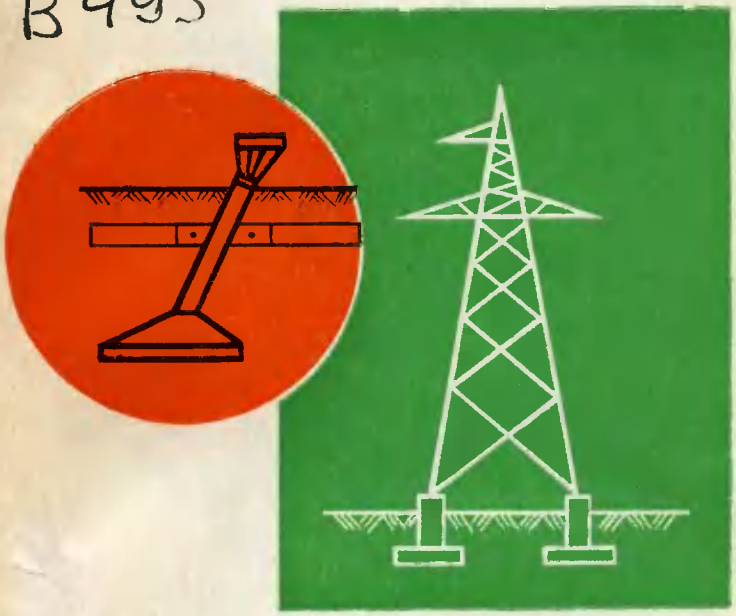
Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

621.315
В 493



Д. Е. ВИНОГРАДОВ

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 35-750 кВ

Библиотека ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 452

621.315
В.403

Д. Е. ВИНОГРАДОВ

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 35—750 кВ

К. У.

Центральная научно-техническая
БИБЛИОТЕКА
Западно-Уральского ЦНТИ

МОСКВА 1977 «ЭНЕРГИЯ»

6П2.13
В 49
УДК 621.315.66.002.72

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:
Большам Я. М., Зевакин А. И., Каминский Е. А., Ларионов В. П., Мусаэлян Э. С., Розанов С. П., Семенов В. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Соколов Б. А., Устинов П. И.

ДМИТРИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ ВИНОГРАДОВ

Закрепление опор линий электропередачи 35—750 кВ

Редактор *М. М. Каетанович*
Редактор издательства *И. П. Березина*
Обложка художника *В. И. Карпова*
Художественный редактор *Т. Н. Хромова*
Технический редактор *О. Д. Кузнецова*
Корректор *З. Б. Драновская*
ИБ № 383

Сдано в набор 17/IX 1976 г. Подписано к печати 2/II 1977 г. Т-04110
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 4,62 Уч.-изд. л. 4,58
Тираж 15 000 экз. Зак. 823 Цена 17 коп.

Издательство «Энергия», Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Виноградов Д. Е.

В 49 Закрепление опор линий электропередачи 35—750 кВ. М., «Энергия», 1977.

88 с. с ил. (Б-ка электромонтера, вып. 452).

В книге приведены основные способы закрепления металлических и железобетонных опор линий электропередачи 35—750 кВ в нормальных грунтах, на болотах, на скалах и в поймах рек, а также даны сведения о конструкциях фундаментов. Помещены данные о нагрузках на фундаменты опор и грунтах, воспринимающих нагрузки. Изложены сведения о способах производства работ и о применяемых механизмах.

Книга предназначена для рабочих и мастеров, занимающихся сооружением линий электропередачи.

В $\frac{30311\text{-}067}{051(01)\text{-}77}$ 35-76 6П2.13

© Издательство «Энергия», 1977 г.

1. СХЕМЫ ОПОР И ТРЕБОВАНИЯ К ИХ ЗАКРЕПЛЕНИЯМ

На линиях электропередачи (ВЛ) применяется несколько видов опор. По назначению они делятся на:

промежуточные, предназначенные для поддерживания проводов;

анкерные, воспринимающие натяжение проводов и грозозащитных тросов и устанавливаемые на прямых участках трассы;

анкерные угловые — опоры, воспринимающие натяжение проводов и грозозащитных тросов, но устанавливаемые на углах поворота трассы; кроме того, на углах поворота трассы иногда устанавливаются промежуточные угловые опоры облегченной конструкции, отличающиеся способом крепления проводов к опоре;

концевые, устанавливаемые на концах ВЛ и воспринимающие тяжение по проводам и грозозащитным тросам.

В зависимости от напряжения ВЛ, сечения и количества проводов, климатических условий, а иногда и профиля трассы или геологических условий применяется много различных конструкций опор.

Для восприятия весовых, ветровых нагрузок и нагрузок от тяжения проводов и грозозащитных тросов, а также и для удерживания самой опоры, опоры закрепляются в грунте на фундаментах. У большинства металлических опор фундамент состоит из четырех отдельно расположенных элементов, расстояние между которыми принято называть базой опоры.

В наиболее часто встречающихся грунтах (пески, супеси, суглинки, глины), которые в дальнейшем будем называть «обычными», опоры закрепляются с помощью сборных железобетонных, бетонных и свайных железобетонных фундаментов.

Фундамент, предназначенный для закрепления опоры, состоит из стойки с плитой и называется подножником. Элемент фундамента, предназначенный для закрепления оттяжки — анкерная плита, представляет собой плиту с ребрами жесткости и рымом. Железобетонные опоры наиболее часто закрепляются путем непосредственной их установки в котлован. Свайные фундаменты состоят из

одной или нескольких (куста) свай в каждом элементе закрепления. В отдельных случаях при закреплении переходных опор применяются крупнообъемные монолитные фундаменты, бетонирование которых производится в котлованах.

Схемы металлических и железобетонных опор и способы их закрепления приведены на рис. 1 и 2. Кроме приведенных на этих рисунках схем можно встретить и некоторые другие.

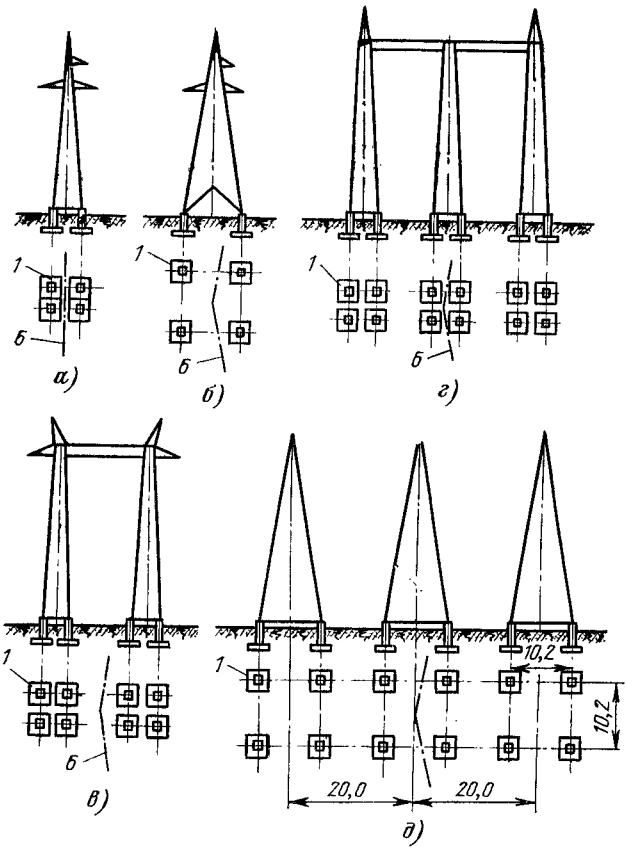
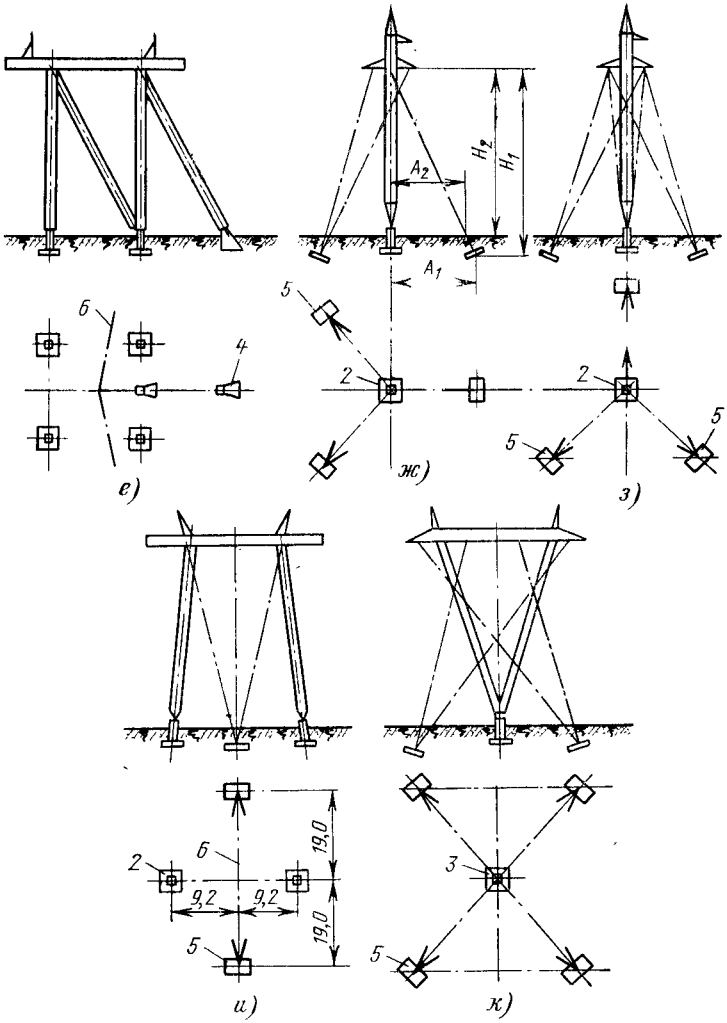


Рис. 1. Схемы закрепления различных металлических опор

а — башенная промежуточная опора 35—330 кБ; *б* — башенная опора 400—500 кВ; *г* — трехстоечная промежуточно-угловая опора *е* — АП-образная анкерно-угловая опора 400—500 кВ; *ж* — одностоечная опора 220 кВ; *з* — одностоечная концевая опора с оттяжками; *и* — угловая опора 330 кВ; *к* — «Набла» промежуточная опора 750 кВ *3* — фундамент с шарниром; *4* — фундамент подкоса; *5* — анкерная



в обычных грунтах.

анкерно-угловая опора 35—330 кВ; *в* — П-образная промежуточно-угловая 400—500 кВ; *д* — анкерно-угловая опора 500—750 кВ с раздельнымн стойками; ечная с оттяжками промежуточная опора 110—330 кБ или анкерно-угловая П-образная с оттяжками промежуточная опора 330—750 кВ или промежуточно-«Набла»; *1* — фундамент с анкерными болтами; *2* — фундамент со штырем; плита для крепленія одной или двух оттяжек; *6* — ось ВЛ.

Свободностоящие опоры (без оттяжек) прикрепляются к фундаментам с помощью двух или четырех анкерных болтов или болтов, не заделанных в бетон фундамента. Стойки опор с оттяжками устанавливаются на фиксирующие штыри опорных элементов фундамента и не закрепляются на них (кроме отдельных типов промежуточных опор ВЛ 750 кВ, соединенных

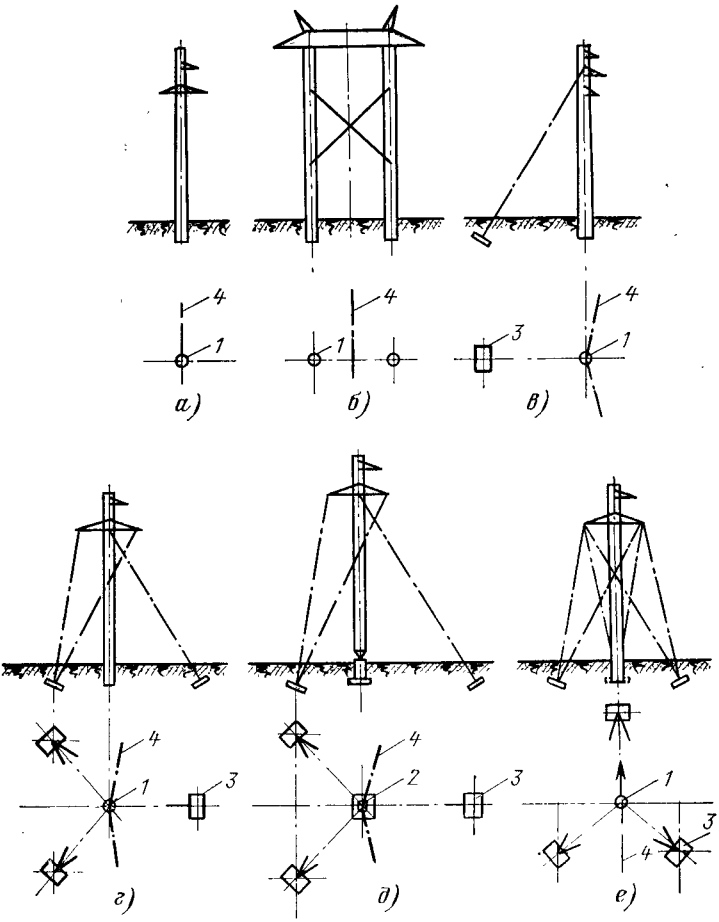


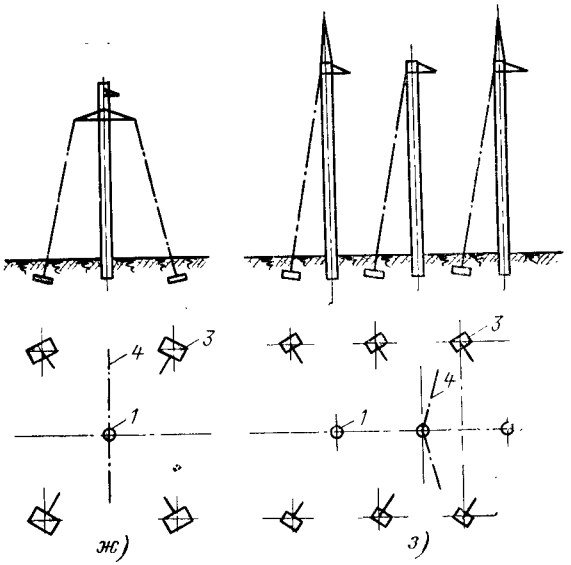
Рис. 2. Схемы закрепления различных железобетонных опор в обыч
а — одностоечная промежуточная опора 35—220 кВ; *б* — П-образная промежу 110 кВ; *г, д* — анкерно-угловые нормальная и повышенная опоры 110 кВ; анкерно-угловая опора 300 кВ; *1* — ствол, заложенный в грунт; *2* — фундамент оттяжек; *4* — ось ВЛ.

с фундаментом шарниром). Оттяжки опор прикрепляются к анкерным элементам фундамента.

У опор с оттяжками (рис. 1,*ж*—*к*) углы наклона оттяжек должны сохраняться неизменными, поэтому при установке опоры на косогоре или на скале, расположенной у поверхности земли, расстояние до мест расположения анкеров для крепления оттяжек должно изменяться. Так, например, при установке одностоечной опоры (рис. 1,*ж*) на скале размер A_1 должен быть уменьшен пропорционально изменению размера H_1:

$$A_2 = A_1 \frac{H_2}{H_1}.$$

Закрепление опор в грунте — наиболее трудоемкая работа, выполняемая на трассе (табл. 1), причем трудоемкость этого вида работы возрастает при прохождении трассы ВЛ по болотам и слабым грунтам. От правильного устройства и качества фундаментов опор во многом зависит надежность работы всей ВЛ. Стоимость сооружения фундаментов доходит до 20% стоимости всей



ных грунтах.

точная опора 330 кВ; *в* — промежуточно-угловая опора 35—*е* — концевая опора; *ж* — ответвительная опора 110 кВ; *з* — со штырем; *3* — анкерная плита для крепления одной или двух

ВЛ. Поэтому к закреплению опор помимо прочности и долговечности предъявляется еще целый ряд требований, основные из которых следующие:

возможность применения индустриальных методов производства работ, в результате чего достигается высокая производительность труда и снижается трудоемкость работ, выполняемых на трассе;

транспортабельность элементов фундаментов, простота и удобство их сборки;

технологичность, под которой подразумевается, что фундаменты должны состоять только из унифицированных и типовых деталей, объем земляных работ, выполняемых при устройстве фундаментов, должен быть минимальным, бетонирование на трассе, как правило, исключается, производство работ должно быть возможным в любое время года.

Таблица 1

Распределение трудозатрат по видам основных работ

Вид работы	Распределение трудозатрат, %, для ВЛ				
	220 кВ		330 кВ		500 кВ
	Количество цепей				
	1	2	1	2	1
Земляные	31	27	29	26	23
Монтаж фундаментов	8	7	5	6	4
Монтаж опор	23	24	27	25	32
Монтаж проводов и тросов	18	20	21	24	24
Транспортные	20	22	18	19	17

Желательно, чтобы фундаменты позволяли производить установку опор и монтаж проводов и грозозащитных тросов без временных усилений и сразу после устройства фундамента. Целесообразно также, чтобы при использовании различных фундаментов в связи с изменением грунтовых условий не приходилось применять различные конструкции приспособлений для установки опор (например, монтажных шарниров).

Кроме того, в пределах сооружаемой ВЛ или даже нескольких линий важно иметь небольшую номенклатуру деталей для закрепления опор, осуществлять работы минимальным количеством типов механизмов, исключать длительные переезды механизмов с одного места производства работ на другое. Из табл. 2 видно, что закрепление нормальных опор следует выполнять на подножниках или сваях.

Таблица 2

Особенности закрепления опор в различных грунтах

Группы грунтов	Рекомендуемый способ закрепления	Способ закрепления	Наиболее сложный вид работы	Рекомендуемое время производства работ	Потребность в специальных механизмах	Определяющие данные геологических изысканий
Нормальные	Подножники или сваи	Из унифицированных конструкций	Земляные работы или погружение свай	Любое время года	Не требуется	Категория грунта, его прочность, степень обводнения
Слабые	Сваи	Из унифицированных или неунифицированных конструкций	Монтаж фундамента	Сухое время года или зима	Погружатели больших свай	То же
Заливные поймы	Сваи	То же	Монтаж фундамента и ледозащиты	То же	То же	Наивысший уровень поверхности воды, зона ледохода, скорость течения воды
Скалы крепкие	Скальные заделки	Из неунифицированных типовых конструкций	Бурение шпуров	Любое время года	Перфораторы и компрессоры	Прочность скалы, трещиноватость, глубина залегания, уклон
Скалы слабые	Подножники или скальные заделки	То же	Образование котлованов или бурение шпуров	То же	То же	То же
Болота	Сваи	Из унифицированных типовых конструкций	Доставка конструкций и механизма	Зима или сухое время года	Легкие сваепогружатели	Толщина торфа, категория подстилающего грунта, агрессивность воды

2. НАГРУЗКИ НА ФУНДАМЕНТЫ ОПОР И ПРОЧНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОПОР В ГРУНТЕ

На фундаменты и элементы закрепления опор действуют значительные нагрузки, которые определяются:

а) массой опоры $Q_о$, проводов $Q_п$, гирлянд изоляторов $Q_г$, грозозащитных тросов $Q_т$, а также льда, который при определенных погодных условиях может образовываться на проводах и тросах (рис. 3,*а—в*);

б) давлением ветра на опору $P_о$, на проводе $P_п$ и грозозащитные тросы $P_т$ (рис. 3, *а—в*);

в) горизонтальной составляющей $T_г$ тяжения по проводам и грозозащитным тросам (рис. 3,*г*) только у угловых опор;

г) тяжением по проводам и грозозащитным тросам, действующим на опору при обрыве проводов или грозозащитных тросов в одном из пролетов. При этом, если провод прикрепляется с помощью натяжной гирлянды изоляторов (анкерные, угловые опоры), на опору действует полное тяжение T (рис. 3,*д*), при креплении провода с помощью поддерживающей гирлянды изоляторов (промежуточные опоры) на опору действует только часть тяжения T, обозначенная на рис. 3,*е* KT. Уменьшение тяжения происходит за счет перемещения точки A крепления провода в сторону пролета с необорванным проводом на расстояние L за счет поворота гирлянды изоляторов из вертикального положения в горизонтальное;

д) усилиями, возникающими при монтаже опоры и при натяжении проводов (монтажные нагрузки).

Нагрузки разнообразны по величине и направлению и зависят как от типа опоры, количества и сечения подвешиваемых проводов и грозозащитных тросов, так и от того, в каких климатических условиях расположена ВЛ.

По времени действия перечисленные нагрузки делятся на постоянные (весовые), действующие периодически с различной интенсивностью в разных направлениях (ветровые), аварийные, возникающие очень редко, причем время их возникновения заранее предугадать невозможно (обрыв проводов и грозозащитных тросов), и однократные, действующие только 1 раз в заранее известное время (монтажные).

При определении нагрузок, действующих на фундаменты или закрепления опор, в расчет принимается несколько сочетаний нагрузок, действующих на опору, например действие ветра наибольшей для данного района

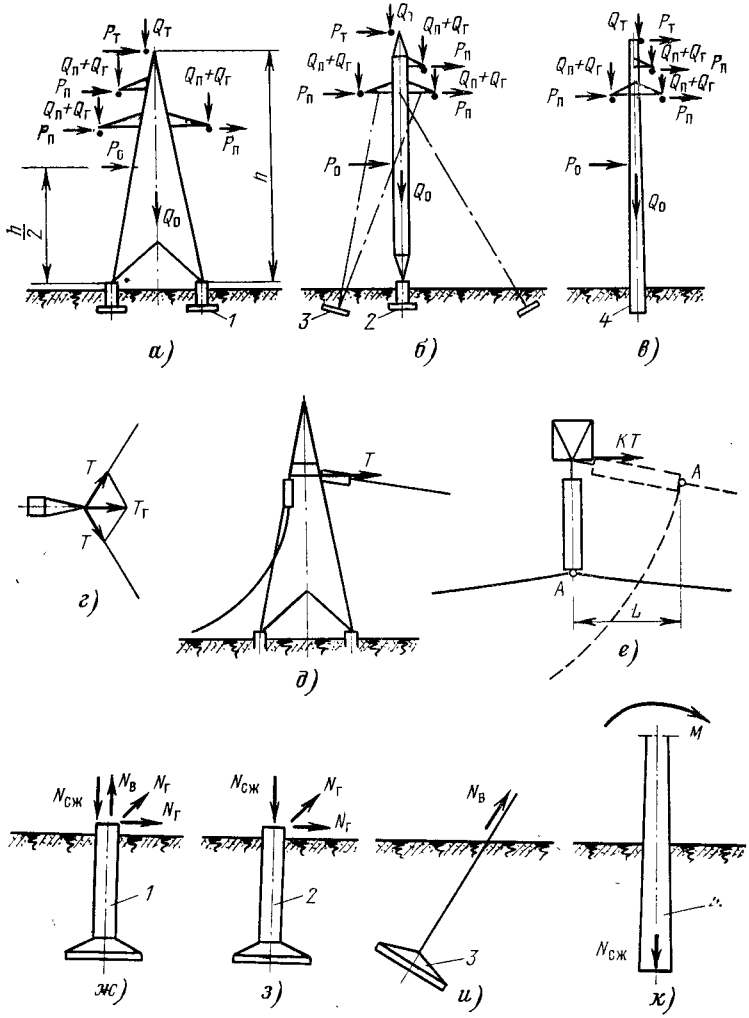


Рис. 3. Нагрузки на опоры и их фундаменты.

