркуляции производится с помощью пробкового крана, устанавливаемого на обратной магистрали перед смесительным баком *11*. После прохождения через катоды раствора в количестве, равном объему расходного бака, из смесительного бака в резервную емкость сливается отработанный раствор в объеме X, определенном согласно п. 2-18, а в бак добавляется такое же количество высококонцентрированного катодного раствора плотностью γ_0. Полученный раствор должен иметь плотность γ_1 и насосом перекачиваться в расходный бак. Отработанный раствор в резервной емкости концентрируется электролитом плотностью γ_0 до плотности γ_1 и вновь используется.

Во избежание засорения песчаной прослойки катодов поставляемое с заводов жидкое стекло за трое суток до его употребления смешивается с небольшим количеством

воды (до плотности 1,40—1,45) и отстаивается. Перед употреблением взбалтывание и перемешивание этого раствора не допускаются.

Плотность раствора жидкого стекла или Na_2CO_3 определяется ареометрами. Приготовление анодных электролитов производится в соответствии с требованиями п. 3-16.

3-25. В процессе закрепления грунта по мере насыщения его электролитами, а следовательно, и повышения его электрической проводимости необходимо снижать напряжение до значений, при которых сила тока в общей цепи не превышала бы номинальную силу тока, указанную в паспорте источника тока.

При закреплении грунтов из забоя глубоких выработок расходные баки размещаются на поверхности, а смесительный бак (при циркуляционном способе) в забое.

В. При электросиликатизации

3-26. Работы по закреплению слабосвязных грунтов электросиликатизацией производятся в соответствии с требованиями пп. 3-2—3-13 при соблюдении следующих дополнительных условий.

В процессе обработки грунта током в аноды под расчетным избыточным давлением нагнетается однорастворная смесь из жидкого стекла, серной кислоты и сернокислого алюминия. Концентрации и соотношение компонентов, а также продолжительность нагнетания принимаются в соответствии с пп. 2-20 и 2-21. Из катодов в данный период закрепления откачивается вода.

3-27. В целях улучшения условий проникания растворов в грунт его нагнетание должно производиться сначала во внешний (от выработки) ряд. При этом верхние заглушки трубчатых электродов внутреннего ряда должны быть снятыми. Нагнетание целесообразно производить во все аноды (в пределах захватки) одновременно, если коэффициент фильтрации закрепляемого грунта выше 0,1 *м/сутки*. В противном случае необходимо производить групповое нагнетание (в 2—4 анода).

По возможности целесообразно с нагнетанием в аноды гелеобразующей смеси производить вакуумирование катодов с помощью вакуумнасоса, подключаемого к водоотводящей магистрали.

3-28. После введения в грунт расчетного количества гелеобразующей смеси (примерно через 2/3 расчетного времени закрепления) должна производиться смена полярности электродов путем переключения концов общей электрической цепи на распределительном щите. В следующую треть периода закрепления гелеобразующая смесь нагнетается во внутренний ряд электродов (бывшие катоды) без откачки воды из электродов внешнего ряда. После этого в течение примерно 1/3 общего периода закрепления производится электрообработка грунта без нагнетания электролитов и откачки воды.

При хорошем проникании гелеобразующей смеси в грунт смена полярности может не производиться, а нагнетание ведется только через электроды внешнего ряда. Факт проникания смеси через все межэлектродное пространство устанавливается по составу удаляемой из катодов жидкости.

3-29. Приготовление гелеобразующей смеси должно производиться в трех резервных емкостях. В одной из них готовится раствор жидкого стекла плотностью 1,18—1,19, в другой — раствор сернокислого алюминия, в третьей — раствор серной кислоты. Смешение всех трех компонентов в заданных пропорциях производится в смесительном баке, откуда смесь подается в расходный бак. Объем смесительного бака должен выбираться в соответствии со временем гелеобразования смеси согласно табл. 2.7 и 2.8.

В случае вынужденного прекращения нагнетания смесь должна сливаться из расходного бака, а растворная магистраль и насос промываться водой.

3-30. При расчленении прослойки переувлажненного связного грунта одной или несколькими тонкими прослойками песков, содержащих напорную подземную воду, закрепление должно производиться комбинированным способом в следующем порядке.

После погружения электродов-инъекторов и монтажа растворной сети производится нагнетание гелеобразующей смеси в соответствии с требованиями пп. 3-20—3-23, но без пропускания электрического тока. При высокой фильтрующей способности песков нагнетание должно производиться в каждый электрод-инъектор в отдельности, но вперемежку через один.

3-31. При величине водородного показателя около 7,0

перед нагнетанием смеси на основе крепителя «М» сначала производится нагнетание в грунт через электроды-инъекторы раствора соляной кислоты плотностью 1,02—1,04. Объем введенного раствора соляной кислоты должен составлять 15—20% расчетного объема пор закрепляемой песчаной прослойки. После этого производится нагнетание гелеобразующей смеси в порядке, изложенном в пп. 3-27 и 3-28.

3-32. По окончании нагнетания гелеобразующей смеси в песчаные прослойки электроды должны промываться водой (восходящим потоком) и затем проводится второй этап закрепления — электрообработка или электролитическая обработка слоя связного грунта.

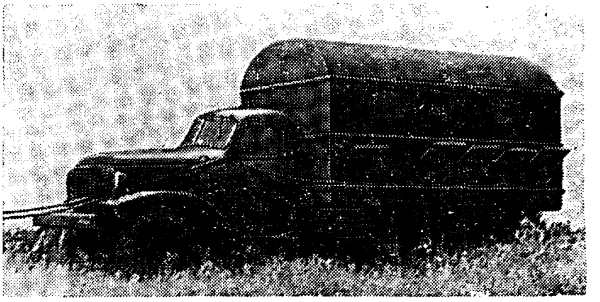


Рис. 3.6. Самоходная установка для электрохимического закрепления грунтов

3-33. Весь комплекс работ по электрохимическому закреплению грунтов может производиться при индивидуальном комплектовании необходимого оборудования на объектах или с помощью подвижной установки, специально разработанной для этих целей (рис. 3.6 и 3.7).

Примерный перечень оборудования и приспособлений, необходимых для выполнения всего комплекса работ по электрохимическому закреплению грунтов, приведен в приложении 9, а перечень материалов и ориентировочные нормы их расхода — в приложении 10.

3-34. После проверки качества и установки факта окончания процесса электрохимической обработки, а также после демонтажа электрических сетей производится извлечение электродов из закрепленного грунта с помощью дом-

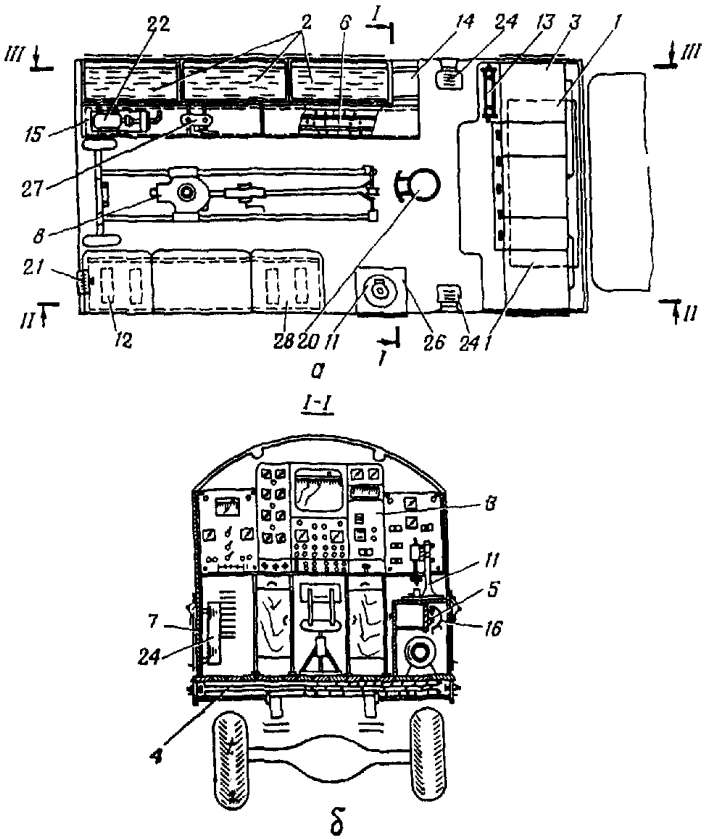
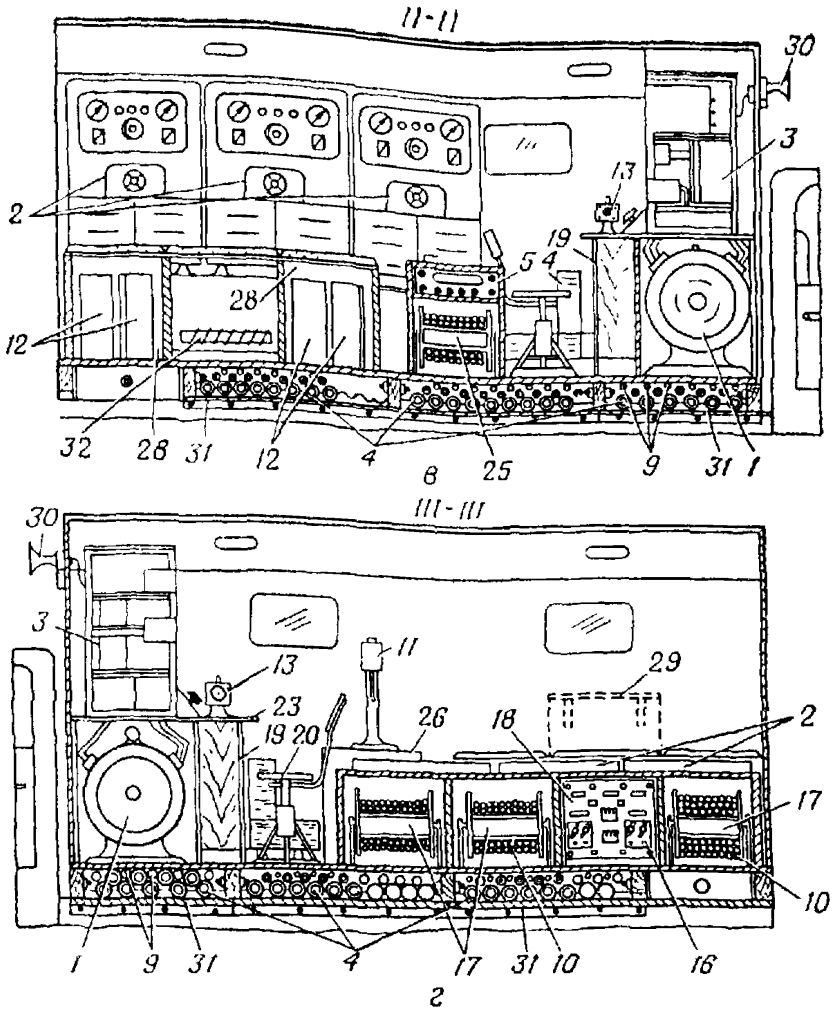


Рис. 3.7. Схема внутреннего

1 — преобразователь тока (28 *квт*); *2* — выпрямители ВС-3Б-3 (3×3 *квт*); *3* — комплект контрольных электродов; *7* — люки; *8* — буровая установка; *9* — лаборатория; *13* — электроосмометр; *14* — подставка под выпрямители; *15* — катушки распределения; *18* — распределительный щит; *19* — тумбочка; *20* — пульта ; *24* — электропечи; *25* — кабельная катушка ввода; *26* — тумба под откидной столик-сиденье; *30* — переговорное устройство; *31* — отсеки под

кратов или подъемных механизмов. В целях снижения усилий выдергивания электродов (особенно анодов при электрообработке) необходимо предварительно осуществить их «добой» средствами, применяемыми для погружения. Для этого предварительно вывинчивается зажимная гайка кондуктора, а затем и сам кондуктор.

Извлечение рабочих электродов-инъекторов и контрольных инъекторов осуществляется с помощью захвата



г

оборудования самоходной установки:

пульт управления; *4* — комплект трубчатых электродов; *5* — вводный щит; *6* — комплект стержневых электродов; *10* — кабели; *11* — пенетрометр; *12* — полевая ящик под контрольные электроды; *16* — откидные щитки; *17* — кабельные вращающийся стул; *21* — аптечка; *22* — центробежный насос; *23* — столик пенетрометр и вводный щит; *27* — ручной насос СКФ; *28* — сиденья; *29* — электроды; *32* — ящик для герметизирующих кондукторов и шлангов

(рис. 3.1), снабженного ограничителями сжимающего усилия (упорами) *6*.

Извлечение контрольных электродов-датчиков производится вручную или облегченными средствами по методике, изложенной в приложении 11.

Глава IV

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ

4-1. Контроль качества работ по электрохимическому закреплению грунтов включает:

— контроль качества изготовления электродов;

— контроль за погружением электродов;

— контроль качества компонентов электролита или гелеобразующего раствора, а также их дозировки;

— текущий контроль в процессе электрообработки и введения в закрепляемый грунт растворов;

— контроль геометрических размеров закрепленного массива и качества закрепления грунтов.

4-2. Трубчатые электроды должны изготовляться из толстостенных бесшовных труб и состоять из двух частей — рабочей и вспомогательной (см. приложение 1).

Рабочая часть электродов длиной 1,5—2,0 *м* должна снабжаться перфорациями диаметром 4—6 *мм*, располагаемыми в шахматном порядке друг от друга на расстоянии 25—30 *мм* или по винтовой линии с шагом 20 *мм*, и обвертываться сеткой с размером ячейки 0,5×0,5 *мм* или пористой тканью.

Вспомогательная (нерабочая) часть электродов должна изготавливаться из секций толстостенных бесшовных труб, внешний диаметр которых на 3—4 *мм* больше внутреннего диаметра труб рабочей части. Снаружи нерабочая часть электродов должна покрываться прочным электроизолирующим слоем из шеллака, битумной мастики или резины. Общая длина нерабочей части одного электрода определяется проектом в зависимости от глубины залегания слоя слабых горных пород и принятого способа закрепления

(с поверхности земли или из выработки). Длина отдельных секций труб, соединяемых между собой с помощью резьбовых муфт, должна быть не более 2,5 *м*.

4-3. В процессе устройства скважин и погружения электродов должны соблюдаться следующие условия.

Оси скважин или электродов должны располагаться (в плане и в разрезе участка закрепления) в соответствии с проектом, при этом отклонения не должны превышать 10% от вертикали (или заданного угла отклонения) и 5% по горизонтали от проектного расстояния между смежными электродами в ряду. Глубина погружения электродов должна превышать мощность закрепляемого слоя на 10—20 *см*.

Особое внимание при погружении должно обращаться на предохранение резьбы деталей, изолирующего покрытия и клемм от повреждения. При электролитической обработке и электросиликатизации, кроме того, проверяется надежность герметизации устьев скважин у анодов (или у всех электродов).

4-4. В процессе подготовки электролитов или гелеобразующих растворов контролируется соответствие компонентов требованиям ГОСТ, а также их концентрация и количественное соотношение в общем объеме смеси.

При электролитической обработке концентрация электролитов и их объемное соотношение должны соответствовать указанным в табл. 4.1, а при электросиликатизации — в табл. 2.7 и 2.8 в зависимости от принятой рецептуры.

Концентрация растворов компонентов определяется ареометром.

