

---

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ  
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»

---



**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ  
ОАО «ФСК ЕЭС»**

**СТО 56947007- 29.120.95-  
049-2010**

---

**НОРМЫ  
проектирования поверхностных фундаментов для опор  
ВЛ и ПС**

Стандарт организации

Дата введения: 18.06.2010

ОАО «ФСК ЕЭС»  
2010

## **Предисловие**

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», объекты стандартизации и общие положения при разработке и применении стандартов организаций Российской Федерации - ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения», общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению межгосударственных стандартов, правил и рекомендаций по межгосударственной стандартизации и изменений к ним - ГОСТ 1.5-2001, правила построения, изложения, оформления и обозначения национальных стандартов Российской Федерации, общие требования к их содержанию, а также правила оформления и изложения изменений к национальным стандартам Российской Федерации - ГОСТ Р 1.5-2004.

## **Сведения о стандарте организации**

**РАЗРАБОТАН:** Филиалом Открытого акционерного общества «Инженерный центр ЕЭС» - «Фирма ОРГРЭС»

**ИСПОЛНИТЕЛИ:** Каверина Р.С., Сенькин Н.А.

**ВНЕСЕН:** Департаментом систем передачи и преобразования электроэнергии, Дирекцией технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС»

**УТВЕРЖДЕН:** приказом ОАО «ФСК ЕЭС» от 18.06.2010 № 429

**ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:** с 18.06.2010

**ВВЕДЕН впервые**

Замечания и предложения по стандарту организации следует направлять в Дирекцию технического регулирования и экологии ОАО «ФСК ЕЭС» по адресу 117630, Москва, ул. Ак. Челомея, д. 5А, электронной почтой по адресу: [zhulev-an@fsk-ees.ru](mailto:zhulev-an@fsk-ees.ru).

Настоящий стандарт организации не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения ОАО «ФСК ЕЭС»

## Содержание

Введение .....	4
1 Область применения .....	4
2 Нормативные ссылки .....	4
3 Термины и определения.....	6
4 Общие положения .....	6
5 Основные указания по расчету .....	9
6 Расчет оснований по несущей способности .....	10
7 Расчет оснований по деформациям .....	14
8 Конструирование фундаментов .....	15
9 Требования к материалу конструкций фундаментов.....	21
10 Требования к грунтовым основаниям и площадке строительства .....	22
Приложение 1 Методика расчета осадок и крена поверхностных фундаментов опор ВЛ в условиях болот и пучинистых грунтов .....	25

## **Введение**

Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» «Нормы проектирования поверхностных фундаментов для опор ВЛ и ПС» (далее Стандарт) разработан в соответствии с требованиями Федерального закона №184-ФЗ «О техническом регулировании».

Стандарт разработан в развитие обязательных положений и требований СНиП 2.02.01-83\*, СНиП 2.02.04-88, СП 50-101-2004.

Стандарт устанавливает требования к проектированию поверхностных фундаментов воздушных линий электропередачи (ВЛ) и подстанций (ПС) в различных инженерно-геологических и климатических условиях.

Стандарт должен быть пересмотрен в случаях ввода в действие новых технических регламентов и национальных стандартов, содержащих не учтенные в Стандарте требования, а также при необходимости введения новых требований и рекомендаций.

## **1 Область применения**

Стандарт устанавливает требования к проектированию поверхностных фундаментов ВЛ и ПС в различных климатических и инженерно-геологических условиях, включая обводненные торфяные и вечномёрзлые грунтовые основания.

В Стандарте даются указания по расчету, выбору материалов и конструированию поверхностных фундаментов и фундаментов мелкого заложения при строительстве и реконструкции ВЛ и ПС для опирания основного и вспомогательного оборудования (опоры, стойки и порталы ВЛ и ПС, трансформаторы напряжений, ограничители перенапряжений, элегазовые и вакуумные выключатели, шинные опоры, опоры под конденсаторы связи, стойки под 1- и 3-х полюсные разъединители и т.п.) и как опорные конструкции других зданий и сооружений ПС (здания ОПУ и ЗРУ, башни связи и освещения, молниеотводы и т.п.).

Настоящие технические требования являются обязательными для проектировщиков и строителей, эксплуатирующих организаций, а также изготовителей, поставщиков, потребителей и заказчиков оборудования воздушных линий электропередачи и подстанций напряжением выше 1 кВ.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем стандарте организации использованы ссылки на следующие стандарты и нормативные документы:

Правила устройства электроустановок (ПУЭ). Глава 4.2. Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ. – 7-е изд. (п.4.2.4-4.2.6, 4.2.20, 4.2.25, 4.2.32, 4.2.35, 4.2.206-4.2.207).

ГОСТ 20276-99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.

ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.

ГОСТ 25192-82 Бетоны. Классификация и общие технические требования

ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету (с Изменением №1).

СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия.

СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений.

СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.

СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления.

СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии.

СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах.

СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции.

СНиП II-25-80. Деревянные конструкции.

СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства.

СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства.

СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов.

СНиП 23-01-99. Строительная климатология.

СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства.

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.

Часть 1. Общие правила производства работ.

СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.

СП 53-102-2004. Общие правила проектирования стальных конструкций.

ТСН 50-302-2004. Территориальные строительные нормы. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге.

ТСН МФ-97 МО. Территориальные строительные нормы. Проектирование, расчет и устройство мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных жилых зданий в Московской области.

IEC 60826:2003. International Standard. Design criteria of overhead transmission lines. - Geneva, 2003.

СО ОАО «ФСК ЕЭС». Нормы технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ, 2008.

СО ОАО «ФСК ЕЭС». Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока напряжением 35-750 кВ, 2006.

Руководство по проектированию опор и фундаментов линий электропередачи и распределительных устройств подстанций напряжением выше 1 кВ. Раздел 6. Основания. №3041тм-т2. – М.: ВГПИиНИИ «Энергосетьпроект», 1976.

Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах / Госстрой СССР, НИИОСП им.Н.М.Герсеванова. – М.: 1985.

## Примечание.

При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте организации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

**Грунтовое основание** - часть грунтового массива, непосредственно воспринимающая нагрузку от опоры или ее фундамента (фундаментов).

**Фундамент** – строительная конструкция, предназначенная для передачи механических нагрузок от элементов оборудования на грунтовое основание.

**Малозаглубленный фундамент (МФ)** - фундамент с глубиной заложения подошвы в грунтовом основании выше расчетной глубины сезонного промерзания грунта.

**Мелкозаглубленный фундамент (МЗФ) или фундамент мелкого заложения** – плитный или балочный фундамент с глубиной заложения в грунтовом основании, не превышающей толщину (высоту) нижней плиты или балки.

**Поверхностный фундамент (ПФ)** – металлическая или железобетонная конструкция, укладываемая непосредственно на грунт без заглубления либо на насыпную подготовку, воспринимающая вырывающие нагрузки за счёт своей массы, а сжимающие – за счёт площади опирания.

**Инженерная подготовка территории** – комплекс мероприятий, направленных на предупреждение отрицательного воздействия опасных геологических, экологических и других процессов на территорию, здания и оборудование ПС при их строительстве и реконструкции.

**Критический уровень грунтовых вод (УГВ)** – предельное значение положения УГВ, при превышении которого действие инженерно-геологических процессов начинает угрожать объекту ВЛ или ПС.

## 4 Общие положения

4.1 Требования настоящего раздела должны соблюдаться при проектировании как поверхностных, так и мелкозаглубленных фундаментов ВЛ и оборудования подстанций напряжением от 1 кВ и выше, а также их грунтовых оснований.

4.2 ПФ и их основания должны проектироваться на основании СНиП 2.01.07-85\*, СНиП 2.02.01-83\*, СНиП 2.02.04-88, СНиП II-7-81\*, СП 50-101-2004 и с учетом:

а) данных, характеризующих назначение, конструктивные и технологические особенности принятого оборудования ВЛ и ПС и условий его эксплуатации (по паспортам и сертификатам на оборудование);

б) результатов инженерных изысканий для строительства, выполняемых согласно требованиям СНиП 11-02-96 и СП 11-105-97;

в) нагрузок и воздействий на оборудование и фундаменты, определяемых в соответствии с п.4.2 ПУЭ-7-го издания и СНиП 23-01-99, сведений о сейсмичности района строительства;

г) экологических требований и результатов инженерно-экологических изысканий, выполненных согласно требованиям СП 11-102-97;

д) технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений для выбора наиболее экономичного и надежного проектного решения, обеспечивающего наиболее полное использование прочностных и деформационных характеристик грунтов и физико-механических свойств материалов фундаментов, в соответствии с требованиями СП 11-101-95.

4.3 В соответствии с требованиями СНиП 12-01-2004 и СП 50-101-2004 работы по проектированию следует вести в соответствии с техническим заданием на проектирование и необходимыми исходными данными. При проектировании должны быть предусмотрены решения, обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность сооружений на всех стадиях строительства и эксплуатации. При проектировании следует учитывать уровень ответственности сооружений ПС в соответствии с ГОСТ 27751: I - повышенный, II - нормальный, III - пониженный. Опоры ВЛ и сооружения ПС напряжением выше 1 кВ относятся ко II (нормальному) уровню ответственности.

4.4 При проектировании ПФ выполняется обоснованный расчетом выбор:

- типа, конструкции, материала и размеров поверхностных фундаментов;
- типа основания (естественное или искусственное);
- мероприятий по защите основания от внешних воздействий (паводка, обводнения, морозного пучения и т.п.);

- мероприятий по снижению влияния деформаций оснований на эксплуатационную пригодность сооружений.

4.5 При изысканиях для ПФ должны быть определены физические, прочностные и деформационные характеристики грунтов, необходимые для расчетов по предельным состояниям, включая расчет устойчивости на воздействие сил морозного пучения:

- угол внутреннего трения  $\varphi$ ;
- удельное сцепление  $c$ ;
- удельный вес грунта  $\rho$ ;
- коэффициент пористости  $e$ ;

- показатель текучести  $I_L$ ;
- коэффициент водонасыщения  $S_r$ ;
- модуль деформации  $E$ ;
- относительная деформация морозного пучения  $\varepsilon_{fn}$ ;
- расчетная удельная касательная сила пучения  $\tau_{fp}$ ;
- удельное нормальное давление грунтов.