а, б, в **— нагрузки на опоры различных типов;** ***г*** **— схема действия горизонтальных нагрузок на траверсу угловой опоры;** ***д, е*** **— нагрузки на анкерную и промежуточную опоры при обрыве провода;** ***ж, з, и, к*** **— нагрузки на фундаменты различных типов.**

скорости при отсутствии льда на проводах и тросах; действие ветра при скорости, равной половине наибольшей, и наличии на проводах льда; обрыв проводов одной или двух фаз или грозозащитного троса и т. д.

Сочетания нагрузок относятся к нормальному режиму работы ВЛ, если провода и тросы не оборваны, или к аварийному режиму, если оборваны провода или грозозащитный трос. Как правило, определяющими выбор фундаментов являются сочетания нагрузок нормального режима работы ВЛ.

По характеру действующих на них нагрузок все фундаменты опор ВЛ можно отнести к четырем группам, приведенным в табл. 3.

Таблица 3

Виды нагрузок, действующих на фундаменты, и их ориентироночные значения

Группы фундаментов	Вид нагрузки, действующей на фундамент	Обозначение	Ориентировочные предельные значения для фундаментов опор ВЛ 35—330 кВ, кН	Рис. схемы фундамента
1	Сжатие Вырывание Горизонтальная вдоль и поперек оси траверсы опоры	$N_{сж}$ $N_в$ $N_г$	30—1400 10—1200 3—150	3, *ж*
2	Сжатие Горизонтальные вдоль и поперек оси траверсы	$N_{сж}$ $N_г$	80—500 1—5	3, *з*
3	Вырывание	$N_в$	20—250	3, *и*
4	Опрокидывающий момент Сжатие	M $N_{сж}$	150—470, кНЭл 50—80	3, *к*

Нормами предусматриваются более высокие коэффициенты запаса прочности фундаментов по отношению к нагрузкам нормальных режимов работы ВЛ, так как нагрузки аварийных режимов действуют на опоры очень редко. Для того чтобы не утяжелять конструкцию большого количества фундаментов, их часто не рассчитывают на действие горизонтальных нагрузок, возникающих при установке опор способом падающей стрелы или комби-

нированным способом. Поэтому на время монтажа фундаменты часто дополнительно укрепляются или поддерживаются в соответствии с указаниями на схемах монтажа опор ВЛ.

Дополнительно можно не закреплять фундаменты на время установки опор, если величина горизонтальной монтажной нагрузки меньше горизонтальной нагрузки, действующей в процессе эксплуатации опоры или при установке опоры в период, когда верхний слой земли промерз на глубину не менее 0,5 м.

В процессе монтажа проводов ВЛ могут действовать нагрузки, опасные для прочности фундаментов. Причинами их возникновения могут быть, например, создание большого одностороннего тяжения на анкерно-угловую опору в результате натяжения всех проводов только в одном анкерном пролете при отсутствии проводов в смежном анкерном пролете или вследствие натяжения только в одном анкерном пролете всех проводов одной цепи на двухцепных опорах. В связи с тем что анкерно-угловые опоры рассчитываются на обрыв проводов одной или двух фаз, приведенные выше схемы нагружения опор при монтаже могут быть опасны как для прочности опор, так и их фундаментов, поэтому вопрос о порядке выполнения работ и необходимости принятия дополнительных мер решается в проекте производства работ.

Величины нагрузок, действующих на фундаменты, определяют их размеры, трудоемкость и стоимость, поэтому при прохождении ВЛ по особо тяжелым участкам трассы иногда применяют способы, уменьшающие нагрузки, действующие на фундаменты. К ним относятся:

уменьшение длины пролета между опорами, уменьшение высоты опоры, применение опор с более широкой базой — для фундаментов промежуточных опор;

уменьшение тяжения в проводах и грозозащитных тросах, разбивка одного большого угла поворота трассы ВЛ на несколько меньших, применение опор с более широкой базой — для фундаментов угловых опор;

восприятия тяжения по проводам и тросам последовательно двумя концевыми опорами с таким расчетом, чтобы на каждую опору приходилась половина полного тяжения по проводам и тросам — для фундаментов концевых опор.

Следует также отметить, что уменьшение нагрузок на фундаменты опор дает внесение некоторых изменений

в схемы опор, например: уменьшение угла наклона к горизонтали оттяжек; увеличение количества оттяжек, поддерживание оттяжкой свободностоящей опоры для уменьшения вырывающей нагрузки (при этом сжимающие нагрузки увеличиваются). Эта группа способов уменьшения нагрузок всегда требует предварительной проработки и не может считаться типовой.

Необходимая прочность закрепления опор определяется как прочностью конструкций самих фундаментов, так и прочностью закрепления фундаментов в грунте. Конструкции типовых фундаментов рассчитываются на наибольшие нагрузки, которые могут на них действовать. Изготовление фундаментов из материалов с заранее известными практически неизменными характеристиками, как правило, осуществляется в заводских условиях, что обеспечивает их удовлетворительное качество.

Прочность закрепления фундаментов в грунте зависит от качества выполнения работы на трассе ВЛ.

Для того чтобы не допускать ошибок при закреплении в грунте фундаментов, нужно знать, каким образом нагрузки, действующие на фундамент, воспринимаются фундаментом и передаются на грунт.

На рис. 4 схематически изображены способы передачи нагрузок на грунт фундаментами различных типов. Приняты следующие буквенные обозначения: $Q_ф$, $Q_г$ — массы фундаментов и грунта; q — давление на единицу площади; $q_с$ — сила сцепления боковой поверхности сваи с грунтом, отнесенная к единице площади поверхности сваи.

Сжимающие нагрузки на грунт передаются:

подножниками и монолитными бетонными фундаментами — давлением подошвы фундамента на грунт (рис. 4,*а*, *д*). При установке фундамента на слой гравия или щебня давление распределяется на несколько увеличенную поверхность грунта (рис. 4,*б*);

сваями — силой сцепления боковой поверхности сваи с грунтом и давлением нижнего торца сваи на грунт (рис. 4,*в*);

винтовыми сваями — давлением винтовой лопасти сваи на грунт и силой сцепления боковой поверхности сваи с грунтом (рис. 4,*г*).

Вырывающие нагрузки воспринимаются:

монолитными бетонными фундаментами — весом самого фундамента (рис. 4,*д*);

подножниками — весом фундамента (15—20%) и весом объема грунта, расположенного на плите подножника (80—85%), границы объема грунта показаны линиями (рис. 4,*е*);

Рис. 4. Схемы передачи фундаментами на грунт усилий.

а, в, г — передача усилия сжатия подножником, сваей, винтовой сваей; *б* — передача сжимающего усилия на увеличенную площадь при подсыпке под плиту подножника гравия или щебня; *д, е, ж, з* — передача усилия выдергивания монолитным бетонным фундаментом, подножником, сваей, винтовой сваей; *и, к, л, м* — передача горизонтальной нагрузки монолитным бетонным фундаментом, подножником, подножником с ригелем, сваей; *н, о* — передача опрокидывающего момента стволом железобетонной опоры, стволом железобетонной опоры с ригелем.

сваями — весом сваи и силой сцепления боковой поверхности сваи с грунтом (рис. 4,*ж*);

винтовыми сваями — давлением винтовой лопасти сваи на грунт с ненарушенной структурой и силой сцепления боковой поверхности сваи с грунтом (рис. 4,*з*).

Для нормальной работы фундамента, воспринимающего горизонтальные нагрузки, необходимо, чтобы удерживающий момент $Q_{\Phi}Б$ был больше опрокидывающего $N_{\Gamma}H$ (рис. 4,*и*).

Горизонтальные нагрузки воспринимаются:

монолитными бетонными фундаментами — весом фундамента;

подножниками — весом фундамента и весом грунта (рис. 4,*к*);

подножниками с ригелем — как весом фундамента, так и весом грунта и давлением ригеля на грунт, что создает дополнительное сопротивление перемещению подножника в грунте (рис. 4,*л*);

сваями за счет давления боковой поверхности сваи на грунт (рис. 4,*м*).

Опрокидывающий момент, действующий на стойку железобетонной опоры, передается на грунт боковой поверхностью стойки (рис. 4,*н*) или ригеля (рис. 4,*о*).

Наличие грунтовой воды значительно уменьшает несущую способность фундаментов на вырывание, когда эта нагрузка воспринимается весом фундамента или грунта (подножники, бетонные монолитные фундаменты), а также уменьшает величину допускаемой горизонтальной нагрузки.

Как известно, любое тело, в том числе фундамент и грунт, опущенное в воду, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненный им объем воды. Грунты с ненарушенной структурой (не подвергавшиеся разработке) более плотны, поэтому фундаменты, установленные с использованием прочности ненарушенной структуры грунта, допускают нагрузки большей величины.

3. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУНТАХ

Породы верхних слоев земной коры называются грунтами. Грунты состоят из твердых частиц и пор, которые заполняются воздухом или водой в зависимости от степени влажности грунта. Сверху грунты обычно покрыты растительным слоем.

Различают следующие виды грунтов: скальные — в основном крепкие монолитные породы, различаются по прочности, например к крепким скалам относятся граниты и гнейсы, к слабым — известняки; крупнообломочные — несцементированные грунты, содержат более 50% обломков размерами более 10 мм; песчаные — не обладают пластичностью, сыпучие в сухом состоянии, содержат менее 50% частиц крупнее 2 мм; глинистые связные грунты — в зависимости от содержания воды могут быть твердыми, пластичными и мягкими. К глинистым грунтам относятся супеси и суглинки — смеси песка и глины, первые по своим свойствам ближе к пескам, а вторые — к глинам. Разновидностью являются суглинки, супеси или пески с вкраплениями гальки, гравия и валунов. К глинистым грунтам также относятся илы — смесь пылеватых частиц с глиной и песком. В дальнейшем глинистые и песчаные грунты будут условно называться «обычными».

К особым видам грунтов относятся:

лессовидные грунты — пылеватые суглинки, содержащие большое количество пылеватых частиц, присутствие извести, пористость 40% и более, плотность 1,2—1,6 т/м^3:

торф — органический грунт, состоящий из различно разложившихся растений. Торф встречается как в чистом виде, так и вместе с илом, при содержании в грунте торфа до 10%, до 60% и более 60% соответственно называются грунт с примесью органических остатков, заторфованный грунт и торф;

плывуны — грунты в виде водонасыщенной массы, состоящей из частиц размером 0,02 — 0,002 мм. Высохшие плывуны становятся твердыми, а при появлении влаги возвращаются в прежнее состояние. В зависимости от размеров минеральных частиц грунты подразделяются на следующие:

Галька или щебень (угловатые частицы)	Более 20 мм
Гравий или дресва (угловатые частицы)	От 2 до 20 мм
Песок	От 0,05 до 2 мм
Пылеватые грунты	От 0,005 до 0,05 мм
Глинистые грунты	Менее 0,005 мм

Показатель состояния пластичного грунта (текучее, пластичное, твердое) в зависимости от влажности назы-

ваётся коэффициентом консистенции B и определяется по формуле

$$B=\frac{W_{\text{п}}-W_{\text{р}}}{W_{\text{п}}},\quad W_{\text{п}}=W_{\text{т}}-W_{\text{р}},$$

где $W_{\text{п}}$ — природная влажность грунта; $W_{\text{т}}$ — предел текучести (грунт не сохраняет форму); $W_{\text{р}}$ — нижний предел пластичности на границе раскатывания (между ладонями грунт можно раскатать в цилиндр).

Если $W_{\text{п}}<W_{\text{р}}$, то $B<0$ — грунт находится в полутвердом или твердом состоянии;

если $W_{\text{п}}=W_{\text{р}}$, то $B=0$ — грунт на границе полутвердого и пластичного состояний;

если $W_{\text{п}}>W_{\text{р}}$, но $W_{\text{п}}<W_{\text{т}}$, то $1>B>0$ — грунт в пластичном состоянии;

если $W_{\text{п}}=W_{\text{т}}$, то $B=1$ — грунт на границе пластичного и текучего состояний;

если $W_{\text{п}}>W_{\text{т}}$, то $B>1$ — текучее состояние грунта.

Основными характеристиками грунтов являются допускаемое нормативное давление на грунт, объемная масса грунта и сцепление боковой поверхности сваи с грунтом. Эти характеристики являются определяющими для несущей способности фундамента, а также прочности закрепления в грунте свай.

В табл. 4 приведены характеристики некоторых основных грунтов.

Таблица 4

Характеристики некоторых основных грунтов

Грунты	Плотность ненарушенного грунта, т/м³	Нормативное давление, МПа	Сцепление с боковой поверхностью сваи, т/м²
Галька с песком	1,85—2,0	0,5—0,6	—
Песок крупный	1,8	0,35—0,45	3,7—4,5
Песок мелкий	1,9—2,0	0,2—0,3	2,6—3,5
Супеси	1,5—1,9	0,2—0,3	1,7—2,5
Суглинки	1,5—1,9	0,1—0,3	0,4—0,5
Глины	1,6—1,8	0,1—0,6	0,4—0,5

Характеристики песчаных грунтов зависят от плотности грунта и его влажности, глинистых грунтов — от консистенции. Объемная масса разрыхленного грунта засыпки меньше ненарушенного и в среднем составляет 1,5—1,6 т/м³.

4. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОР В ОБЫЧНЫХ ГРУНТАХ

Для закрепления унифицированных металлических опор 35—330 кВ применяются типовые сборные, железобетонные и свайные фундаменты, состоящие из унифицированных или типовых элементов.

В табл. 5 приведены способы закрепления металлических опор. Фундаменты состоят из грибовидных подножников для промежуточных и анкерно-угловых опор, анкерных плит, ригелей и анкеров.

Серия грибовидных фундаментов показана на рис. 5, а их основные размеры H и A зависят от типа фундамента и определяются при выборе фундамента. Характеристики железобетонных фундаментов для промежуточных и анкерно-угловых опор приведены в табл. 6 и 7. Фундаменты, имеющие размер плиты 2,7×3,5 и 2,7×4,5, предназначены как для больших нагрузок, так и для установки в слабых грунтах. Фундаменты со штырями ФК1-0, Ф2-0, Ф3-0, Ф4-0 предназначены для установки на них стоек опор с оттяжками. Такие фундаменты имеют более слабое армирование, так как на них в процессе эксплуатации действуют небольшие горизонтальные нагрузки. В стойках всех фундаментов имеются поперечные отверстия диаметром 50 мм для их погрузки и монтажа.

Как уже отмечалось, на фундаменты опор действуют вертикальные и горизонтальные нагрузки. При вертикальном расположении стоек горизонтальные нагрузки на них создают изгибающий момент, для восприятия которого в стойку закладывается дополнительная арматура.

В фундаментах, рассчитанных на большие нагрузки, стойки расположены наклонно, соответственно углу наклона пояса анкерно-угловой опоры, что дает возможность значительно уменьшить изгибающий момент, а значит, и сократить расход арматуры.

Для закрепления тяжелых опор, а также для установки опор в слабых грунтах разработаны специальные фундаменты ФС1-А и ФС2-А (рис. 6, *в*), состоящие из грибовидного элемента и плит. Фундаменты с вертикальными стойками имеют по четыре анкерных болта, расстояние между которыми 250 мм. Фундаменты с наклонными стойками снабжены стальными закладными частями, имеющими наверху фланцевый лист с четырьмя отверстиями, расстояние между которыми может быть

Таблица 5

Способы закрепления металлических опор в обычных грунтах

Типы опор	Конструкции фундаментов и способы закрепления		
	Фундаменты из подножников и анкерных плит	Фундаменты из призматических свай	Прочие фундаменты
	Типовые способы		
Свободностоящие металлические опоры	1. Подножник с прямой стойкой (рис. 5, *а* и *б*) 2. Подножник с наклонной стойкой (рис. 5, *в*) 3. Два подножника с наклонной стойкой с металлической балкой (рис. 12) 4. То же, что и п. 1—3, но с одним, двумя или тремя ригелями (рис. 8, *а*, *б*, *г*)	1. Одна свая (рис. 15, *а*) 2. Две сваи с железобетонной балкой (рис. 15, *б*)	—
	Нетиповые способы		
	1. Подножник с пригрузочными плитами (рис. 5, *г*) Два или три подножника с вертикальными стойками с металлической балкой (рис. 35, *а*) 3. Подножник на плите 4. То же, что и п. 1—3, но с одним, двумя или тремя ригелями	1. Две, четыре или шесть свай с металлической балкой (рис. 15, *в*, *г*) 2. Четыре сваи и более с железобетонным монолитным ростверком (рис. 35, *г*, применяется редко)	1. Бетонный, монолитный, общий под опору 2. Бетонный монолитный, но отдельно под каждую „ногу“ опоры (рис. 35, *е*) 3. Одна или две винтовые сваи (рис. 17)

Продолжение табл. 5

Типы опор		Конструкции фундаментов и способы закрепления		
		Фундаменты из подножников и анкерных плит	Фундаменты из призматических свай	Прочие фундаменты
Свободностоящие металлические опоры		5. Металлический подножник с плитой из железобетона или бревен		
Металлические и железобетонные опоры с оттяжками	Опоры	**Типовые способы**		
		1. Подножник с вертикальной стойкой (рис. 5, *а*) 2. Подножник с наклонной стойкой (для П-образных опор, рис. 5, *в*)	— —	— —
		Нетиповые способы		
		1. Подножник на плите	1. Одна свая (рис. 15, *д*) 2. Две или четыре сваи с металлической балкой (рис. 15, *е*)	1. Одна винтовая свая (рис. 17, *б*)
	Оттяжки	1. Анкерная плита (рис. 13, *в*)	1. Одна свая (рис. 15, *з*) 2. Две сваи с металлической балкой (рис. 15, *и*)	1. Одна винтовая свая (рис. 17, *а*)

Примечания: 1. Подножники и анкерные плиты иногда не заглубляются на проектную отметку и при этом устраиваются насыпные банкетки.

2. Конструкции фундаментов, материал которых не указан, изготавливаются из железобетона.

Таблица 6

Характеристики железобетонных фундаментов для унифицированных металлических промежуточных опор ВЛ 35—330 кВ

Марка фундамента	ФК1-2	ФК1-0	Ф1-2	Ф2-2	Ф2-0	Ф3-2	Ф3-0	Ф4-2
Эскиз фундамента на рисунке	5,*а*							
Детали крепления опоры	4 болта	Штырь	4 болта	4 болта	Штырь	4 болта	Штырь	4 болта
Размеры, м:								
Н	2,2	2,2	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
А	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,1
Б	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Объем железобетона, м³	0,54	0,54	0,59	0,96	0,96	1,17	1,17	1,36
Масса фундамента, т	1,35	1,35	1,47	2,4	2,4	2,9	2,9	3,4

Продолжение табл. 6

Марка фундамента	Ф4-0	Ф5-2	Ф6-2	Ф6-4	ФП6-2	ФП6-4	ФС1-4	ФС2-4
Эскиз фундамента на рисунке	5,*а*						5,*б*	
Детали крепления опоры	Штырь	4 болта	4 болта	4 болта	4 болта	4 болта	4 болта	4 болта
Размеры, м:								
Н	2,7	3,2	3,2	3,2	5,0	5,0	3,2	3,2
А	2,1	2,4	2,7	2,7	2,7	2,7	3,5	4,5
Б	0,4	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,4	0,7
Объем железобетона, м³	1,36	1,79	2,24	2,24	2,69	2,69	2,4	2,8
Масса фундамента, т	3,4	4,5	5,6	5,6	6,7	6,7	6,0	7,0

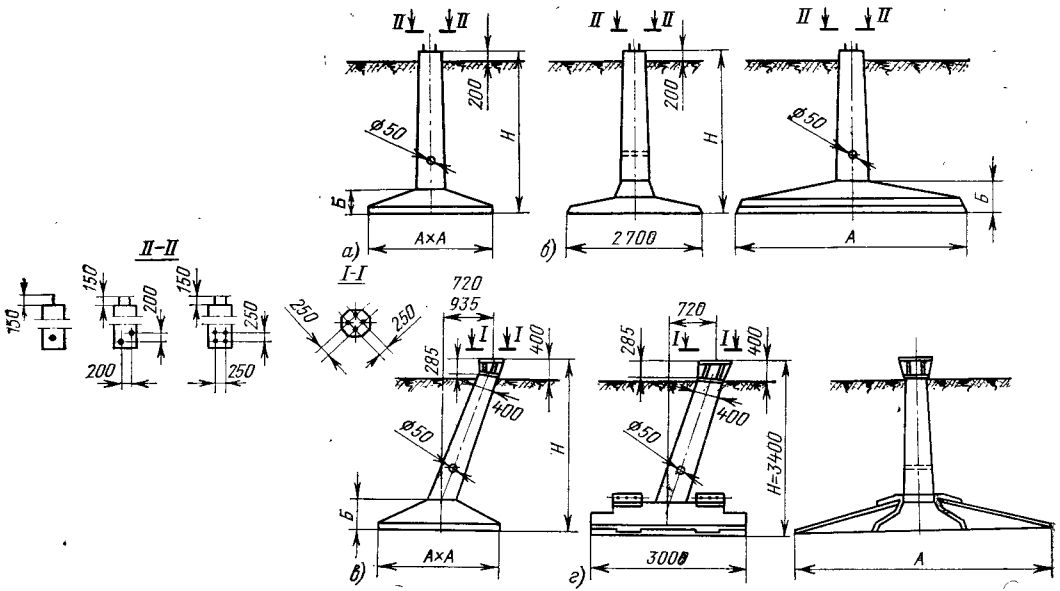


Рис. 5. Фундаменты промежуточных и анкерно-угловых опор.

Таблица 7

Характеристики железобетонных фундаментов для унифицированных металлических анкерно-угловых опор ВЛ 35—330 кВ

Марка фундамента	Ф1-А	Ф2-А	Ф3-А	Ф4-А	Ф5-А	ФП5-А	ФС1-А	ФС2-А
Эскиз фундамента на рисунке	5, *а*	5, *а*	5, *в*	5, *в*	5, *в*	5, *в*	5, *г*	5, *г*
Расстояние между анкерными болтами, мм	250	250	250 350	250 350	250 350	250 350	250 350	250 350
Размеры, мм:								
Н	3,2	3,2	3,4	3,4	3,4	5,4	3,4	3,4
А	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	2,7	4,2	5,2
Б	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,45	0,72	0,72
Объем железобетона, м³	1,0	1,2	1,7	2,0	2,5	3,0	4,2	4,6
Масса фундамента, т . .	2,5	3,0	4,3	5,0	6,5	7,5	10,6 (6,8)*	11,6 (6,3

* Масса фундамента без плиты.

250 или 350 мм. Опора к таким фундаментам прикрепляется болтами, не заделанными в бетон.

Серия анкерных плит для закрепления оттяжек показана на рис. 6, а их характеристики приведены в табл. 8.

Ригели, предназначенные для увеличения несущей способности фундаментов при действии горизонтальной

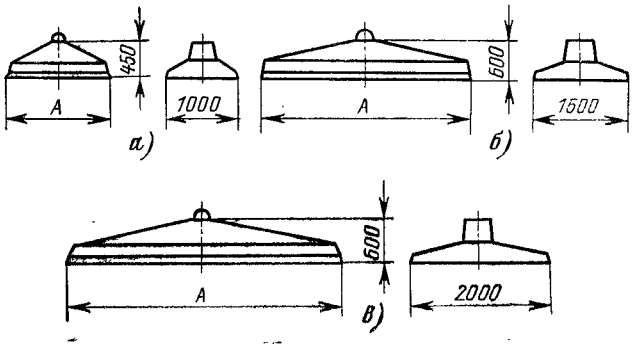


Рис. 6. Анкерные плиты.