Таблица 4.1

Концентрация растворов в % / Плотность в *г/см*³			Объемное соотношение в частях		
$CaCl_2$	$KAl(SO_4)_2$	$Fe_2(SO_4)_3$	$CaCl_2$	$KAl(SO_4)_2$	$Fe_2(SO_4)_3$
5 / 1,019	5,0 / 1,018	5,0 / 1,017	—	1	1

Растворы компонентов смеси должны готовиться и храниться в отдельных емкостях, а их смешение допускается непосредственно перед употреблением. При этом объем смеси $KAl(SO_4)_2+Fe_2(SO_4)_3$ не должен превышать суточного расхода, а объем смеси компонентов гелеобразующего

раствора (при электросиликатизации) назначается в зависимости от фильтрующей способности горных пород, но не более двухчасового расхода.

4-5. В процессе обработки грунта током и введения в него растворов необходимо осуществлять контроль за соблюдением следующих условий.

При электрообработке и электролитической обработке

4-6. Напряжение постоянного электрического тока в цепи в течение всего периода электрообработки должно быть таким, при котором его градиент в межэлектродном пространстве (по линии, соединяющей центры двух разнополярных электродов) будет находиться в пределах 0,7—2,0 *в/см*, а плотность тока (по осевой плоскости цилиндрической стенки) — 1—5 $а/м^2$; при этом регистрация параметров электрического тока должна производиться не реже трех раз в сутки.

Продолжительность электрообработки закрепляемых горных пород должна соответствовать проектной, а при отсутствии указаний в проекте должна назначаться из расчета расхода 80—100 *квт·ч* электроэнергии на 1 $м^3$ закрепленной породы, при электролитической обработке — 60—80 $квт \cdot ч/м^3$, а при электросиликатизации — 40—60 $квт \cdot ч/м^3$.

4-7. Все электроды должны иметь одинаковую токовую нагрузку, равную $j = \frac{I_0}{nh_э}$, где I_0 — общая сила тока в цепи, n — количество пар электродов (или количество анодов), параллельно подключенных к источнику тока. Отклонения токовой нагрузки электродов от средней ($j_{ср}$) не должны превышать 15%. В противном случае должны выявляться и устраняться причины возникновения большого электрического сопротивления в цепи.

Величина токовой нагрузки должна определяться амперметром не реже одного раза в сутки путем последовательного его включения в цепь каждого анода.

4-8. Введение в грунт электролитов должно производиться в соответствии с требованиями пп. 3-15—3-27. Контроль за степенью насыщения грунта электролитами или его осушением должен осуществляться по методике, изложенной в приложении 11.

4-9. Параметры электрического тока и величина токовой нагрузки должны быть такими же, как и при электролитической обработке.

Продолжительность электрообработки должна назначаться из расчета расхода 40—60 *квт·ч* электроэнергии на 1 $м^3$ закрепленной породы.

Гелеобразующие растворы должны вводиться в грунт под давлением, превышающим гидростатический напор подземных вод на 2—3 *ат*, в последовательности, указанной в пп. 3-21, 3-22.

4-10. Качество закрепления грунта определяется бурением контрольных скважин с анализом кернов и испытанием образцов закрепленного грунта, а при отсутствии соответствующей буровой установки — анализом и испытанием образцов закрепленного грунта, полученных с различных горизонтов с помощью разъемной трубчатой обоймы или при отрывке шурфов. Все мероприятия по контролю качества закрепления грунтов электролитической обработкой и электросиликатизацией должны выполняться не ранее чем через двое суток после окончания процесса закрепления.

4-11. Контрольные скважины должны располагаться между электродами в рядах в межэлектродном пространстве по границе цилиндрической стенки, а также у электродов, токовая нагрузка которых в процессе электрообработки была менее допустимой. Кроме того, при электросиликатизации контрольные скважины должны располагаться по двум окружностям, смещенным от расчетных границ стенки на 0,25—0,30 ее расчетной величины (рис. 4.1). Общее количество контрольных скважин должно составлять не менее 20% числа пар электродов.

Из кернов, полученных при бурении контрольных скважин, отбираются образцы закрепленного грунта в виде кубиков 7×7×7 *см* или цилиндров диаметром 32—70 *мм*, которые подвергаются испытанию в строительной лаборатории обычным или ускоренным способом (пенетрацией). Методика испытания образцов закрепленного грунта совмещенным способом изложена в приложении 12.

4-12. Отбор образцов закрепленного грунта с помощью разъемной обоймы должен производиться через каждые 50 *см* закрепляемого слоя, но не менее чем из трех горизонтов. Порядок отбора проб следующий.

Обойма в собранном виде погружается в грунт до закрепленного горизонта и после поворачивания ее вокруг продольной оси извлекается. Извлеченная обойма разбирается и освобождается от породного цилиндра. Затем, после смазки внутренних стенок техническим вазелином, она вновь собирается и погружается в толщу закрепленного грунта на всю глубину захватки.

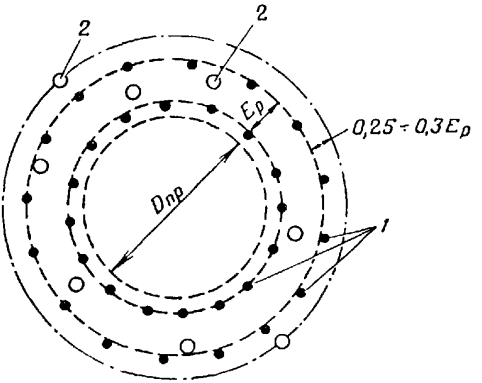


Рис. 4.1. Схема размещения контрольных скважин:
1 — электроды; *2* — контрольные скважины

После извлечения и разборки обоймы из керна закрепленного грунта отбираются образцы через каждые 50 *см* длины.

При закреплении переувлажненных супесчаных и пылеватых грунтов, обладающих большой подвижностью и гидростатическим напором, разъемные обоймы при отборе проб закрепленного грунта не должны выходить за границы защитной стенки.

4-13. Результаты всех видов контрольных испытаний (включая испытания образцов закрепленного грунта) должны оформляться соответствующими актами. Кроме того, по данным испытаний должны вычерчиваться план и разрез закрепленной стенки с указанием фактических ее размеров и конфигурации.

4-14. После завершения контроля качества закрепления грунтов (при проходке глубоких выработок) и получения положительных результатов производится извлечение элек-

тродов и окончательная приемка работ, заключающаяся в проверке всех журналов работ и актов испытания.

4-15. В процессе электрохимического закрепления грунтов должны оформляться следующие документы:

— журнал уточнения гидрогеологических условий с указанием мест отбора проб;

— план фактического расположения электродов на участке закрепления с условным обозначением типа электродов (катод, анод) и расстояний между ними;

— развертка вертикального разреза участка закрепления с указанием фактического положения осей электродов и глубины их погружения;

— журнал электрообработки грунта и введения в него электролитов (см. приложение 13);

— схема расположения контрольных скважин с указанием способа отбора проб закрепленного грунта;

— план и осевой разрез стенки закрепленного грунта с указанием фактических размеров и конфигурации;

— акты испытаний материалов и грунтов до и после их закрепления.

4-16. Результаты проверки исполнительной документации должны оформляться актом, в котором наряду с оценкой качества работ по электрохимическому закреплению устанавливается возможность начала проходки в толще закрепленных грунтов. Кроме того, в акте должны указываться мероприятия по устранению дефектов закрепления в процессе проходки.

При выполнении работ по электрохимическому закреплению в две захватки (по глубине выработки) приемке подлежит каждая захватка в отдельности.

Глава V

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ЗАКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ

5-1. Процесс электрохимического закрепления грунтов связан с применением электрического тока высокого напряжения (до 120 *в*) и токопроводящих материалов, поэтому строгое соблюдение правил техники безопасности является первейшей обязанностью каждого рабочего и руководителя, связанного с выполнением этого процесса.

5-2. При работах по уточнению гидрогеологических условий и погружению электродов особое внимание нужно обращать, чтобы никто не находился под вибропогружателем в процессе его работы и перестановки. Всевозможные поддержки электродов и разъемной обоймы должны производиться с помощью клещей или других приспособлений. Если для погружения электродов применяются электровибраторы, то их корпуса должны быть заземлены.

5-3. При приготовлении электролитов и их нагнетании в закрепляемый грунт должны соблюдаться следующие правила техники безопасности. Растворы должны готовиться на открытых обособленных площадках или в отдельных помещениях, оснащенных принудительной вентиляцией. Особое внимание должно обращаться на тщательность хранения концентрированных кислот (серной и соляной) и на порядок их разбавления. Все работы, связанные с разбавлением кислот до рабочих концентраций, должны производиться в резиновой спецодежде и защитных очках. Рабочие концентрации соляной и серной кислот (при $\gamma=1{,}03$ и $1{,}06$) являются безопасными для открытых участков кожи и слизистой оболочки глаз. Однако в случае попадания даже разбавленных кислот на обнаженную часть

тела и особенно в глаза необходимо срочно и обильно промыть их чистой водой из неприкосновенного запаса, который должен находиться вблизи места работы.

На месте работ должен храниться раствор питьевой соды для обмыва участков кожи при попадании на них кислот.

Перед нагнетанием растворов в грунт тщательно проверить надежность соединений магистралей и места подсоединения их к насосам.

5-4. В процессе обработки грунта постоянным электрическим током должны соблюдаться следующие правила техники безопасности.

К работам, связанным с обработкой грунта постоянным током, должны допускаться лица соответствующей квалификации и прошедшие специальный инструктаж.

Вся электроаппаратура, источники постоянного тока и распределительный щит должны располагаться в закрытом помещении или под навесом вблизи места работ. При проходке глубоких выработок в их забое должна быть установлена звуковая или иная сигнализация для связи с оператором, располагающимся у распределительного щита.

Питающая электросеть должна располагаться на площадке таким образом, чтобы исключался случайный ее обрыв в процессе работы людей и механизмов. При этом прокладка кабеля может быть воздушной и наземной (в мелких траншеях, прикрытых дощатыми настилами или кирпичом). В питающую электросеть обязательно (в каждую фазу) должны устанавливаться плавкие предохранители типа ПН-2/200.

Рубильник на распределительном щите должен располагаться под кожухом, при этом включение его не ответственными за это лицами должно быть исключено. Положение рубильника должно сигнализироваться надписями и электролампами.

Места соединений электрокабелей и проводов должны изолироваться патрубками из резиновых шлангов и изоляционной лентой.

Работы, связанные с введением в грунт электролитов или с откачкой воды из катодов, должны выполняться не менее чем двумя рабочими в резиновых сапогах и перчатках при отключенном источнике постоянного тока.

5-5. Определение токовой нагрузки должно производиться электриком в присутствии дублера, имеющего непрерывную зрительную и звуковую связь с оператором, находящимся у рубильника или пульта управления.

5-6. При работах в глубоких выработках на поверхности у ее устья должен постоянно находиться дежурный для дублирования необходимых команд работающих в забое, экстренного отключения тока и оказания помощи (в случае необходимости). Кроме того, около выработки должен постоянно находиться подъемный механизм в рабочем состоянии для подачи и подъема необходимых материалов, а также (при поражении током или травмах) экстренного подъема людей на специальных лестницах или в бадье.

Все работы по закреплению (после включения тока) должны выполняться с деревянного настила, располагающегося в центральной части забоя.

5-7. Участок, на котором производятся работы по электрохимическому закреплению грунтов, включая навес с электроагрегатами и передвижную электростанцию (или самоходную установку), должен иметь надежное проволочное ограждение, исключающее случайный проход на захватки людей и животных. На ограждении через 3—4 *м* должны располагаться броские предупреждающие щиты, например: «Стой! Смертельно!» и т. д.

В темное время суток весь участок работ должен освещаться прожектором или серией электроламп, располагаемыми по периметру участка.

5-8. При взрывоэлектрическом способе уплотнения грунтов наряду с перечисленным выше должны соблюдаться все правила техники безопасности, предусмотренные специальными указаниями по производству буровзрывных работ (например, ТП 70С).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

СУЩНОСТЬ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ И ЕГО РАЗНОВИДНОСТЕЙ

Электрохимическое закрепление является одним из перспективных мероприятий, направленных на улучшение физико-механических свойств слабых водонасыщенных грунтов, обладающих низкой фильтрующей способностью ($К_ф < 0{,}5$ *м/сутки*). Для закрепления таких грунтов из числа существующих специальных способов могут применяться искусственное замораживание, термическая обработка и электроспекание. Однако по трудоемкости, стоимости работ и энергоемкости эти способы менее выгодны, чем электрохимический, особенно если закреплению подлежат слабо напорные горизонты (до 2,0 *кгс/см*^{2}), а требуемая прочность закрепленного грунта не превышает 6—10 *кгс/см*^{2}.

В зависимости от типа переувлажненного связного грунта и его фильтрующей способности (см. П1-3) применяются три разновидности электрохимического способа: электрообработка, электролитическая обработка или электросиликатизация.

Электрообработка (рис. П1.1) заключается в том, что через закрепляемый объем грунта пропускается определенное количество электричества от источника постоянного тока, под воздействием которого происходит улучшение физико-механических свойств связных грунтов (тяжелых суглинков и глин). Передача электроэнергии от источника тока в грунт осуществляется с помощью стальных круглых электродов, погружаемых в закрепляемый грунт в определенном порядке. При этом одна часть электродов (аноды) соединяется с положительным полюсом источника тока, а другая часть (катоды) — с отрицательным полюсом. В процессе обработки грунта током наряду с упрочнением (до 4—6 *кгс/см*^{2}) происходит его осушение за счет перемеще-

ния грунтовой воды от анодов к катодам (т. е. происходит явление электроосмоса). Для сбора и удаления воды катоды выполняются трубчатой формы с перфорированной боковой поверхностью.

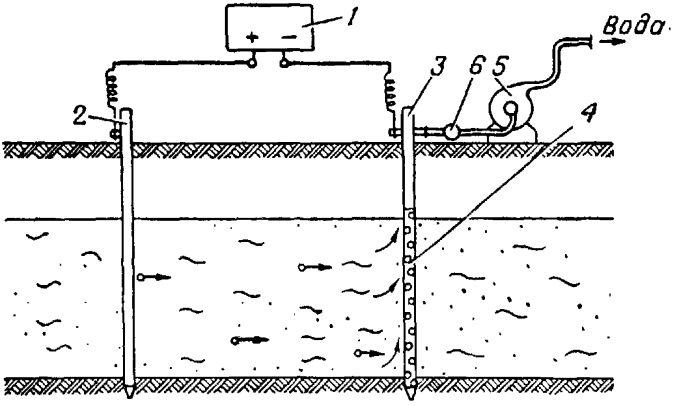


Рис. П1.1. Схема электрообработки:
1 — источник постоянного тока; *2* — стержневой анод; *3* — трубчатый катод; *4* — перфорации; *5* — вакуум-насос; *6* — коллектор (водоотводящая сеть)

Расход электроэнергии на закрепление 1 $м^3$ грунта составляет от 60 до 200 *квт·ч*. Наибольшая прочность (до 6—8 $кгс/см^2$) и степень осушения достигается в анодной зоне, а наилучшая водостойкость закрепленного грунта — в катодной.

Средняя зона по этим показателям занимает промежуточное значение.

Электрообработка грунта может производиться в качестве самостоятельного мероприятия с целью улучшения физико-механических свойств связных грунтов (укрепление оползающих откосов, насыпей и выемок, увеличение несущей способности свай, электроосмотическое осушение и т. п.), а также в качестве составной части комплексных методов стабилизации или повышения плотности и прочности слабых грунтов (при уплотнении оснований статической, динамической нагрузкой или взрывом).