В состав определяемых для расчета вечномерзлых оснований характеристик грунтов должны дополнительно входить:

- суммарная влажность  $W_{tot}$ ;
- льдистость  $i_i$ ;
- степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой  $S_r$ ;
- температура начала замерзания грунта  $T_{bf}$ ;
- расчетная среднегодовая температура грунта  $T_0$ ;
- объемная теплоемкость мерзлого грунта  $c_f$ ;
- теплопроводность мерзлого грунта  $\lambda_f$ ;
- степень засоленности грунта  $D_{sal}$ ;
- относительное содержание органического вещества  $I_r$  ( $I_{om}$ );
- расчетное давление на мерзлый грунт  $R$ ;
- расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по грунту  $R_{sh}$ ;
- расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания фундамента  $R_{af}$ ;
- коэффициент сжимаемости мерзлого грунта  $\delta_f$ .

В состав характеристик торфов должны дополнительно входить:

- весовая влажность при полной влагоемкости, %;
- коэффициент пористости при полной влагоемкости  $e_n$ ;
- удельный вес твердой фазы  $\rho_y$ ;
- удельное сопротивление при полной влагоемкости  $r$ ;
- начальный модуль деформации в условиях одномерного сжатия  $E_n$ ;
- объемный вес скелета при естественной влажности  $\rho_{ск}$ .

Число определений характеристик грунтов для каждого инженерно-геологического элемента должно быть достаточным для их статистической обработки в соответствии с ГОСТ 20522-96 (не менее шести).

4.6 При проектировании ПФ в сейсмических районах следует дополнительно учитывать требования СНиП II-7-81<sup>\*</sup>, СНиП 2.02.01-83<sup>\*</sup> и СП 50-101-2004.

4.7 При проектировании ПФ в специфических грунтах (просадочных, набухающих, засоленных, органо-минеральных, органических, элювиальных, насыпных, намывных, пучинистых, закрепленных) и в особых условиях



дополнительно следует учитывать требования СНиП 2.02.01-83\* и СП 50-101-2004.

4.8 Проектирование ПФ на основаниях, сложенных вечномерзлыми грунтами, как правило, производится по 1 принципу (сохранение вечной мерзлоты при строительстве и в течение всего периода эксплуатации сооружения) с сохранением естественной теплоизоляции либо устройством искусственной термоизоляции.

4.9 Анतिकоррозийное покрытие выбирается в зависимости от степени агрессивности среды в соответствии со СНиП 2.03.11-85 или по техническим условиям завода-изготовителя, если показатели стойкости покрытия не уступают требованиям СНиП 2.03.11-85 в заданных условиях.

## **5 Основные указания по расчету**

5.1 ПФ и их основания следует рассчитывать по двум группам предельных состояний: первой - по несущей способности и второй - по деформациям, с учетом уровня ответственности сооружения согласно требованиям ГОСТ 27751-88 (с изм.№1).

При этом следует учитывать не только нагрузки от проектируемого сооружения, но и возможное неблагоприятное влияние внешней среды, приводящее к изменению физико-механических свойств грунтов и снижению собственного веса фундамента (под влиянием поверхностных или подземных вод возможно повышение влажности грунта, проявление взвешивающего действия воды, снижение прочности на сдвиг и т.д.).

5.2 Нагрузки и воздействия, учитываемые в расчетах ПФ, коэффициенты надежности по нагрузке, а также возможные сочетания нагрузок следует принимать в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85\* с учетом указаний СНиП 2.02.01-83\*.

Нагрузки и воздействия, которые по СНиП 2.01.07-85\* могут относиться как к длительным, так и к кратковременным, согласно СНиП 2.02.04-88 при расчете оснований по деформациям – к длительным.

5.3 Все расчеты поверхностных фундаментов и их оснований следует выполнять с использованием расчетных значений характеристик материалов и грунтов.

5.4 В соответствии с СП 50-101-2004 прочностные и деформационные характеристики дисперсных грунтов могут быть получены путем испытаний грунтов лабораторными методами на срез или трехосное сжатие (ГОСТ 12248), а в полевых условиях - испытаниями на срез целиков грунта в шурфах или котлованах (ГОСТ 20276). Значения  $\varphi$  и  $c$  песков и глинистых грунтов могут быть определены методом статического зондирования, а песков (кроме пылеватых водонасыщенных) - методом динамического зондирования (ГОСТ 19912).

5.5 Согласно п.5.3.17 СП 50-101-2004 для предварительных расчетов оснований сооружений I и II уровней ответственности, а также для окончательных расчетов оснований опор воздушных линий электропередачи

независимо от их уровня ответственности допускается определять нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик грунтов по таблицам в зависимости от их физических характеристик. Также при соответствующем обосновании допускается использовать таблицы для окончательных расчетов сооружений II уровня ответственности для сооружений ПС.

## 6 Расчет оснований по несущей способности

6.1 По СП 50-101-2004 целью расчета по несущей способности являются обеспечение прочности и устойчивости оснований, а также недопущение сдвига фундамента по подошве и опрокидывания сооружения в целом. При расчете по первой группе предельных состояний необходимо выполнить следующие проверки при расчетных значениях характеристик грунтов и нагрузок:

а) по несущей способности основания сжатых блоков ПФ (рис. 1); здесь разрушение с потерей устойчивости может происходить по следующим вариантам (в зависимости от соотношения вертикальной и горизонтальной составляющих равнодействующей, а также значения эксцентриситета): плоский сдвиг по подошве и глубинный сдвиг.

б) по устойчивости сооружения на опрокидывание (рис. 2), обеспечиваемой собственным весом поднимаемых (выдёргиваемых) блоков ПФ с учетом понижающих коэффициентов надежности; здесь следует учесть взвешивающее действие воды при обводнении площадки и отсутствии дренажных устройств; при этом не следует учитывать удерживающие силы трения грунта по боковой поверхности фундаментов.

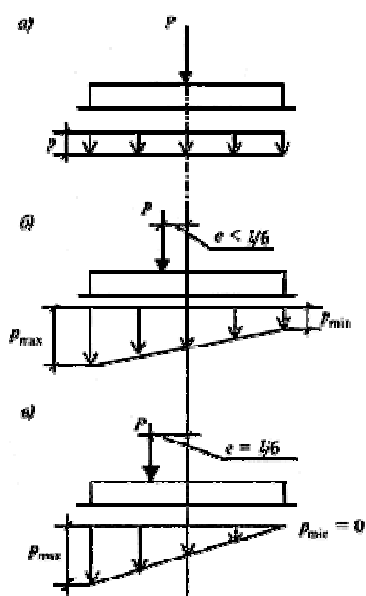


Рис. 1 – Эпюры давлений по подошве фундаментов при центральной и внецентренной нагрузках без отрыва от грунтового основания:

а – центрально нагруженный поверхностный фундамент;

б – внецентренно нагруженный фундамент при эксцентриситете нагрузки  $e < l/6$ ;

в – то же, при эксцентриситете  $e = l/6$

6.2 Краевые давления (рис. 1) при относительном эксцентриситете  $e/l \leq 1/6$

$$p = N/A + \gamma_{mf}d \pm M/W; \quad (6.1)$$

где  $N$  - сумма вертикальных нагрузок, действующих на основание, кроме веса фундамента и грунта на его обрезах, и определяемых для случая расчета основания по деформациям, кН;

$A$  - площадь подошвы фундамента, м<sup>2</sup>;

$\gamma_{mf}$  - средневзвешенное значение удельных весов тела фундамента и грунта, расположенных над подошвой фундамента; принимают равным 20 кН/м<sup>3</sup>;

$d$  - глубина заложения фундамента (для ПФ следует принять  $d=0$ ), м;

$M$  - момент от равнодействующей всех нагрузок, действующих по подошве фундамента, найденных с учетом заглубления фундамента в грунте и перераспределяющего влияния верхних конструкций или без этого учета, кН·м;

$W$  - момент сопротивления площади подошвы фундамента, м<sup>3</sup>.

6.3 При наличии моментов  $M_x$  и  $M_y$ , действующих в двух направлениях, параллельных осям  $x$  и  $y$  прямоугольного фундамента, наибольшее давление в угловой точке  $p_{max}$ , кПа, определяют по формуле

$$p_{max} = N/A + \gamma_{mf}d + M_x/W_x + M_y/W_y, \quad (6.2)$$

где  $N$ ,  $A$ ,  $\gamma_{mf}$ ,  $W$  - то же, что и в формуле (6.1).

6.4 В соответствии с СНиП 2.02.01-83\* и п.7 СП 50-101-2004 расчет оснований по несущей способности на сжатие, отрыв либо сдвиг по подошве ПФ производится исходя из условия

$$F \leq \gamma_c F_u / \gamma_n, \quad (6.3)$$

где  $F$  - расчетная нагрузка (сила, момент, давление) на основание;

$F_u$  - сила предельного сопротивления основания (сила, момент, давление);

$\gamma_c$  - коэффициент условий работы, принимаемый:

- для песков, кроме пылеватых -  $\gamma_c = 1,0$
- для песков пылеватых, а также пылевато-глинистых грунтов
- в стабилизированном состоянии -  $\gamma_c = 0,9$
- для пылевато-глинистых грунтов в нестабилизированном состоянии -  $\gamma_c = 0,85$
- для скальных грунтов:
- неветренелых и слабовеетренелых -  $\gamma_c = 1,0$
- выветренелых -  $\gamma_c = 0,9$

- сильновыветрелых -  $\gamma_c = 0,8$

$\gamma_n$  - коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый в соответствии с п.7 СП 50-101-2004.