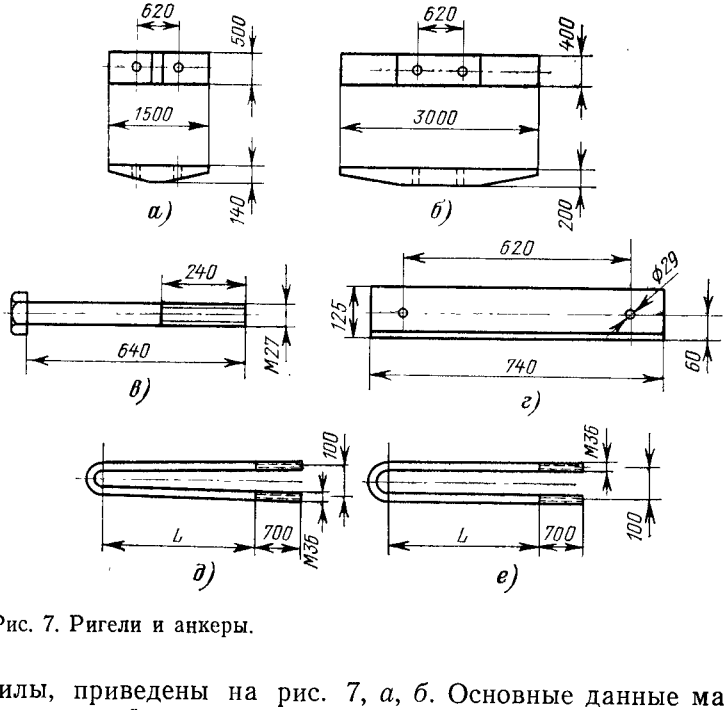


Рис. 7. Ригели и анкеры.

силы, приведены на рис. 7, *а*, *б*. Основные данные марок ригелей следующие:

	PI (рис. 7, *а*)	PI-II (рис. 7, *б*)
Объем железобетона, м³ . . .	0,08	0,2
Масса стали, кг	14	38
Масса ригеля, т	0,2	0,5

Таблица 8

Характеристики анкерных плит

Марка плиты и ее характеристика	Тип плиты					
	ПА1 (рис. 6, *а*)		ПА2 (рис. 6, *б*)		ПА3 (рис. 6, *в*)	
Марка плиты	ПА1-1	ПА1-2	ПА2-1	ПА2-2	ПА3-1	ПА3-2
Размер плиты *А*, м . .	1,0	1,5	2,0	3,0	3,0	4,0
Объем железобетона, м³	0,2	0,28	0,65	0,89	1,15	1,43
Масса стали, кг . . .	25	30	68	92	114	146
Масса плиты, т . . .	0,5	0,7	1,6	2,2	2,8	3,6

Ригели имеют по два отверстия для крепления к стойке подножника. Крепление ригелей осуществляется с помощью уголка марки Д-13 массой 11 кг (рис. 7, *г*) и болтов марки Д-11 массой 3 кг (рис. 7,*в*). Схемы крепления ригелей к подножникам приведена на рис. 8.

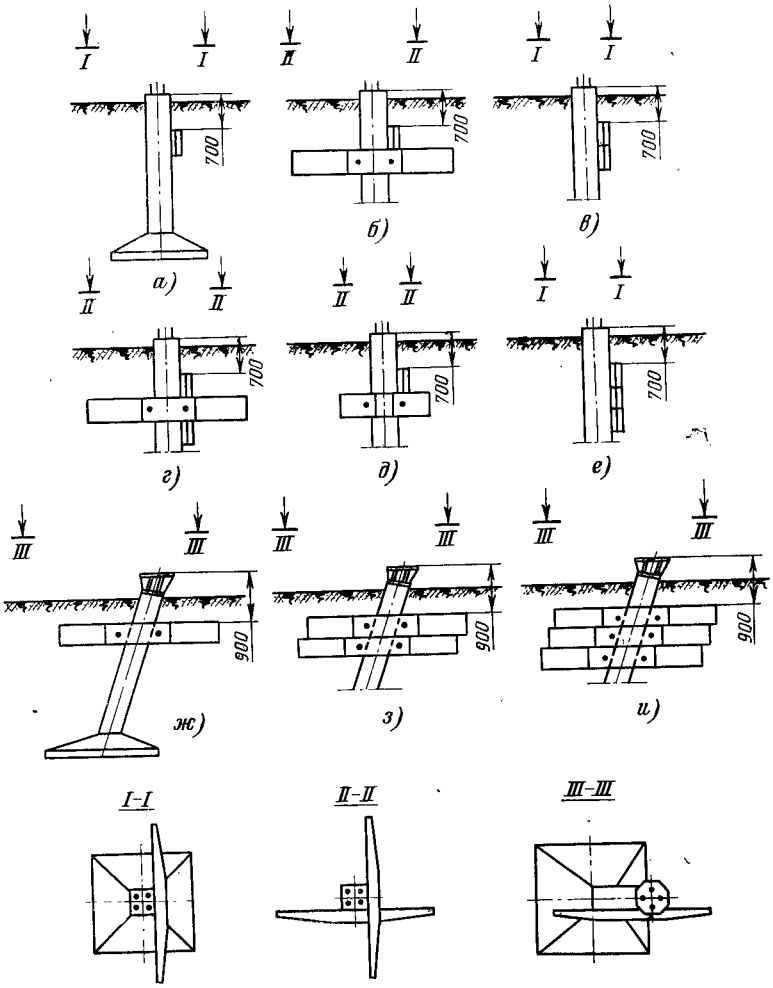


Рис. 8. Схемы установки ригелей.

Фундаменты с вертнкальнымн стойкамн: *а* — с одним ригелем; *б*, *в*, *д* — с двумя ригелями; *г*, *е* — с тремя ригелями; фундаменты с наклоннымн стойкамн: *ж* — с одним ригелем; *з* — с двумя ригелями; *и* — с тремя ригелями.

Для присоединения оттяжек к анкерным плитам, а также для натяжения оттяжек с помощью резьбы длиной 700 мм применяются анкеры (U-образные болты), изображенные на рис. 7,*д*, *е*. Характеристики анкеров следующие.

Марка анкера	А1-1 (рис. 7, *д*)	А1-2 (рис. 7, *д*)	А2-1 (рис. 7, *е*)	А2-2 (рис. 7, *е*)
Длина, мм	2760	3260	2760	3260
Диаметр, мм	36	36	42	42
Масса стали, кг	40	45	58	66

На рис. 9 изображен фундамент промежуточной опоры П220-2 в обводненном грунте. Для частичного извле-

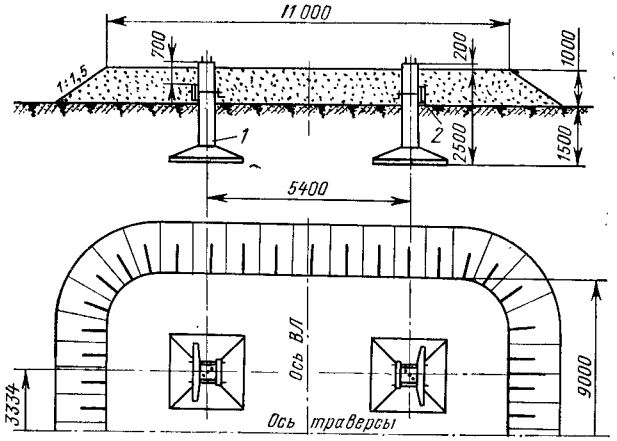


Рис. 9. Фуидамент промежуточной опоры П220-2 в обводненном грунте.
1 — фуидамент Ф4-2; *2* — ригель Р1.

чения из обводненного грунта подножники недозаглублены и устроена банкетка из насыпного грунта. Ригели на подножниках расположены вдоль оси ВЛ для восприятия ветровой горизонтальной нагрузки, возникающей в результате действия ветра на опору, провода и трос.

Фундамент промежуточной опоры с оттяжками ПС220-1 показан на рис. 10. Фундамент состоит из одного подножника для опирания стойки опоры и трех анкерных плит, расположенных в котлованах наклонно, перпендикулярно направлению оси оттяжки. К двум анкерным плитам присоединены по два анкера, по числу крепящихся оттяжек.

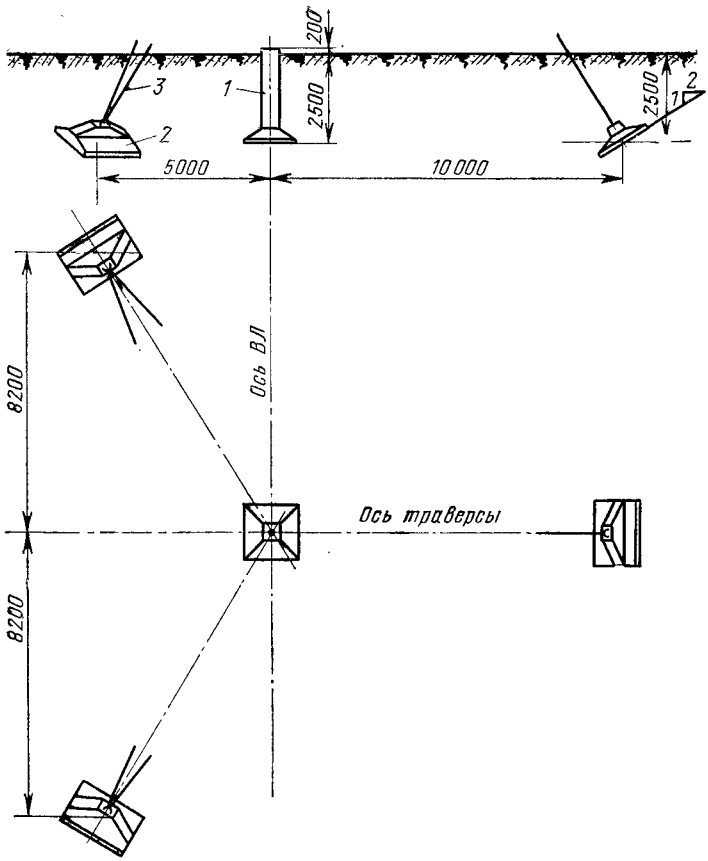


Рис. 10. Фундамент промежуточной опоры с оттяжками ПС220-1.
1 — фундамент Ф2-0; *2* — анкерная плита ПА2-1; *3* — анкер АР-1.

На рис. 11 приведен фундамент угловой опоры У35-2. Вырываемые элементы фундамента *А* состоят из более тяжелых подножников Ф2-А, а прижатые *Б* из более легких Ф1-А, на которых установлены ригели Р1.

Фундамент угловой опоры У330-2 изображен на рис. 12. Подножники с наклонными стойками повернуты на угол 45° к оси траверсы. Вырываемые блоки состоят из двух подножников с плитами и металлических балок. Прижатые подножники в связи с недозаглублением их на высоту металлических балок, установленных на прижатых блоках, имеют насыпные банкетки.

Иногда фундамент всей опоры закладывается в грунт не на полную глубину. Недозаглубление может быть принято для увеличения несущей способности фундамента на вырывание и на действие горизонтальных нагрузок в полностью или частично обводненных грунтах, при сложности образования котлована на проектную глубину, например при залегании скалы, а также для некоторого повышения опоры. При этом обязательно должна

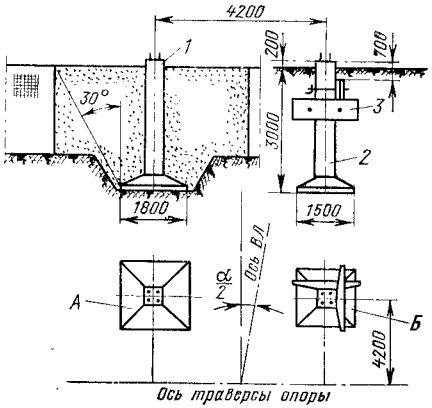


Рис. 11. Фундамент угловой опоры У35-2. Вырываемые блоки *А* состоят из элементов Ф2-А (*1*), прижатые блоки *Б* состоят из элементов Ф1-А (*2*) и Р1 (*3*). В разрезе показан вариант установки блока *А* на болоте.

быть устроена банкетка из насыпного грунта, компенсирующая неполное заглубление фундамента. Форма насыпных банкеток фундаментов и анкерных плит приведена на рис. 13,*а*. Размеры *А*, *Б*, *В*, *Г*, *Д*, *Е* устанавливаются в проекте. Обычно высота насыпных банкеток не превышает 1,5—2,0 м.

Для устройства свайных фундаментов разработаны серии свай квадратного сечения размером 0,25×0,25 м, длиной 6 и 8 м и 0,35×0,35 м, длиной 8, 10 и 12 м, а также пустотелых цилиндрических свай диаметром 560 мм, длиной от 7,8 до 22,6 м.

Конструкции свай квадратного сечения показаны на рис. 14.

На рис. 15,*а*, *б*, *в*, *г* показаны схемы фундаментов промежуточных и угловых опор ВЛ 110—220 кВ для одной ноги металлической свободностоящей опоры. Фундаменты состоят из одной, двух, четырех и шести железобетонных свай длиной 6 м, сечением 0,25×0,25 м.

Фундаменты из одной сваи выполняются с одним анкерным болтом и переходным башмаком для крепле-

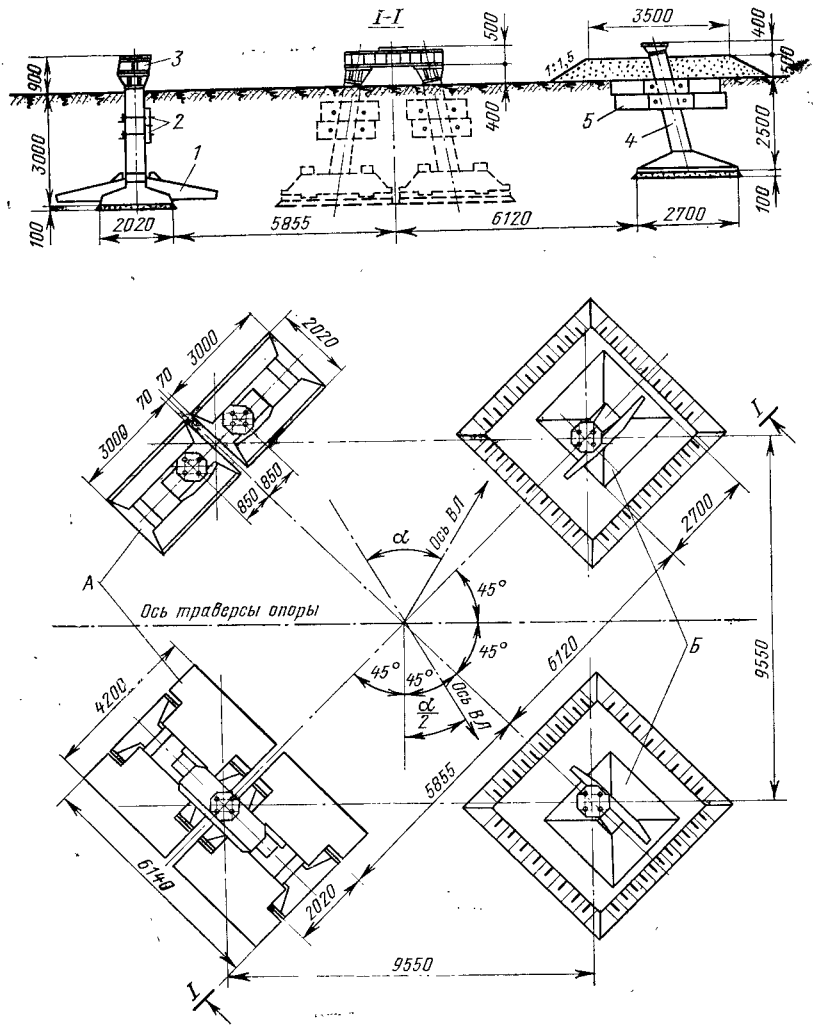


Рис. 12. Фундамент угловой опоры У330-2. Вырываемые блоки *А* состоят из элементов ФС1-А-350 (*1*), Р1 (*2*), балки Б1 массой 1972 кг (*3*); прижимаемые блоки *Б* состоят из элементов Ф5-А-35 (*4*), Р1 (*5*). Один блок А условно показан без навесных плит и металлической балки.

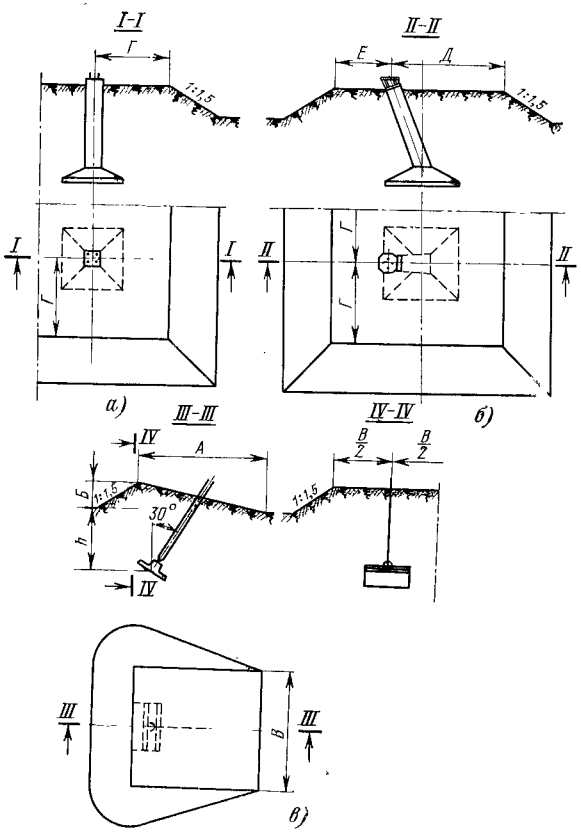


Рис. 13. Размеры и расположение насыпных банкеток.
а — подиожников с вертикальными стойками; *б* — подножников с наклонными стойками; *в* — анкерных плит.

ния пяты опоры, фундаменты из нескольких свай связываются ростверком под каждую ногу опоры.

На рис. 15,*д*, *е*, *ж* показаны различные конструкции элементов фундаментов для закрепления стойки одностоечной опоры 220—330 кВ с оттяжками, состоящие из одной сваи или двух и четырех свай с металлическими балками, надеваемыми сверху на сваи без закрепления болтами. У верхнего конца сваи имеют сквозное отверстие, за которое осуществляется их захват при погружении. В фундаменте из одиночной сваи штырь для фиксации положения стойки опоры вставляется после погруже-

ния сваи в предусмотренное для него отверстие, расположенное в верхнем торце сваи. Анкеры для крепления оттяжек, состоящие из одной сваи или двух свай с металлической балкой в виде коромысла, шарнирно присоединенного к сваям с помощью четырех пластин, изображены на рис. 15,*з*, *и*.

Как показывают расчеты в нормальных грунтах, допускающих погружение свай, стоимость, трудозатраты и

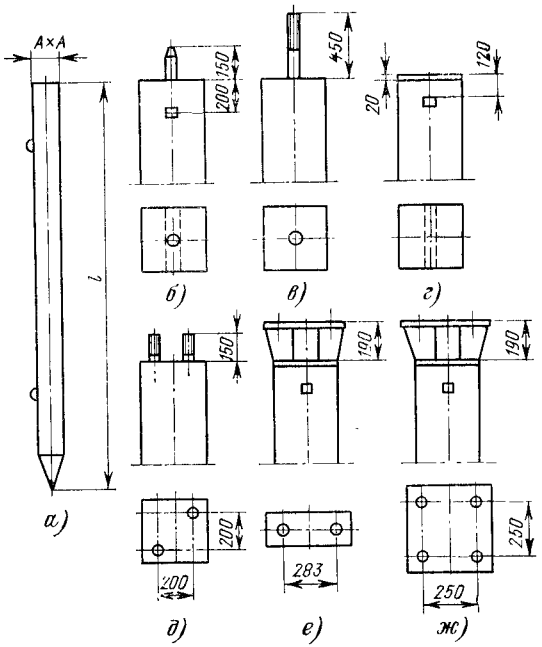
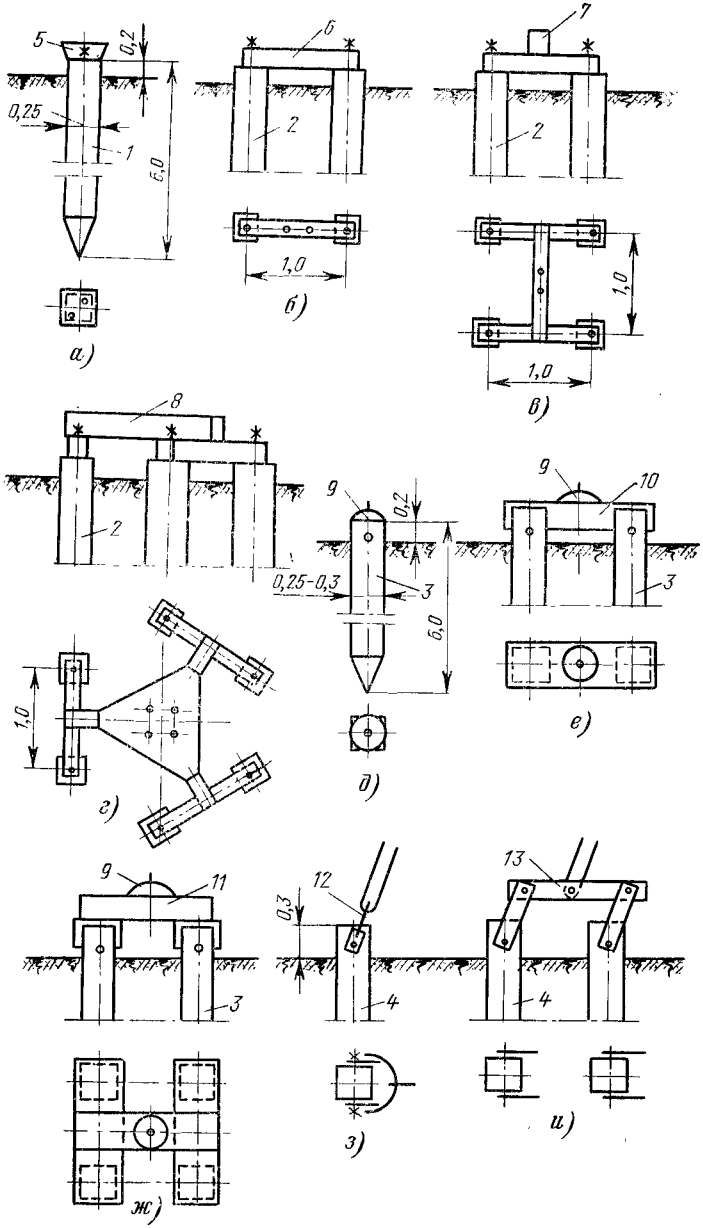


Рис. 14. Железобетонные сваи квадратного сечения.

а — схема сваи; *б—д* — схемы оголовков свай; *е*, *ж* — наголовники типа Н1 и Н2.

Рис. 15. Конструкции свайных фуидаментов.

Фундаменты свободностоящих опор 110—220 кВ: *а*, *б*, *в*, *г* — из одной, двух, четырех, шести свай: фундамеиты опор 330 кВ с оттяжками: *д*, *е*, *ж* — фундаменты для стойки из одной, двух и четырех свай; *з*, *и* — анкеры для крепления оттяжек из одной и двух свай; *1*, *2*, *3*, *4* — сваи с длинными и короткими анкерными болтами для стойки опоры и для оттяжек; *5* — переходной башмак; *6*, *7*, *8* — балки для двух, четырех и шести свай; *9* — штырь и сфера для крепления стойки; *10*, *11* — балки для крепления стойки на две и четыре сваи; *12* — скоба для крепления оттяжки; *13* — коромысло для крепления оттяжек к двум сваям.