Так, например, повышение плотности переувлажненных связных грунтов ненарушенной структуры производится механоэлектрическим способом, сущность которого заключается в следующем. Сначала осуществляется электрообработка на всю глубину уплотнения слабого грунта. В хо-

де электрообработки и после ее окончания производится уплотнение грунта в наиболее осушенных к этому времени зонах межэлектродного пространства. Параметры уплотнения грунта в процессе электрообработки под действием внешней статической и динамической нагрузки определяются по п. 2-8, а технология производства работ по п. 3-11.

Уплотнение переувлажненных связных грунтов, залегающих на глубине свыше 2,0 *м*, практически не эффективно с применением механических средств. Эта задача может быть решена сочетанием электрообработки со скважинными взрывами.

Сущность взрывоэлектрического способа улучшения физико-механических свойств грунтов заключается в следующем. Сначала производится электрообработка слоя переувлажненного связного грунта в пределах захватки. После снижения его влажности на требуемую величину (при которой может быть достигнута заданная плотность) электроды извлекаются, а в оставшиеся скважины погружаются удлиненные заряды. В результате одновременного взрыва скважинных зарядов на всей захватке достигается уплотнение грунта до заданной величины.

Кроме того, образующиеся скважины, будучи заполненными песком или тощим бетоном, обеспечивают дополнительную несущую способность основанию. Методика расчета основных параметров уплотнения переувлажненных связных грунтов электрообработкой и взрывом изложена в п. 2-9, а технология производства работ в пп. 3-12—3-18. При использовании данного способа целесообразно размещать электроды по таким схемам (см. табл. 2.1), при которых достигается наибольший объем анодной зоны (сотовая, многорядная прямая, многорядная со сдвоенными анодными рядами).

Электролитическая обработка заключается в том, что одновременно с пропусканием через закрепляемый объем грунта постоянного электрического тока через электроды (аноды или аноды и катоды одновременно) в грунт вводятся растворы солей определенного состава (электролиты).

Одновременно из катодов удаляется электроосмотически выделяющаяся вода. Проникание растворов в грунт происходит за счет воздействия электрического тока.

В зависимости от способа введения в грунт электролитов электролитическая обработка подразделяется на две разновидности: зажимной способ и циркуляционный.

Зажимной способ (рис. П1.2) заключается в том, что в процессе пропускания через грунт постоянного электрического тока в трубчатые перфорированные аноды вводится 2—5% раствор хлористого кальция, а из катодов откачивается вода.

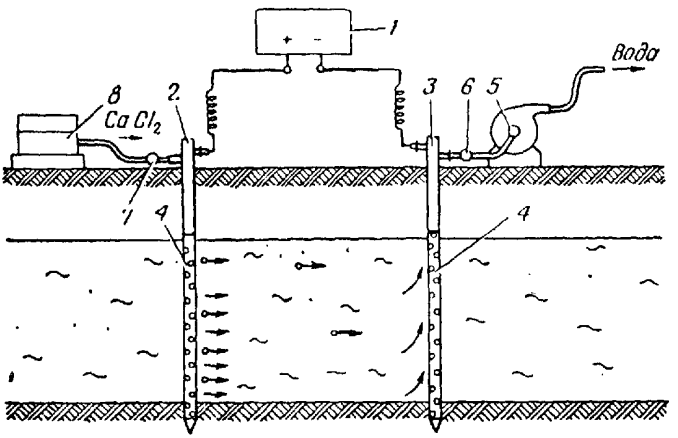


Рис. П1.2. Схема зажимного способа:
1 — источник постоянного тока; *2* — герметизирующий кондуктор; *3* — трубчатые электроды; *4* — перфорации; *5* — вакуум-насос; *6* — водоотводящая сеть; *7* — растворная сеть; *8* — емкость для раствора

Ввиду большой «растворимости» металлических трубчатых анодов при электролитической обработке целесообразно применять беструбные электроды (рис. П1.3), в конструкцию которых входят: скважина *14* диаметром 70—100 *мм*, засыпаемая среднезернистым песком *15*, токовод *3* из круглой или профильной стали, снабженный клеммой, кондуктор, с помощью которого достигается герметизация устья скважин и представляется возможность введения через патрубок анодного электролита под некоторым избыточным давлением. В связи с тем, что пористость песчаной засыпки в 3—4 раза превышает степень перфорации рабочей части трубчатых электродов, а так же ввиду того, что улучшаются условия проникновения электролита в грунт, применение беструбных электродов обеспечивает лучшее качество закрепления и вдвое снижает потребность в толстостенных бесшовных трубах.

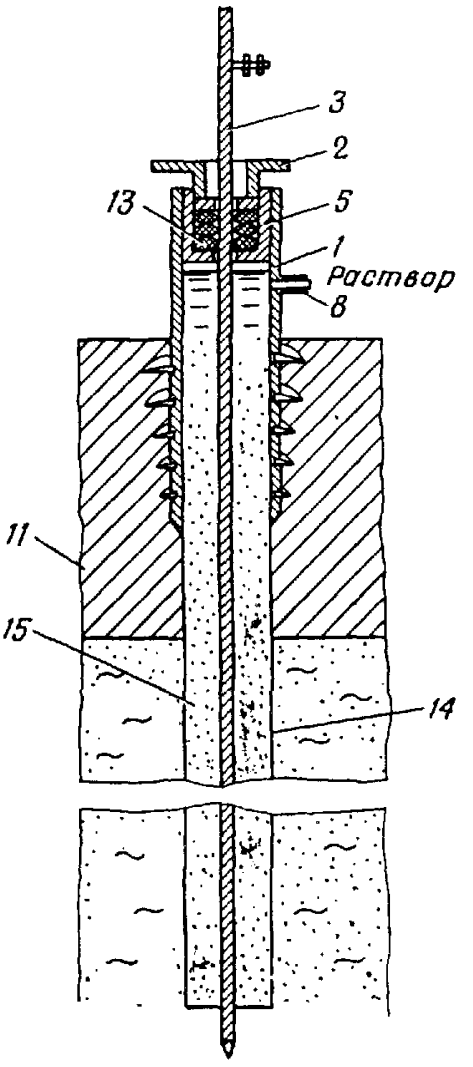


Рис. П1.3. Беструбный анод:

1 — корпус; *2* — гайка; *3* — токовод; *5* — втулка; *8* — патрубок; *11* — плотный грунт; *13* — герметик; *14* — скважина; *15* — песчаная засыпка

Циркуляционный способ (рис. П1.4) заключается в следующем.

В процессе пропускания через закрепляемый грунт постоянного электрического тока в электроды вводятся анодный (в аноды) и катодный (в катоды) электролиты.

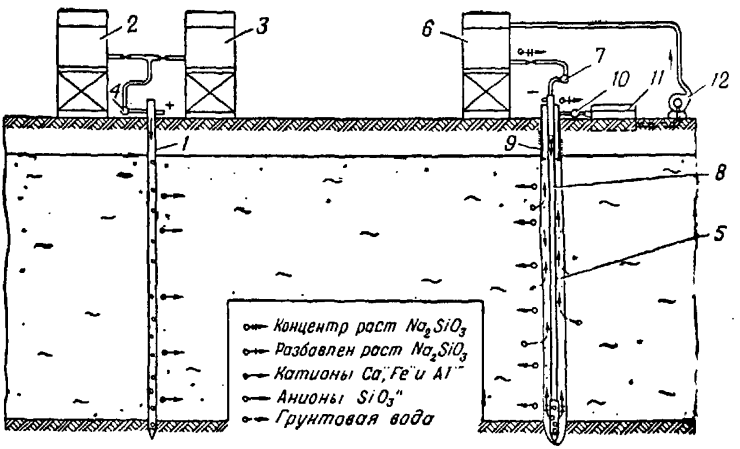


Рис. П1.4. Схема циркулярного способа:

1 — анод; *2, 3* — расходные баки; *4, 7* — распределители; *5* — песчаная засыпка; *6* — расходный бак для жидкого стекла; *8* — катодная труба; *9* — герметизирующий кондуктор; *10* — коллектор; *11* — смесительный бак; *12* — насос

В качестве анодного электролита применяется 5% раствор хлористого кальция и смесь 5% растворов алюмокалиевых квасцов [$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$] и сернокислого окисного железа [$Fe_2(SO_4)_3$]. При этом раствор хлористого кальция вводится в первую треть времени закрепления, а смесь растворов квасцов и железа во вторую треть. В заключительную треть времени закрепления в аноды растворы не вводятся.

В качестве катодного раствора применяется раствор жидкого стекла или углекислого натрия Na_2CO_3 и каустической соды NaOH. При этом катодный раствор вводится в течение всего периода закрепления. Одновременно с введением в катоды электролита производится удаление из них электроосмотически выделяющейся воды. Совмещение двух противоположно направленных процессов достигается благодаря применению специальной конструкции катодов (рис. П1.4).

Концентрированный раствор электролита из расходного бака *6*, через распределитель *7* и катодную трубу *8* поступает в песчаную засыпку *5* и, поднимаясь вверх, увлекает выделяющуюся из грунта воду на поверхность. Далее разбавленный электролит через коллектор *10* попадает в смесительный бак *11*, где смешивается с высококонцентрированным электролитом в необходимых количествах, и насосом *12* подается в расходный бак *6*, т. е. катодный раствор в процессе закрепления непрерывно циркулирует по замкнутому контуру. Расчет параметров катодного раствора осуществляется согласно пп. 2-12—2-18.

Циркуляционный способ обеспечивает более высокое и равномерное закрепление грунта во всем межэлектродном пространстве. При электролитической обработке грунта благодаря введению в него растворов солей под действием постоянного электрического тока достигается упрочнение *слабо связных грунтов* (супесей и суглинков) до 4—8 *кгс/см*^{2} и повышение их водостойкости. При электролитической обработке расход электроэнергии на закрепление 1 *м*^{3} грунта составляет 30—60 *квт·ч*, а минеральных солей 2—5 *кг*.

Электросиликатизация заключается в том, что одновременно с пропусканием через закрепляемый объем грунта постоянного электрического тока через трубчатые перфорированные электроды-инъекторы в него под определенным избыточным давлением нагнетается однорастворная гелеобразующая смесь на основе жидкого стекла (силиката натрия) или карбомидной смолы (крепитель «М»). Одновременно из катодов удаляется вытесняемая из грунта давлением смеси и электрическим током грунтовая вода.

В результате коагуляции гелеобразующей смеси и воздействия на нее постоянного электрического тока достигается упрочнение песчаного или супесчаного грунта до 5—12 *кгс/см*^{2} и снижение его водопроницаемости.

Электроды-инъекторы (рис. П1.5) выполнены составными из трех секций — верхней *3*, рабочей *8* и наконечника *11*. На верхней (головной) секции, снабженной пробкой *1*, закреплены клемма *10* и патрубок *5* с заглушкой *6*. В целях исключения образования наклепа на заглушке и нарушения резьбы при погружении электродов на головной секции закреплен упорный венчик *4*, на который устанавливается бугель. Рабочие секции изготавливаются трех

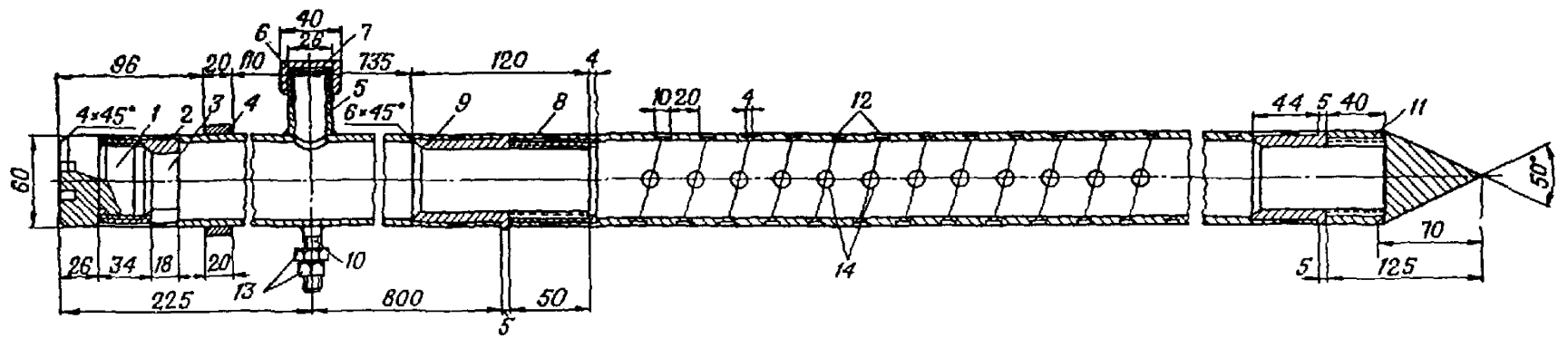


Рис. П1.5. Электрод-инъектор:

1 — пробка; *2* — втулка; *3* — головная секция; *4* — упорный венчик; *5* — патрубок; *6* — заглушка; *7* — прокладка; *8* — рабочая секция; *9* — ниппель; *10* — клемма; *11* — наконечник; *12* — винтовая выточка; *13* — гайки; *14* — перфорации

типов длиной 0,5; 1,0 и 1,5 *м*. Боковая поверхность рабочих секций перфорирована отверстиями диаметром 3—4 *мм*, располагаемыми в пределах винтовой выточки. Винтовая выточка необходима для размещения в ней ленты из бязи, защищающей отверстия от заиливания. Тип и количество собранных секций обусловливается мощностью закрепляемого горизонта.