6.5 Особенности расчета ПФ по первой группе предельных состояний:

а) не допускать отрыва подошвы от основания для сжатых блоков ПФ, нагруженных с эксцентриситетом продольной силы;

б) проверку устойчивости основания отдельного блока фундамента следует производить с учетом работы основания всего сооружения в целом, с учетом влияния соседних блоков фундамента, наличия связей блока фундамента с другими блоками и элементами сооружения, например соединительных распорок между опорными узлами;

в) целесообразно применять статически определимые системы при опирании надфундаментной конструкции на фундаменты и основание;

г) при статически неопределимых системах опирания надфундаментная конструкция, фундаменты и основание сооружения должны рассматриваться в единстве, т.е. должно учитываться взаимодействие сооружения с основанием; для совместного статического расчета сооружения и основания могут быть использованы аналитические, численные и другие методы с заменой основания или фундаментов и основания на стержневые аналоги; допускается использовать вероятностные методы расчета, учитывающие статистическую неоднородность оснований, случайную природу нагрузок, воздействий и свойств материалов конструкций;

д) расчетная схема системы «сооружение-основание» или «конструкция-фундамент-основание» должна выбираться с учетом наиболее существенных факторов, определяющих напряженное состояние и деформации основания и конструкций сооружения, особенно при статической неопределимости опирания (статической схемы сооружения, особенностей его возведения, характера грунтовых напластований, свойств грунтов основания, возможности их изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения и т.д.); рекомендуется учитывать пространственную работу конструкций сооружения, геометрическую и физическую нелинейность, анизотропность, пластические и реологические свойства материалов и грунтов, развитие областей пластических деформаций под фундаментом.

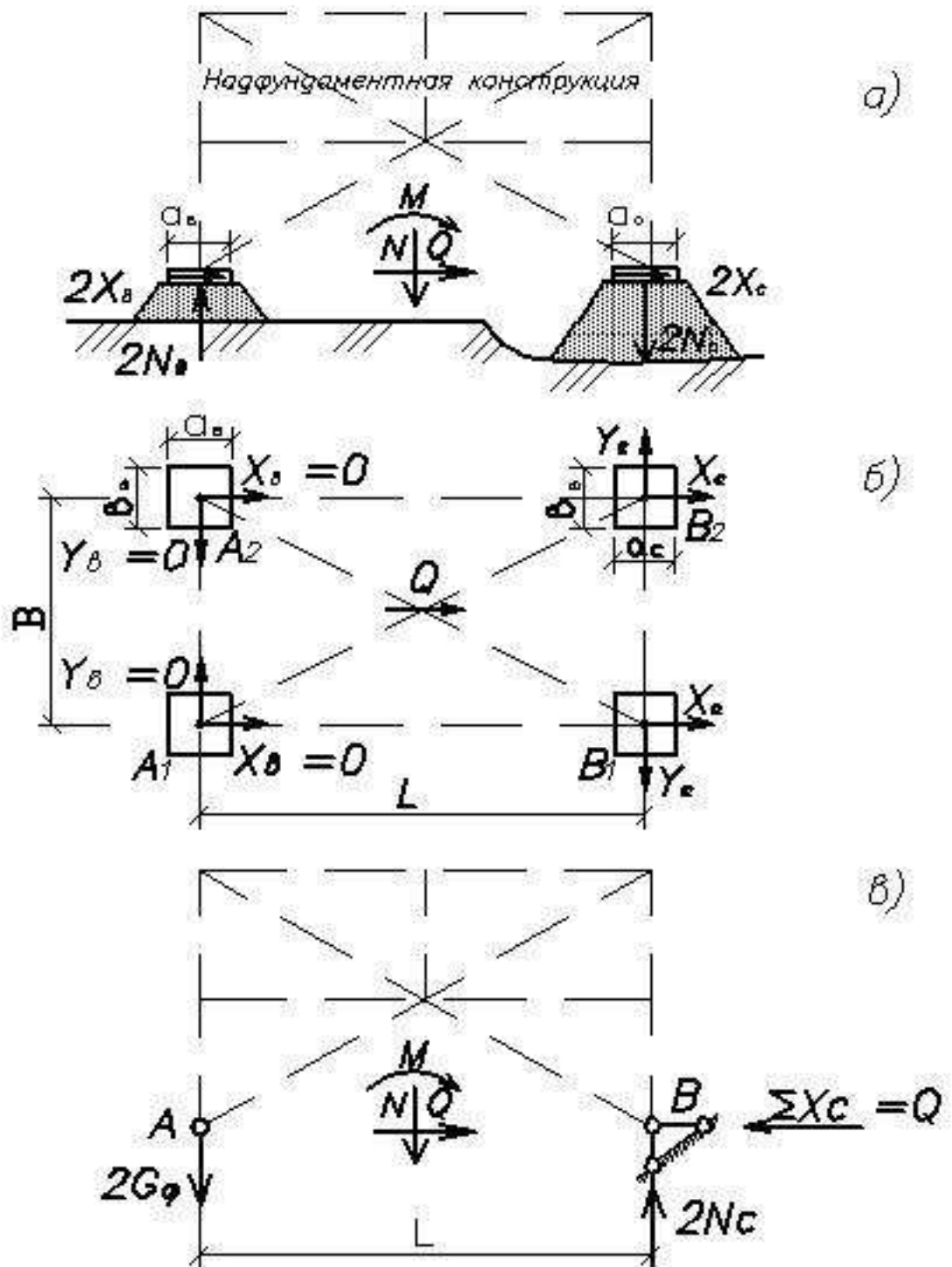


Рис. 2 - Конструктивная и расчетная схемы для статического расчета на опрокидывание сооружения, установленного на поверхностных фундаментах, при внешне статически определимой системе

Обозначения:

$M, N, Q$  – силовые факторы, действующие в опорной плоскости сооружения;  $X_C, X_B$  – силы, действующие на сжатый и вырываемый блоки вдоль силы  $Q$ ;  $Y_C, Y_B$  – горизонтальные силы распора, действующие на сжатый и вырываемый блоки, зависящие от пространственности надфундаментной конструкции и её совместной работы с фундаментами и основанием;  $N_C, N_B$  – вертикальные силы, действующие на сжатый и вырываемый блоки;  $G_\phi$  – собственный вес фундаментного блока

## 7 Расчет оснований по деформациям

7.1 В соответствии с СП 50-101-2004 и ИЕС 60826:2003 целью расчета оснований по деформациям является ограничение абсолютных и относительных перемещений предельными значениями, при которых гарантируется нормальная эксплуатация сооружения и не снижается его долговечность (вследствие появления недопустимых осадок, подъемов, кренов, изменений проектных уровней и положений конструкций, расстройств их соединений и т.п.).

7.2 При расчете по второй группе предельных состояний для ВЛ и ПС, установленных на несколько фундаментов, необходимо выполнить следующие проверки:

- а) по максимальным  $\varepsilon_{\max, u}$  осадкам (подъёмам) блоков фундамента;
- б) по относительным перемещениям сжатого и поднимаемого (выдергиваемого) блоков ПФ –  $(\Delta_S/L)$  или крену –  $i$ ,

где  $L$  - расстояние между осями блоков фундаментов в направлении горизонтальных нагрузок (рис.б.2);

$\Delta_S$  – совместное вертикальное перемещение сжатого  $s_c$  и вырываемого (поднимаемого)  $s_g$  блоков фундамента,  $\Delta_S = s_c + s_g$ .

Предельное значение совместного вертикального перемещения в соответствии с требованиями СНиП 3.05.06-85 и ИЕС 60826:2003 следует принимать равным  $\Delta_{S,u} = 20$  мм. При статически определимой системе опирания надфундаментной конструкции для сжатого фундамента предельное значение вертикальной осадки  $s_{c,u} = 20$  мм. Для статически неопределимой системы предельное значение совместного перемещения (допустимое отклонение одной опорной точки из плоскости трёх других или депланация опорной плоскости) не должно превышать  $\Delta_{S,u} = 20$  мм, а допустимая осадка сжатого фундамента -  $s_{c,u} = 10$  мм.

7.3 Перемещения фундаментов при расчете оснований по второй группе предельных состояний для сооружений, установленных на одноблочный поверхностный фундамент, не должны превышать предельных значений по крену  $i_u$  и средней осадке  $\hat{s}_u$  фундаментного блока.

7.4 Нормируемые предельные значения перемещений блоков фундаментов для опор ВЛ и ПС при расчете по второй группе предельных состояний представлены в табл.7.1.

Номенклатуру контролируемых сооружений, как и нормируемых показателей, в табл.7.1 следует дополнить, если к устанавливаемому оборудованию ВЛ и ПС в соответствии с паспортными данными и техническими условиями предъявляются более жесткие требования по деформативности.

7.5 Указания по расчету осадки и крена фундаментных блоков ПФ, предназначенных для установки на глубоких болотах, обводненных и морозопучинистых грунтах, приведены в Приложении 1 к настоящему Стандарту.

Таблица 7.1

Опоры ВЛ и ПС	Предельные деформации основания		
	Относительная разность осадок $(\Delta s/L)_u$	Крен $i_u$	Средняя $\bar{\varepsilon}_u$ (в скобках максимальная $\varepsilon_{\max,u}$ ) осадка, мм
Опоры воздушных линий электропередачи			
1. Промежуточные прямые	0,003	0,003	10 (20)
2. Анкерные и анкерно-угловые, промежуточные угловые, концевые	0,0025	0,0025	
3. Специальные переходные	0,002	0,002	
Стойки под оборудование подстанций			
1. Стойки порталов открытых распределительных устройств	0,0025	0,0025	10 (20)
2. Стойки под оборудование (вдоль проводов)	0,010	0,010	
3. Стойки под оборудование (поперёк проводов)	0,015	0,015	
Примечания к табл.7.1:			
1. При определении относительной разности осадок $(\Delta s/L)_u$ величина $L$ - расстояние между осями блоков фундаментов в направлении горизонтальных нагрузок (рис.6.2), а в стойках с оттяжками - расстояние между осями сжатого фундамента и анкера оттяжки.			

## 8 Конструирование фундаментов

8.1 Мелкозаглубленные фундаменты принципиально отличаются от поверхностных лишь заглублением на малую глубину (в пределах толщины плиты или высоты фундамента) в грунтовое основание, либо в насыпную подготовку, поэтому в нижеследующих разделах Стандарта они также отнесены к поверхностным фундаментам (далее: ПФ).

8.2 Поверхностные фундаменты, как и фундаменты мелкого заглубления, могут быть выполнены в монолитном, сборном либо сборно-монолитном исполнении.

