Р У К О В О Д Я Щ И Й Д О К У М Е Н Т

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ

РД 34 I5.078-9I

Издание официальное

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.I5 : 626/627 Группа Ж01

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Рекомендации по проектированию фундаментов турбоагрегатов РД 34 I5.078-9I
Взамен ТСП 34-03-79

ОКСТУ 0I03

Дата введения 0I.0I.92

Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование железобетонных фундаментов турбоагрегатов мощностью I00 МВт и более с числом оборотов 3000 в минуту (частотой вращения 50 $с^{-I}$) для ТЭС и АЭС без низкочастотной виброизоляции.

Указания разделов I-4 и 8 Рекомендаций распространяются на проектирование фундаментов под турбоагрегаты с числом оборотов I500 в минуту (частотой вращения 25 $с^{-I}$) за исключением требований к величинам статических и динамических характеристик.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. При проектировании фундаментов турбоагрегатов наряду с положениями настоящих Рекомендаций следует соблюдать требования соответствующих глав СНиП по проектированию оснований, фундаментов и несущих строительных конструкций, руководств и инструкций по проектированию, разработанных на основе СНиП и действующих нормативных документов по инженерным изысканиям для строительства.

I.2. Настоящие Рекомендации составлены с учетом РТМ I08.02I. I02-85 "Агрегаты паротурбинные энергетические. Требования к фундаментам".

I.3. При проектировании фундаментов турбоагрегатов мощностью более 500 МВт для АЭС, равной и более 800 МВт для ТЭС следует

дополнительно составлять индивидуальные технические требования, учитывающие особенности турбоагрегатов, инженерно-геологические условия, а также возможности строительно-монтажных организаций.

I.4. Фундаменты турбоагрегатов, предназначенные для строительства на вечномерзлых, просадочных и набухающих грунтах, на подрабатываемых территориях, на площадках с наличием неблагоприятных инженерно-геологических процессов, в сейсмических районах и в других особых условиях, следует проектировать с учетом дополнительных требований, предъявляемых соответствующими нормативными документами к проектированию и строительству в этих условиях.

I.5. Проектирование фундаментов вновь разрабатываемых головных турбоагрегатов следует вести одновременно с проектированием турбоагрегатов в три стадии:

I - эскизный проект;

II - проект;

III - рабочая документация.

I.6. На стадии эскизного проекта совместно с заводами-изготовителями турбоагрегата разрабатывают предварительную конструктивную схему фундамента с указанием его основных размеров и ориентировочных размеров сечений элементов.

I.7. На стадии проекта разрабатывают окончательную конструктивную схему фундамента, фиксируют сечения тех его элементов, которые влияют на компоновку и размеры элементов турбоагрегата и вспомогательного оборудования, определяют в увязке с техническими решениями фундаментов и конденсационного подвала

машинного отделения главного корпуса электростанции и с учетом компоновки оборудования размеры в плане, отметки верха и подошвы нижней плиты фундамента.

I.8. Проект фундамента под турбоагрегат разрабатывают на основании взаимно согласованного эскизного проекта и заданий заводов-изготовителей турбоагрегата и генерального проектировщика электростанции.

Проект должен быть согласован с заводами-изготовителями турбоагрегата и утвержден Министерством энергетики и электрификации СССР или Министерством атомной энергетики и промышленности СССР.

I.9. Рабочую документацию разрабатывают на основании утвержденного проекта, а также заданий заводов-изготовителей турбоагрегата и генерального проектировщика электростанции.

I.I0. Проектом (рабочей документацией) должно предусматриваться проведение следующих испытаний и измерений:

а) приёмочных испытаний не нагруженного оборудованием фундамента под головной турбоагрегат для определения динамических характеристик и статических деформаций кручения элементов фундамента в соответствии с правилами приемки фундаментов турбоагрегатов, приведенными в РТМ I08.02I.I02-85;

б) систематических геодезических измерений деформаций каждого фундамента, построенного на сжимаемых грунтах, с модулем деформации $E < I00$ МПа.

I.II. Для фундаментов головных турбоагрегатов мощностью 800 МВт и более при осредненном модуле деформации грунтов $E<40$ МПа рекомендуется проведение длительных систематических измерений статических и динамических напряжений под подошвой нижней плиты, а также послойных деформаций грунтов, слагающих сжимаемую толщину основания.

I.I2. В состав рабочей документации фундаментов турбоагрегатов мощностью более 250 МВт следует включать паспорт фундамента, в который в процессе возведения и эксплуатации должны заноситься результаты измерений, указанных в п.I.I0.

I.I3. При проектировании фундаментов под серийные турбоагрегаты конструкцию верхнего строения следует принимать такой же, как у фундамента головного турбоагрегата, если при его испытаниях и эксплуатации не было выявлено особенностей, мешающих нормальной работе турбоагрегата. При обнаружении таких особенностей в конструкцию фундамента должны быть внесены соответствующие изменения.

I.I4. Расходы на проведение приемочных испытаний фундаментов под головные турбоагрегаты (по п.I.I0, а), геодезических измерений деформаций фундаментов в период строительства (по п.I.I0, б), установку измерительных приборов и измерение напряжений и деформаций под подошвой нижней плиты (по п.I.II) должны быть предусмотрены в сметах проекта (рабочей документации) фундамента.

2. СОСТАВ ЗАДАНИЙ И ТРЕБОВАНИЯ К ЗАВОДАМ - ИЗГОТОВИТЕЛЯМ ТУРБОАГРЕГАТОВ

2.I. Проект турбоустановки и задания заводов - изготовителей турбоагрегата должны соответствовать РТМ I08.02I.I02-85.