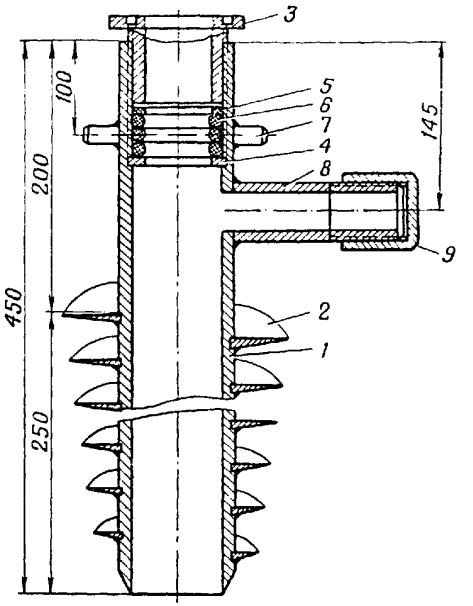
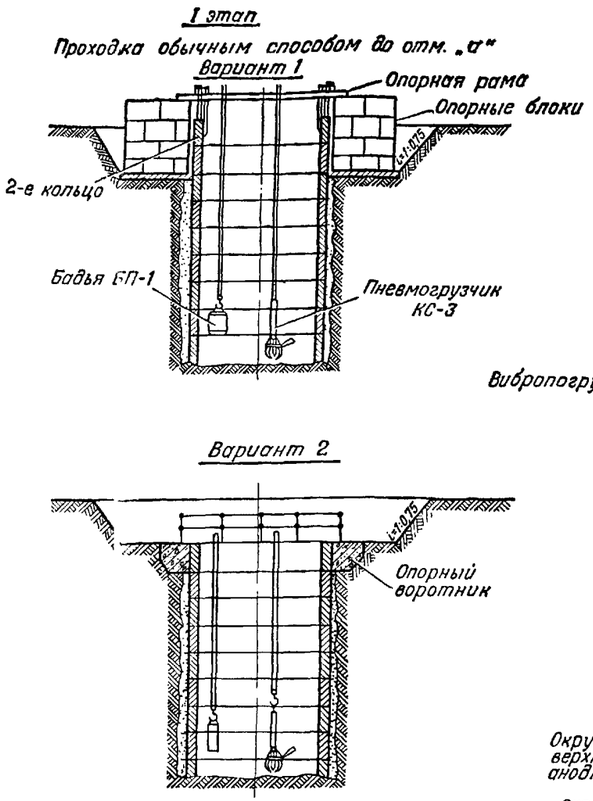
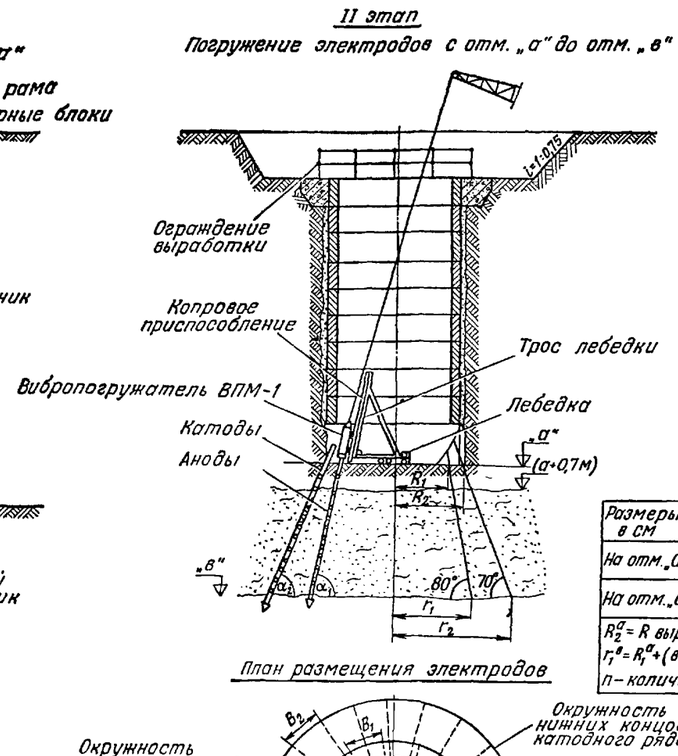


Рис. П1.6. Герметизирующий кондуктор:
1 — корпус; *2* — винтовая плоскость; *3* — гайка; *4* — упор; *5* — шайба; *6* — герметик; *7* — штифт; *8* — патрубок; *9* — заглушка

В целях исключения прорыва раствора на поверхность вдоль образующей электродов-инъекторов применяется специальное устройство. Это устройство выполнено двух типов: для случая применения трубчатых электродов-инъекторов и для случая применения стержневых электродов и беструбных анодов при электролитической обработке. Ос-

Типовая технологическая карта на проходку вертикальной выработки с применением электрохимического закрепления





План размещения электродов

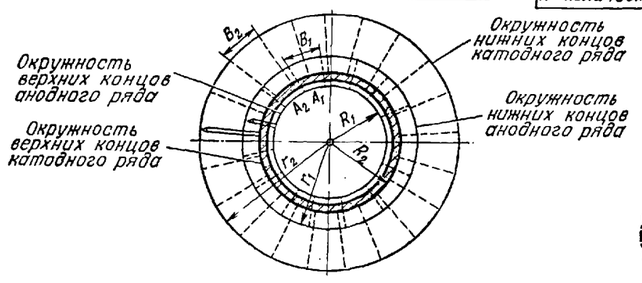
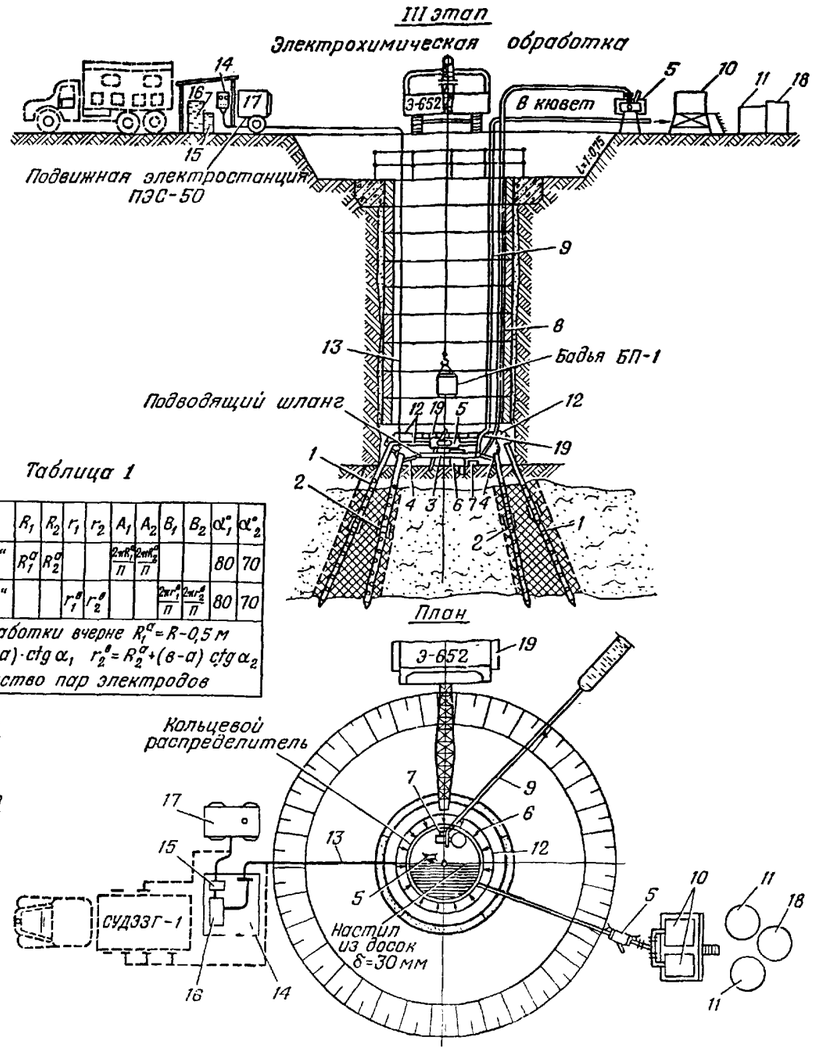


Таблица 1

Размеры в см	R_1	R_2	r_1	r_2	A_1	A_2	B_1	B_2	α_1°	α_2°
На отм. „а"	R_1^a	R_2^a			$\frac{2\pi R_1^a}{n}$	$\frac{2\pi R_2^a}{n}$			80	70
На отм. „в"			$r_1^в$	$r_2^в$			$\frac{2\pi r_1^в}{n}$	$\frac{2\pi r_2^в}{n}$	80	70

$R_2^a = R$ выработки вчерне $R_1^a = R - 0{,}5$ м
$r_1^в = R_1^a + (в-а)\cdot ctg\,\alpha_1$ $r_2^в = R_2^a + (в-а)\,ctg\,\alpha_2$
n – количество пар электродов



Экспликация оборудования

Обозначение на рисунке	Наименование оборудования	Единица измерения	Количество
1	Катодный ряд электродов l = 6 м, ⌀60 мм	шт.	21
2	Анодный ряд электродов l = 6 м, ⌀60 мм	„	15
3	Кольцевой распределитель ⌀28 м из труб 1"	„	1
4	Соединительные шланги ⌀1/2", l = 1,5 м	„	21
5	Ручной насос СКФ-4 (нержав. вариант)	„	2
6	Водосборная емкость V = 0,5 м³	„	1
7	Самовсасывающий центробежный насос СУВ-15	„	1
8	Труба для подвода электролита ⌀1"	пог. м	150
9	Труба для отвода воды ⌀1"	„	150
10	Емкость для раствора V = 1—1,5 м³	шт.	2
11	Емкость для приготовления раствора V = 1 м³	„	2
12	Электропровода АПР-500 S = = 5 мм²	пог. м	70
13	Электрокабель резиновый ПРГД S = 20 мм²	„	50
14	Электрораспределительный щит *	шт.	1
15	Реостат на 200а *	„	1
16	Выпрямитель ВСС-300*	„	1
17	Подвижная электростанция ПЭС-50	„	1
18	Емкость для чистой воды V=1 м³	„	1
19	Настил из досок δ = 30 мм		

* При наличии самоходной установки СУДЭЗГ-1 данное оборудование не требуется.

Указания по выполнению работ I этапа

1. Проходка выработки с отм. «0.00» до отм. «—*а*» осуществляется обычным способом без временной крепи с одновременным монтажом железобетонных блоков силовой крепи. При этом подвеска 2-го и 3-го колец силовой крепи производится к опорной раме, установленной на блоки корпуса «Н» (вариант 1), или к временному железобетонному воротнику (вариант 2).

2. С отм. «—*а*», превышающей уровень залегания прослойки слабой породы на 0,5—0,7 *м*, производится уточнение гидрогеологических условий до отм. «—*в*» путем отбора и анализа образцов грунта с помощью бурового инструмента (например, установки для поискового бурения типа УПБ-25) или разъемной обоймы. Отбор проб производится не менее чем в трех точках. Образцы грунта используются также для определения удельного электрического сопротивления и коэффициента электроосмоса.

Указания по выполнению работ II этапа

1. Электроды-инъекторы размещаются по двум концентрическим окружностям в соотвествии с данными табл. 1.

2. До начала погружения производится разметка мест положения электродов и обозначение их путем забивки деревянных колышков ⌀ 50—70 *мм*. При этом устья внешнего ряда электродов должны располагаться у стенки выработки.

3. Погружение электродов производится вибропогружателем ВПМ-1 с использованием инвентарного кондуктора, позволяющего придавать электродам наклон 80 и 70°.

4. Работы по погружению электродов выполняются в следующем порядке:

— с помощью стальной свайки ⌀ 70 *мм* устраиваются скважины до отм. «*а*+0,3 *м*»;

— в скважины поочередно устанавливаются электроды и заводятся в направляющую трубу кондуктора;

— устанавливается вибропогружатель на наголовник электрода;

— производится вибропогружение электрода до отм. «*в*»; при этом патрубки всех электродов должны быть направлены к оси выработки;

— производится подъем вибропогружателя и перестановка кондуктора;

— для поддержания вибропогружателя можно использовать кран Э-652.

5. При наличии буровой установки сначала бурятся скважины ⌀ 50—60 *мм* под электроды согласно данным табл. 1. Затем в скважины погружаются электроды пневмомолотками. Скважины также могут устраиваться с помощью разъемной обоймы.

Таблица 2

Электрическая схема

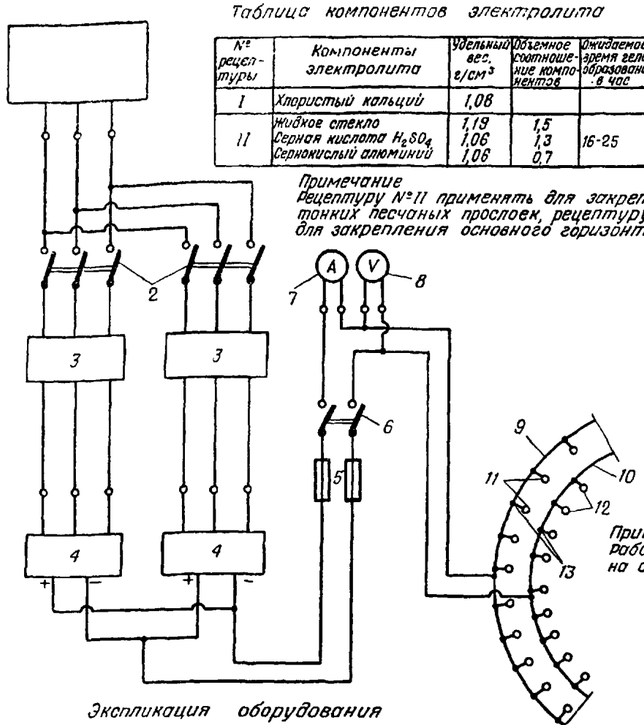


Таблица компонентов электролита

№ рецептуры	Компоненты электролита	Удельный вес, г/см³	Объемное соотношение компонентов	Ожидаемое время гелеобразования, в час	Расход на 1 м³ грунта, кг
I	Хлористый кальций	1,08			8
II	Жидкое стекло	1,19	1,5	16-25	80
	Серная кислота H_2SO_4	1,06	1,3		5
	Сернокислый алюминий	1,06	0,7		5

Примечание
Рецептуру №II применять для закрепления тонких песчаных прослоек, рецептуру №I – для закрепления основного горизонта суглинка

Экспликация оборудования

Обозначение на схеме	Наименование	Колич.	Обозначение на схеме	Наименование	Колич.
-	Передвижная электростанция	1	7	Амперметр на 400 А	1
2	3-х полюсный рубильник	1	8	Вольтметр на 220 в	1
3	Реостат	1	9	Коллектор катодного ряда	1
4	Выпрямитель ВСР-300	1÷2	10	Распределитель анодного ряда	1
5	Плавкие предохранители	2	11	Катоды	21
6	2-х полюсный рубильник	1	12	Аноды	15
			13	Подводки к электродам	36

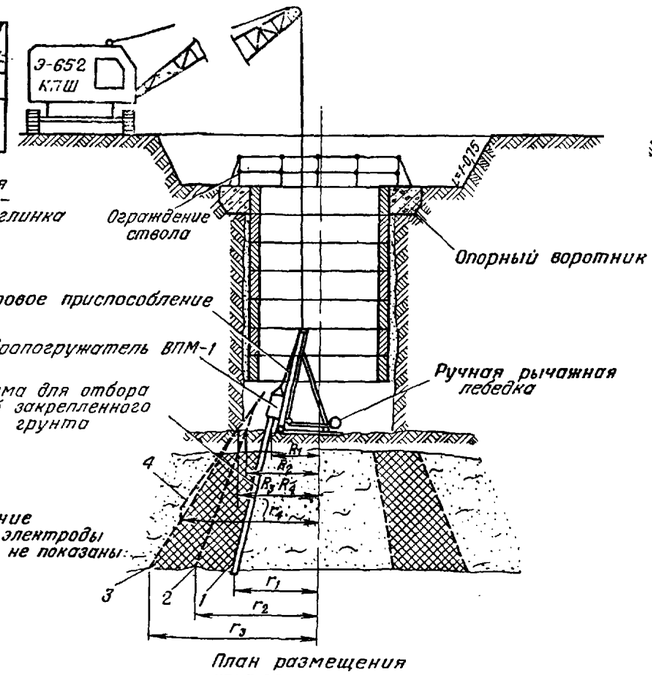
Таблица 3

Таблица радиусов окружностей контрольных скважин

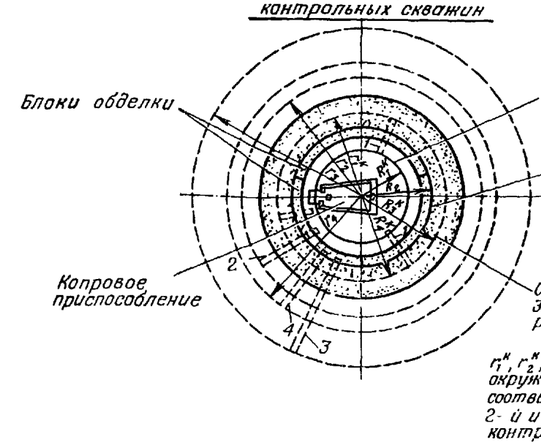
Радиусы окружностей, м	1	2	3	4
Устья $R_i^к$	$R_1^а$	$R_2^а$	$R_2^а$	$R_2^а$
Забоя $r_i^к$	$r_1^в$	$\frac{r_1^а + r_2^а}{2}$	$r_2^в$	$r_2^в + 0{,}3$