8.3 Основное исполнения ПФ – сборное, обеспечивающее минимизацию временных и трудовых затрат при строительстве. Сборные фундаменты изготавливаются из железобетонных, стальных или деревянных элементов и выполняются в виде плитной или балочной конструкции, уложенной на насыпную подготовку. При этом плитная конструкция ПФ может быть выполнена в виде набора железобетонных плит разного исполнения, связанных хомутами и шпильками (рис.3 и 4), а балочная конструкция – из железобетонных или деревянных антисептированных балок-свай, объединенных стальной обвязкой и утяжелённых пригрузом - грузовыми балками (рис.5).

8.4 Под поверхностным блоком устраиваются подушка или банкетка, обеспечивающие передачу давлений на грунтовое основание по всей площади

подошвы и выполненные из непучинистого материала: тощий бетон, щебень, гравий, песчано-гравийная или песчано-щебёночная смесь.

8.5 Для обводнённых оснований со слабыми пучинистыми грунтами и торфо-моховым покровом наиболее экологичным и технологичным является применение поверхностных фундаментов, выполняемых на уплотнённых песчано-гравийных насыпных банкетках или подушках с толщиной, гарантирующей прочность подстилающего слабого грунта и его термоизоляцию (рис.6 и 7).

8.6 В условиях слабых морозопучинистых грунтов устраиваются поверхностные термоизолирующие фундаменты (рис.6, в) с врезной подушкой, включающей применение геосинтетического материала (дорнит), защищающего насыпной материал от калымации или заиливания, и плитного утеплителя, не требующего гидроизоляции (пеноплекс), с пригрузкой дорнита песчано-гравийной смесью с посевом трав.

8.7 Эффективным решением с меньшим расходом привозной песчано-гравийной смеси является применение современных формообразующих материалов (геотекстиль и георешетка) и плитного утеплителя-термоизолятора (пеноплекс), не требующего гидроизоляции, но защищаемого от солнечного света (рис.7, б). Дорнит и георешетку рекомендуется пригрузить песчано-гравийной смесью с посевом трав. Такое решение наиболее целесообразно применять для устройства ПФ на вечномерзлых основаниях по I принципу строительства без допущения летнего оттаивания подстилающего грунта.

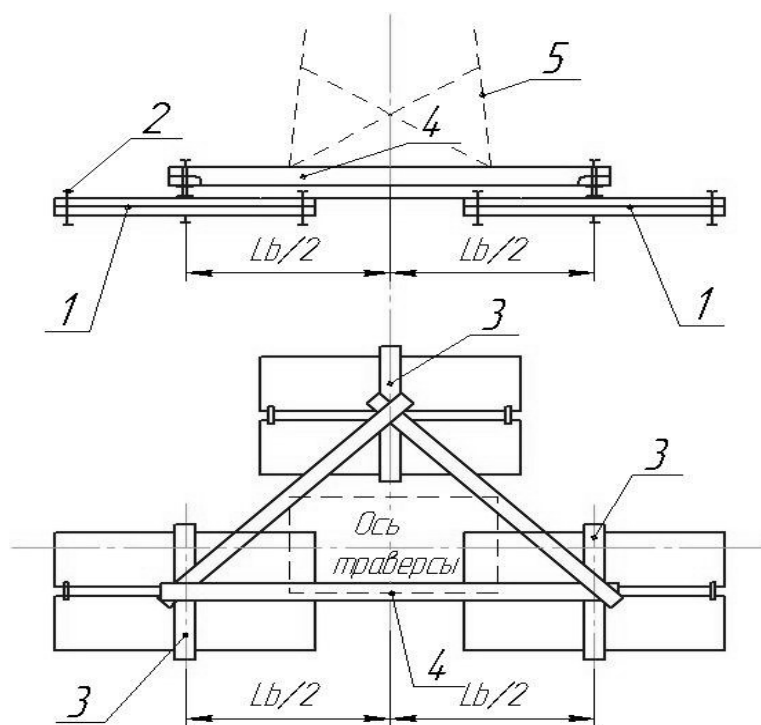


Рис. 3 – Пример опирания опоры ВЛ на поверхностные фундаменты:  
1 – поверхностные фундаменты (плиты); 2 и 3 – элементы крепления;  
4 – распределительный ростверк; 5 – опора ВЛ



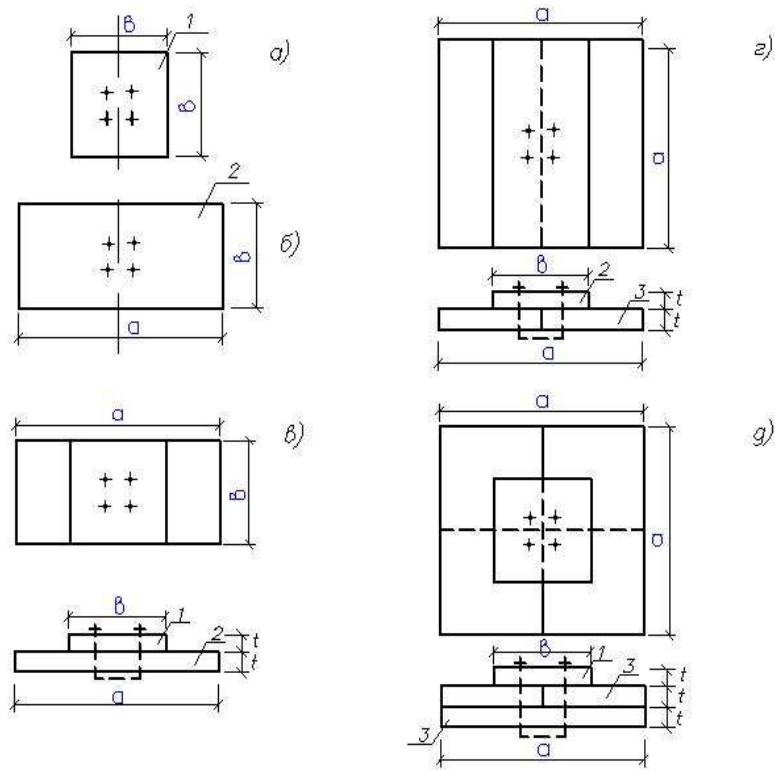


Рис.4 - Поверхностные фундаменты, исполненные из сборных железобетонных плит, связанных металлическими хомутами и шпильками:

- а и б – фундаменты из одной квадратной либо прямоугольной плиты;
- в – фундамент из двух плит;
- г – фундамент из трех плит;
- д – фундамент из пяти плит

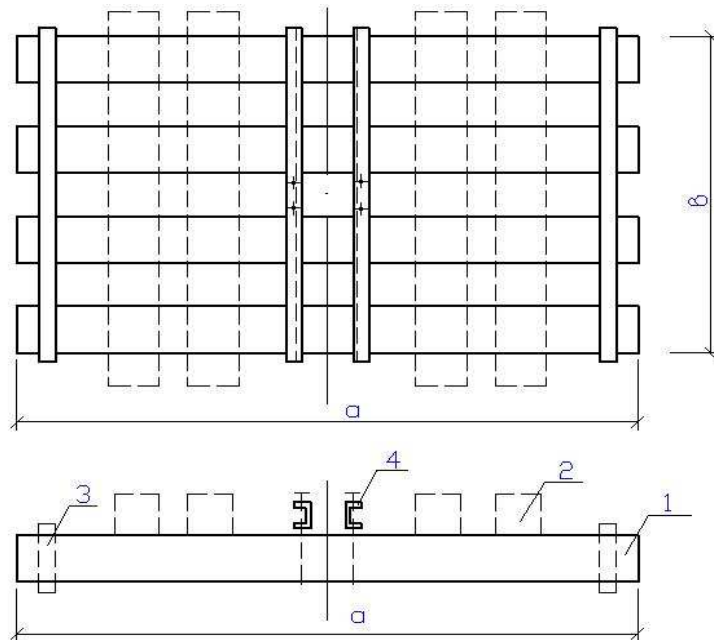


Рис.5 - Балочная конструкция поверхностного фундамента:

- 1 – железобетонная балка-свая;
- 2 – железобетонные грузовые балки (тип Г);
- 3 и 4 – стальные элементы крепления и обвязки