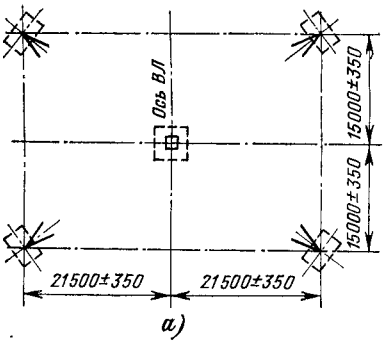

5
0,2
0,25
1
6,0
а)
6
2
1,0
б)
7
2
1,0
1,0
в)
8
2
г)
9
0,2
0,25-0,3
3
6,0
д)
9
10
3
е)
9
11
3
ж)
12
0,3
4
з)
13
4
и)

расход материалов у свайных фундаментов опор 110—220 кВ, как правило меньше, чем при закреплении их на подножниках. Однако в связи с тем что на отдельных пикетах трассы могут залегать грунты, не допускающие погружение свай, причем иногда это обнаруживается только в процессе производства работ, в этих случаях применение свайных фундаментов вызывает усложнение и удорожание строительства.

Фундаменты опор ВЛ 500 и 750 кВ. В настоящее время напряжения 500 и 750 кВ наиболее высокие на действующих ВЛ переменного тока. По ним передаются очень большие энергетические мощности, как правило, на большие расстояния. Поэтому закрепление опор ВЛ 500 и 750 кВ приобретает большую ответственность, что усугубляется большими размерами рядовых опор и значительными нагрузками, действующими на их фундаменты.

На первых ВЛ 400—500 кВ в качестве промежуточных опор применялись свободностоящие П-образные опоры (см. рис. 1,*в*), закрепляемые на монолитных бетонных и буронабивных фундаментах, и АП-образные анкерно-угловые опоры (см. рис. 1,*е*), устанавливаемые на монолитные бетонные или сборные железобетонные подножники, состоящие из Л-образной стойки и двух плит (рис. 16,*е*). Последние годы на ВЛ 500 кВ начали применять П-образные промежуточные опоры на оттяжках (рис. 1,*и*), закрепляемые с помощью двух железобетонных фундаментов с наклонными стойками и двух анкерных плит. Промежуточно-угловые опоры ВЛ 500 кВ двух- и трехстоечные (см. рис. 1,*в* и *г*) закрепляются соответственно на 8 или 12 унифицированных сборных железобетонных подножниках. Анкерно-угловые опоры ВЛ 500 кВ с раздельными стойками (см. рис. 1,*д*) закрепляются на 12 сборных железобетонных подножниках.

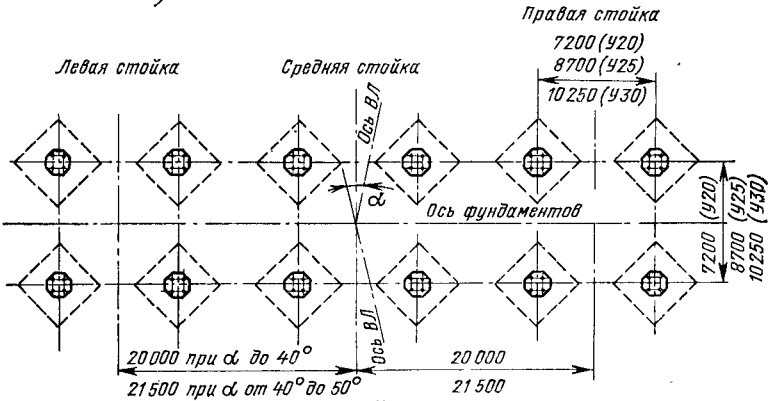
На ВЛ 750 кВ в качестве промежуточных опор применяются П-образные опоры с оттяжками (см. рис. 1,*и*), закрепляемые на сборных железобетонных фундаментах. Для закрепления П-образных свободностоящих опор применяются буронабивные фундаменты БНФ-3,5 (рис. 16,*д*). Для устройства фундамента машиной МРК-1, снабженной уширителем, пробуривается котлован, в который вставляются арматура и закладные части, после чего производится бетонирование. На фундамент для закрепления одной опоры расходуется 14,8 м³ бетона, 1,7 т стали, при этом трудозатраты составляют



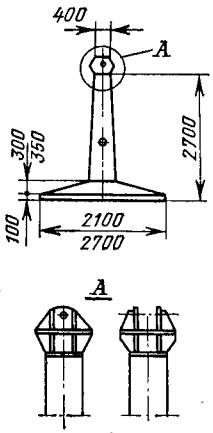
а)

Рис. 16. Фундаменты опор ВЛ 750 и 500 кВ.

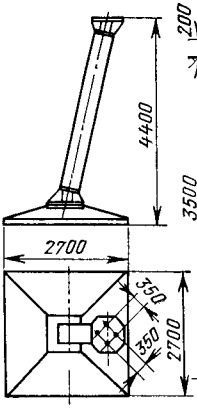
а, б — схематические плаиы фундаментов опор Набла и угловых У20, У25, У30; *в*—подножники Ф4-Н и Ф6-Н; *г* — подножник СФ5А; *д* — буронабивной фундамент БНФ-3,5; *е* — подиожник ФД4Р.



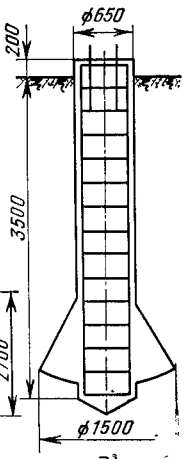
б)



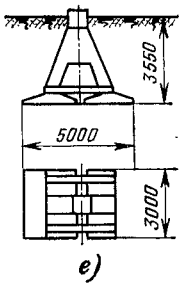
в)



г)



д)



е)

89 чел-ч. Недостатком буронабивных фундаментов является бетонирование на трассе. Однако фундаменты такого типа в грунтах средней плотности хорошо работают за счет использования прочности ненарушенной структуры грунта, обладают большой надежностью, уменьшают объем земляных работ, дают значительную экономию металла. Кроме того, отпадает необходимость в таких механизмах, как экскаваторы и подъемные краны.

На ВЛ 750 кВ начали применять промежуточные опоры «Набла» (см. рис. 1,*к*), фундамент которых состоит из одного подножника — для закрепления опоры и четырех унифицированных анкерных плит для закрепления оттяжек (рис. 16,*а*). Применяются железобетонные подножники, имеющие наверху стойки шарнирные узлы, позволяющие производить установку опоры (рис. 16,*в*).

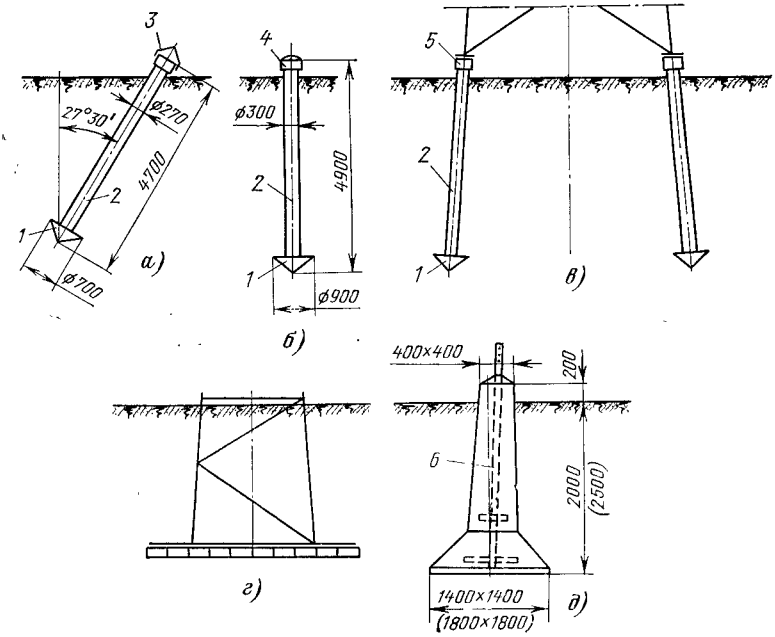


Рис. 17. Специальные способы закрепления металлических опор.
а, б — использование винтовых свай для крепления оттяжки и стойки одностоечной опоры 330 кВ; *в* — использование винтовых свай для закрепления свободностоящей опоры; *г* — подножник из оцинкованных металлических деталей на опорной плите; *д* — малообъемные бетонные монолитные фундаменты для промежуточной и угловой опор 220 кВ; *1* — металлическая лопасть; *2* — железобетонный ствол; *3, 4, 5* — металлические наголовники для крепления оттяжки и опирания опор; *6* — закладные части из уголков.

В качестве угловых опор на ВЛ 750 кВ применяются только опоры с раздельными стойками. Фундамент такой опоры, изображенный на рис. 16,*б*, состоит из 12 железобетонных подножников (рис. 16,*г*). Подножник имеет наклонную стойку, которая прикрепляется к плите с помощью четырех болтов, место стыка бетонируется.

Некоторые специальные способы закрепления металлических опор ВЛ.

Сооружение фундаментов из винтовых свай (рис. 17,*а*, *б*, *в*). Винтовые сваи состоят из литой чугунной лопасти, соединенной с помощью резьбы с железобетонным стволом трубчатого сечения. На верхний конец ствола навинчивается металлический наголовник, предназначенный для соединения опоры со сваей. Винтовые сваи применяются как для закрепления промежуточных опор с оттяжками (рис. 17,*а*, *б*), так и для закрепления свободностоящих опор (рис. 17,*в*). Винтовые сваи, воспринимающие большие усилия, направленные вдоль их продольной оси, обладают малой несущей способностью при действии горизонтальных нагрузок. Поэтому для уменьшения горизонтальных нагрузок, действующих на фундамент при закреплении свободностоящей опоры, сваи имеют такой же наклон, как и поясные уголки опоры. На одну сваю для опирания ствола опоры и крепления оттяжек расходуется соответственно 294 и 203 кг металла, 0,16 и 0,11 м^3 бетона. Винтовые сваи сложны в изготовлении и монтаже, кроме того, их стоимость значительно выше стоимости обычных свай квадратного сечения, что пока препятствует их широкому применению.

При строительстве ВЛ 220 кВ для закрепления промежуточных опор применялись *сборные металлические подножники*, состоящие из оцинкованных деталей (рис. 17,*г*). Подножник устанавливается на опорную плиту из железобетона или из деревянных шпал, пропитанных антисептиком. Применение сборных металлических подножников значительно упрощает транспортирование фундаментов на трассу и исключает применение тяжелых подъемных кранов для их монтажа.

Советские строители, выполняя работы за рубежом, сооружали отдельные линии электропередачи, на которых металлические опоры закреплялись при помощи *малообъемных бетонных монолитных фундаментов*, бетонируемых в котловане. На рис. 17,*д* изображена конструкция такого фундамента, закрепляемого в нормальных

грунтах. На один фундамент расходуется бетона 1,2 или 2,0 м³ и стали 77 или 158 кг.

Применение малообъемных монолитных фундаментов позволяет значительно сократить расход стали как на изготовление фундамента, так и на опору, так как точное расположение фундамента при его сооружении позволяет исключить сложную металлоемкую пяту. Недостатком таких фундаментов является необходимость производства бетонных работ на каждом пикете. Малообъемные бетонные монолитные фундаменты с анкерными болтами, имеющие унифицированные размеры, позволяют применить для бетонирования общие элементы переносной опалубки.

Закрепление железобетонных опор 35—330 кВ. Железобетонные опоры, как правило, не имеют разъемных фундаментов, поэтому нижние части стволов используются для закрепления опор. В настоящее время исключение составляют некоторые типы повышенных опор.

Промежуточные и некоторые типы анкерных опор для легких проводов закрепляются без оттяжек; анкерно-угловые, промежуточно-угловые, концевые опоры закрепляют с применением оттяжек.

Наиболее рациональными способами закрепления железобетонных опор является их установка в цилиндрические котлованы, так как при этом используется прочность ненарушенной структуры грунта. Опоры со стволами диаметром 560 и 650 мм устанавливаются в котлованы диаметром соответственно 650 и 750 мм.

Если прочность заделки опоры в грунте оказывается недостаточной, то закрепление усиливается путем установки железобетонных ригелей. Типовые способы закрепления опор со стойками диаметром 560 и 650 мм приведены на рис. 18. При закреплении опор в цилиндрических котлованах для повышения эффективности ригели ставятся в узкие щелевидные траншеи, поэтому нагрузка передается на грунт, структура которого не нарушена.

При невозможности получения цилиндрического котлована опоры могут закрепляться в больших котлованах, при этом на стволе закрепляются один, два или три ригеля. Применялась также тугая посадка опор — закрепление, при котором ствол железобетонной опоры вдавливается в цилиндрический котлован, диаметр которого немного меньше диаметра ствола. Такой способ закрепления опоры повышает прочность ее заделки в грунте.

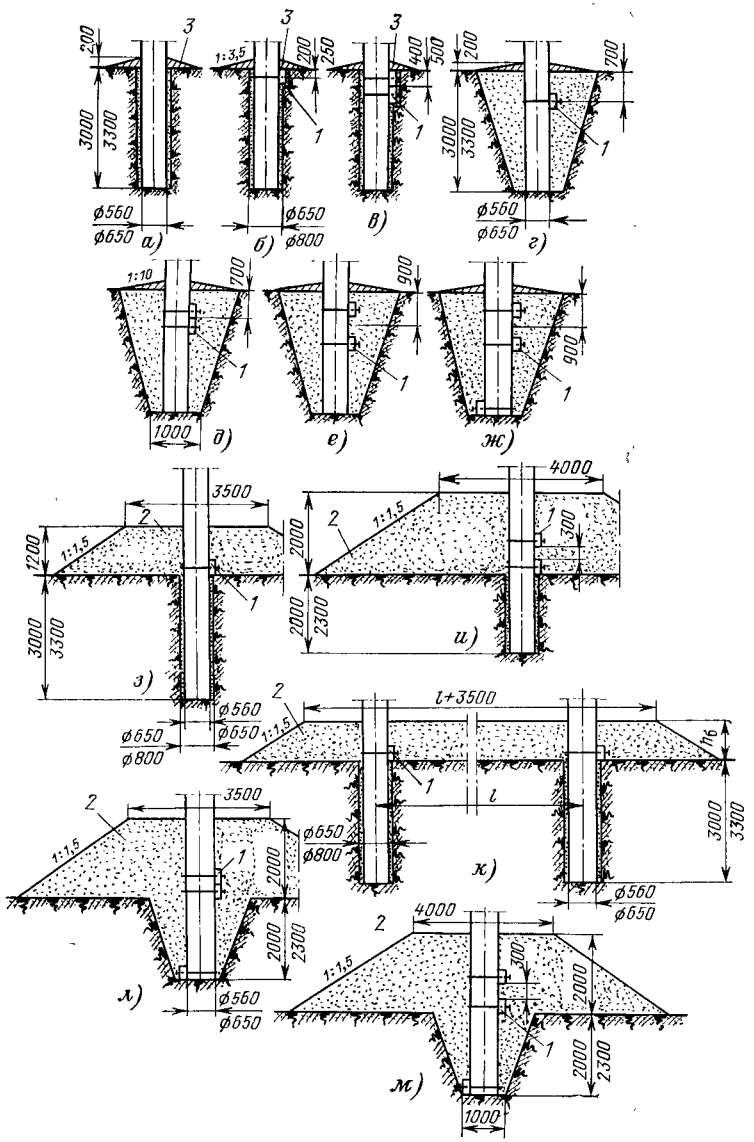


Рис. 18. Типовые способы закрепления железобетонных опор 110—330 кВ.

а, *б*, *в* — в грунтах с ненарушенной структурой; *г*, *д*, *е*, *ж* — в грунтах с нарушенной структурой; *з*, *и*, *л*, *м* — с насыпными банкетками; *к* — портальной опоры 330 кВ с насыпной банкеткой; *1* — ригель; *2* — банкетка из насыпного грунта; *3* — глиняная отмостка. Нижние числа относятся к стволам длиной 26,4 м.

Применение анкерных плит для закрепления оттяжек железобетонных опор требует в дополнение к буровой машине использования экскаватора для рытья котлованов, что усложняет производство работ.

Для закрепления оттяжек анкерных и угловых опор на ВЛ 35 кВ с проводами сечением до АС-70 применяются так называемые цилиндрические анкеры (рис. 19), состоящие из железобетонной плиты и U-образного болта. Плита устанавливается в цилиндрический котлован диа-

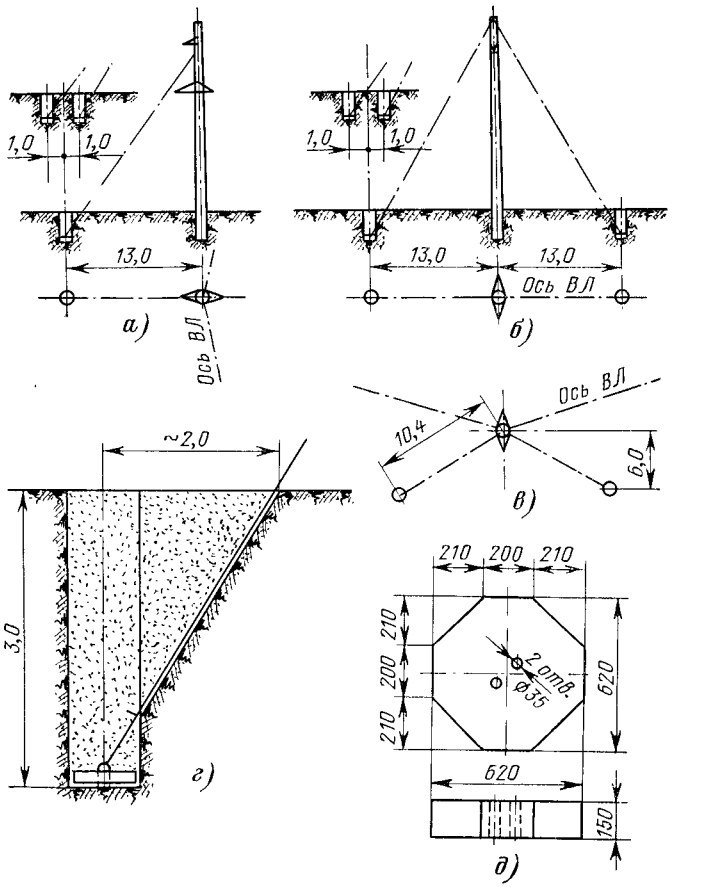


Рис. 19. Цилиндрические анкеры.

а, б, в — использование анкеров для закрепления оттяжек промежуточно-угловой, анкерной и угловой опоры ВЛ 35 кВ; *г* — схема анкера; *д* — железобетонная плита анкера.

метром 650 мм, а для возможности наклонного расположения U-образного болта в грунте прорывается щель. Допускаемые вырывающие нагрузки на цилиндрические анкеры в значительной степени зависят от категории грунта, уровня грунтовой воды и степени уплотнения грунта, которым засыпается анкер. На анкер расходуется 40 кг металла, 0,043 м³ бетона и 0,2 м³ песчано-гравийной смеси. В зависимости от величины нагрузки применялись одиночные и сдвоенные цилиндрические анкеры. Разработаны также плиты для котлованов диаметром 750 мм.

5. УСТРОЙСТВО ФУНДАМЕНТОВ В ОБЫЧНЫХ ГРУНТАХ

При сооружении фундаментов выполняются следующие основные виды работ: для фундамента из подножников — разметка котлованов, рытье котлованов, монтаж подножников, засыпка котлованов; для свайного фундамента — разметка центров свай, погружение свай и монтаж ростверков.

При устройстве фундаментов допускаемые отклонения от номинальных размеров не должны превосходить приведенных ниже величин:

Выход железобетонной или металлической опоры из створа при длине пролета, мм:	
до 200 м	100
до 200—300 м	200
более 300 м (только для металлических опор)	300
Расстояние по горизонтали между осями болтов подножников, мм:	
промежуточных опор ВЛ до 330 кВ	±10
промежуточных опор ВЛ до 500 кВ	±20
анкерно-угловых опор ВЛ 500 кВ	±15
Расстояние по горизонтали между центрами свай, мм	±15
Разность между верхними отметками подножников и свай, мм	20
Отклонение верха подножника с прямой стойкой от вертикали, мм	30
Расстояние по горизонтали между центром одностоечной металлической опоры 110—330 кВ или опоры „набла“ и анкерами для крепления оттяжек (по данным института „Энергосетьпроект“), мм	±500

Следует иметь в виду, что превышение допускаемых отклонений размеров приводит к недопустимой перегруз-

ке опоры в целом или ее элементов, что может явиться причиной аварии.

В табл. 9 приведены усредненные объемы земляных работ, расход материалов и затраты труда при устройстве фундаментов.

Таблица 9

Объем земляных работ, расход материалов и затраты труда при устройстве фундаментов на 1 км линии электропередачи с металлическими опорами

Напряжение линии, кВ	Количество цепей	Объем земляных работ, м³	Расход материалов при фундаментах из				Затраты труда, чел-дни, при фундаменте из	
			подножников		свай			
			Бетон, м³	Сталь, т	Бетон, м³	Сталь, т	подножников	свай
220	1	104	11,1	2,8	3,7	1,6	63	63
	2	141	19	4,7	4,9	1,9	98	84
330	1	130	12,7	3,2	5,6	2,0	70	84
	2	203	22,4	5,6	7,2	2,4	112	147
500	1	137	15,1	4,0	8,1	2,4	84	—

Примечание. Расчеты произведены для свободностоящих опор ВЛ 220 и 330 кВ и опор 500 кВ с оттяжками в I—II районах по гололеду. Земляные работы выполняются экскаватором. Грунты необводненные.

Разметка котлованов. В месте нахождения центра опоры располагается пикетный знак, на котором написаны обозначения ВЛ и номер опоры. Прежде всего необходимо убедиться в правильности расположения знака (нахождение в створе ВЛ, совпадение с ориентирами, приведенными на чертеже продольного профиля, и т. п.). Если место расположения пикета вызывает сомнение, его расположение должно быть проверено.

Разбивка котлованов выполняется с помощью теодолита, стальной рулетки, кольев для разбивки осей фундаментов, колышков для разметки контуров котлованов по низу и по поверхности земли, кроме того, используются лопаты, молотки, топоры. При выполнении работы сначала размещаются оси опоры, затем центры котлованов и потом контуры котлованов по низу и по поверхности земли с учетом требующейся крутизны откосов

(рис. 20). Выполнение работы поясняется на примере разметки фундамента металлической промежуточной свободностоящей опоры. Для разметки осей опоры теодолит устанавливается на центр опоры и размечаются оси вдоль и поперек оси трассы (рис. 20,*а*). На осях отмеряют проектные расстояния до центров подножников. На одной из осей (например, оси ВЛ) отмеряют расстояния

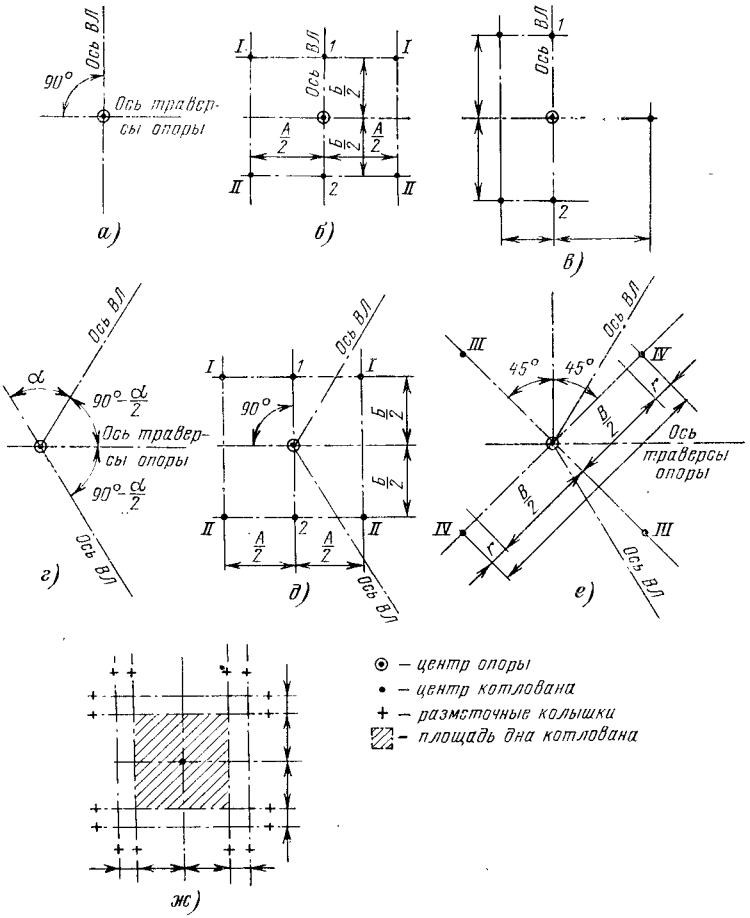


Рис. 20. Схемы разметки котлованов фундаментов.