Обозначения согласно листу 1

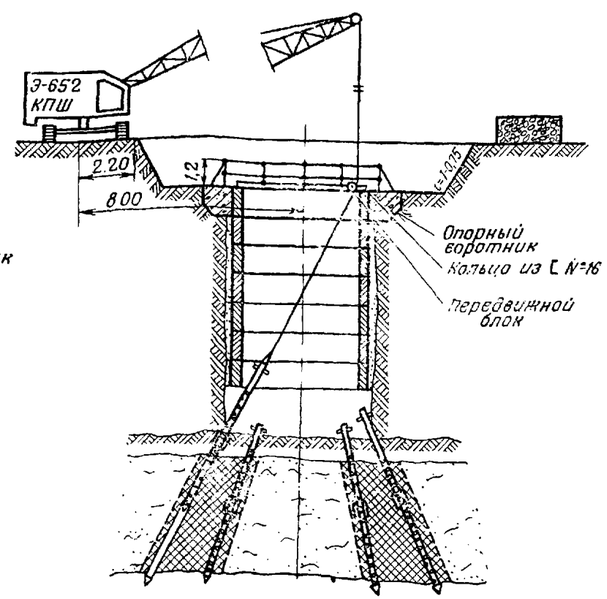
IV этап
Контроль качества закрепления



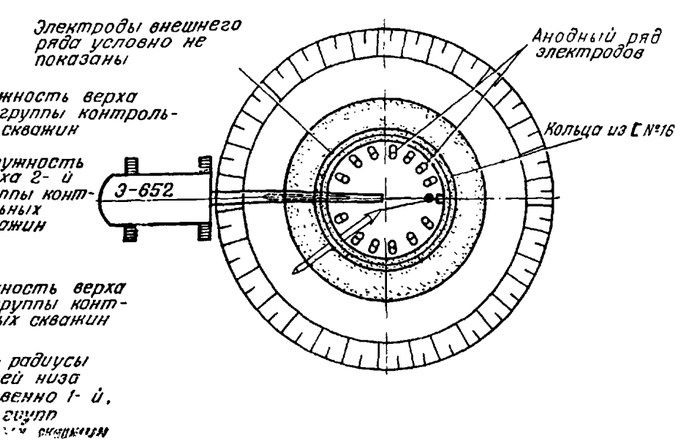
План размещения контрольных скважин



V этап
Извлечение электродов



План



Указания по закреплению слабых пород с отм. «—*а*» до отм. «—*в*»

1. Электрохимическое закрепление осуществляется с отм. «—*а*» и до отм. «—*в*» без разработки породы.

2. Состав работ:

— монтаж нагнетательной, водоотводящей и электрической сетей;

— промывка электродов с целью удаления из них ила;

— приготовление электролитов и подача их в аноды с одновременной электрообработкой при напряжении 120—140 *в* и силе тока не более 300 *а*;

— контроль качества закрепления.

3. Нагнетательная и водоотводящая сети монтируются из труб ∅ 1″ на резьбе или из резиновых шлангов. Электрическая сеть монтируется из кабеля ПРГД сечением 50 *мм*² и электропровода АПР-500.

4. Промывка электродов производится водой путем поочередного введения в них шланга, соединенного с напорной линией насоса СКФ-4 или СЦВ-1,5 восходящим потоком до полного осветления выходящей из электродов воды.

5. Приготовление электролитов производится в емкостях у ствола. Концентрация электролитов устанавливается по их плотности в соответствии с табл. 2. Смешение компонентов производится непосредственно перед нагнетанием в объеме, который может быть израсходован до начала гелеобразования.

6. Подача электролитов производится в анодный ряд электродов в течение 50—60 *ч*. Электрический ток пропускается через грунт на 20—30 *ч* больше времени подачи электролита. Откачка воды из катодного ряда производится в течение всего времени электрообработки.

7. Контроль качества закрепления см. лист 3.

Указания по извлечению электродов

1. Извлечение электродов производится после получения положительных результатов испытаний закрепленного грунта.

2. Извлекать электроды можно двумя способами:

— с использованием вибропогружателя и инвентарного копрового приспособления;

— с помощью крана Э-652 путем последовательного обхода ствола; для извлечения электродов применять оттяжной блок, установленный на кольце из швеллера № 16.

3. После извлечения электродов производится проходка выработки в закрепленном горизонте и далее в соответствии с типовым проектом производства работ.

новными элементами устройства являются (рис. П1.6): стальной цилиндрический корпус *1*, снабженный винтовой плоскостью *2*, зажимная гайка *3*, упор *4* и герметик *6*. Кроме того, кондуктор снабжен патрубком *8* с пробкой и четырьмя штифтами *7* для завинчивания кондуктора в грунт. В комплект устройства входят специальные ключи для завинчивания корпуса *1* в грунт и зажимной гайки *3* при обжатии герметика *6*.

УКАЗАНИЯ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПРОСЛОЙКИ СЛАБОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

1. Контроль качества закрепления производится через сутки после окончания электрообработки путем испытания образцов, полученных при устройстве контрольных скважин, на глубину электрохимического закрепления. Образцы берутся через 0,5 *м* по глубине.

2. Контрольные скважины размещать равномерно по площади забоя по трем концентрическим окружностям, параметры которых даны в табл. 3.

Общее количество скважин 8—12.

3. Погружение обоймы для отбора пробы производить вибропогружателем ВПМ-1 с использованием инвентарного копрового приспособления.

4. При получении положительных результатов испытаний образцов закрепленного грунта производится извлечение электродов и проходка выработки на всю глубину.

5. При наличии буровой установки отбор образцов закрепленного грунта производится из кернов, полученных при бурении контрольных скважин.

Указания по технике безопасности

1. При электрообработке грунта:

— помещение для аппаратуры электроснабжения должно иметь сплошное покрытие, надежное ограждение и запоры;

— электрокабель от распределительного щита до ствола прокладывать в траншее небольшой глубины, присыпать песком и обкладывать кирпичом с установкой предупредительных надписей на его трассе;

— линию электроснабжения защищать плавкими предохранителями типа ПН-2/200, устанавливаемыми на фазных проводах;

— рубильники должны быть закрыты сплошным кожухом так, чтобы отключение производилось движением рукоятки сверху вниз;

— места соединений и ответвлений проводов надежно изолировать, а поврежденные шланговые провода вулканизировать;

— к электромонтажным работам допускать лиц, имеющих квалификационную группу монтажника по технике безопасности не ниже второй;

— при электрообработке прослойки слабой горной породы в стволе должна быть оборудована электрическая звуковая сигнализация;

— работу выполнять в составе не менее двух человек;

— все работы по электрообработке грунта выполнять в спецодежде с деревянного настила, расположенного выше кольцевой электрической сети (см. СНиП III-А.11—70, разделы «Электромонтажные работы» и «Подземные работы» и инструктивные указания по технике безопасности при производстве электромонтажных работ. Стройиздат, 1964 г. Раздел II).

2. При вибропогружении:

— корпус электровибратора до начала работы должен быть заземлен;

— при перерывах в работе, а также при перестановках вибропогружателя в процессе погружения и извлечения электродов его необходимо выключать (см. СНиП III-А. 11—70, раздел «Мероприятия по электробезопасности в условиях строительной площадки»).

3. При приготовлении электролитов:

— приготовление электролитов производить на открытых обособленных площадках или в отдельных помещениях, обеспеченных механической вентиляцией;

— доступ посторонним лицам к местам приготовления электролита должен быть запрещен;

— на месте работы иметь раствор питьевой соды для промывки пораженной кислотой кожи;

— приготовление растворов производить в защитных очках и спецодежде.

4. При нагнетании раствора:

— перед началом работы следует проверять исправность всего оборудования (насосов, предохранительных клапанов, манометров, шлангов), применяемого для нагнетания;

— работа насосов при давлении, превышающем максимальное, указанное в их технических паспортах, запрещается (см. СНиП III-А.11—70, пункт «Искусственное замораживание и закрепление грунтов»).

Таблица потребных материалов

№ по пор.	Наименование материалов	Единица измерения	Количество	ГОСТ
1	Трубы бесшовные $\phi 68$, $\delta = 4$ *мм*	*пог. м*	200	8732—58
2	Трубы бесшовные $\phi 95$, $\delta = 5$ *мм*	„	20	8732—58
3	Трубы водогазопроводные $\phi 25$ *мм*	„	150	3262—62
4	Трубы водогазопроводные $\phi 15$ *мм*	„	20	3262—62
5	Электропровода АПР-500 $S = 5$ *мм*^{2}	„	70	
6	Электрокабель ПРГД $S = 50$ *мм*^{2}	„	50	
7	Шланги резиновые 3/4″	„	40	
8	Шланги резиновые 1/2″	„	20	
9	Хлористый кальций $CaCl_2$	*кг*	550	450—58
10	Серная кислота H_2SO_4 (98%)	„	20	2184—65
11	Сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3$	„	60	5155—49
12	Жидкое стекло	„	500	962—41

Таблица потребных механизмов и оборудования

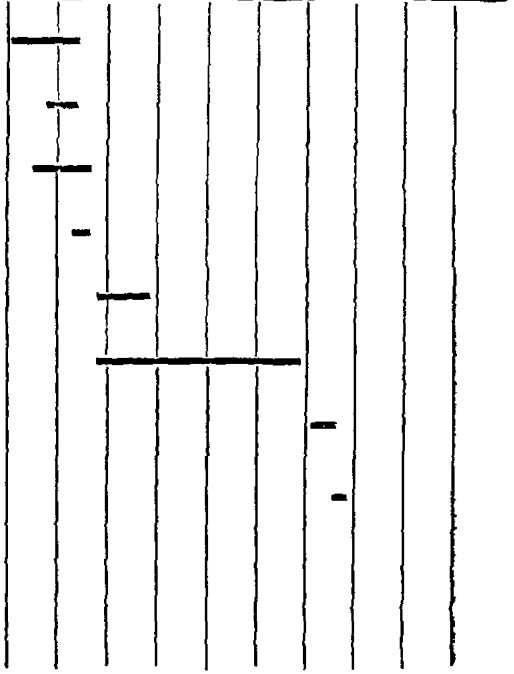
№ по пор.	Наименование механизмов и оборудования	Единица измерения	Количество
1	Кран-экскаватор Э-652	шт.	1
2	Подвижная электростанция ПЭС-50	„	1
3*	Вибропогружатель ВПМ-1*	„	1
4*	Капровое приспособление*	„	1
5**	Насос диафрагменный ручной СКФ-4	„	2
6**	Насос центробежный СЧВ-1,5	„	1
7**	Реостат на 200 *а*	„	1
8**	Выпрямитель ВСС-300	„	1
9	Емкость для электролита $V = 1{,}5$ *м*^{3}	„	2
10	Емкость для приготовления электролита $V = 1{,}5$ *м*^{3}	„	2
11	Емкость для чистой воды $V = 1$ *м*^{3}	„	1
12	Емкость для сбора воды $V = 0{,}5$ *м*^{3}	„	1

* При наличии буровой установки типа УПБ-25 пп. 3 и 4 не включать.

** При наличии самоходной установки пп. 5, 6, 7, 8 не включать.

Календарный график работ по электрохимическому закреплению прослойки слабой горной породы

№ по пор.	Виды работ	Объем работ: Единица измерения	Объем работ: Количество	Обоснование	Норма времени, чел.-час.	Трудоемкость, чел.-дни	Продолжительность работ, дни	Потребные механизмы: Наименование	Потребные механизмы: Количество	Количество рабочих	Сменность
1	Погружение электродов	шт.	36	ЕН и Р 12-21	1,8	7,9	1,3	Вибропогружатель	1	3	2
2	Монтаж водоотводящей сети	*м*	70	ЕН и Р § 9-1-9	0,23	1,89	0,63	Кран Э-652	1	3	1
3	Монтаж растворной сети	*м*	100	ЕН и Р § 9-1-9	0,23	2,8	0,93	Кран Э-652	1	3	1
4	Монтаж электросети	100 *м*	100	ЕН и Р § 20-1-153	84	1,05	0,52	—	—	2	1
5	Нагнетание раствора	1 эл-д	36	По опыту	1,2	5,4	1,35	Насос БКФ-4	2	2	2
6	Электрообработка	*м*²	55	По опыту	4,0	31,5	4,3	ПЭС-50	1	3	3
7	Отбор проб после закрепления	шт.	10	ЕН и Р 12-21	3,6	4,5	0,75	Вибропогружатель	—	3	2
8	Демонтаж сетей	*м*	—	ЕН и Р § 9-1-9 К = 0,5	0,11	—	—	Кран Э-652	1	3	1
9	Извлечение электродов	шт.	—	ЕН и Р 12-21 К = 0,5	0,9	—	—	Кран Э-652, виброотражатель	1 1	3	1



ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СПОСОБОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ

№ по пор.	Наименование способа	Наименование закрепляемого грунта	$K_ф$ *м/сутки*	Прочность закрепленного грунта, *кгс/см²* / Водопроницаемость	Равномерность закрепления грунта по толщине стенки	Область применения	Продолжительность закрепления на захватке, *сутки*	Энергоемкость 1 *м³* грунта, *квт·ч* / Мощность источника, *квт*	Ориентировочная стоимость 1 *м³* закрепленного грунта, *руб*
1	Электрообработка	Суглинки тяжелые, глины, илы	Менее 1×10^{-5}	2,0—3,0 / ПВН	Неравномерность до 50%	Устройство защитных стенок, укрепление оснований	7—10	80—100 / 20—50	3—4
2	Электролитическая обработка:	Супеси тяжелые, суглинки, глины, илы				Устройство защитных стенок, укрепление оснований и откосов, ликвидация пучинистости			
	а) зажимным способом			3—5 / СВ	Неравномерность до 50%		6—8	60—90 / 70—50	4—5
	б) циркуляционным способом		Менее 0,01	3—6 / СВ	Неравномерность до 15%		5—7	60—80 / 20—50	4—6
3	Электросиликатизация (однорастворная)	Мелкозернистые пески, легкие супеси	0,5—0,01	4—10 / ПВН	Неравномерность до 25%	То же	4—7	40—60 / 25—30	15—25
4	Электросмолизация	Мелкозернистые пески, легкие супеси	0,5—0,01	10—30 / ВН	Неравномерность до 20%	"	4—6	40—60 / 20—30	40—60

Продолжение

№ по пор.	Наименование способа	Наименование закрепляемого грунта	$K_ф$ *м/сутки*	Прочность закрепленного грунта, *кгс/см²* / Водопроницаемость	Равномерность закрепления грунта по толщине стенки	Область применения	Продолжительность закрепления на захватке, *сутки*	Энергоемкость 1 *м³* грунта, *квт·ч* / Мощность источника, *квт*	Ориентировочная стоимость 1 *м³* закрепленного грунта, *руб*
5	Термическая обработка	Мелкозернистые пески, легкие супеси	0,5—0,1	10—15 / СВ	Неравномерность до 20%	Устройство защитных стенок, укрепление оснований	7—10	80—100 / 50—70	15—25
6	Электроспекание	Мелкозернистые пески, супеси	0,5—0,01	100—150 / ВН	Неравномерность до 15%	То же	5—7	300—400 / 500—1000	40—50
7	Искусственное замораживание	Супеси, суглинки, глины	Не ограничен	20—50 / ВН	Неравномерность до 10%	Проходка выработок	40—60 плюс время возведения сооружений	80—120 / 120—180	60—80
8	Опускной щит (крепь)	Супеси, суглинки, глины	Отсутствие валунов ϕ 20 *см*, наклон пласта 30°, напор менее 1 *ат*	— / ВН	—	Проходка выработок	0,5—1,0 *м/в сутки*	—	11—20

Обозначения: ВН — водонепроницаемые;
ВП — водопроницаемые;
ПВН — практически водонепроницаемые;
СВ — слабоводопроницаемые.

МЕТОДИКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СПОСОБОВ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

Оценка экономической эффективности различных способов искусственного закрепления грунтов может производиться только в тех случаях, когда все сравниваемые варианты применимы в заданных гидрогеологических условиях. Сравнение этих вариантов осуществляется по показателю приведенных затрат:

$$З_п = С + Е_н \cdot КТ, \qquad (1)$$

где $З_п$ — удельные приведенные затраты;

С — себестоимость единицы объема работ по закреплению грунта;

$Е_п$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в строительстве, $Е_н = 0{,}12$;

К — капитальные затраты в основные и оборотные фонды подрядной организации на единицу объема работ;

Т — продолжительность выполнения работ в годах.

Наиболее экономичному варианту (способу) закрепления соответствуют наименьшие приведенные затраты. В том случае, когда в составе работ каждого из сравниваемых вариантов имеются общие работы с равными объемами, то эти работы из сравнения исключаются.

Если проектом ранее был предусмотрен какой-либо способ улучшения физико-механических свойств слабых грунтов или способ проходки выработки, то экономический эффект от внедрения более экономического способа (т. е. способа, имеющего наименьшие приведенные затраты) определяется по формуле

$$Э_у = З_{п1} - З_{пр}. \qquad (2)$$

В тех случаях, когда сокращается срок выполнения работ, их трудоемкость или основная заработная плата, кроме приведенных затрат определяется экономический эффект от снижения условно постоянных накладных расходов. Экономический эффект от снижения условно постоянных накладных расходов при снижении продолжительно-

сти процесса закрепления (или проходки в целом) определяется по формуле

$$Э_н = H\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right), \quad (3)$$

где $Э_н$ — экономический эффект от снижения условно постоянных накладных расходов;

H — размер условно постоянных накладных расходов (в рублях) в составе себестоимости работ по закреплению для сравниваемого варианта. Величина H принята равной 60% нормативной величины накладных расходов;

T_1 и T_2 — продолжительность выполнения работ (в годах) соответственно по менее и более эффективному способу.

Экономический эффект от снижения трудоемкости работ, проявляющийся в снижении накладных расходов на один человеко-день, определяется по формуле

$$Э_{тр} = 0{,}6\,(Q_1 - Q_2), \quad (4)$$

где 0,6 — коэффициент, выражающий снижение накладных расходов, равных 0,6 *руб*, на сэкономленный человеко-день;

Q_1 и Q_2 — трудоемкость работ по закреплению, приведенная к общей для сравниваемых вариантов единице объема работ.

Экономический эффект от снижения затрат на основную заработную плату, проявляющийся в снижении накладных расходов, определяется по формуле

$$Э_{вп} = 0{,}15\,(\delta_1 - \delta_2), \quad (5)$$

где 0,15 — коэффициент, выражающий снижение накладных расходов, равных 15% суммы экономии по основной заработной плате рабочих;

δ_1 и δ_2 — основная заработная плата рабочих (в рублях) по сравниваемым вариантам.

Общий экономический эффект от применения данного способа искусственного закрепления грунтов определяется выражением

$$Э = Э_у + Э_н + Э_{тр} + Э_{вп}. \quad (6)$$

Выбор наиболее экономичного способа при новом проектировании производится последовательным сравнением возможных вариантов по показателям, определяемым по формулам (1) — (6).

Основные экономические показатели различных способов искусственного закрепления связных грунтов приведены в табл. 4.1, а состав используемых механизмов, их стоимость и продолжительность использования — в табл. 4.2.

Таблица 4.1

Ориентировочные средние показатели трудоемкости и стоимости работ по искусственному закреплению связных грунтов (на 1 $м^3$ закрепленного грунта)

№ по пор.	Наименование способа	Стоимость работ, *руб*	Затраты в чел.-днях	Основная заработная плата
1	Электрообработка	4,00	0,40	1,57
2	Механоэлектрическое уплотнение	3,00	0,30	1,45
3	Электролитическая обработка	5,00	0,45	1,76
4	Электросиликатизация	20,00	0,65	2,87
5	Электросмолизация	50,00	0,60	2,65
6	Термическая обработка	20,00	1,25	5,50
7	Электроспекание	45,00	1,15	6,14
8*	Искусственное замораживание	70,00	8,10	59,06
		18,00	1,40	10,13
9	Опускной щит (крепь) (на 1 $м^3$ выработки)	34,00	1,18	5,44

* Все показатели по искусственному замораживанию, указанные в знаменателе дроби, отнесены к 1 $м^3$ проходки независимо от толщины закрепляемой прослойки с учетом периода возведения постоянной крепи. При применении локального замораживания и для сплошных массивов следует принимать показатели, указанные в числителе дроби, соответствующие закреплению 1 $м^3$ слабого грунта.

Таблица 4.2

№ по пор.	Наименование используемых механизмов	Количество	Цена, *руб*	Стоимость, *руб*	Продолжительность использования (в годах) по вариантам*				
					I	II	III	IV	V
1	Кран Э-652 . .	2	8600	17200	0,087	0,093	0,079	0,160	0,10
2	Пневмопогрузчик	1	280	280	0,087	0,093	0,079	0,180	0,10
3	Автосамосвал	3	1300	3900	0,087	0,093	0,079	0,080	0,10
4	ДЭС-100 . . .	1	3600	3600	0,087	0,093	0,079	0,160	0,10

Продолжение

№ по пор.	Наименование используемых механизмов	Количество	Цена, *руб.*	Стоимость, *руб.*	Продолжительность использования (в годах) по вариантам*				
					I	II	III	IV	V
5	Компрессор ЗИФ-55 . .	1	1780	1780	0,087	0,093	0,079	0,080	0,10
6	Вакуумнасос	1	220	220	0,087	0,093	0,079	0,080	0,05
7	Растворомешалка . . .	1	280	280	0,087	0,093	0,079	0,080	0,05
8	Растворонасос	1	135	135	0,087	0,093	0,079	0,080	0,05
9	Преобразователь тока . .	2	980	1960	0,022	0,022	—	—	—
10	Буровая установка . . .	1	1100	1100	0,022	0,022	—	—	—
11	Насос центробежный . .	2	30	60	0,087	0,093	0,079	0,16	0,10
12	Буровой станок	2	500	10000	—	—	—	0,03	—
13	Замораживающая станция	1	9000	9000	—	—	—	0,25	—
14	Емкость . . .	3	20	60	0,022	0,022	—	—	—
15	Вентилятор . .	1	82	82	0,087	0,093	0,079	0,080	0,10
16	Гидродомкрат	4	160	640	—	—	0,022	—	—
17	Прочие механизмы . . .	—	200	200	0,087	0,093	0,079	0,16	0,10

* Продолжительность использования механизмов определена на основании средних темпов проходки подобных выработок. Для этих целей могут использоваться ранее составленные проектными и подрядными организациями графики производства работ (календарные и сетевые).

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТА

Определение величины снижения исходной влажности грунта до значения, при котором он приобретает проектную прочность, производится на графиках (рис. П5.1, *а* и П5.1, *б*) следующим образом.

Зная удельный вес γ и плотность δ исходного грунта, определяется их отношение. На графике (рис. П5.1, *а*) справа на оси ординат из соответствующей точки $\left(\frac{\gamma}{\delta}\right)$ влево проводится линия до встречи с прямой, выражающей зависимость прочности грунта $P_н$ от коэффициента пористости ε_0. Из точки встречи проводится вертикальная линия до встречи с кривой, соответствующей показателю влажности исходного грунта (точка А).

Далее слева на оси ординат выбирается необходимая (проектная) прочность грунта и проводится вправо горизонтальная линия до встречи с ранее проведенной вертикальной линией (точка С). Интерполируя расстояние между смежными кривыми показателей влажности данного вида грунта (суглинка или глины), определяем показатель влажности, который должен иметь закрепленный грунт (точка С).

По разности между показателями влажности исходного и закрепленного грунта (отрезок $AC=\Delta B$) и числу пластичности исходного грунта по графику (рис. П5.1, *б*) определяется ΔW, т. е. влажность в процентах, на которую нужно понизить влажность исходного грунта.

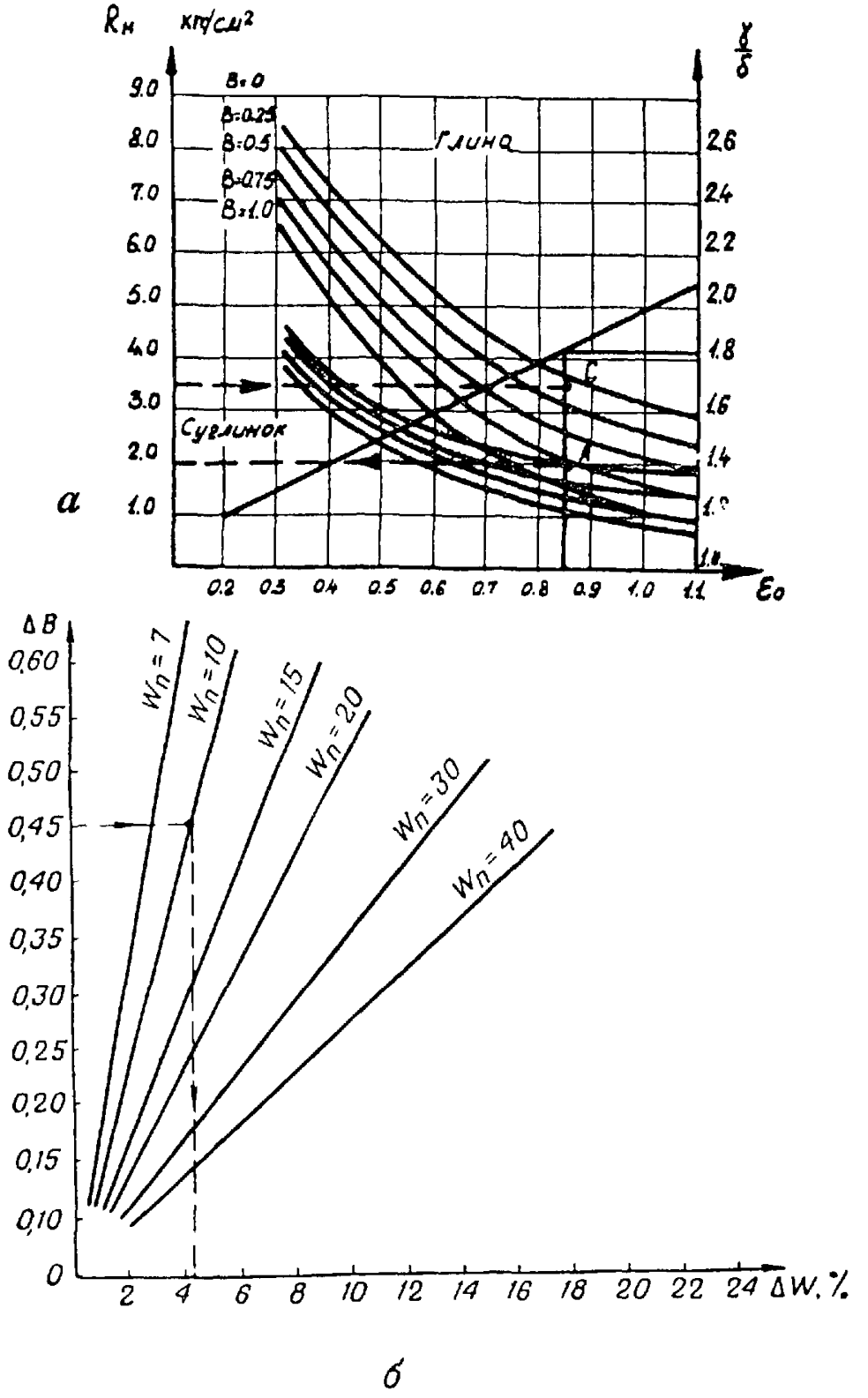


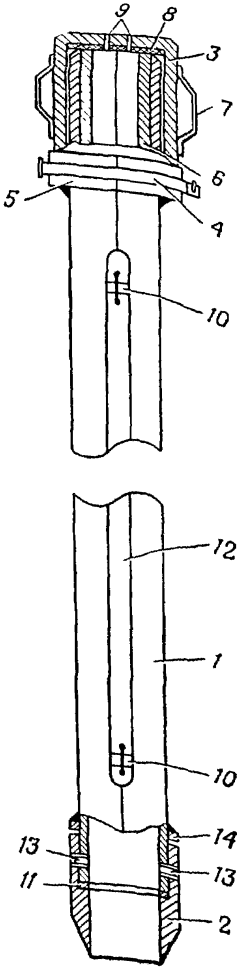
Рис. П5.1. Графики для определения величины снижения влажности

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

№ по пор.	Тип источника питания	Характеристики	
		Напряжение, *в*	Сила тока, *а*
	Выпрямительные сварочные установки		
1	ВСК-150	70	150
2	ВСК-300	70	300
3	ВСК-500	70	500
	Сварочные преобразователи		
4	ПС-500	60—90	300—120
5	САМ-400	60—90	1200—600
6	ПАС-400У1	65—105	400—120
	Преобразователи		
7	П-81	110—116	200—150
	ПН-205, ПН-290	60—200	200—300
	Выпрямители		
8	ВС-3Б-5	120	45
9	ВС-3Б-3	120	25

МЕТОДИКА ОТБОРА ПРОБ ГРУНТОВ РАЗЪЕМНОЙ ОБОЙМОЙ



Разъемная обойма предназначена для отбора проб грунтов до и после их закрепления, а также для устройства скважин диаметром 100 *мм* (при закреплении грунтов беструбными анодами или циркуляционным способом).

Основными элементами разъемной обоймы являются (рис. П7.1) раскрывающиеся створки *1*, соединенные между собой шарнирами *10*. Створки имеют продольные пазы *12*, обеспечивающие лучшее удержание керна внутри обоймы. Защемление створок достигается путем установки разъемного хомута *4* в кольцевой паз венчика *5*, выполненного из двух полуколец. Защемление нижней части створок достигается установкой цилиндрического наконечника *2*, снабженного специальными защелками *13*, входящими в зацепление со створками. Передача усилия от погружающего средства на обойму производится через бугель *3*, надеваемый на усиленную головку обоймы, опирающуюся на венчик.

Обойма в собранном виде погружается механическими средствами (вибропогружателями, молотами и т. п.) в грунт на всю глубину (1,5—2,5 *м*). Затем краном или дру-

Рис. П7.1. Разъемная обойма:

1 — раскрывающиеся створки; *2* — наконечник; *3* — бугель; *4* — хомут; *5* — венчик; *6* — полувтулки; *7* — рукоятки; *8* — прокладка; *9* — отверстия; *10* — шарниры; *11* — прокладка; *12* — паз; *13* — защелки; *14* упоры

гими подъемными механизмами извлекается из грунта и разбирается. Для этого снимается бугель, разъемный хомут *4* и наконечник *2*. Снятие наконечника осуществляется путем поворота защелок *13* вокруг их продольной оси на 90—180° и вывода из зацепления со створками корпуса. После снятия наконечника створки обоймы раскрываются вдоль образующей, а из цилиндрического грунтового керна отбираются образцы грунтов. Глубина отбора пробы определяется измерением расстояния от верхней части керна. При погружении обоймы вручную образцы отбираются заходками по 0,4—0,5 *м*.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

К числу электрических и электроосмотических характеристик грунтов, используемых в расчетах параметров закрепления, относятся удельное электрическое сопротивление и объемный коэффициент электроосмотической фильтрации.