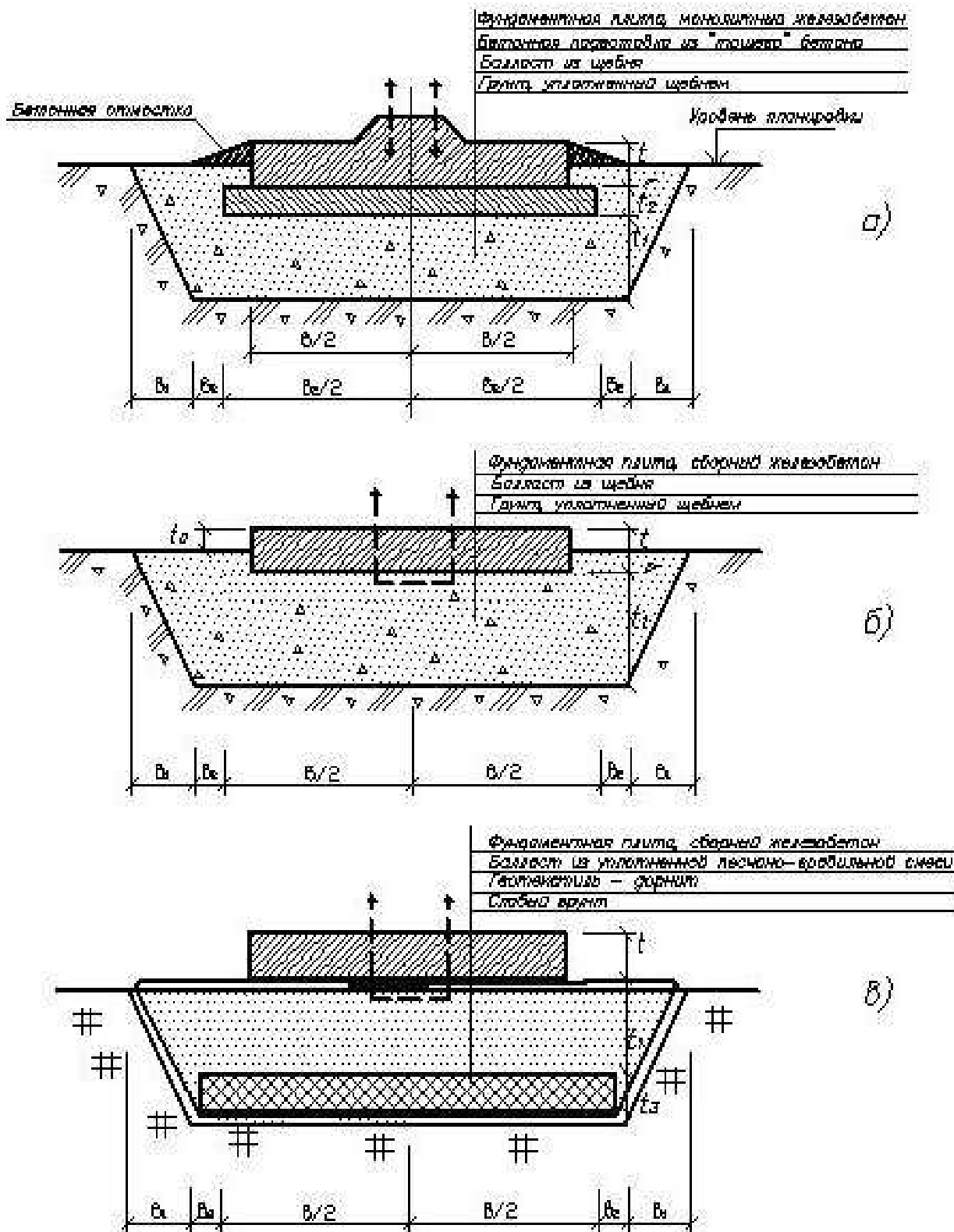


Рис. 6 – Конструктивные решения мелкозаглубленных и поверхностных фундаментов с врезной подушкой, устроенной в вытрамбованном котловане:  
 а – монолитный блок на бетонной подготовке из тощего бетона и подушке из щебня;  
 б – сборный блок на подушке из щебня;  
 в - поверхностный сборный блок на песчано-гравийной подушке с термоизолирующим плитным элементом, усиленной геотекстильным материалом (дорнитом)

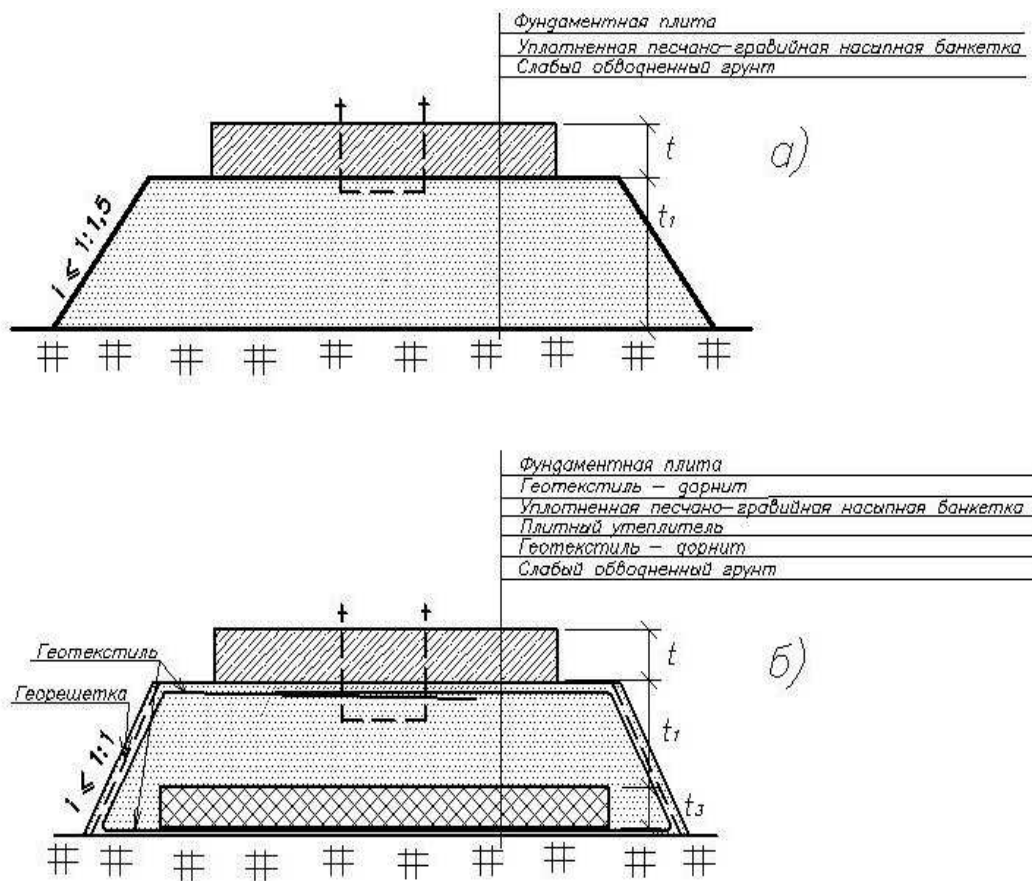


Рис. 7 - Конструктивные решения поверхностных фундаментных блоков, устроенных на уплотненной песчано-гравийной насыпной банкетке:  
 а – сборный блок на толстой грунтовой банкетке с пологими откосами;  
 б – сборный блок на тонкой грунтовой банкетке с крутыми откосами, усиленной георешеткой и геотекстилем, с термоизолирующим плитным элементом

8.7 При строительстве на практически непучинистых грунтах мелкозаглубленные и поверхностные фундаменты устраиваются на выравнивающей подсыпке из песка, на пучинистых грунтах - на подушке из непучинистого материала (песок гравелистый, крупный или средней крупности, мелкий щебень, котельный шлак и др.) либо на насыпной песчано-гравийной банкетке.

Для увеличения расчетного сопротивления грунта основания целесообразно предусматривать устройство песчано-щебеночной (песчано-гравийной) подушки (смесь песка крупного или средней крупности - 40%, щебня или гравия - 60%).

#### 8.8 Мелкозаглубленный фундамент

В соответствии с СП 50-101-2004 подготовка основания производится, начиная с традиционной выторфовки с вскрытием торфо-мохового и растительного покрова. Затем выполняется котлован на глубину до 0,5-0,7м от планировочной отметки. Здесь целесообразным является устройство вытрамбованного котлована с применением механических трамбовок и тяжелых ручных вибротрамбовок. Упрочнение слабых глинистых и

суглинистых грунтов производится вдавливанием (втрамбовыванием) щебня также при помощи вибротрамбовок. Засыпка котлована (балласт) производится дренирующим непучинистым материалом (щебнем или уплотненной песчано-гравийной смесью) толщиной 300 мм.

По СП 50-101-2004 песчаные подушки, устраиваемые под фундаментами с целью замены органо-минеральных и органических грунтов, уменьшения давления на нижележащие слои, повышения, в случае необходимости, отметки подошвы фундаментов, ускорения процесса консолидации (уплотнения) нижележащих грунтов, устраиваются, как правило, из песков крупных и средней крупности. Допускается применение щебня, гравия, шлака или гравийно-песчаной смеси. Мелкие пески для устройства подушек не рекомендуются. Плотность сухого грунта в подушках из песка крупного и средней крупности рекомендуется не менее  $1,65 \text{ т/м}^3$ .

При применении песчаного балласта из средне- и мелкозернистых песков устраивается бетонная подготовка из «тощего» бетона класса В7,5 толщиной 100 мм для формирования основания под монолитную плиту ПФ толщиной 300-400 мм из бетона класса В25. Фактически реализуется мелкозаглубленный фундамент с выступом обреза фундамента на 100-200 мм над поверхностью грунта. Вокруг фундамента устраивается водоотводящая отмостка толщиной 100 мм с уклоном не менее 1:4 из бетона или цементно-песчаного раствора прочностью В15 (рис.8.4, а). Фундамент в сборном исполнении устраивается аналогично монолитному фундаменту (рис.8.4, б).

#### 8.9 Фундамент в слабом грунте

Выполняется с проведением мероприятий по снижению деформаций основания и влияния их на сооружения в соответствии с СП 50-101-2004 и СНиП 2.02.01-83\*.

Наиболее эффективным способом усиления является замена слабого грунта непучинистой дренирующей песчано-гравийной смесью, уложенной в оболочке из геосинтетического материала мощностью, достаточной для распределения давления на слабый грунт (рис.8.4, в). Для сохранения вечномерзлого состояния грунта либо, наоборот, для предотвращения промерзания слабого грунта в основании, подстилающем грунт засыпки, в зоне раздела устраивается термозащита - плитный утеплитель толщиной 50-150 мм (из пеноплекса, пенополистирольного пенопласта, пенополиуретана согласно теплотехническому расчету), не требующий гидроизоляции. Геосинтетический материал (дорнит) рекомендуется пригрузить песчано-гравийной смесью с посевом трав. Теплотехнический расчет выполняется в соответствии с указаниями СП 50-101-2004 и СНиП 2.02.01-83\*.

#### 8.10 Фундамент на большой banquetке:

- Выполняется, если позволяют вертикальные габариты (приближения) до устанавливаемого электрооборудования ПС, регламентируемые п.4.2 ПУЭ-7 изд.

- Позволяет производить работы всесезонно без нарушения торфяного и растительного покрова, который закрывается уплотненной

песчано-гравийной или щебеночной подушкой (банкеткой) требуемой толщины с отсыпкой откосов с уклоном не менее 1:1,5 (рис.5,а). Минимальная толщина уплотненной отсыпки из песчано-гравийной смеси – 150 мм. При устройстве плитного утеплителя над ним следует предусмотреть защитный слой из песчано-гравийной смеси – 300 мм.