а, *г* — разметка осей промежуточной и угловой опор; *б*, *в*, *д*, *е* — разметка центров котлованов фундамента промежуточной свободностоящей, промежуточной одностоечной с оттяжками, угловой опоры с фундаментами, имеющими наклонные стойки; *ж* — разметка дна и верха котлована.

Б/2. Последовательно устанавливая теодолит в точки *1* и *2*, размечают оси *I—I* и *II—II*, на которых отмеряют проектные размеры *А*/2 (рис. 20,*б*). В заключение производится разметка контуров котлована (рис. 20,*ж*). Размеры дна котлованов не должны превышать размеров плиты более чем на 150 мм на сторону.

При разметке котлованов свободностоящей угловой опоры ось траверсы опоры должна быть расположена по биссектрисе угла α поворота трассы ВЛ (рис. 20,*е*). При разбивке котлованов угловой опоры с фундаментами, имеющими наклонную стойку (рис. 20,*е*), теодолит устанавливается в центре опоры и сначала наносятся оси фундаментов *III—III* и *IV—IV*, расположенные под углом 45° к оси траверсы, а затем на них отмеряют проектные размеры *В*/2 (по верху стойки подножников) и *Г* (размер в плане наклона стойки подножника).

Рытье котлованов. Рытье котлованов, как правило, выполняется землеройными машинами. Котлованы для подножников отрываются экскаваторами Э-304, ТЭ-3М, Э-652 с ковшом емкостью 0,3—0,6 м^3. Отрывание котлованов для устройства монолитных свайных ростверков иногда производится бульдозерами Д-271 или Д-444. В последнее время начали применяться машины БМПК-2,6/3, которые могут бурить котлованы диаметром до 2,6 м, глубиной до 3 м. В котлованы, пробуренные этой машиной, могут устанавливаться железобетонные фундаменты Ф1, Ф2, Ф3, Ф1-А, Ф2-А и анкерные плиты ПА1-1, ПА1-2, ПА2-1.

Цилиндрические котлованы диаметром 0,65 м для железобетонных опор отрываются машинами МРК-1, МРК-2, МРК-4, а диаметром 0,75 м — МРК-750 (на базе трактора ТТ-4). Для бурения цилиндрических котлованов в плотных грунтах разработан вибробур, устанавливаемый на шнек МРК. Для бурения цилиндрических котлованов под набивные сваи (рис. 16), имеющие увеличенный диаметр до 1500 мм в основании, разработана специальная буровая головка к машине МРК-1, навешиваемая на шнек после первоначального бурения котлована диаметром 650 мм. В отдельных случаях цилиндрические котлованы отрывались вибровдавливающими агрегатами с помощью виброжелонок (цилиндр, погруженный в грунт, вытаскивается вместе с грунтом, заполняющим его внутреннюю полость, после чего грунт высыпается). Как исключение, при невозможности доставки

землеройных машин отдельные котлованы отрываются ручным способом. Рытье котлованов с вертикальными стенками допускается при глубине не более 1,25—2 м (наибольшая глубина относится к особо плотным глинам). Во всех остальных случаях стенки котлованов должны иметь уклоны, соответствующие категории грунта, или должны устраиваться крепления.

При рытье котлованов под фундаменты экскаватором грунт не выбирается на полную глубину, а перед установкой фундамента производится доработка дна котлована ручным способом. Грунт при рытье котлована укладывается таким образом, чтобы он не мешал выполнению последующих операций и не оказывал опасного для обвала стенок давления на край котлована (от края котлована не менее 0,5 м в нормальных грунтах и 1,5 м в слабых грунтах).

Схемы котлованов и способы их рытья приведены в табл. 10. В зимнее время трудоемкость производства земляных работ значительно возрастает. Разработка замерзшего грунта может производиться баровыми машинами БГМ-1, БГМ-2 и БГМ-3 на базе тракторов Т-100 с последующей выемкой кубиков грунта экскаваторами. Дробление замерзшего грунта иногда производится пневмоперфораторами, виброклиньями и клинбабами — приспособлениями, прикрепляемыми к вибропогружателю агрегата ВВПС-20/11 или к ударной бабе копра. Для возможности бурения зимой цилиндрических котлованов на шнеки буровых машин надевают специальные приспособления. Иногда замороженный грунт предварительно оттаивают путем разжигания костров.

Монтаж железобетонных подножников и анкерных плит. Установка подножников и анкерных плит в котлованы производится с помощью подъемных кранов. Схема установки в котлован фундамента приведена на рис. 21,*а*. Возможность установки подножника или анкерной плиты в котлован при помощи конкретного подъемного крана можно определить следующим образом (рис. 21,*а*):

1. Определяется необходимый вылет L_1 стрелы крана при нормальных грунтах

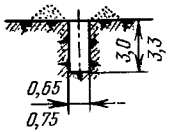
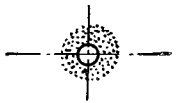
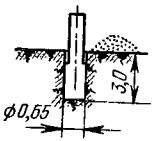
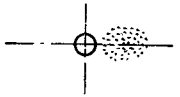
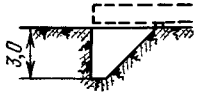
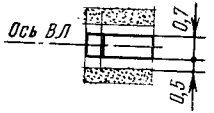
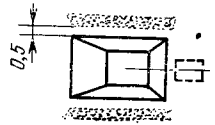
$$L_1 = \frac{a}{2} + 0{,}15 + h_3;$$

при слабых грунтах

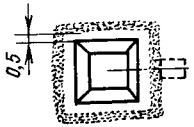
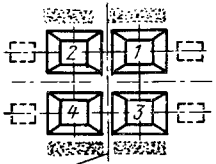
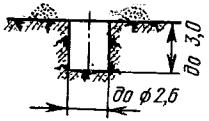
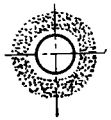
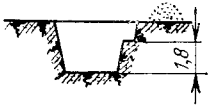
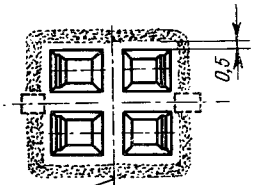
$$L_1 = \frac{a}{2} + 0{,}15 + 1{,}5h_3.$$

Таблица 10

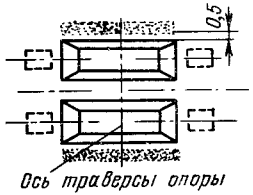
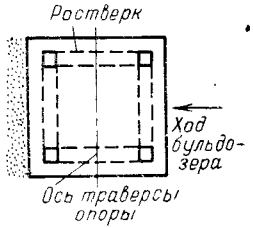
Рытье котлованов для закрепления различных опор в нормальных грунтах

Тип закрепляемой опоры		Способ рытья котлована	Разрез котлована	План котлована
Железобетонные опоры	Ствол или цилиндрический анкер	Бурение машинами МРК-1, МРК-2, МРК-4, МРК-750		
	Ствол	Применение виброжелонки		
		Ручная выемка грунта (щелевидный котлован)		
Металлические и железобетонные опоры с оттяжками	Анкерная плита	Рытье экскаватором		

Продолжение табл. 10

Тип закрепляемой опоры		Способ рытья котлована	Разрез котлована	План котлована
Металлические и железобетонные опоры с оттяжками	Анкерная плита	Ручная выемка грунта		
Свободностоящие металлические опоры	Отдельные котлованы под каждый фундамент	Рытье экскаватором		
		Бурение машиной БМПК-2,6/3		
		Ручная выемка грунта		

Продолжение табл. 10

Тип закрепляемой опоры		Способ рытья котлована	Разрез котлована	План котлована
Свободностоящие металлические опоры	Общие котлованы для двух фундаментов	Рытье экскаватором		
		Рытье бульдозером (для ростверков)		

Примечание.

— месторасположения грунта вынутого из котлована;

— часть объема котлована, вырабатываемая ручным способом;

— рекомендуемое место установки подъемного крана при монтаже фундаментов.

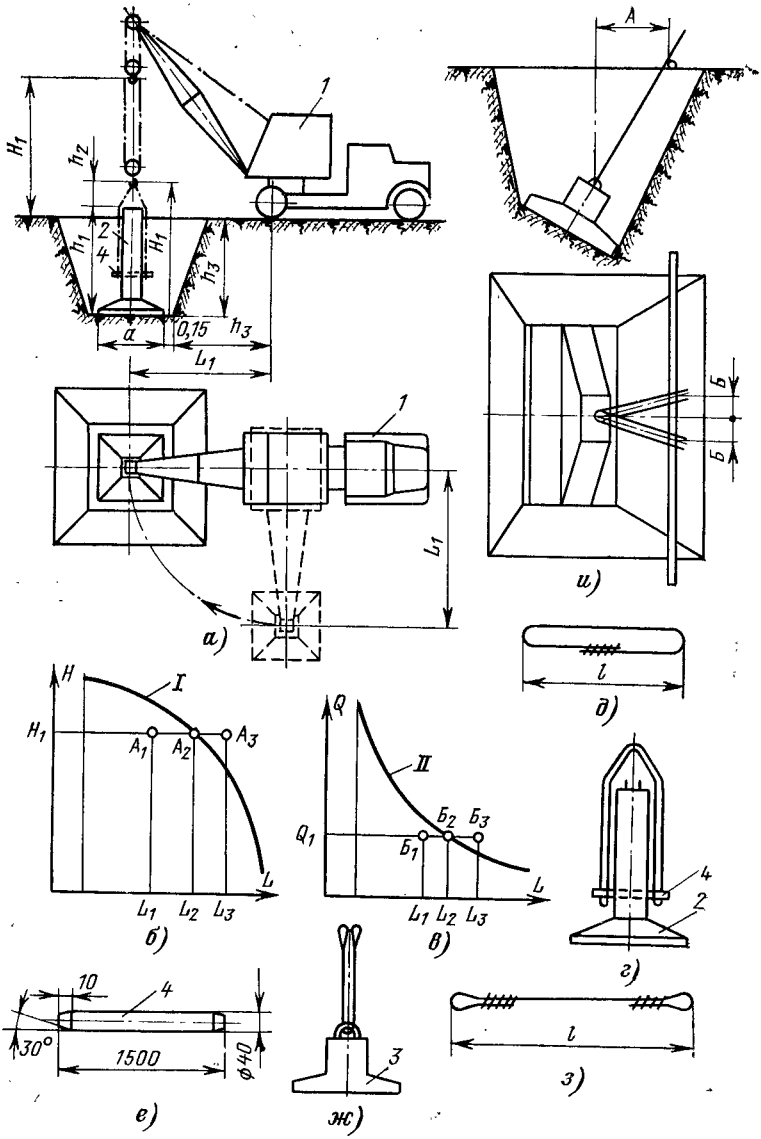


Рис. 21. Монтаж подножников и анкерных плит.

а — схема работы подъемного крана; *б*, *в* — кривые зависимости высоты *H* подъема груза и грузоподъемности *Q* от вылета *L* стрелы крана; *г*, *ж* — схемы захвата стропом подножника и анкерной плиты; *д*, *з* — схемы кольцевого (для подножников) и петлевого (для анкерных плит) стропов; *е* — конструкция оси; *и* — фиксация наклона U-образных болтов в котловане; *1* — подъемный кран; *2* — подиожник; *3* — анкерная плита; *4* — ось.

2. Определяется необходимая высота H подъема груза

$$H_1 = h_1 + h_2.$$

3. По кривым *I* и *II* зависимости грузоподъемности Q и высоты H подъема груза от вылета L стрелы подъемного крана (рис. 21,*б*, *в*) проверяется возможность использования крана по высоте подъема груза и по грузоподъемности. При проверке возможности использования подъемного крана по высоте подъема на графике зависимости H от L (рис. 21,*б*) по конкретным значениям высоты подъема H_1 и вылета L_1 определяется местонахождение рабочей точки A, которая может быть расположена ниже кривой *I* (точка A_1), на ней (точка A_2) и выше нее (точка A_3). В первом случае высота подъема больше, чем требуется, во втором — точно соответствует требующейся величине, а в третьем — недостаточна, т. е. небходимо, если это возможно, увеличить длину стрелы или применить другой подъемный кран. Аналогичным образом производится проверка возможности использования подъемного крана по грузоподъемности (рис. 21,*в*). Если в результате проверки рабочая точка *Б* окажется расположенной выше кривой *II*, необходимо, если это возможно, уменьшить длину стрелы крана или использовать другой подъемный кран.

Характеристики кранов и стропов для монтажа подножников и анкерных плит приведены в табл. 11.

После установки подножников в котлованы производится выверка правильности их расположения с помощью мерных реек и рулетки, иногда для этой цели применяются шаблоны. Анкерные плиты в котлованах располагаются перпендикулярно направлению оттяжек. Расположение U-образных болтов, которые заводятся в рамы анкерных плит до их опускания в котлованы, должно совпадать с проектным направлением оттяжек после установки опоры. Для этого перед засыпкой котлованов болты привязываются к жерди, а углы их наклона задаются размерами *А* и *Б* (рис. 21,*и*). После установки и выверки подножники и анкерные плиты засыпают грунтом. Фактические вырывающие и горизонтальные нагрузки, которые могут выдержать подножники и анкерные плиты, значительно изменяются от степени уплотнения грунта, поэтому засыпка котлованов должны производиться с тщательным послойным трамбованием.

Таблица 11

Характеристики кранов и стропов для монтажа подножников и анкерных плит

Шифр элемента фундамента	Марка крана	Длина стрелы крана, м	Высота подъема, м	Грузоподъемность, кГ	Вылет, м	Марка стропа	Длина заготовки, м	Масса стропа, кг	Число проколов при закреплении
ФК1-2; ФК1-0; Ф1-2; Ф2-2; Ф2-0; Ф3-2; Ф3-0	ТК-52	6	3,7	29	3,5	К11-5-5,8	12	4,7	8
Ф1-А	ТК-52	6	4,2	25	3,9	К11,5-6,7	14	5,9	8
Ф4-2; Ф4-0	СМК-7	8,5	3,7	34	3,7	К13,5-5,2	11	6,6	8
Ф2-А	ТК-52	6	4,2	30	4	К13,5-6,5	14	8,4	8
Ф5-2; Ф6-2; Ф6-4	СМК-10	10	4,2	56	4,5	К15-6,7	14	11,6	8
Ф3А; Ф4А	СМК-10	10	4,4	50	4,7	К15-7,2	15	12,5	8
ФС1-4; ФС2-4	СМК-10	10	4,2	7	4,5	К18-7	15	15	10
ФС1А; ФС2А; Ф5-А	К-162	10	4,4	68	5,0	К18-7,7	16	16	10
ФП6-2; ФП6-4	К-162	10	6	67	6,25	К18-9,6	20	2,0	10
ФП5А	К-162	10	6,4	75	6,3	К20-10,6	22	30,4	10
ПА1-1; ПА1-2	ТК-52	6	2,5	7	4	П11,5-2	2,8	1,7	4
ПА2-1	ТК-52	6	2,5	16	4	П13,5-2	2,7	2,1	4
ПА2-2; ПА3-1	ТК-52	6	2,5	28	4	П15-2	2,8	2,3	4
ПА3-2	СМК-7	8,5	2,5	36	4	П18-2	3,0	3,0	5

Примечания: 1. В комплект для монтажа подножника входят строп и ось (рис. 21, *е*). В марке стропа, например К18-7,6, обозначено: К — кольцевой строп (П — петлевой строп); 18 — диаметр каната, мм; 7,6 — длина стропа *l*, м.

2. Стропы из стальных канатов по ГОСТ 3071-66 с сопротивлением проволоки разрыву 16 МПа.

3. Фундаменты ФС1-А и ФС2-А должны устанавливаться в котлован без навесных плит ПН1-А или ПН2-А. При монтаже подножника ФП5-А под колеса подъемного крана со стороны котлована [подкладывают бревна] для исключения возможности обрушения грунта.

Для упрощения разметки и повышения точности установки фундаментов в котлованах целесообразно применять шаблоны. В качестве примера на рис. 22,*а* изображена конструкция металлического универсального шаблона, который может быть использован для монтажа фундаментов нескольких опор. Шаблон состоит из четырех пластин *1* с отверстиями, соответствующими расположению анкерных болтов угловых и промежуточных опор, к которым приварены куски труб или штыри *2*. Между штырями расположены вставки *3*, выполненные

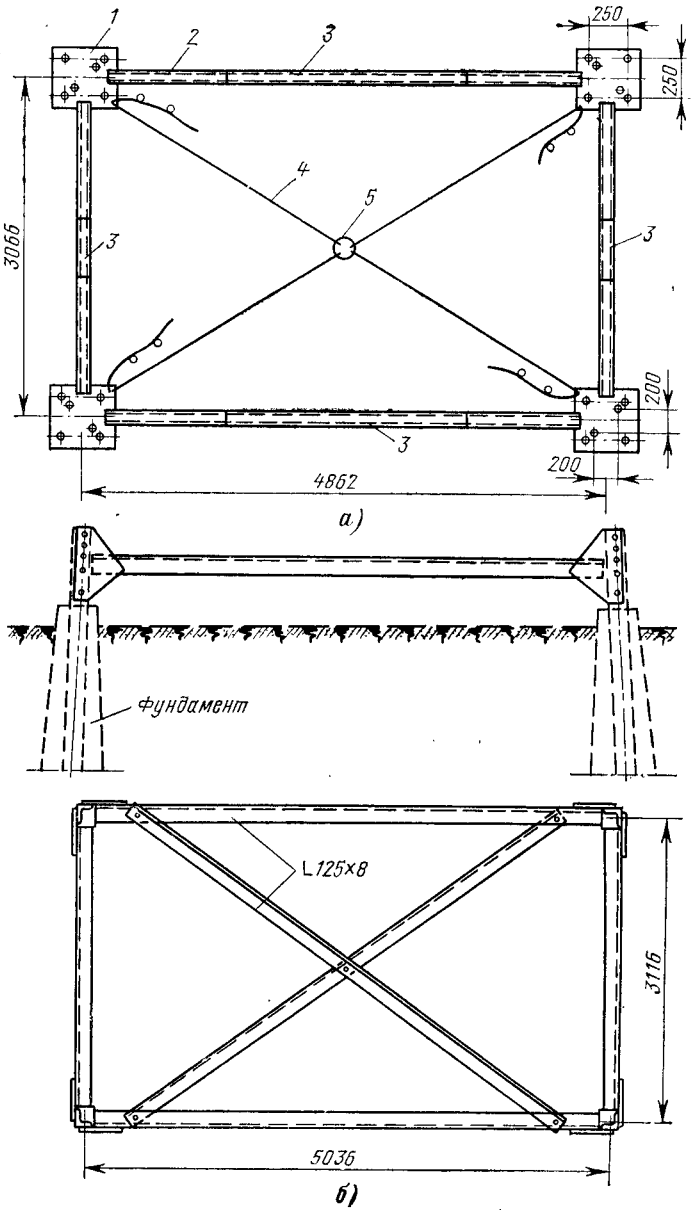


Рис. 22. Разборные шаблоны.

а — универсальный шаблон для установки подножников; *б* — шаблон для устройства малообъемного бетонного фундамента опоры.

из газовых труб. Для жесткости внутри шаблона натянуто четыре каната *4*, одни концы которых присоединены к кольцу *5*, расположенному в центре фундамента, а на других концах канатов образовано по нескольку петель. В зависимости от базы опоры (расстояние между фундаментами) устанавливаются вставки *3* различной длины, а к пластинам *1* прикрепляются соответствующие петли.

Таблица 12

Основные характеристики агрегатов для погружения свай

Характеристика	ВВПС-20/11М	ВВПС-32/19	УВВС-60/10	СА-12
Тип базового трактора	Т-100М	Т-140	Т-100М	Т-100МБГП
Наибольшие размеры погружаемой сваи, м:				
сечение	0,3×0,3	0,4×0,4	0,4×0,4	0,4×0,4
длина	8/10	7	8/12	12
Рабочий орган агрегата	Электровибратор		Вибромолот	Дизель-молот С-330ДУ
Удельное давление на грунт, МПа	0,07	0,06	0,08	0,06
Масса агрегата, т	23,7	28,7	27,1	24,4

Примечания: 1. На агрегат ВВПС-20/11 может быть подвешен инерционно-кривошипный молот НИК-2,6 массой 4,2 т.
3. Агрегаты ВВПС-20/11М, ВВПС-32/19 и УВВС-60/10 могут быть использованы для вытаскивания свай.
3. При дробном обозначении длины свай наибольший размер относится к агрегатам, имеющим стрелу увеличенной длины.

Шаблоны применяются также для монтажа фундаментов, состоящих из трех подножников под каждую ногу опоры. Кроме того, шаблоны применяются при устройстве малообъемных фундаментов, изображенных на рис. 17,*д*. В связи с тем что шаблон при этом должен не только точно фиксировать положение фундаментов, но и удерживать закладные части при бетонировании, он выполняется более жестким (рис. 22,*б*).

Свайные работы. Погружение железобетонных свай производится вибропогружающими агрегатами ВВПС-20/11 и ВВПС-32/19, вибромолотами, инерционно-кривошипными молотами и агрегатами СА-12, основные характеристики которых приведены в табл. 12. В некото-

рых грунтах погружающая способность у вибромолотов и инерционно-кривошипных молотов больше, чем у вибровдавливающих агрегатов. Последовательность операций при погружении железобетонных свай приведена в табл. 13. Для облегчения погружения свай иногда предварительно делают лидерные отверстия с помощью металлической сваи или бура, в последнем случае глубина лидерного отверстия должна быть на 700 мм меньше длины сваи, а его диаметр на 50 мм меньше размера стороны сваи. Завинчивание винтовых свай производится машиной МЗС-13, смонтированной на автомобиле.

Забивка деревянных свай осуществляется ударными копрами, смонтированными на тракторах, или реже дизель-молотами. Агрегаты разрабатываются и изготовляются строительными организациями. Более широкое распространение имеют копры на тракторах ДТ-75 (масса ударной бабы 650 кг, масса машины 7,8 т, наибольшая длина забиваемой сваи 7 м, среднее удельное давление на грунт 0,07 МПа), начали применяться копры на тракторах ТДТ-75 (масса ударной бабы 800 кг, масса машины 13 т, наибольшая длина забиваемой сваи 8 м, среднее удельное давление на грунт 0,05 МПа).