Обе эти характеристики определяются на одном приборе, называемом электроосмометром (рис. П8.1). Электроосмометр представляет собой цилиндрический корпус, состоящий из двух полуцилиндров, изготовленных из диэлектрика (винипластовых труб) и соединяемых между собой металлическими хомутами. Торцы корпуса перекрываются диэлектрическими заглушками с резиновыми герметизирующими кольцами. Заглушки между собой стягиваются двумя продольными болтами.

В верхнем полуцилиндре имеются трубки для выхода газов, а в нижнем — трубки для отвода воды или введения в грунт электролитов.

В комплект электроосмометра также входят два дисковых перфорированных электрода, две стальные пружины и медный сосуд емкостью 10—20 *мл*.

Для определения электрических и электроосмотических характеристик, соответствующих фактическим условиям залегания грунтов, по возможности должны использоваться образцы с ненарушенной структурой, полученные при уточнении гидрогеологических условий с помощью буровой установки или разъемной обоймы. В этом случае в комплект электроосмометра должно входить несколько корпусов и пар электродов соответствующих диаметров.

Цилиндрический образец грунта помещается в корпус, установленный в вертикальное положение, а кольцевое пространство между грунтом и корпусом заливается воском, стеарином или жидким раствором гипса. Затем на торцовые части образца укладываются электроды, устанавливаются пружины и заглушки, стягиваемые болтами. Провода от электродов пропускаются через одну из трубок и подключаются к источнику переменного тока. Параллельно электроосмометру подключается вольтметр, а последовательно с ним миллиамперметр с пределами 0—50 *ма* и це-

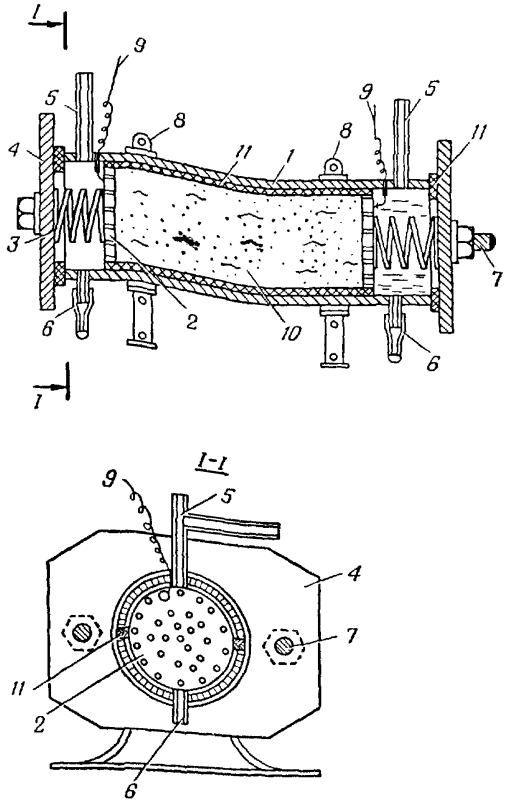


Рис. П8.1. Электроосмометр:
1 — корпус; *2* — электроды; *3* — пружины; *4* — заглушки; *5* — трубки; *6* — нижние трубки; *7* — болт; *8* — хомут; *9* — провода; *10* — грунт; *11* — прокладки

ной деления не более 2 *ма*. С помощью малогабаритного трансформатора устанавливается напряжение на электродах электроосмометра, при котором создается градиент 0,5 *в/см*, т. е.

$$U = 0{,}5l \ (в),$$

где l — расстояние между внутренними поверхностями электродов.

Фиксируется сила тока в цепи с помощью миллиамперметра. Затем напряжение удваивается и утраивается по сравнению с начальным и в каждом случае фиксируется сила тока в *ма*.

По результатам измерений определяются частные удельные сопротивления:

$$\rho_i = \frac{1000 \cdot U_i \cdot S}{I_i \cdot l} \ (ом \cdot см),$$

где U_i — напряжение на электродах при i-ом измерении, *в*;

I_i — сила тока в цепи при i-ом измерении, *ма*;

S — площадь поперечного сечения грунтового образца в $см^2$;

l — расстояние между электродами в *см*.

По трем измерениям определяется среднее значение удельного сопротивления

$$\rho = \frac{\sum_{0}^{3} \rho_i}{3} \ (ом \cdot см).$$

После определения удельного сопротивления грунта электроосмометр подключается к источнику постоянного тока. При этом нижняя его трубка со стороны катода (электрода, соединенного с отрицательным полюсом источника тока) с помощью резиновой трубки сообщается с градуированным стеклянным сосудом. На электродах создается напряжение, при котором его градиент равен 2 *в/см*, и фиксируется время включения тока.

Через нижнюю трубку со стороны анода к электроду подается грунтовой раствор (водная вытяжка из грунта) таким образом, чтобы его уровень закрывал грунтовой образец.

Постоянный электрический ток пропускается в течение 2—4 *ч*. При включении тока, а также через каждые 0,5 *ч* работы электроосмометра снимаются показания миллиамперметра и фиксируется время.

После окончания измерения (через 5—6 замеров) определяется количество электроосмотически выделившейся воды в мерном сосуде $Q_в$ в $см^3$ и расход электричества А в *к*.

Расход электричества определяется по формуле

$$A = 0{,}06 \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i + I_{i+1}}{2} \cdot \Delta t_i \ (к),$$

где I_i — сила тока в цепи электроосмометра в момент i-го измерения, *ма*;

Δt_i — продолжительность электрообработки грунта между очередными измерениями, *мин*.

Для более грубого определения объемного коэффициента электроосмоса можно производить измерения силы тока в начале и конце электрообработки, тогда

$$A = 0{,}06 \frac{I_{нач} + I_{кон}}{2} (t_{кон} - t_{нач}) \ (к),$$

где $t_{кон} - t_{нач}$ — текущее время, *час* и *мин*.

В том и другом случае объемный коэффициент электроосмоса определяется отношением

$$K_{о.в} = \frac{Q_в}{A} \left(\frac{см^3}{к} \right),$$

где $Q_в$ — количество электроосмотически выделившейся воды при прохождении А кулонов электричества, $см^3$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ЗАКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ

№ по пор.	Оборудование и приспособления	Марка	Количество	Примечание
1	Источник постоянного тока	Согласно приложению 6	Согласно расчету и мощности, см. гл. II	Типовые
2	Регулятор напряжения или нагрузочный реостат	В соответствии с мощностью источника	1	При отсутствии на источнике тока
3	Буровая установка	УПБ-25	1	
4	Компрессор	ЗИФ-55	1	Только при электросиликатизации
5	Насос центробежный	НС-3	1—2	То же
6	Насос плунжерный	С-251	1—2	»
7	Насос самовсасывающий производительностью 0,5—1,0 $м^3/ч$	В-0,9 и др.	1—2	»
8	Пневмо- или электромолотки		2	
9	Электроды рабочие	Трубчатые и стержневые	Определяется расчетом, см. гл. II	Изготавливается подрядчиком
10	Электроды контрольные	—	12—20	Используются при наличии
11	Разъемная обойма для отбора проб и устройства скважин	—	1—2	При отсутствии буровой установки
12	Герметизирующие кондукторы	—	50% от числа рабочих электродов	
13	Спецключи к кондукторам	—	1 комплект	
14	Пневмобаки $V = 0,2—0,1$ $м^3$	—	2	Только при электросиликатизации
15	Емкости для растворов $V = 0,2—0,5$ $м^3$	—	2—4	
16	Захват для извлечения электродов	—	1	
17	Резиновые шланги $\phi 3/4—2'$	Исходя из условий площадки		
18	Электрокабель	ПРГД	20—50 $м$	Сечение по расчету

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

ПЕРЕЧЕНЬ И ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСХОД МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ ЗАКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ

№ по пор.	Наименование	ГОСТ или ТУ	Физическое состояние	Оптовая цена, *руб* за 1 *т*	Ориентировочный расход, *кг* на 1 *м*³ грунта
1	Хлористый кальций технический	ГОСТ 450—58	Жидкий, плавленный, обезвоженный	70	10
2	Жидкое стекло	ГОСТ 962—41	Жидкость	65—70	200
3	Карбамидная смола (крепитель „М“)	ТУ МХП 2414—58	„	220	200
4	Алюмокалиевые квасцы	ГОСТ 18869—40	Порошок	92	5
5	Сернокислый алюминий	ГОСТ 15028—69	„	43	12
6	Сернокислое железо окисное	ТУ МХП 1871—53	„	98	5
7	Кислота соляная техническая	ГОСТ 1382—69	Жидкость	14—20	6
8	Кислота серная техническая	ГОСТ 2184—67	„	21	4
9	Кислота щавелевая техническая	ТУ 57/0673—65	Порошок	630	8
10	Кислота ортофосфорная техническая	ГОСТ 10678—63	Порошок, жидкость	245	6

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ЗА ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ

Основным показателем, характеризующим качество закрепления грунта, является степень его осушения (при электрообработке) или степень насыщения электролитами (при электролитической обработке) и гелеобразующей смесью (при электросиликатизации). Степень и равномерность закрепления грунта, а также факт отсутствия незакрепленных «окон» в защитной стенке могут фиксироваться с помощью специального устройства в ходе процесса закрепления. Принципиальная схема устройства показана на рис. П11.1. В комплект устройства входят: источник тока *1*,

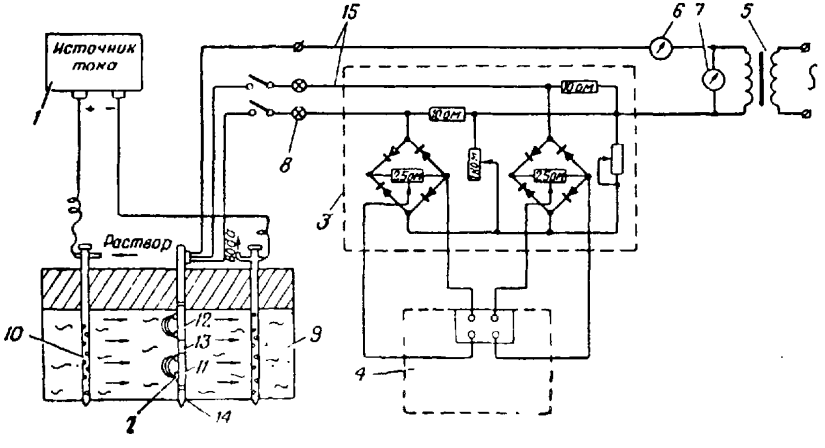


Рис. П11.1. Схема контроля за процессом закрепления грунта:
1 — источник тока; *2* — выдвижные электроконтакты; *3* — преобразовательный блок; *4* — регистрирующее устройство; *5* — регулятор напряжения; *6, 7* — электроизмерительные приборы; *8* — электролампы; *9* — закрепляемый грунт; *10* — рабочие электроды; *11, 12, 13* — секции контрольного электрода; *14* — контрольный электрод-датчик; *15* — кабели

преобразовательный блок *3*, регистрирующее устройство *4*, электроизмерительные приборы (вольтметр *7* и миллиамперметр *6*) и регулятор напряжения *5*.

Контрольные электроды предназначены для создания в отдельных точках закрепляемого объема грунта локального поля переменного тока с целью установления характера насыщения грунта электролитами. Конструкция электрода

(рис. П11.2) выполнена составной из головной *6*, соединительной *4* и рабочих *3* секций. Первые две секции изготовлены из стальных труб, а рабочие секции — из винипластовых. На головной секции, снабженной заглушкой *13*, размещается распределительная коробка *16* с выводными электроклеммами *17* и пневмоштуцерами *18*. Рабочая секция включает в себя трубчатую обечайку с двумя прямоугольными окнами, закрываемыми фланцами *12*. Внутри этой секции закреплены два пневмоцилиндра *19* с выдвижными электроконтактами *2*. Переменный электрический ток к электроконтактам подается по контрольной электросети через клеммы *17*, установленные на головной секции, и далее по электрокабелю *10*, расположенному внутри электрода. Электрокабель выполнен составным со штепсельными разъемами *20*. Надежность соприкосновения электроконтактов со стенками скважины достигается внедрением контактов в грунт за счет сжатого воздуха, подаваемого от баллона или компрессора через штуцера *18* и резиновые шланги *9*, снабженные разъемами *20*. Соединение секций электрода между собой достигается на двусторонней резьбе. Количество рабочих секций в электроде предопределяется мощностью закрепляемого грунта.

Погружение контрольных электродов-датчиков производится в заранее устроенные скважины следующим образом.

После сборки секций электродов в соответствии с принятой схемой размеще-

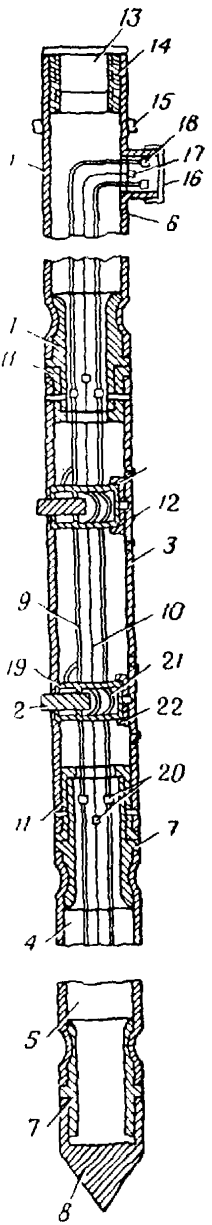


Рис. П11.2. Контрольный электрод-датчик

1 — корпус; *2* — выдвижные электроконтакты; *3* — рабочие секции из диэлектрика; *4* — соединительные стальные секции; *5* — нижняя стальная секция; *6* — головная стальная секция; *7* — ниппели; *8* — наконечник; *9* — шланги; *10* — кабель; *11* — втулка; *12* — фланец; *13* — заглушка; *14* — втулки; *15* — венчик; *16* — распределительная коробка; *17* — клеммы; *18* — штуцера; *19* — пневмоцилиндры; *20* — разъемы; *21* — пружины; *22* — крышки

ния контрольных точек на участке закрепления к штуцерам, расположенным на колодке головной секции, по шлангу подается сжатый воздух давлением 1,5—2,0 кгс/см². В результате этого электроконтакты отходят в крайнее заднее положение, не мешая погружению электродов в предварительно пробуренные скважины.

Погружение электродов производится за счет собственного веса или легким постукиванием отбойным молотком по бугелю.

После погружения электрода на заданную глубину шланг переставляется на нижний штуцер и вновь создается давление воздуха до 2,0 *кгс/см²*, в результате чего электроконтакты внедряются в стенки скважины и плотно соприкасаются с грунтом.

Преобразовательный блок *3* (рис. П11.1) необходим для трансформации изменения падения напряжения (на концах постоянных сопротивлений, включенных в цепь каждой пары выдвижных электроконтактов), вызванного изменением проводимости грунта в контрольных точках в процессе электрохимического закрепления.

Трансформация достигается путем включения в мостиковую схему из четырех диодов переменного сопротивления, к двум выводам которого подключается регистрирующий прибор. В качестве измерительного прибора используется миллиамперметр, подключаемый поочередно к цепи каждой пары электроконтактов.

С помощью переменных сопротивлений производится настройка регистрирующего прибора в соответствии с фактическими электрическими характеристиками закрепленного грунта.