#### 8.11 Фундамент на малообъемной банкетке

Для условий Северной строительно-климатической зоны (обводнённые основания со слабыми пучинистыми грунтами и торфо-моховым покровом) более эффективным с меньшим расходом привозной песчано-гравийной смеси является решение с применением современных формообразующих материалов (геотекстиль и георешетка) и плитного утеплителя-термоизолятора (пеноплекс), не требующего гидроизоляции, но защищаемого от солнечного света (рис.5, б). Здесь банкетка устраивается пониженной толщины (не менее 300 мм) и более крутыми откосами (не более 1:1). Такое решение наиболее целесообразно применять для устройства поверхностных фундаментов на вечномерзлых основаниях по I принципу строительства без допущения летнего оттаивания подстилающего грунта. Дорнит и георешетку рекомендуется пригрузить песчано-гравийной смесью с посевом трав.

### 9 Требования к материалу конструкций фундаментов

9.1 Поверхностные, как и мелкозаглубленные, фундаменты сборного исполнения могут быть изготовлены из железобетонных, стальных или деревянных элементов и выполнены в виде плитной или балочной конструкции, уложенной на подготовленную грунтовую подушку либо на насыпную песчано-гравийную банкетку. При этом плитная конструкция ПФ может быть выполнена в виде набора железобетонных плит разного исполнения, связанных хомутами или шпильками, а балочная конструкция – из железобетонных или деревянных антисептированных балок-свай, объединенных стальной обвязкой и утяжелённых грузовыми балками.

9.2 В соответствии с требованиями СНиП 52-01-2003 и СНиП 2.03.11-85 при проектировании бетонных и железобетонных конструкций поверхностных фундаментов следует устанавливать необходимые показатели бетона в соответствии с расчетом и условиями эксплуатации с учетом различных воздействий окружающей среды и защитных свойств бетона по отношению к принятому виду арматуры. Следует применять конструкционные бетоны, соответствующие ГОСТ 25192: тяжелый средней плотности от 2200 до 2500 кг/м<sup>3</sup>; мелкозернистый средней плотности свыше 1800 кг/м<sup>3</sup>.

Классы и марки бетона следует назначать в соответствии с их параметрическими рядами, установленными нормативными документами. Марку бетона по морозостойкости F назначают для конструкций, подвергающихся действию попеременного замораживания и оттаивания. Марку бетона по водонепроницаемости W назначают для конструкций, к которым предъявляют требования по ограничению водонепроницаемости. Класс бетона по прочности на осевое растяжение B<sub>f</sub> назначают в случаях, когда эта

характеристика имеет главенствующее значение и ее контролируют на производстве.

9.3 Для железобетонных конструкций поверхностных фундаментов в сборном либо монолитном исполнении класс бетона по прочности на сжатие В следует принимать не ниже В30, марку по морозостойкости - не менее F300, а марку по водонепроницаемости – не менее W6.

9.4 Для продольной рабочей арматуры толщина защитного слоя должна быть, как правило, не менее диаметра стержня и не менее: 30 мм - для фундаментных балок и сборных фундаментов; 35 мм - для монолитных фундаментов при наличии бетонной подготовки; 70 мм - для монолитных фундаментов при отсутствии бетонной подготовки.

9.5 Под монолитными фундаментами независимо от подстилающих грунтов (кроме скальных) рекомендуется предусматривать устройство подготовки из бетона толщиной 100 мм, или из утрамбованного щебня или гравия толщиной 100...200 мм, пролитого цементным раствором или битумом, или тощего бетона толщиной 80...100 мм.. Допускается применение щебеночной или песчаной подготовки с цементной стяжкой.

При сборных фундаментах устраивают подготовку из песка или цементного раствора. Назначение подготовки из тощего бетона допускается при слабых водонасыщенных грунтах, а также при необходимости гидроизоляции фундаментов или ростверков снизу.

9.6 Для монолитной подготовки под поверхностные фундаменты следует применять бетон с классом прочности бетона на сжатие не ниже В7,5. Для защитной водоотводящей отмостки, устраиваемой по контуру плит или блоков ПФ, следует применять бетон классом не ниже В15.

9.7 Конструкции фундаментов должны удовлетворять требованиям расчета по несущей способности (предельные состояния первой группы: продавливание, изгиб и т.д.) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы: образование и раскрытие трещин). Расчеты следует выполнять в соответствии с указаниями СНиП 52-01 и СНиП II-22. Согласно СНиП 2.03.11-85 ширина раскрытия трещин ограничивается значением не более 0,1 мм для предварительно напряженных конструкций и не более 0,2 мм для обычных железобетонных конструкций.

## **10 Требования к грунтовым основаниям и площадке строительства**

10.1 На основе расчета основания и выбора типа ПФ выполняется обоснованный выбор типа основания (естественное и искусственное), мероприятий по инженерной подготовке территории (организация рельефа и поверхностного стока) и мероприятий по защите основания от внешних воздействий (паводка, обводнения, подтопления, затопления, морозного пучения, оползней и т.п.).

10.2 Наиболее эффективным решением является сохранение естественного основания, если обеспечиваются условия неопредельности по двум предельным состояниям в соответствии с п.5 настоящего стандарта и

условия по устойчивости ПФ и надфундаментного сооружения в условиях морозного пучения грунтового основания.

10.3 Согласно СП 50-101-2004 основными параметрами механических свойств грунтов, определяющими несущую способность оснований и их деформации, являются прочностные и деформационные характеристики грунтов (угол внутреннего трения  $\varphi$ , удельное сцепление  $c$  и модуль деформации дисперсных грунтов  $E$ ). Допускается применять другие параметры, характеризующие взаимодействие фундаментов с грунтом основания и установленные опытным путем (удельные силы пучения при промерзании, коэффициенты жесткости и податливости основания и пр.).

10.4 При прогнозировании понижения уровня подземных вод следует учитывать возможность возникновения дополнительных осадок территории в зоне развития депрессионной воронки и возведенных на ней сооружений вследствие увеличения давления от собственного веса грунта. С учетом этого прогноза следует устанавливать режим водопонижения, рекомендовать сроки строительства и этапность освоения площади застройки, а также определять необходимость проведения защитных мероприятий, направленных на уменьшение зоны влияния строительного водопонижения и включающих как локальную защиту сооружений, так и защиту всей территории (устройство противодиффузионных завес и экранов, замораживание или инъекционное закрепление грунта и т.д.).

10.5 Специальные мероприятия по инженерной подготовке и защите территории ПС от негативных геологических процессов следует проектировать в соответствии с требованиями СНиП 2.06.15-85, СНиП II-89-80\*, СНиП 22-02-2003 и территориальных строительных норм.

При выборе дренажных устройств рекомендуется принимать общие системы, защищающие всю территорию, а при недостаточной эффективности сочетать их с местным дренажом, обеспечивающим соответствующую норму осушения для зданий, дорог, оборудования ПС. Норму осушения на территории ПС следует принимать не менее расчетной глубины промерзания для участков вне сооружений и оборудования, дорог и зон пешеходного движения, а для зданий – не менее 0,5 м от отметки пола подвала.

10.6 Обязательные мероприятия инженерной подготовки площадки строительства (регулирование поверхностного стока и организация рельефа) необходимо проектировать в соответствии с требованиями СНиП 2.04.03-85, СНиП II-89-90\* территориальных строительных норм.

Следует отдавать предпочтение дренажно-ливневым канавам с фильтрующим наполнением по сравнению с открытыми канавами. Дренирующее наполнение должно быть выполнено из крупнофракционного щебня М1000-1200.

Вертикальная планировка должна обеспечить уклон всех участков не менее 0,005 в сторону водоприемных элементов. Последние следует размещать на расстоянии не более 20 м от границы водораздельных плоскостей проектной поверхности. При сбросе поверхностных стоков от

зданий в канализацию рекомендуется применять современные модульные водоприемные конструкции с устройством пескоуловителей. По границе защищаемой площадки ПС следует отдавать предпочтение перехватывающим водоотводным канавам традиционной конструкции.

Гидравлические и фильтрационные расчеты водосточных и дренажных систем следует выполнять в соответствии с требованиями СНиП 2.04.03-84, СНиП 2.06.14-85 и территориальных норм.

10.8 Согласно требованиям СП 50-101-2004 основания, сложенные пучинистыми грунтами, должны проектироваться с учетом способности таких грунтов при сезонном или многолетнем промерзании увеличиваться в объеме, что сопровождается подъемом поверхности грунта и развитием сил морозного пучения, действующих на фундаменты и другие конструкции сооружений. При последующем оттаивании пучинистого грунта происходит его осадка.

10.9 К пучинистым грунтам относятся глинистые грунты, пески пылеватые и мелкие, а также крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем, имеющие к началу промерзания влажность выше определенного уровня. При проектировании оснований, сложенных пучинистыми грунтами, следует учитывать возможность повышения влажности грунта за счет подъема уровня подземных вод, инфильтрации подземных вод и экранирования поверхности. Пучинистые грунты характеризуются: абсолютной деформацией морозного пучения  $h_f$ , представляющей подъем ненагруженной поверхности промерзающего грунта; относительной деформацией (интенсивностью) морозного пучения  $\varepsilon_{fh}$  - отношением  $h_f$  к толщине промерзающего слоя  $d_f$ .

10.10 В зависимости от степени пучинистости грунта основания (ГОСТ 25100) поверхностные мелкозаглубленные фундаменты следует устраивать:

а) на практически непучинистых и слабопучинистых грунтах - из бетонных блоков, уложенных свободно, без соединения между собой, из монолитного бетона, бутобетона, цементогрунта, буто или глиняного кирпича;

б) на среднепучинистых грунтах (при  $\varepsilon_{fh} \leq 0,05$ ) - из бетонных (керамзитобетонных) блоков, уложенных свободно, без соединения между собой или из монолитного бетона;

в) на среднепучинистых (при  $\varepsilon_{fh} > 0,05$ ) и сильнопучинистых грунтах (при  $\varepsilon_{fh} < 0,12$ ) - из сборных железобетонных блоков, жестко соединенных между собой, или из монолитного железобетона;

г) на чрезмерно пучинистых грунтах (при  $\varepsilon_{fh} \geq 0,12$ ) - из монолитного железобетона.