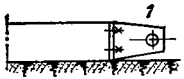
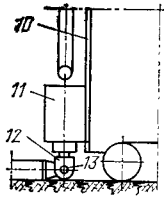
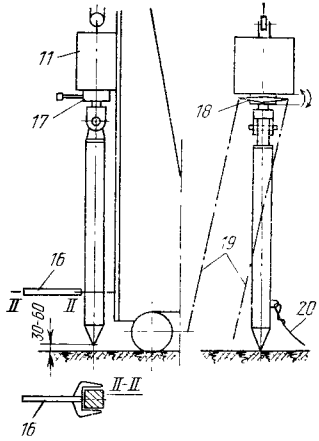
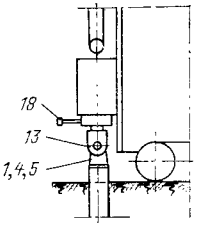
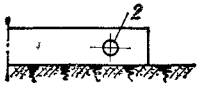
Способы забивки деревянных свай приведены в табл. 14.

Трубчатые или штанговые дизель-молоты массой до 2 т устанавливаются на тракторы ТДТ-75.

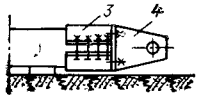
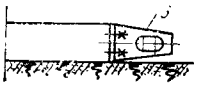
Наиболее целесообразным соединением деревянной сваи с направляющими копра является применение поворотного бугеля (рис. 23). Дизель-молоты применяются также и для забивки железобетонных свай, при этом на сваю должен быть надет специальный наголовник (рис. 23,*д*). Применение дизель-молотов по сравнению с копрами ударного действия несколько увеличивает скорость забивки свай в нормальных грунтах, однако усложняет машину и ее эксплуатацию, увеличивает ее массу и затрудняет забивку свай в слабых грунтах и на болотах. Древесина деревянных свай должна пропитываться антисептическим составом. Для того чтобы свая не меняла направления в процессе забивки, необходимо выполнить следующие требования: острие сваи должно быть расположено на оси сваи; верхний торец сваи должен быть перпендикулярен продольной оси сваи; перед забивкой свая должна быть установлена параллельно направляющим копра. Деревянные сваи чаще забиваются отрубом

Таблица 13

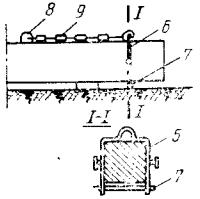
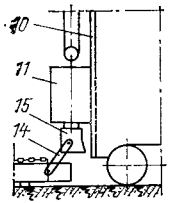
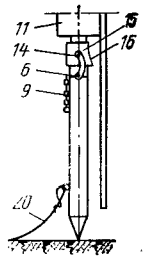
Последовательность операций при погружении железобетонных свай

Способ погружения	Конструкция верхнего узла	Подготовка сваи к погружению	Соединение сваи со сваепогружателем	Подъем сваи и ее закрепление	Освобождение погружателя сваи после погружения сваи
Вибровдавливание	Анкерные болты или фланец	 Прикрепление к болтам или фланцу свайного колпака *1*	 К верхнему концу сваи подъезжает агрегат *10*, сваепогружатель *11* опускается вниз, отверстие в свае (колпаке) совмещается с отверстиями в вилке *12*, в отверстие вставляется палец *13*		 После погружения сваи путем покачивания рычага *18* освобождается и вытаскивается палец *13*. Погружатель сваи поднимается (колпак снимается)
	Отверстие	 Прочистка от бетона и грязи отверстия *2*			

Продолжение табл. 13

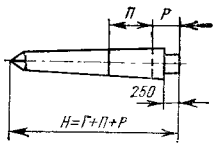
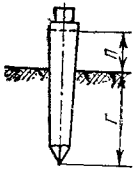
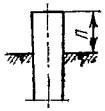
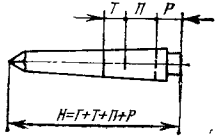
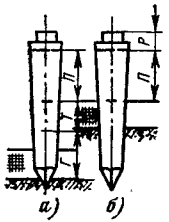
Способ погружения	Конструкция верхнего узла	Подготовка сваи к погружению	Соединение сваи со сваепогружателем	Подъем сваи и ее закрепление	Освобождение погружателя сваи после погружения сваи
Вдавливание	Без закладных частей	 Прикрепление хомута *3* и свайного колпака *4*	То же	Погружатель свай *11* вместе со сваей поднимается до тех пор, пока свая не будет висеть. Вращением сваи ключом *16* свая закрепляется в наголовнике *17*. Если сваю нужно развернуть для ориентации ее граней, то закрепление ее в наголовнике осуществляется червячной передачей за счет покачивания рычага *18* за тросики *19*. К нижнему рыму сваи прикрепляется заземлитель *20*	То же
Вибрирование	Анкерные болты	 Прикрепление к болтам свайного колпака с овальным отверстием *5*			

Продолжение табл. 13

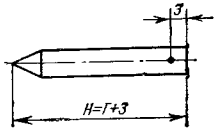
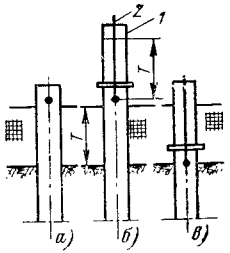
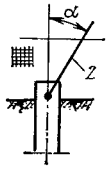
Способ погружения	Конструкция верхнего узла	Подготовка сваи к погружению	Соединение сваи со сваепогружателем	Подъем сваи и ее закрепление	Освобождение погружателя сваи после погружения сваи
Виброударный или инерционный	Без закладных частей	 Одевание рамки *6*, запирание ее пальцем *7*. Прикрепление рамки *6* к рыму сваи *8* петлей из цепи *9*	 К верхнему концу сваи подъезжает агрегат *10*, сваепогружатель *11* опускается вниз. Двумя тросовыми петлями *14*, надетыми на крюки колпака *15*, свая захватывается	 Погружатель свай *11* вместе со сваей поднимается вверх, при этом верх сваи заходит внутрь колпака *15* через отогнутую задиюю стенку *16*, и свая оказывается висящей. После того как свая опирается на землю в центр, куда она должна быть забита, снимаются рамка *6*, цепь *9* и петли *14*. К нижнему рыму сваи прикрепляется заземлитель *20*	Снимаются две тросовые петли *14*

Способы забивки деревянных свай

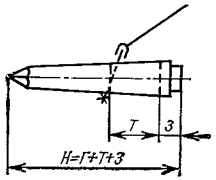
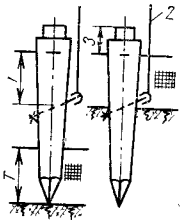
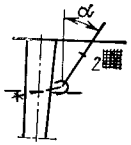
Таблица 14

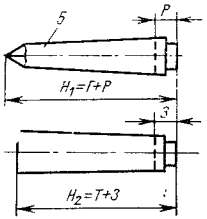
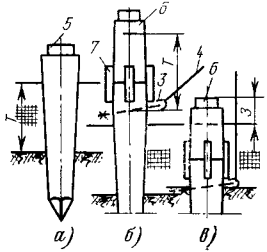
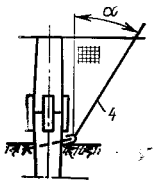
Грунт	Крепление деталей опор	Заготовка сваи	Рекомендуемый тип бугеля	Последовательность забивки	После забивки
Нормальный	Деревянные опоры		Поворотный	 Свая забивается до проектной отметки	 Верхний разбитый конец сваи отпиливается
Болото			Неповоротный	 *а* — свая ставится на торф и своим весом прорезает его, устанавливается бугель; *б* — свая погружается на проектную отметку	Верхний разбитый конец сваи отпиливается

Продолжение табл. 14

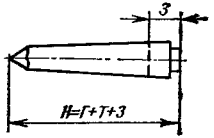
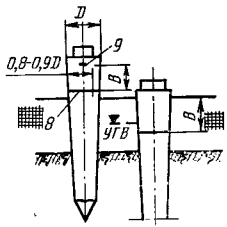
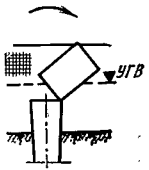
Грунт	Крепление деталей опор	Заготовка сваи	Рекомендуемый тип бугеля	Последовательность забивки	После забивки
Болото	Оттяжки		Поворотный	 *а* — свая забивается до поверхности торфа; *б* — на сваю устанавливается инвентарный удлинитель *1* и закрепляется тягами *2*; *в* — свая погружается на проектную отметку	 Удлинитель снимается, тяги наклоняются

Продолжение табл. 14

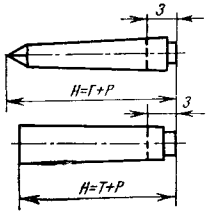
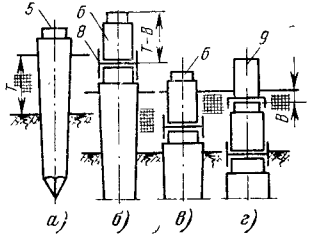
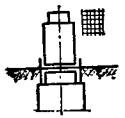
Грунт	Крепление деталей опор	Заготовка сваи	Рекомендуемый тип бугеля	Последовательность забивки	После забивки
Болото	Оттяжки		Неповоротный	 а) б) *а* — свая ставится на торф и своим весом прорезает его, устанавливается бугель; *б* — свая погружается до проектной отметки	 Верхний конец сваи отпиливается, тяга *2* наклоняется

Грунт	Крепление деталей опор	Затотовка сваи	Рекомендуемый тип бугеля	Последовательность забивки	После забивки
Болото	Оттяжки		Поворотный	 *а* — погружается нижний конец сваи *5*; *б* — присоединяется верхний конец сваи *6* с помощью накладок *7*, устанавливаются рымболт *3* и тяга *4*; *в* — свая погружается на проектную отметку	 Верхний конец сваи отпиливается, тяга наклоняется

Продолжение табл. 14

Грунт	Крепление деталей опор	Заготовка сваи	Рекомендуемый тип бугеля	Последовательность забивки	После забивки
Болото	Стойки металлической опоры		Неповоротный	 *а* — свая забивается не до конца, делается пропил *8* и наносится отметка поверхности торфа *9*; *б* — свая забивается на проектную отметку	 Верхний конец свай в месте пропила отламывается

Продолжение табл. 14

Грунт	Крепление деталей опор	Заготовка сваи	Рекомендуемый тип бугеля	Последовательность забивки	После забивки
Болото	Стойки металлической опоры		Поворотный	 *а* — погружается нижний конец сваи *5*; *б* — присоединяется верхний конец сваи *5* с помощью трубы *8*; *в* — свая забивается до предела копра; *г* — на сваю надевается инвентарный удлинитель и она погружается на проектную отметку	 Инвентарный удлинитель снимается

Примечания: 1. Буквами обозначено. *Н* — полная длина сваи; *Г*, *Т*, *П* — части длины сваи, погружаемые в подстилающий торф грунт, в слой торфа, проектное превышение верхнего конца сваи над поверхностью земли; *Р*, *З* — части длины сваи, разбиваемые при забивке (0,3—0,5 м) и необходимые для глубокой забивки (отрезаются после погружения сваи); *В* — часть сваи, отрезаемая после забивки для того, чтобы верх сваи был ниже поверхности грунтовой воды (УГВ); α — угол наклона оттяжек.

2. При использовании поворотного бугеля свая закрепляется в нем внизу, подъем сваи производится с помощью бугеля. Неповоротный бугель надевается на сваю после ее установки в вертикальное положение, при этом подъем сваи выполняется с помощью стропа.

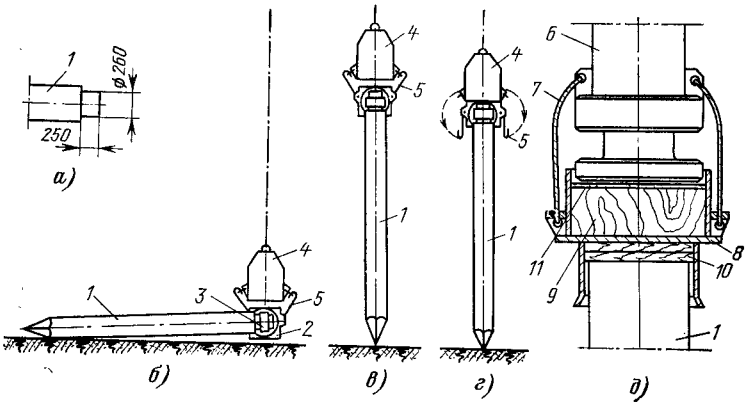


Рис. 23. Поворотный бугель для копра на тракторе и наголовник для дизель-молота.

а — обработка верхнего конца сваи для поворотного бугеля; *б* — закрепление деревянной сваи в хомуте поворотного бугеля; *в* — подъем сваи; *г* — отцепление сваи с бугелем от бабы при опирании сваи на поверхность земли; *д* — конструкция наголовника для погружения железобетонной сваи дизель-молотом; *1* — свая; *2* — поворотный бугель; *3* — хомут бугеля; *4* — баба; *5* — крюки для подвеса бугеля; *6* — дизель-молот; *7* — подвески из каната; *8* — наголовник; *9* и *10* — деревянные подбабники; *11* — стальной лист.

вниз. Однако при решении вопроса расположения сваи при забивке принимается такое положение, при котором диаметр сваи в расчетном сечении на изгиб больше.

6. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОР НА КРЕПКИХ СКАЛАХ

Если крепкие скалы монолитны, не имеют трещин, расслоений, выветриваний и других дефектов, лучшими способами закрепления на них опор являются такие, при которых используется прочность скалы. Для передачи нагрузок, передаваемых опорой, в скалу заделываются специальные болты, называемые скальными, которые воспринимают вырывающую нагрузку за счет расклинивания нижнего конца и бетонирования.

Применяемые в настоящее время способы позволяют просто и надежно закреплять на скалах все типы опор. Для анкерования скальных болтов в крепкой скале диаметры шнуров D и глубина заложения болтов в скалу L принимаются в зависимости от диаметров d скальных болтов (рис. 25)

d	24	27	30	36	42
D	38—42	42—45	45—50	50—55	60—65
L	700	800	900	1000	1200

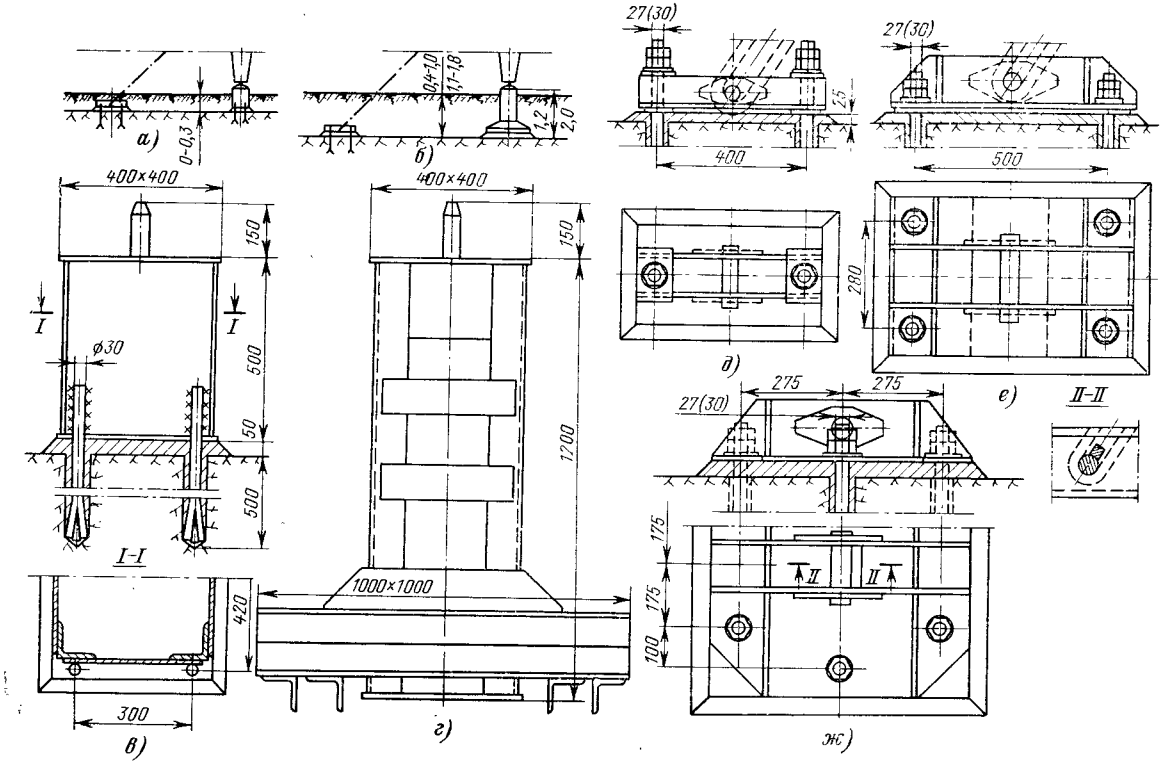


Рис. 24. Закрепление на скалах одностоечных опор 110—330 кВ с оттяжками.

а, б — схемы закрепления при различной глубине заложения скалы; *в, г* — металлические колонка и подиожник; *д, е, ж* — анкеры для крепления оттяжек с двумя, четырьмя и шестью скальными болтами.

Остальные размеры болтов принимаются по проекту. Диаметры болтов больше 42 мм не применяются. Конструктивные элементы закрепления на скалах металлических опор приведены на рис. 24 и 25.

Способ закрепления стойки одностоечных опор с оттяжками не зависит от величины нагрузки, а связан только с глубиной залегания скалы. При залегании скалы на глубине до 0,3 м стойка закрепляется на металлической колонке (рис. 24,*а*), если скала располагается на глубине от 0,4 до 1,8 м, то применяются укороченные железобетонные подножники высотой 1,2 или 2,0 м (рис. 24,*б*). На отдельных ВЛ с труднодоступными трассами применяются металлические подножники (рис. 24, *г*).

Для исключения возникновения недопустимых больших местных напряжений между скалой и подошвой плиты колонка устанавливается на подливку из бетона, а подножник — на слой песка толщиной 100 мм. Для фиксации положения опоры и воспринятия горизонтальных нагрузок колонка приваривается к четырем анкерным шпилькам.

Конструкция закрепления оттяжек опор зависит от величины тяжения по оттяжкам и не связана с глубиной залегания скалы.

Каждый анкерный элемент фундамента для закрепления оттяжек состоит из двух, четырех или шести скальных болтов (в отдельных случаях для закрепления оттяжек угловой опоры применяется по восемь болтов диаметром 30 мм), балки или плиты и U-образных болтов (рис. 24,*д*, *е*, *ж*). Анкерные элементы с шестью и восемью скальными болтами применяются с целью возможности использования скальных болтов диаметром не более 30 мм. К каждому анкерному элементу посредством U-образных болтов прикрепляются одна или две оттяжки. U-образные болты прикрепляются к оси, расположенной в середиие анкера, благодаря чему нагрузка равномерно распределяется между скальными болтами.

Для закрепления свободностоящих металлических опор на скале устраиваются железобетонные колонки, концы арматуры которых обязательно анкеруются в скалу, при закреплении легких промежуточных опор и высоте не более 200 мм колонки выполняются из бетона.

Применение металлических колонок вместо железобетонных затруднительно ввиду того, что до измерений на пикете неизвестна необходимая высота колонок под

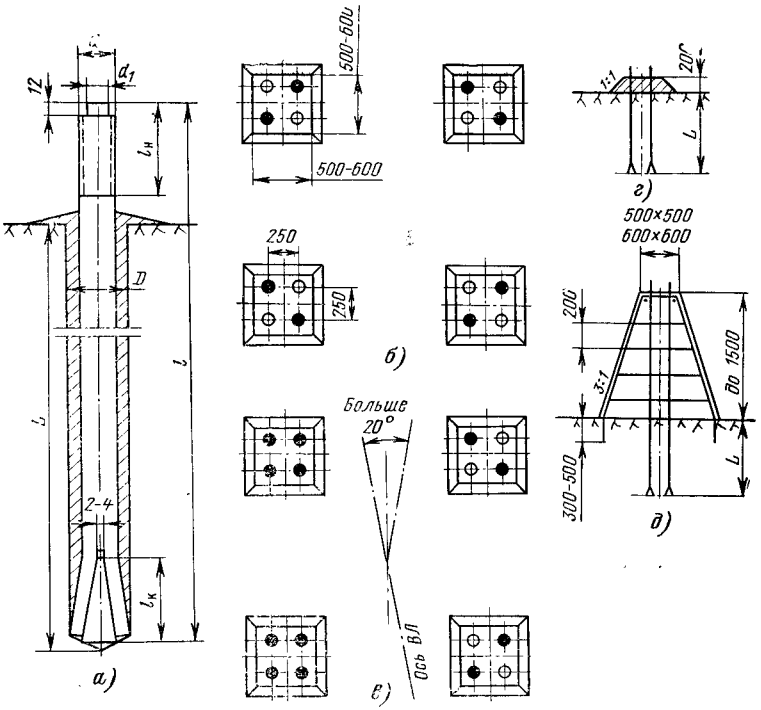


Рис. 25. Закрепления на скале металлических анкерных и угловых свободностоящих опор.

а — скальный болт; *б*, *в* — схемы фундаментов опор в плане и возможные варианты закрепления опорных узлов двумя скальными болтами (болты показаны кружками); *г* — бетонная колонка для закрепления промежуточной опоры; *д* — железобетонная колонка.

каждую ногу опоры. На рис. 25 изображены схемы закрепления анкерных и угловых свободностоящих опор, а также приведена конструкция железобетонной колонки.

Для упрощения производства работ при согласовании с проектной организацией иногда применяется следующее:

1. При подвеске более легких проводов, чем те, на которые рассчитана опора, каждая пята опоры закрепляется только двумя скальными болтами вместо четырех (рис. 25,*б*).

2. При угле поворота трассы более 20° прижатые пяты опоры закрепляются только двумя скальными болтами, и при этом иногда глубина заделки этих болтов в

скалу несколько уменьшается (рис. 25,*в*). Колонки высотой более 1,5 м обычно не делают. Концы арматуры колонки анкеруют в скалу на глубину 300—500 мм. Независимо от применения арматуры и высоты колонки глубина заложения в скалу болтов не уменьшается.

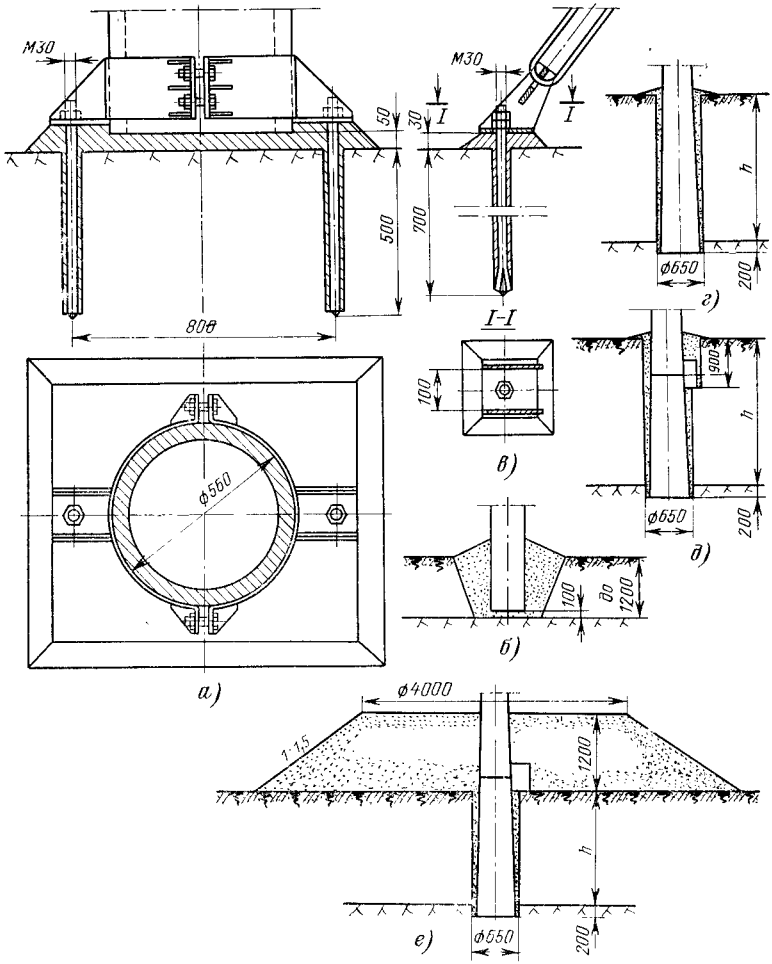


Рис. 26. Закрепление железобетонных промежуточных опор 35—220 кВ на скале.