В цепи всех пар контактов с помощью регулятора напряжения создается единое напряжение переменного тока 10—30 *в*. Переменный электрический ток, проходя в грунте между смежными электроконтактами, создает локальное электрическое поле. При этом сила тока в цепи каждой пары будет различной во времени в связи с неодинаковой степенью осушения или насыщения грунта в соответствующих точках межэлектродного пространства. В свою очередь характер изменения силы тока будет регистрироваться путем периодического включения миллиамперметра в цепь каждой пары электроконтактов с помощью многополюсного переключателя. Номера контактов переключателя должны соответствовать порядковым номерам контрольных точек

согласно схеме. Наиболее характерные точки размещения электродов-датчиков показаны на рис. П11.3.

Регистрация силы тока в цепи производится через каждые 4 *ч* закрепления, а результаты измерений наносятся на миллиметровую бумагу в виде ломаных линий (одна линия для пары контактов), которые сравниваются с эталонной кривой, построенной при пробном закреплении в строительной лаборатории.

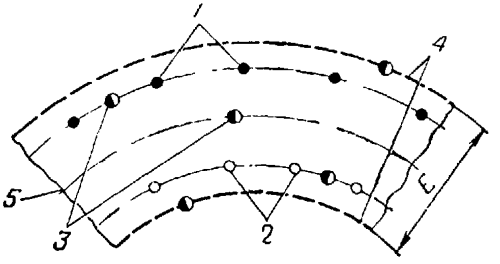


Рис. П11.3. Характерные места размещения контрольных электродов-датчиков на захватке:

1 — аноды; *2* — катоды; *3* — контрольные электроды-датчики; *4* — границы закрепленного грунта; *5* — осевая плоскость стенки закрепленного грунта

Все преобразовательные устройства монтируются в один блок на общей панели.

Для удобства монтажа измерительной сети все электроды-датчики подключаются к одному многожильному кабелю типа ТРВКШ 30×2×0,5 с помощью однополюсных штекеров, а соединение кабеля с измерительным устройством осуществляется с помощью многополюсного разъема.

После завершения процесса закрепления производится демонтаж контрольной сети и извлечение контрольных электродов. Извлечение осуществляется в той же последовательности, что и при погружении.

МЕТОДИКА СОВМЕЩЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ ПЕНЕТРАЦИЕЙ И ВРАЩАТЕЛЬНЫМ СРЕЗОМ

Пенетрацией называется метод исследования физико-механических свойств грунтов путем определения реактивного сопротивления грунтов прониканию наконечников разнообразных форм и размеров. В качестве объективной характеристики результатов пенетрационных испытаний принята величина удельного сопротивления пенетрации R, равная отношению усилия пенетрации P к H^2 — квадрату глубины погружения в грунт стандартного конического наконечника с углом при вершине 30°:

$$R = \frac{P}{H^2} \ (кгс/см^2). \qquad (1)$$

Вращательным срезом называется метод исследования физических и механических свойств грунтов путем определения реактивного сопротивления повороту в грунте комбинированных наконечников с двумя взаимно перпендикулярными крылками.

Если верхняя часть крылок совпадает с поверхностью грунта, то вращательный срез под действием внешнего момента осуществляется по цилиндрической и одной круговой поверхностям.

В этих условиях на основе простейших представлений о равенстве реактивного момента сопротивления грунта M статическому моменту поверхностей вращательного среза M_τ устанавливается величина удельного сопротивления вращательному срезу τ:

$$\tau = \frac{M_\tau}{K_\tau} \ (кгс/см^2), \qquad (2)$$

где

$$K_\tau = \frac{\pi d^2}{2}\left(\frac{d}{6} + h\right) \ (см^3); \qquad (3)$$

d — диаметр цилиндрической поверхности вращательного среза, равный ширине двух крылок комбинированного наконечника;

h — высота крылок комбинированного наконечника.

При испытаниях образцов связных грунтов собственным весом грунта в пределах глубины погружения крыльчатой

части комбинированного наконечника можно пренебречь и удельное сопротивление вращательному срезу с достаточной степенью точности может быть отождествлено со сцеплением грунта $C=\tau$.

Определение сцепления и угла внутреннего трения грунта выполняется по результатам совмещенных испытаний образцов пенетрацией и вращательным срезом в следующем порядке:

1. Вначале путем ступенчатого приложения вертикального усилия постепенно погружается коническая часть комбинированного наконечника конструкции В. А. Григорьева и П. И. Эйзлера (рис. П12.1). Погружение на каждой ступени нагрузки считается законченным, если за 30 или 60 *сек* наблюдения глубина погружения наконечника увеличивается не более чем на 0,01—0,02 *см*.

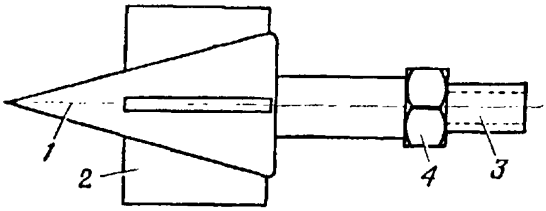


Рис. П12.1. Комбинированный наконечник:
1 — конус; *2* — крылки; *3* — хвостовик; *4* — упор

2. Затем задавливается верхняя часть конического наконечника с крылками и производится испытание на вращательный срез с установлением максимального момента реактивного сопротивления грунта M_τ. Затухание деформаций на каждой ступени нагрузки считается достигнутым, если за 30—60 *сек* наблюдений приращение угла поворота горизонтального диска не превосходит 0,5°.

3. Совмещенные испытания, таким образом, последовательно выполняются в одном и том же слое грунта. Поэтому оказывается возможным после вычисления удельного сопротивления пенетрации R и удельного сцепления C рассчитать их отношение, т. е. определить коэффициент K_φ, равный $K_\varphi = \frac{C}{R}$.

4. С использованием графика $K_\varphi = f(\varphi)$, изображенного на рис. П12.2, по величине K_φ устанавливается угол внутреннего трения грунта $\varphi°$.

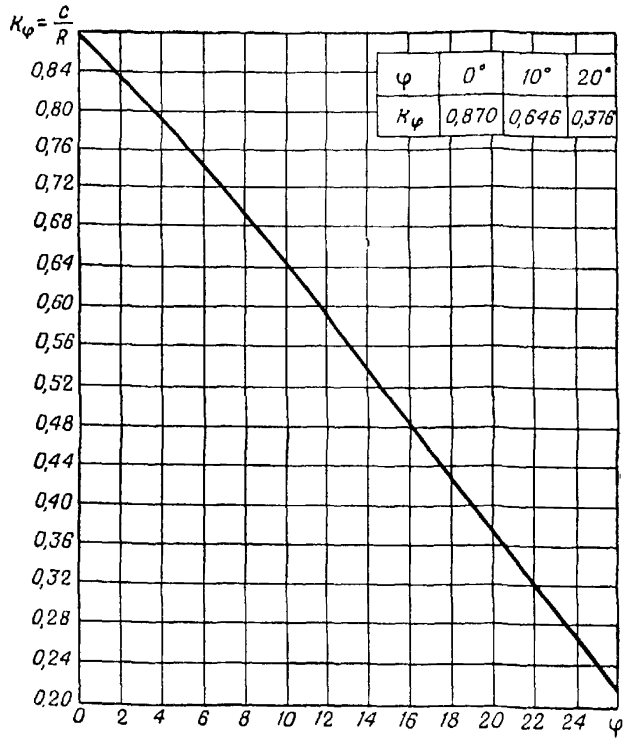


Рис. П12.2. График зависимости угла внутреннего трения (φ°) от отношения R/C

Определение величины сцепления грунтов на месте производства работ осуществляется пенетрометром ЛПС-2 (рис. П12.3).

Прибор состоит из следующих основных узлов:

а) станины *1*, имеющей центральную стойку *2*, уровень и установочное зеркало; к станине на шарикоподшипниках укреплен узел вращательного среза, состоящий из горизонтального диска *3*, отводного ролика *4*, тросика с подвеской *5* и специального приспособления для закрепления режущего кольца (диаметром от 60 до 100 *мм*) с образцом грунта; угол поворота горизонтального диска в процессе вращательного среза определяется с помощью стрелки, установленной на станине;

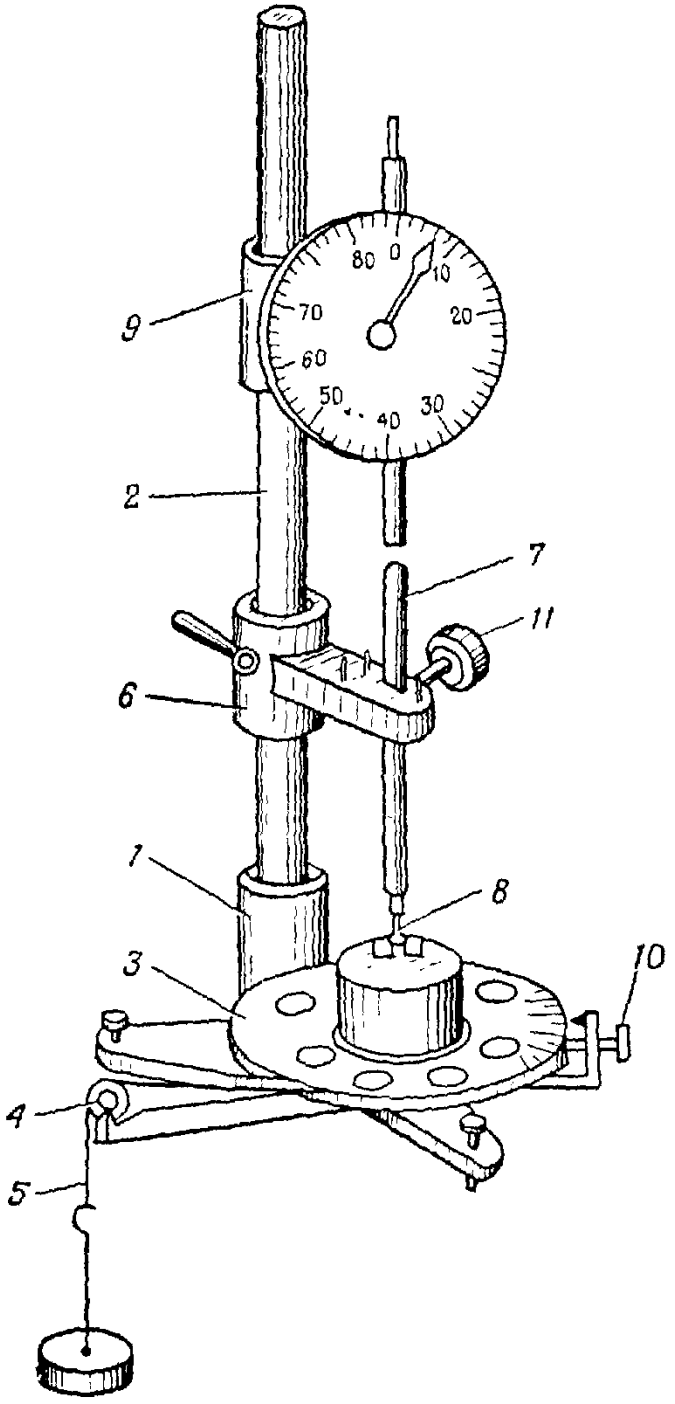


Рис. П12.3. Пенетрометр ЛПС-2:

1 — станина; *2* — стойка; *3* — вращающийся диск; *4* — *отводной ролик*; *5* — подвеска; *6* — нижний кронштейн; *7* — штанга; *8* — наконечник; *9* — верхний кронштейн; *10* — стопорный винт; *11* — зажимной винт

б) нижнего кронштейна *6* с закрепленной штангой *7* и комбинированного наконечника; участок меньшего диаметра штанги служит для размещения грузов, изготовленных в виде плоских дисков; верхняя часть штанги выполняется из трубки;

в) верхнего кронштейна *9* с узлом измерения глубины погружения наконечника; цена деления каждого из 360° шкалы лимба равна 0,1 *мм*; для определения глубины погружения наконечника стержень опускается до упора в штангу, при этом кремальера приводит в движение стрелку, что позволяет по разности конечного и начального отсчетов выявить глубину погружения наконечника.

Верхний и нижний кронштейны снабжены зажимными винтами и могут устанавливаться на стойке в любом положении.

В настольном приборе ЛПС-2 начальная масса штанги не превышает 0,1 *кг*, что соответствует минимальной величине удельного сопротивления пенетрации $R=0{,}016$ *кгс/см*^{2}. В этом приборе потери на трение штанги о направляющую практически отсутствуют. Максимальная масса грузов, размещаемых на грузовой площадке штанги, обычно не превышает 15 *кг*, что отвечает $R_{max}=2{,}4$ *кгс/см*^{2} или при $H_{max}=1{,}0$ *см* $R_{max,\,max}=15$ *кгс/см*^{2}.

Диапазон изменения моментов вращательного среза составляет от 1,5 до 60 *кгс · см*.

ЖУРНАЛ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ

Сооружение № . . . . Объект № . . . . . .

Начало работ . . . . . Окончание работ . . . .

Даты и часы	Схема размещения электродов	Количество пар электродов	Параметры электрического тока		Тип источника тока	Потребляемая мощность	Расход электролитов до смены полярности электродов			Расход электролитов после смены полярности электродов			Примечание
			Напряжение, *в*	Сила тока, *а*									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

В графах 8—13 указать наименование растворов солей и их концентрацию.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Общие положения 3
Глава II. Методика определения основных параметров закрепления грунтов 5
Глава III. Технология производства работ по электрохимическому закреплению грунтов 28
Глава IV. Контроль качества работ по электрохимическому закреплению грунтов 44
Глава V. Техника безопасности при электрохимическом закреплении грунтов 50
Приложения:
1. Сущность электрохимического закрепления грунтов и его разновидностей 53
2. Типовая технологическая карта на проходку вертикальной выработки с применением электрохимического закрепления . . . . . Вкл.
3. Основные технико-экономические показатели способов закрепления связных грунтов 67
4. Методика экономической оценки способов закрепления грунтов 69
5. Методика определения величины снижения влажности грунта 73
6. Технические характеристики источников постоянного тока 75
7. Методика отбора проб грунтов разъемной обоймой . . . 76
8. Методика определения электрических и электроосмотических характеристик грунтов 78
9. Примерный перечень оборудования и приспособлений, применяемых при электрохимическом закреплении грунтов 82
10. Перечень и ориентировочный расход материалов, используемых при электрохимическом закреплении грунтов . . 83
11. Методика контроля за процессом электрохимического закрепления грунтов 84
12. Методика совмещенных испытаний грунтов пенетрацией и вращательным срезом 88
13. Журнал работ по электрохимическому закреплению грунтов 93

Временные технические указания по электрохимическому закреплению грунтов на объектах МО

Под наблюдением *Усова Б. А.*
Редактор *Королев В. И.*
Технический редактор *Коновалова Е. К.*
Корректор *Былова Т. И.*

Г-35661
Сдано в набор 21.12.72 г.
Подписано к печати 15.8.73 г.
Формат бумаги 84×108 1/32 3 печ. л.
5.04 усл. печ. л. + 1 вклейка 1/4 печ. л.
0,42 усл. печ. л. 5,460 уч.-изд. л.
Изд. № 6/6709 Зак. 469

Бесплатно

☆

Ордена Трудового Красного Знамени
Военное издательство
Министерства обороны СССР
103160, Москва, К-160
1-я типография Воениздата
103006, Москва, К-6,
проезд Скворцова-Степанова, дом 3

gost.e-ecolog.ru