## Методика расчета осадок и крена поверхностных фундаментов опор ВЛ в условиях болот и пучинистых грунтов

### 1 Общие данные

В настоящей методике учтены требования «Рекомендаций по расчету и проектированию плавающих фундаментов опор ВЛ (инв.№1750-21-т.77), Уральское отделение ВГПНИИ «Энергосетьпроект», 1977 г. и Типового проекта №9570тм-т4 СЗО «Энергосетьпроект» «Поверхностные фундаменты и фундаменты со скользящей оболочкой для опор ЛЭП и ОРУ подстанций на пучинистых грунтах», 1980 г.

Для определения осадок и кренов поверхностных фундаментов опор ВЛ должны быть известны:

- общая мощность отложений слабых грунтов, мощность и расположение слоев слабых грунтов при их наличии;
- расчетные значения физико-механических характеристик грунтов;
- положение уровня грунтовых вод с учетом возможных колебаний;
- рабочая отметка установки опоры;
- численные значения постоянных и временных нормативных нагрузок.

### 2 Расчет осадок фундаментных блоков

Осадка отдельного блока определяется следующими методами:

1) по формуле, основанной на решении задачи механики грунтов, использующей зависимость параметров компрессии  $\lambda_{\max}$  и  $E_0$  от начального коэффициента пористости  $\varepsilon_n$

$$s = \lambda_{\max} \frac{P}{P + E_0 \lambda_{\max}} H \cdot A \cdot \omega \cdot K_m \cdot K_n, \quad (\text{П1.1})$$

$$\text{Где } \lambda_{\max} = \frac{1,07 \cdot \varepsilon_n}{\varepsilon_n + 4,23}, \quad (\text{П1.2})$$

$$E_0 = \frac{\varepsilon_n + 2,66}{2,28 \cdot \varepsilon_n - 8,7}, \quad (\text{П1.3})$$

$H$  – толщина сжимаемого слоя (см);

$P$  – давление под подошвой фундамента (кгс/см<sup>2</sup>);

$K_n$  – коэффициент, учитывающий ползучесть торфа под нагрузкой; для среднеразложившихся низменных торфов  $K_n = 1,3$ ;

$K_m$  – коэффициент, учитывающий увеличение осадки за счет пластических деформаций торфа, для фундаментов и грузовых балок  $K_m = 1,1$ ;

$A$  – коэффициент, учитывающий возможность ограничения бокового расширения торфа под нагрузкой, равный:

$$A = \frac{(1 - \mu)^2}{1 - 2\mu}, \quad (\text{П1.4})$$

$\mu$  - коэффициент Пуассона, равный

$$\mu = \frac{0,76 - 0,03\varepsilon_n}{1,76 - 0,03\varepsilon_n}, \quad (\text{П1.5})$$

$\omega$  - коэффициент, зависящий от отношения  $B/2H$  и учитывающий влияние распределения давления по глубине, определяется по графику (рис. П1.1).

2) по формуле линейно-деформируемой среды с учетом толщины сжимаемого слоя, пластических деформаций непосредственно под подошвой фундамента и реологических процессов в торфе

$$S = \frac{P \cdot B \cdot (1 - \mu)^2 \omega_{cp} K_m K_n}{E}, \quad (\text{П1.6})$$

где  $B$  - ширина фундаментного блока (см);

$\omega_{cp}$  - коэффициент, определяемый по графику (рис. П1.2) в зависимости от размеров фундамента и толщины сжимаемого слоя.

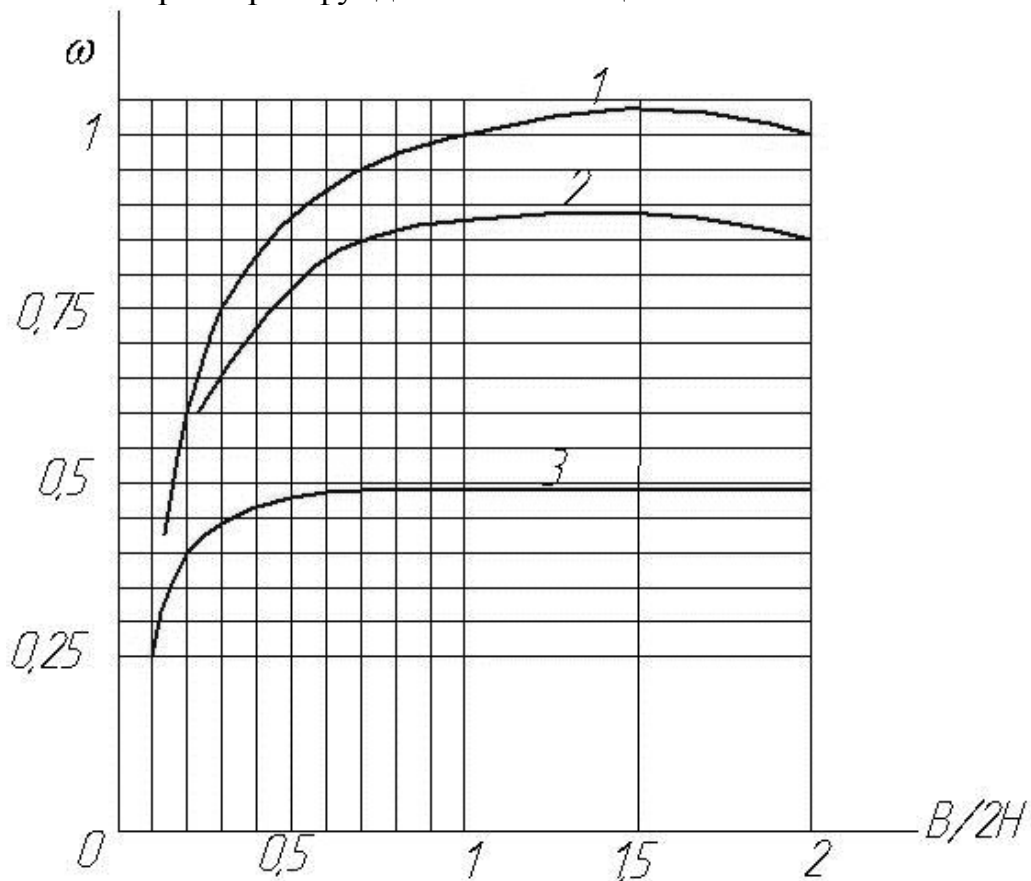


Рис. П1.1 - График зависимости  $\omega = f(B/2H)$

Кривые 1 и 2 - для слоя конечной толщины:

1 - при отсутствии сил трения на граничной плоскости двух слоев;

2 - при полном прилипанию слоя грунта (торфа) к несжимаемому основанию.

Кривая 3 - для однородного полупространства.

Формулы (П1.1) и (П1.6) даны для однородной торфяной залежи. В случае слоистости расчет ведется по средним физико-механическим показателям грунтов основания.

Расчет осадки производится дважды:

а) при давлении  $P$ , определенном без учета взвешивающего действия воды. При этом определяется максимальная осадка и сравнивается с допускаемой.

б) при давлении  $P$ , определенном с учетом взвешивающего действия воды  $S_{взв}$ . Эта осадка учитывается при расчете кренов фундаментов.

Допускаемая осадка от действия постоянных нагрузок назначается исходя из того, чтобы расстояние от верха пояса стальных балок ростверка до поверхности болота при осадках  $S_{max}$  было не менее  $20,0 + 0,01Lб$  (см). Здесь  $Lб$  – расстояние между фундаментными блоками (см).

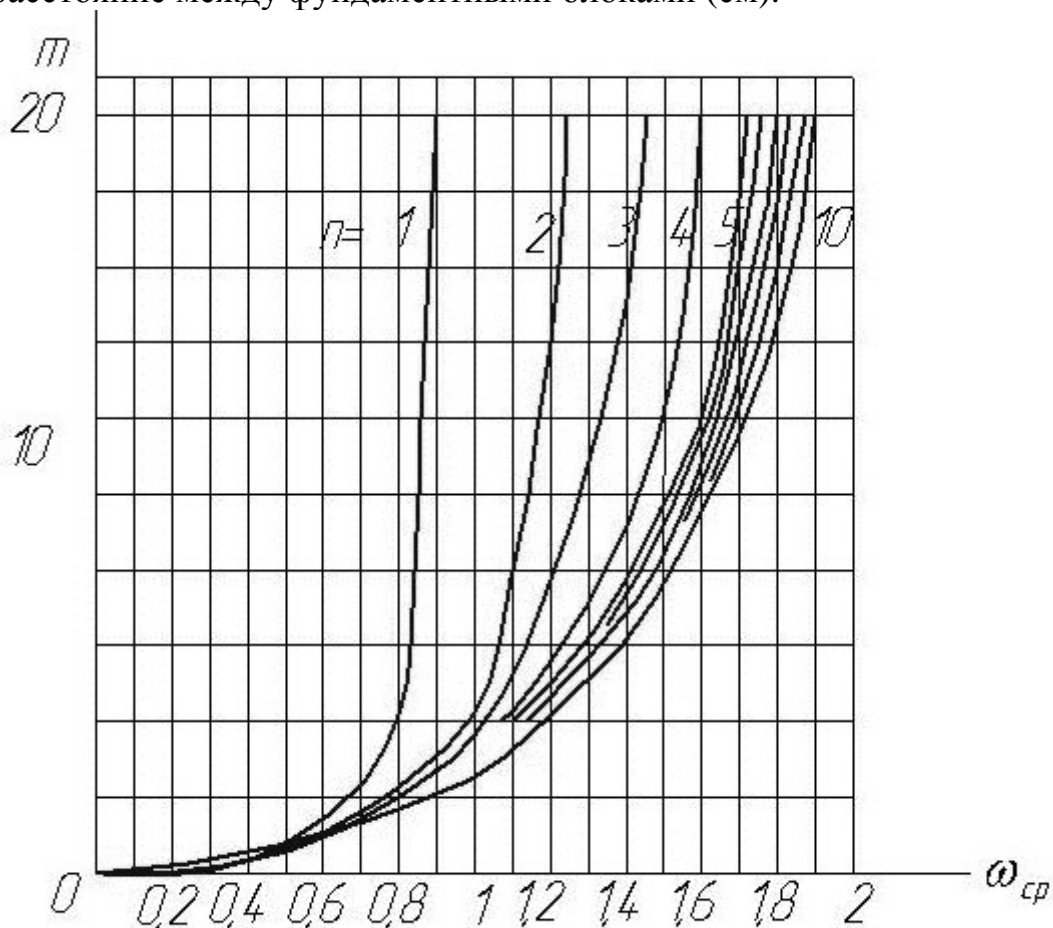


Рис.П1.2 – Значение коэффициента  $\omega_{cp}$  для расчета осадки фундамента;

$$m = 2H/B; n = L/B;$$

где  $H$  – глубина торфа;  $L$  и  $B$  – стороны фундамента

### 3 Расчет крена фундаментной конструкции

Для рассматриваемых конструкций поверхностных фундаментов крен от временных (ветровых) нагрузок определяется исходя из дополнительной осадки ( $\Delta S$ ) одного из блоков фундамента (наиболее прижатого блока)

$$\Delta S = \frac{\Delta S \cdot B \cdot (1 - \mu^2) \cdot \omega_{cp} \cdot K_m \cdot K_n \cdot Q_t}{E_y}, \quad (П1.7)$$

где  $E_y$  - модуль упругости торфа;

$Q_t$  - коэффициент консолидации торфяного основания за одни сутки;

$\Delta P$  - дополнительные напряжения под подошвой блока фундамента от временных нагрузок (кгс/см<sup>2</sup>);

$\omega_{cp}$  - определяется по графику (рис.П1.2) в зависимости от отношения  $2H/B$ .