а, *б* — крепление ствола опоры с оттяжками; *в* — анкер для крепления оттяжки (с одним болтом); *г*, *д*, *е* — конструкции закрепления опор при залегании подстилающей скалы на глубине более 1,5 м.

Железобетонные опоры, как правило, на трассах со скальными грунтами не применяются, однако в практике строительства отдельные железобетонные опоры 35—220 кВ закрепляются на скалах.

При залегании скалы у поверхности земли или на глубине до 1,5 м опоры закрепляются с помощью оттяжек, расположение которых и способы крепления к опоре аналогичны применяемым при закреплении опор на болотах.

Стойки опор при залегании скалы у поверхности закрепляются с помощью металлического хомута, прикрепленного к скале двумя болтами (рис. 26,*а*); для исключения возникновения больших местных напряжений в нижнем торце стойки под ней делается бетонная подливка.

При расположении скалы на глубине до 1—1,2 м опора устанавливается в котлован, вырытый до поверхности скалы, и засыпается песком, между скалой и стойкой должен быть слой песка не менее 100 мм для равномерного распределения давления по торцу стойки (рис. 26,*б*).

Крепление оттяжек производится к анкерам, конструкции которых принимаются в зависимости от величин тяжений, действующих по оттяжкам.

При подвеске легких проводов на одноцепных опорах 35—110 кВ применяется одноболтовой анкер (рис. 26,*в*), в остальных случаях применяются двухболтовые анкеры. Если скала залегает на 1,5—2,5 м, рекомендуются способы закрепления опор, изображенные на рис. 26,*г*, *д*, *е*, стойка опоры устанавливается в пробуренный котлован и заглубляется на 0,15—0,2 м в верхний слой скалы, который обычно бывает ослаблен трещинами и расслоениями.

Перед началом работ производится осмотр места расположения фундамента и, если на поверхности скалы имеется слой мягкого грунта, последний удаляется, снимается также верхний слой скалы, если он имеет трещины, расслоения и другие дефекты.

Производится разметка центров скальных болтов. Высокая точность требуется при устройстве анкеров для крепления оттяжек, так как диаметр отверстий в плитах ненамного больше диаметра скальных болтов (увеличение диаметра отверстий требует установку под гайки специальных шайб и приварку их к плитам). Поэтому при устройстве многоболтовых анкеров для разметки применяют шаблоны.

Бурение шпуров производится пневмоперфораторами, для питания которых необходим компрессор, обычно ЗИФ-55 (наибольшие размеры шпура: диаметр 60 мм, глубина 1500 мм) или ручными мотоперфораторами С-359М, свободно переносимыми по трассе двумя рабочими (наибольшие размеры шпура: диаметр 45 мм, глубина 900 мм). Готовый шпур полностью заполняется жидким цементным раствором, приготовленным из одной части цемента и двух частей песка.

Сразу после этого легким ударом кувалды клин слегка загоняется в прорезь скального болта, затем болт клином вниз ставится на дно шпура, после чего несколькими ударами кувалды по верхнему торцу скальный болт расклинивается. Нагружать скальный болт можно только через 25—30 дней (после затвердевания бетона).

7. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОР В ГРУНТАХ С ВАЛУНАМИ, ГАЛЬКОЙ, ГРАВИЕМ И НА СЛАБЫХ СКАЛАХ

Грунты с вкраплениями твердых пород неоднородны по своим характеристикам, что затрудняет создание единого способа закрепления опор, полностью использующего все его особенности.

Наиболее часто в таких грунтах используются те же способы закрепления опор, которые применяются в грунтах без вкраплений. При этом увеличивается трудоемкость в основном за счет усложнений производства земляных работ. В практике строительства ВЛ на трассах, имеющих грунты с вкраплением, применяются следующие способы закрепления опор, использующие специфические особенности этих грунтов:

а) укороченные на 0,5 м фундаменты, позволяющие уменьшить объем земляных работ при сохранении почти неизменной величины несущей способности этих фундаментов за счет их увеличенного объемного веса и угла внутреннего трения;

б) недозаглубление анкерных плит и устройство насыпных банкеток экономичной формы из тяжелого грунта. Особенно эффективно использование для этой цели валунов, расположенных на поверхности земли (рис. 27,*а*);

в) использование валунов для закрепления опор (рис. 27,*б*, *в*, *г*). Крепкие монолитные валуны могут быть использованы только для закрепления промежуточ-

ных опор. Для закрепления стволов опор используются только валуны естественного заложения; для закрепления оттяжек опор используются также и перемещенные валуны. Масса валунов должна всегда быть больше действующих на них нагрузок с учетом коэффициента запаса 1,5. Примерную массу валуна можно определить по его основным размерам. Крепление опоры к валуну вы-

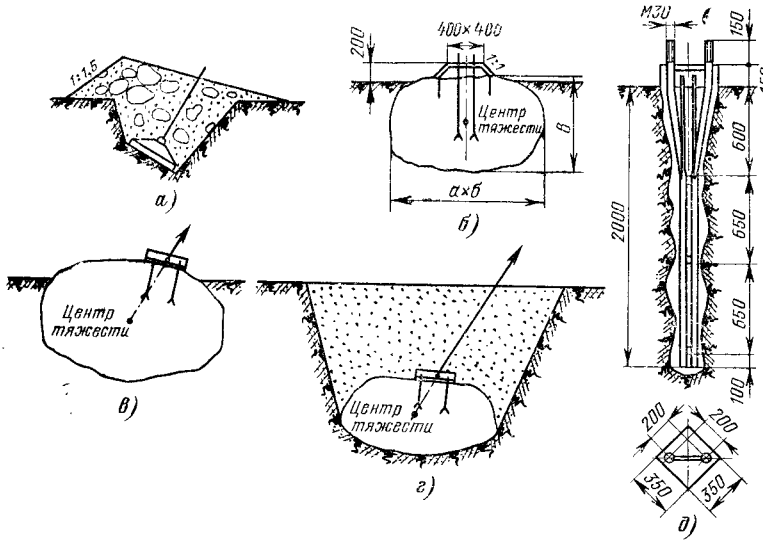


Рис. 27. Закрепление металлических опор в грунтах с вкраплениями гальки, гравия и валунов.

а — недозаглубленная анкерная плита с банкеткой из валунов, гальки и гравия; *б, в, г* — использование валунов для закрепления опоры и оттяжек; *д* — термонабивная свая для закрепления промежуточной опоры 110 кВ.

полняется аналогично закреплению опоры на скале. Для использования полной массы валуна при действии выдергивающей нагрузки или для создания равномерного давления на грунт при сжатии необходимо, чтобы продолжение оси, по которой действует усилие, пересекало центр валуна. Валун может располагаться над поверхностью земли не более 0,2 своей высоты;

г) применение в порядке эксперимента набивных свай, устраиваемых в скважинах, образованных термобуром (термонабивные сваи, рис. 27,*д*). Проведенные испытания показали большую прочность сцепления термона-

бивной сваи с грунтом (не менее 13 т на 1 м длины сваи);

д) в местах расположения на поверхности земли большого количества валунов в порядке эксперимента легкие опоры закрепляются с помощью подножников, обваловванных валунами.

В слабых или трещиноватых скалах опоры закрепляются следующими способами:

а) Используются те же фундаменты, которые применяются в нормальных грунтах. Котлованы образовываются взрывным способом или с помощью пневмоперфораторов, работающих от компрессора, с последующей расчисткой экскаватором.

б) Производится бурение цилиндрических котлованов диаметром 650 мм, в которых закрепляются железобетонные опоры (в отдельных случаях кусты из четырех котлованов используются для закрепления металлических опор).

в) В скале бурятся глубокие (до 2 м) шпуры, в которые заанкеровываются скальные болты. При этом диаметр, глубина заделки и количество скальных болтов увеличиваются по сравнению с закреплением на крепких скалах в связи с большим разбросом характеристик слабых скал. Иногда путем испытания определяют несущую способность заделки скальных болтов.

В грунтах с вкраплениями затруднена механизация рытья котлованов, поэтому часто работа выполняется ручным способом, при этом необходимо принимать меры, чтобы валуны, находящиеся в боковых стенках котлована, не упали на его дно. Удаление из котлована небольших валунов и кусков раздробленного валуна производится трактором с помощью сетки, сплетенной из стального каната. При обнаружении во время отрывания котлована валуна большого размера решается вопрос о возможности его использования для закрепления опоры, если это невозможно, то валун дробится взрывом и по частям удаляется из котлована или дальнейшее углубление котлована прекращается, а после установки фундамента устраивается насыпная банкетка. Для увеличения несущей способности фундамента или анкерной плиты на вырывание засыпку фундамента целесообразно производить, используя все находящиеся поблизости валуны.

Бурение котлованов глубиной до 2,2 м, диаметром в наибольшем сечении до 260 мм осуществляется с по-

мощью ручного термобура, работающего в комплекте с компрессором ЗИФ-55. После бурения котлована в него вставляются арматура и закладные части и производится бетонирование с тщательным уплотнением.

Бурение цилиндрических котлованов для железобетонных опор в слабой скале (типа известняка) осуществляется при помощи машины МРК-1, снабженной специальным многошарошечным или трехшарошечным долотом диаметром 480 мм с дополнительно установленными на трех кронштейнах резцами или цилиндрическим буром, состоящим из стальной трубы, на нижнем торце которой по всему периметру закреплены резцы из твердого сплава. Бурение в скале котлована на глубину 1 м продолжается до 3 ч, при этом требуется непрерывная подача воды для охлаждения рабочего органа и удаления разработанного известняка. Бурение цилиндрических котлованов диаметром до 650 мм производят также с помощью канатно-ударного бурения, применяя станок БУ-20-2У или УКС-20. Станки работают в комплекте с передвижной электростанцией мощностью 50 кВт и автоцистерной. Перевозка станков по трассе осуществляется трактором. С помощью буровых станков отрывались котлованы квадратного сечения, при этом на площади котлована близко друг к другу бурилось несколько цилиндрических скважин, перегородки между которыми разбирались с помощью пневмоперфораторов.

По данным отчетов при закреплении опор в котлованах, вырытых пневмоперфораторами, взрывным способом и буровым станком, соотношение трудозатрат соответственно следующее 1 : 0,76 : 0,45.

8. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОР НА БОЛОТАХ

Для оценки закрепления опор на болотах основными являются такие характеристики, как толщина слоя торфа и вид подстилающего торф грунта. Применяются следующие способы закрепления опор на болотах:

1) замена торфа песчаным грунтом и заложение в него фундамента. Способ трудоемкий, поэтому целесообразно применять только при небольшой толщине торфа;

2) опирание на подстилающий грунт. Обычно применяется для фундаментов стоек опор с оттяжками;

3) забивка свай в подстилающий грунт. Наименее трудоемкий способ;

4) плавание в грунтовой воде, содержащейся в торфе. Этот и последний способы пока носят экспериментальный характер;

5) опирание на торф.

На болотах, как правило, закрепляются только промежуточные опоры, поэтому ниже приведены конструкции закрепления опор этого типа.

Если появляется необходимость установки на болоте анкерно-угловых опор, то они могут быть закреплены одним из приведенных выше способов.

Как уже отмечалось, на болотах везде, где позволяют подстилающие грунты, целесообразно применять свайные способы закрепления опор. Для устройства монолитного железобетонного ростверка на забитые сваи около фундамента в торфе отрывается более глубокий котлован небольшого размера, из которого насосом все время в период бетонирования выкачивается вода.

Если применение свайных фундаментов невозможно, земляные работы целесообразно производить зимой с применением промораживания или в наиболее сухой период времени года.

При устройстве ответственных фундаментов по периметру котлована иногда забивается шпунт.

Доставка песка для засыпки фундаментов, устанавливаемых на болоте, производится с помощью металли-

Таблица 15

Рекомендации закреплений унифицированных железобетонных опор 35—220 кВ на болоте с толщиной торфа 3 м

Шифр опоры	Марка провода	Схема закрепления на рис. 28	Усилие в оттяжке, кН	Диаметр свай, см	Расход материалов		
					Сталь, кг	Канат ∅ 11 мм, кг	Древесина, м³
ПБ35-1	АС-150	*б*	21,6	28	198	33	1,6
ПБ110-1	АС-150	*б*	24,0	28	198	30	1,6
ПБ35-2	АС-150	*в*	21,6	26	349	35	1,8
ПБ110-2	АС-95	*в*	20,0	26	349	37	1,8
ПБ220-1	АСО-400	*г*	24,0	28	224	48	2,1
ПБ220-3	АСО-400	*г*	21,6	28	224	52	2,1
ПБ110-4	АСО-240	*д*	44,0*	26	390	40	2,8
ПБ110-8	АСО-240	*д*	44,0*	26	390	44	2,8

* В ночной оттяжке.

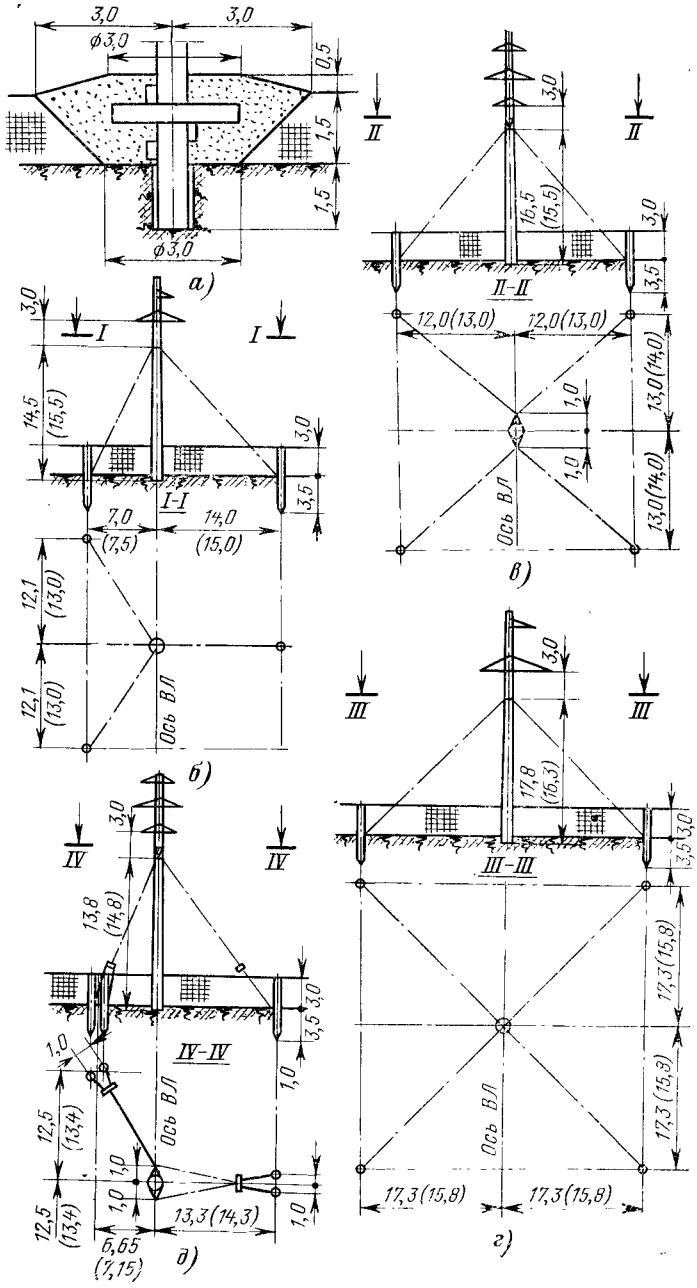
ческих пен, применяются также тракторы ТДТ-75, оборудованные кузовами.

Закрепление железобетонных опор. В табл. 15 приведены некоторые рекомендации по закреплению на болотах железобетонных опор 35—220 кВ, а на рис. 28 изображены схемы закрепления опор.

На болотах с толщиной торфа до 1,5 м опоры обычно закрепляются путем установки трех-четырех ригелей и засыпки песком (рис. 28,*а*). При толщине слоя торфа более 1,5 — 2,0 м железобетонные опоры целесообразно закреплять при помощи трех-четырех оттяжек, расположенных под углом 45° к вертикали. При возможности забивки свай такой способ позволяет исключить выполнение земляных работ.

Для болот с толщиной торфа до 5 м применялись двухцепные опоры, используемые в качестве одноцепных, при этом сохранялась нормальная высота подвеса провода. У одноцепных опор оттяжки прикрепляются к металлическому хомуту, расположенному под нижней траверсой, а у двухцепных опор — к концам специальных траверс, расположенных вдоль оси ВЛ, для предотвращения возможности схлестывания проводов аварийной цепи с проводами работающей цепи в результате возможного разворота опоры вокруг оси стойки при обрыве провода.

Нижние концы оттяжек прикрепляются к деревянным сваям на уровне границы торфа с подстилающим грунтом. В этом месте, как правило, всегда находится грунтовая вода, что значительно задерживает гниение древесины, кроме того, значительно уменьшается изгибающий момент, воспринимаемый сваей от действия на нее горизонтальной составляющей тяжения по оттяжке, так как место присоединения оттяжки к свае находится у подстилающего торф грунта, в котором свая плотно закреплена. В зависимости от величины нагрузки, действующей на опору, оттяжки прикрепляются к одиночным сваям (рис. 28, *б*, *в*, *г*,) или к кусту из двух свай (рис. 28, *д*). При залегании под торфом слабого грунта при сборке опоры к ее нижнему концу прикрепляют с помощью хомута металлическую плиту (рис. 28,*е*), которая увеличивает опорную поверхность. Если подстилающий торф грунт не допускает забивку свай (скала, валуны и т. п.), то оттяжки прикрепляются к анкерным плитам или ригелям, засыпаемым песком.


3,0
3,0
ф3,0
0,5
1,5
1,5
ф3,0
а)
II
II
3,0
16,5
(15,5)
3,0
II-II
3,5
12,0(13,0)
12,0(13,0)
13,0(14,0)
1,0
1,0
13,0(14,0)
Ось ВЛ
в)
3,0
I
I
14,5
(15,5)
3,0
I-I
3,5
7,0
(7,5)
14,0
(15,0)
12,1
(13,0)
12,1
(13,0)
Ось ВЛ
б)
III
III
3,0
17,8
(16,3)
3,5
3,0
III-III
17,3(15,8)
17,3(15,3)
Ось ВЛ
17,3(15,8)
17,3(15,8)
г)
IV
IV
3,0
13,8
(14,8)
3,5
3,0
IV-IV
1,0
1,0
12,5
(13,4)
Ось ВЛ
1,0
12,5
(13,4)
1,0
13,3(14,3)
1,0
6,65
(7,15)
д)

Крепление оттяжек также возможно к железобетонным грузам. В частности, для этой цели использовались сломанные при транспортировании на трассу железобетонные стволы. Закрепление промежуточных железобетонных опор 330 кВ на болотах применяется сравнительно редко. При толщине торфа до 1,5 м, когда нижняя часть стоек опоры частично закреплена в подстилающем грунте, с каждой стороны опоры на оси ВЛ

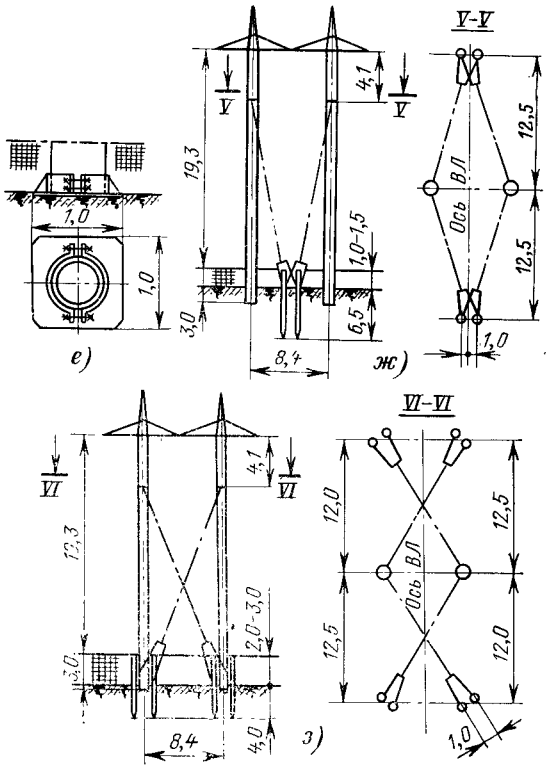


Рис. 28. Закрепление железобетонных опор 35—330 кВ на болотах.
а — закрепление при помощи ригелей; *б* — опор ПБ-35-1 и ПБ-110-1; *в* — опор ПБ-35-2 и ПБ-110-2; *г* — опор ПБ-220-3 и ПБ-220-1; *д* — опор ПБ-110-4 и ПБ-110-8; *е* — металлическая плита, закрепляемая на нижнем конце стойки при установке опоры на слабый грунт, *ж*, *з* — закрепление опор 330 кВ при толщине торфа до 1,5 и 3,0 м.

забивается по две деревянные сваи, к которым прикрепляются концы четырех оттяжек, при этом каждая оттяжка присоединяется к двум сваям. При толщине торфа более 1,5 м (до 3 м) забивается по две пары свай с каждой стороны опоры, что позволяет более надежно закрепить опору с помощью оттяжек.

Закрепление металлических опор 110—330 кВ с оттяжками.

Схема одностоечной металлической опоры с оттяжками приведена на рис. 1, *ж*. Фундамент опоры состоит из одного элемента для закрепления стойки и трех для крепления оттяжек. На практике одностоечные опоры закреплялись на болотах с толщиной торфа до 6 м, при использовании плавающего фундамента опоры этого типа могут закрепляться на любых болотах и даже водоемах. Конструкции закрепления металлических опор 110—330 кВ с оттяжками на болотах изображены на рис. 29 и 30. При толщине слоя торфа до 1,5 м, а иногда и до 3 м опоры закрепляются с помощью подножника и анкерных плит, при этом в месте их установки торф заменяется привозным песком. Такой способ, требующий производства земляных работ, весьма трудоемок. В болотах с толщиной торфа от 2 до 6 м целесообразно применять фундаменты, состоящие из деревянных свай. Для закрепления стойки опоры применялись элементы фундамента, состоящие из 4—16 деревянных свай с железобетонным ростверком (рис. 29, *в*) или из 4—5 деревянных свай с металлическим ростверком (рис. 29, *б*). Для предотвращения загнивания верхний конец сваи располагается ниже поверхности грунтовой воды.

К каждой свае свайного анкера на уровне границы торфа с подстилающим грунтом прикрепляется тяга *1*. Верхние концы тяг прикреплены к специальным конструкциям (обычно выполняемым в виде небольших металлических балочек), которые равномерно распределяют усилие, действующее на анкер между всеми сваями.