При определении модуля упругости необходимо учитывать плотность торфа консолидированного основания

$$E_y = 1260 \cdot (\rho'_{ск})^{2,355}, \quad (П1.8)$$

$$\rho'_{ск} = \rho_{ск} \frac{H_0}{H_0 - S}, \quad (П1.9)$$

где  $\rho'_{ск}$  - объёмный вес скелета торфа консолидированного основания (кг/см<sup>2</sup>);

$H_0$  - мощность сжимаемого слоя,

$$H_0 = 2 \cdot b \cdot \omega_{cp} \cdot \frac{(1 - \mu)^2}{1 - 2 \cdot \mu} \leq H; \quad (П1.10)$$

$S$  - осадка фундамента на период расчета упругих деформаций (большая из полученных по формулам (П1.1) и (П1.6));

$\rho_{ск}$  - объёмный вес сухого торфа (вес скелета), определенный лабораторным путем или по табл.П1.1.

Коэффициент  $Q_t$  - определяется по графику (рис.П1.3) в зависимости от

$$\Phi = \frac{K_\phi \cdot (1 + \varepsilon'_n)}{a \cdot H_0^2}, \quad (П1.11)$$

где  $\varepsilon'_n$  - коэффициент пористости с учетом консолидации грунта от действия постоянной нагрузки

$$\varepsilon'_n = \frac{\rho_y - \rho'_{ск}}{\rho'_{ск}}, \quad (П1.12)$$

$K_\phi$  - коэффициент фильтрации торфа (см.табл. П1.3);

$\alpha$  - коэффициент сжимаемости торфа

$$\alpha = \frac{1 + \varepsilon'_n}{E_y} \left( 1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu} \right), \quad (\text{П1.13})$$

t – время в годах (1/366).

Величина крена определяется по формуле

$$\text{tg } \theta = \Delta S / L_0. \quad (\text{П1.14})$$

Учитывая способность поверхностного фундамента на торфяном основании при исчезновении моментной нагрузки восстанавливать горизонтальное положение, возможно допустить крен в пределах 0,01.

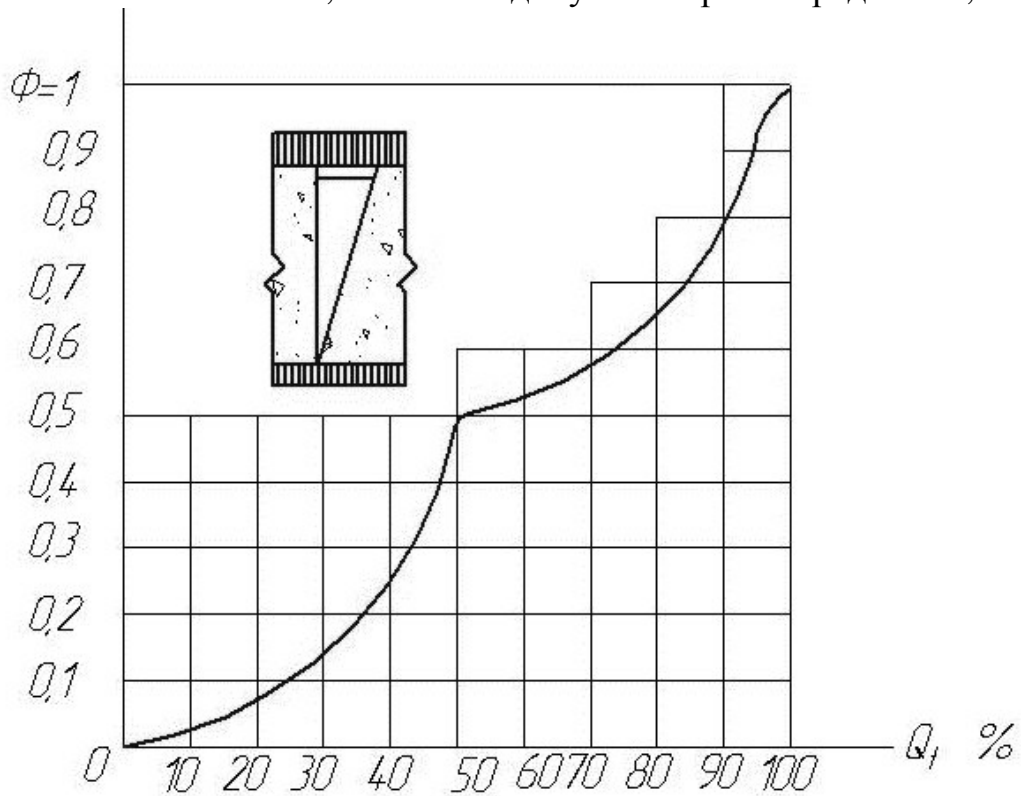


Рис. П1.3 – Значение процента консолидации  $Q_1$  в зависимости от  $\Phi$

Таблица П1.1

## Физико-механические характеристики торфов для расчета оснований

Наименование показателей	Значение характеристик торфа по степени разложения, %						
	Верховая залежь				Низинная залежь		
	5-15	16-30	31-45	46-65	5-25	26-40	41-60
1. Весовая влажность при полной влагоемкости	1450	1250	1070	1000	1150	750	580
2. Коэффициент пористости при полной влагоемкости $e_n$	24	20	15,5	14	18,4	11,6	8,8
3. Удельный вес твердой фазы $\rho_y$ , гс/см <sup>3</sup>	1,65	1,6	1,45	1,4	1,6	1,55	1,5
4. Удельное сопротивление при полной влагоемкости $\tau$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,105	0,115	0,07	0,04	0,115	0,15	0,135
5. Начальный модуль деформации в условиях одномерного сжатия $E_n$ , кгс/см <sup>2</sup>	0,58	0,61	0,68	0,71	0,64	0,92	1,14
6. Объемный вес скелета $\rho_{ск}$ при естественной влажности, гс/см <sup>2</sup>	0,06 ÷ 0,07	0,075 ÷ 0,08	0,09 ÷ 0,10	0,12	0,07 ÷ 0,08	0,11 ÷ 0,12	0,13 ÷ 0,15

Таблица П1.2

## Нормативные характеристики торфяных грунтов применительно к условиям однородного уплотнения

Наименование грунта	Полная влагоемкость %	Характеристики, размерности		Внешнее давление, кгс/см <sup>2</sup>				
				0	0,10	0,20	0,40	0,60
Волокнистый торфяной грунт	1400 ÷ 2400	$E_n^H$	кгс/см <sup>2</sup>	0,40	-	-	-	-
		$E_0^H$	кгс/см <sup>2</sup>	-	0,50	0,60	0,80	1,10
		$\varphi_0^H$	град	-	0	26	26	42
		$c^H$	кгс/см <sup>2</sup>	0,10	-	-	-	-
Торфяной грунт, I группа	900 ÷ 1400	$E_n^H$	кгс/см <sup>2</sup>	0,55	-	-	-	-
		$E_0^H$	кгс/см <sup>2</sup>	-	0,65	0,75	1,0	1,25
		$\varphi_0^H$	град	-	0	36	36	40
		$c^H$	кгс/см <sup>2</sup>	0,13	-	-	-	-
Торфяной грунт, II группа	500 ÷ 900	$E_n^H$	кгс/см <sup>2</sup>	0,85	-	-	-	-
		$E_0^H$	кгс/см <sup>2</sup>	-	1,05	1,15	1,40	1,65
		$\varphi_0^H$	град	-	0	20	35	35
		$c^H$	кгс/см <sup>2</sup>	0,16	-	-	-	-
Заторфованный грунт	200 ÷ 500	$c^H$	кгс/см <sup>2</sup>	0,2 ÷ 0,4	-	-	-	-

Таблица П1.3

Коэффициенты фильтрации торфа  $K_{\phi}$  при  $P=0$ 

Группа грунта	Степень разложения	Коэффициент фильтрации, см/год
Низинный слаборазложившийся	10 ÷ 20	6,3·10 <sup>4</sup> ÷ 3,1·10 <sup>5</sup> (15,8·10 <sup>4</sup> )
Среднеразложившийся	30 ÷ 45	6,3·10 <sup>3</sup> ÷ 9,5·10 <sup>4</sup> (2,5·10 <sup>3</sup> )
Верховой очень слаборазложившийся	10 ÷ 15	3,1·10 <sup>5</sup> ÷ 79·10 <sup>4</sup> (47·10 <sup>4</sup> )
Слаборазложившийся	10 ÷ 29	6,3·10 <sup>4</sup> ÷ 22,1·10 <sup>4</sup> (12·10 <sup>4</sup> )
Среднеразложившийся	30 ÷ 45	7,9·10 <sup>3</sup> ÷ 3,1·10 <sup>4</sup> (16·10 <sup>3</sup> )

Примечание. В скобках приведены средние значения.