В связи с тем что во время эксплуатации ВЛ стойки опоры с большой силой прижимают ростверк, последний ничем не прикрепляется к сваям. В процессе установки опоры, когда на фундамент действует значительная горизонтальная нагрузка, ростверк должен поддерживаться тракторами с помощью канатов.

При залегании под торфом грунта, не допускающего забивку свай, помимо применения железобетонных фун-

даментов и анкерных плит, размещаемых в привозном грунте, заменяющем торф, применяются:

а) закрепление стойки с помощью железобетонного фундамента, на стойку которого для дополнительной устойчивости за счет увеличения веса надеты канализа-

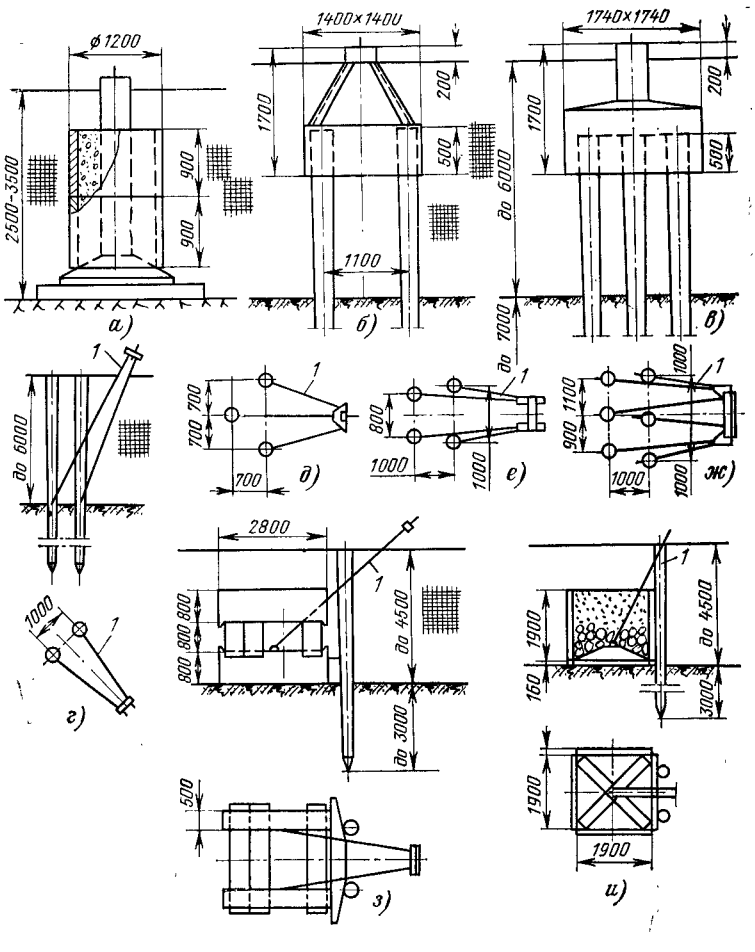


Рис. 29. Закрепление на болоте одностоечных металлических опор с оттяжками.

Закрепление стойки: *а* — подножник с железобетонными кольцами; *б* — четыре или пять деревянных свай с металлическим ростверком; *в* — закрепление оттяжек; *г, д, е, ж* — анкеры из двух, трех, четырех и шести деревянных свай; *з* — грузовой анкер; *и* — коробчатый анкер; *1* — тяги.

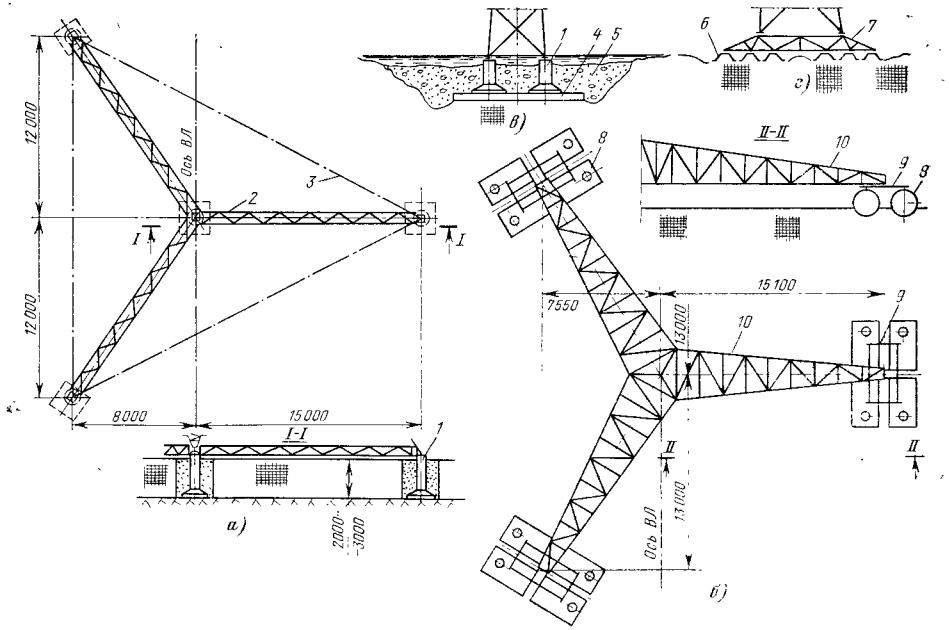


Рис. 30. Специальные фундаменты.

а — фундамент одностоечной опоры 330 кВ с оттяжками для болта с подстилающей скалой; *б* — плавающий фундамент одиостоечной опоры 330 кВ с оттяжками; *в, г* — фундаменты свободностоящих опор 220 кВ, опирающихся на торф; *1* — подножник; *2* — распорная балка; *3* — тросовая растяжка; *4* — настил из бревен; *5* — песок; *6* — корытообразные железобетонные плиты; *7* — ферма; *8* — цилиндрические поплавки; *9* — рама, соединяющая поплавки; *10* — ферма.

ционные кольца, а пространство между стойкой и кольцами заполнено камнями и песком (рис. 29,*а*);

б) грузовые анкеры (рис. 29, *б*), состоящие из нескольких железобетонных блоков весом по 3 т каждый:

в) коробчатые анкеры (рис. 29, *и*) в виде емкости, образованной анкерной плитой и боковыми стенками из тонких железобетонных плит, заполненной песком и камнями. Для крепления стенок в типовую анкерную плиту закладывались специальные детали.

В коробчатом анкере по сравнению с грузовым 40 — 50% железобетона заменено баластом, благодаря чему уменьшена его стоимость. Для предотвращения возможности передвижения грузового или коробчатого анкера в сторону опоры под действием тяжения в оттяжках перед анкерами со стороны стойки опоры забиваются по две-три небольшие сваи или сами анкеры частично заглубляются в подстилающий грунт.

Для закрепления одностоечных опор 330 кВ на болотах с подстилающей скалой применяется фундамент, состоящий из четырех железобетонных подножников, пригруженных песком, соединенных распорными балками (рис. 30, *а*). На средний подножник устанавливается стойка опоры, а к остальным прикрепляются оттяжки. Благодаря распорным балкам горизонтальная составляющая тяжения по любой из оттяжек воспринимается всеми подножниками. Подножники, к которым прикрепляются оттяжки, воспринимают только вертикальную составляющую тяжения, которая примерно на 30% меньше полного тяжения по оттяжке. Для создания жесткости верхние концы подножников соединены натянутыми тросовыми растяжками.

Для устройства такого фундамента расходуется 3250 кг металла, 7,2 м³ железобетона, 96 м³ песка.

Отдельные опоры ВЛ 330 кВ закрепляются на плавающих фундаментах (рис. 30,*б*). Фундамент такой конструкции состоит из 12 поплавков (металлических цилиндров объемом по 6 м³ каждый), объединенных небольшими рамами в три группы по четыре поплавка. На группы поплавков опирается большая металлическая ферма, на середину которой устанавливается стойка опоры, а оттяжки прикрепляются к каждому из трех концов фермы.

На один фундамент такой конструкции расходуется 30 т металла. С помощью таких фундаментов опоры можно закреплять не только на любых болотах, но также и

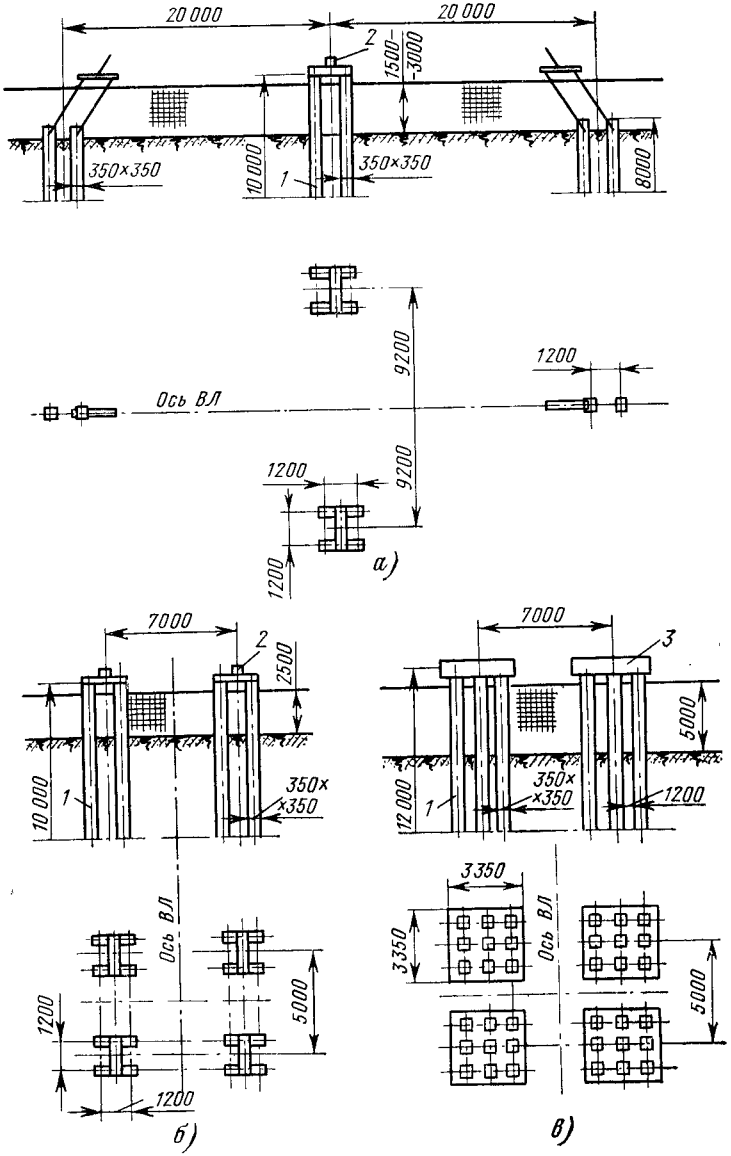


Рис. 31. Закрепление на болоте промежуточных опор 500 кВ.

а — фундамент П-образной опоры с оттяжками ПОТ; *б* — фундамент свободностоящей опоры типа ППТ-34; *в* — фундамент опоры ППТ-34; *1* — железобетонная свая; *2* — металлический ростверк; *3* — монолитный железобетонный ростверк.

на водоемах, поэтому несмотря на значительный расход металла и сложность монтажа их целесообразно применять в тех случаях, когда достигается сокращение длины трассы ВЛ.

Закрепление металлических свободностоящих опор 110—500 кВ. На болотах с торфом до 2—3 м опоры закрепляются с помощью типовых подножников, при этом в местах их установки торф заменяется привозным песком.

Принимая во внимание, что на подножники могут действовать вырывающие нагрузки, которые в фундаментах такой конструкции в основном воспринимаются весом песка, пригружающего подножник, объем, качество и расположение массива песка всегда должны строго соответствовать указанным в проекте.

На ВЛ 110—220 кВ опоры на болотах с торфом до 3 м также закрепляются с помощью железобетонных свай, при этом фундамент под одну ногу опоры состоит из двух — восьми свай. Помимо фундаментов со сборными металлическими ростверками в отдельных случаях при восьми сваях применяются монолитные железобетонные ростверки, бетонируемые на трассе.

На ВЛ 500 кВ для закрепления промежуточных опор в зависимости от толщины торфа применяются фундаменты из железобетонных свай со сборным металлическим или монолитным железобетонным ростверком (рис. 31,*б*, *в*).

В последние годы в отдельных случаях начали применяться фундаменты, опирающиеся на поверхность торфа.

На рис. 30,*в* изображен фундамент, состоящий из четырех железобетонных подножников, установленных на настил из бревен и засыпанных песком.

Менее трудоемким и более простым является фундамент, состоящий из опрокинутых корытообразных железобетонных плит, соединенных сверху двумя металлическими фермами (рис. 30,*г*). Дополнительное сцепление фундамента с торфом достигается за счет «присасывания» корытообразных элементов, благодаря чему этот сравнительно легкий фундамент выдерживает значительный опрокидывающий момент.

При устройстве такие фундаменты по мере нагружения постепенно опускаются, уплотняя торф, однако после достижения определенной величины дальнейшее просе-

дание прекращается. Как показывает пока еще небольшой опыт, фундаменты такой конструкции являются наиболее экономичными при толщине торфа 5 м и более.

9. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОПОР В ПОЙМАХ РЕК

Ширина поймы реки иногда достигает десятков километров, а глубина затопления нескольких метров. В пойменных участках происходит движение воды и льда, русло реки и протоков деформируется. Кроме того, вода размывает сооружение при возникновении волнений и значительной скорости течения. Давление льда на сооружения по действующим нормам может доходить до 450—750 кН на 1 м^2 вертикального сечения льда.

По этой причине на участках поймы, где возможно движение льда, фундаменты защищаются ледозащитными сооружениями или ледорезами, стоимость устройства которых нередко бывает значительно больше стоимости самого фундамента.

Применяются следующие типы ледозащитных устройств и ледорезов:

1) железобетонные конструкции, которые одновременно являются фундаментами опор. Фундаменты в виде опускных колодцев (часто кольцевого сечения), заполняемые бетоном (рис. 32,*а*), или свайные фундаменты с высоким монолитным ростверком (рис. 32,*б*).

2) фундаменты из типовых подножников или свай, защищаемые банкетками из привозного грунта (рис. 32,*в*, *г*). При необходимости погружения свай до уровня поверхности поймы на них устанавливалась металлическая подставка, которая засыпалась грунтом банкетки. В отдельных случаях насыпная банкетка укреплялась путем забивки железобетонных свай (рис. 32,*д*);

3) погружение свай-надолбов перед фундаментом (рис. 32,*е*);

4) тросовое устройство на временно затапливаемых участках для защиты опоры или фундамента от действия отдельных льдин (рис. 32,*ж*);

5) свайные ледорезы для защиты железобетонных опор. Ледорезы состоят из пяти (рис. 32,*д*) или девяти железобетонных свай сечением от 30×30 до 40×40 см, длиной 6 м, верхние концы которых соединены металлическим ростверком;

6) наклонные ледорезы. Наклонная часть выполняется из отрезков центрифугированных труб, железобетонных свай или бревен и опирается на сваю или кусок трубы. В зависимости от возможных направлений движения льда могут устанавливаться одна, две и три наклонные защиты.

В пойменных фундаментах насыпные банкетки укрепляются против размыва водой. Для этой цели на горизонтальных поверхностях производится посев трав. Наклонные поверхности укрепляются путем:

устройства сплошной одерновки (допускается при кратковременном обводнении и скорости течения не более 1,4 м/с);

мощения из камней размером 16—20 см на слое щебня толщиной не менее 10 см (разрешается при длительном обводнении и скорости течения не более 3,5 м/с);

мощения из камней размером 25—35 см (выполняется при длительном обводнении и скорости течения до 5,5 м/с);

укладывания железобетонных плит на слой гравия или щебня (продолжительность обводнения и скорость течения не ограничиваются).

10. ФУНДАМЕНТЫ ПЕРЕХОДНЫХ ОПОР

Линии электропередачи нередко пересекают различные препятствия и сооружения, реки, проливы, ущелья и т. д. Если при пересечении сооружений, как правило, удается обойтись обычными опорами, то переходы через большие естественные преграды для обеспечения необходимого габарита между проводами и поверхностью земли требуют установки больших переходных опор. Современные переходные опоры достигают высоты 190 м и массы 480 т. На фундаменты переходных опор действуют нагрузки, значительно превосходящие нагрузки от нормальных опор. Поэтому фундаменты переходных опор значительно отличаются конструкцией, размерами и прочностью, а сооружение их сложно и ответственно. В практике строительства применяются следующие типы фундаментов: железобетонные сборные, некоторые конструкции которых приведены на рис. 33,*а*, *б*, *в*; свайные фундаменты с железобетонным ростверком (рис. 33,*г*); железобетонные фундаменты (рис. 33,*д*); бетонные монолитные фундаменты (рис. 33,*е*).

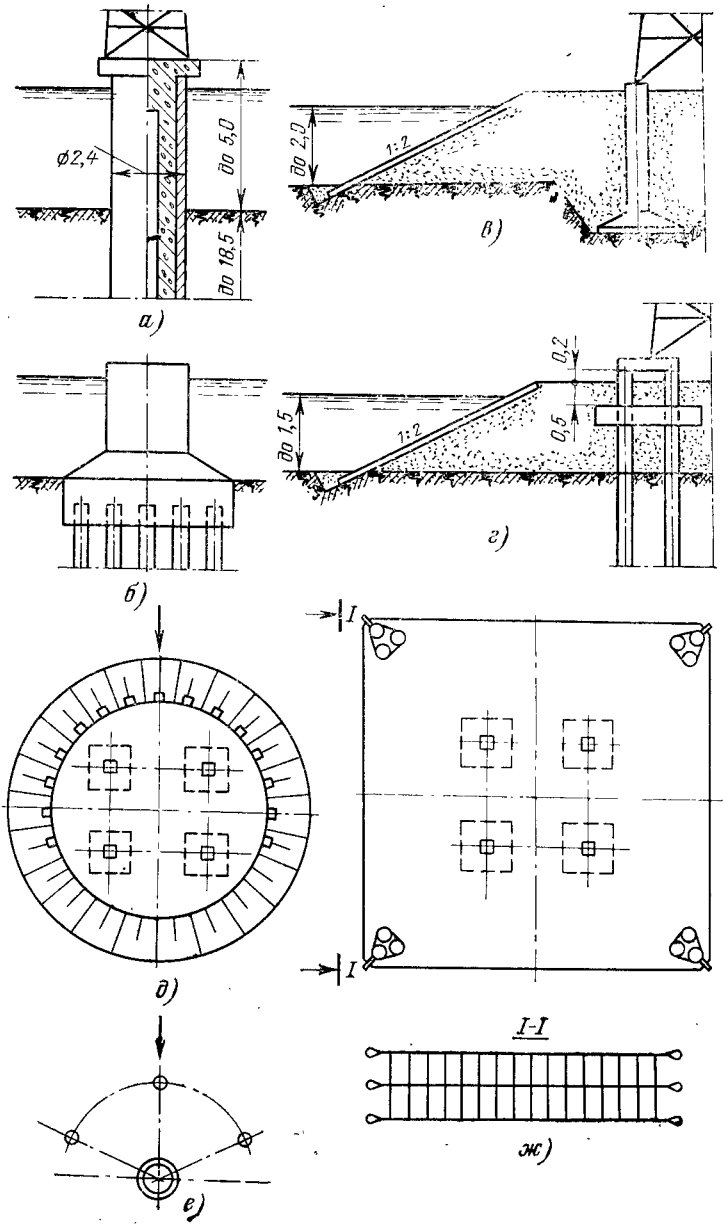


Рис. 32. Ледозащитные устройства.

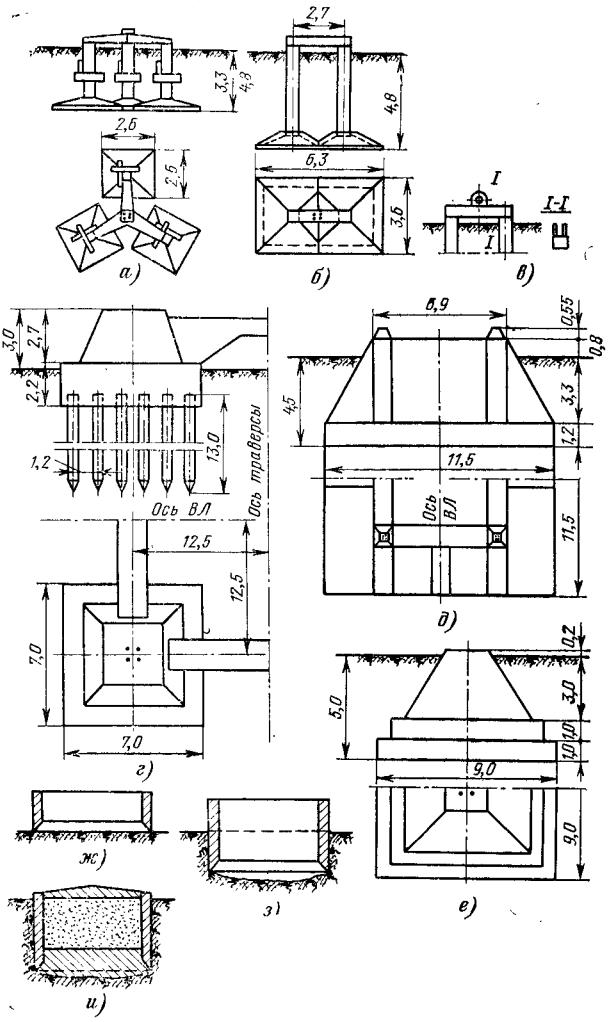


Рис. 33. Фундаменты переходных опор.

а, б — сборные фундаменты, состоящие из двух и трех унифицированных подножников с металлическими балками; *в* — сборный фундамент из двух подножников с металлической балкой, имеющий шарнир для закрепления «качающейся» опоры; *г* — свайный фундамент с железобетонным монолитным ростверком; *д* — железобетонный фундамент; *е* — монолитный бетонный фундамент; *ж, з, и* — стадии устройства фундамента по методу опускного колодца.

Следует также отметить фундаменты облегченных переходных опор с оттяжками.

Сборные железобетонные фундаменты, значительно уменьшающие затраты труда на пикете, применяются только для небольших переходных опор высотой до 80—90 м. Фундаменты больших переходных опор высотой более 100 м обычно выполняются монолитными железобетонными или свайными. Сооружение таких фундаментов трудоемко, требует выполнения на пикете некоторых видов работ, обычно не производящихся при строительстве ВЛ (бетонные и железобетонные работы, забивка больших свай и др.), часто работы могут выполняться только в теплое время года и т. д.

При сооружении фундаментов иногда применяется метод опускного колодца. На месте установки опоры на поверхности земли изготовляется нижняя часть коробкообразного фундамента (рис. 33,*ж*). Затем через внутренний проем производится удаление грунта; по мере удаления грунта фундамент начинает опускаться до тех пор, пока не займет проектное положение, одновременно производится наращивание фундамента до полной высоты (рис. 33,*з*). Нижняя часть проема бетонируется, затем насыпается песок и производится бетонирование верхней части (рис. 33,*и*). Сооружение фундамента методом опускного колодца позволяет уменьшить объем земляных работ и не требует укрепления стенок котлована.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Схемы опор и требования к их закреплениям 3
2. Нагрузки на фундаменты опор и прочность закрепления опор в грунте 10
3. Основные сведения о грунтах 16
4. Закрепление опор в обычных грунтах . . . 19
5. Устройство фундаментов в обычных грунтах 41
6. Закрепление опор на крепких скалах . . . 64
7. Закрепление опор в грунтах с валунами, галькой, гравием и на слабых скалах 70
8. Закрепление опор на болотах 73
9. Закрепление опор в поймах рек 84
10. Фундаменты переходных опор 85

Цена 17 коп.