Задание предприятий-изготовителей турбоагрегата на разработку проекта фундамента должно содержать следующие данные:

техническую характеристику турбоагрегата (тип, мощность, рабочая частота вращения, масса валопровода, критические частоты вращения валопровода в диапазоне от 7 до 57 Гц);

технические требования к фундаменту в соответствии с указаниями раздела 5 РТМ I08.02I.I02-85;

координаты точек приложения и величины вертикальных статических нагрузок, передаваемых на фундамент от неподвижных и вращающихся частей агрегата, с указанием размеров площадок передачи нагрузок; при этом следует принимать коэффициенты надежности по нагрузке:

на нагрузки от оборудования	I,05
на нагрузки от изоляции	I,2
на нагрузки от заполняющей жидкости	I,0

координаты точек приложения и величины статических нагрузок и крутящих моментов, передаваемых на фундамент при тепловых перемещениях турбины и деформациях трубопроводов, с указанием размеров площадок передачи нагрузок при пуске, работе

и останове агрегата, а также места фикспунктов, при этом коэффициент трения следует принимать не более 0,3, а коэффициент надежности по нагрузке равным I,05;

координаты точек приложения, направления и частоты вынуждающих сил с указанием размеров площадок передачи сил; величину амплитуды каждой из центробежных вынуждающих сил, учитываемых при расчете колебаний фундамента в условиях нормальной эксплуатации турбоагрегата, следует принимать равной I5 % статической нагрузки от массы ротора, приходящейся на рассматриваемую площадку; при определении динамических усилий в элементах фундамента при расчете на прочность коэффициент надежности по нагрузке следует принимать 5,0;

координаты точек приложения, направления, частоту, продолжительность и величины амплитуд одновременно действующих нагрузок, передаваемых на фундамент в аварийных условиях, с указанием размеров площадок передачи; нагрузки задаются как вынуждающие центробежные силы и учитываются в расчете прочности элементов фундамента с коэффициентом надежности по нагрузке I,0;

координаты точек приложения, величины амплитуд и частоты нагрузок, передаваемых на фундамент при коротком замыкании генератора, с указанием размеров площадок передачи нагрузок; при этом коэффициент надежности по нагрузке следует принимать равным I,0 (эти данные передаются разработчику рабочей документации фундамента предприятием-изготовителем генератора);

координаты точек приложения, направления и величины нагрузок, передаваемых на фундамент при гидравлическом испытании вакуумной системы турбины.

Примечание: величины перечисленных нагрузок должны быть заданы с погрешностью не более ± 10 % на стадии "проект" и не более ± 5 % на стадии "рабочая документация".

2.2. Задание генерального проектировщика электростанции на разработку проекта фундамента должно содержать:

а) план и разрезы машинного отделения с указанием: отметки верха фундамента (площадки обслуживания); привязки осей турбоагрегата к разбивочным осям главного корпуса; расположения и размеров фундаментов под колонны каркаса здания, под стойки площадок и вспомогательное оборудование; нормативных величин нагрузок на основания этих фундаментов с разделением на постоянные, длительные и кратковременные;

б) основные результаты инженерно-геологических изысканий и исследований на участке расположения фундаментов турбоагрегатов;

в) отметки заложения фундаментов зданий и площадок обслуживания турбоагрегатов.

2.3. Задание заводов-изготовителей турбоагрегата на разработку рабочей документации фундамента должно содержать:

а) техническую характеристику турбоагрегата: тип турбины, генератора и возбудителя, мощность, рабочую частоту вращения,

схему и массу валопровода, критические частоты валопровода в диапазоне от 7 до 57 $с^{-I}$; тип крепления конденсатора к турбине;

б) сборочные чертежи турбины и конденсатора, чертежи опор конденсатора с указанием их упругих и демпфирующих характеристик;

в) чертежи: взаимно согласованных на стадии "проект" габаритов фундамента, включая отметку верха нижней плиты, обусловленную компоновкой турбоустановки; элементов крепления агрегата к фундаменту; расположения и размеров выемок, каналов и отверстий (для анкерных болтов, труб, коммуникаций и т.п.); расположения и размеров анкерных болтов, закладных деталей, фундаментных плит турбоагрегата, подливок и т.д.; схем площадок, а также опорных конструкций под вспомогательное оборудование, расположенных в пределах внешнего контура фундамента; схему размещения трубопроводов в пределах фундамента и их геометрические размеры;

г) монтажный чертеж генератора, а также чертеж выкатки ротора генератора;

д) координаты точек приложения и нормативные величины вертикальных статических нагрузок (раздельно от массы оборудования, изоляции и заполняющей жидкости), передаваемых на фундамент неподвижными и вращающимися частями агрегата, с указанием размеров площадок передачи нагрузок; величины нагрузок от конденсатора, передаваемых отдельно на верхнее строение и фундаментную плиту, с учетом наличия воды в конденсаторе в условиях нормальной эксплуатации, при гидравлических испытаниях и в аварийных условиях;

е) координаты точек приложения, направления и нормативные величины горизонтальных статических нагрузок, передаваемых на фундамент при тепловых перемещениях турбины и деформациях трубопроводов (с указанием размеров площадок передачи нагрузок) при пуске, работе и остановке агрегата, а также места расположения фикспунктов. При назначении величин этих нагрузок коэффициент трения принимается равным 0,3, а коэффициент надежности по нагрузке равным I,05;

ж) координаты точек приложения, нормативные величины, направления и частоты вынуждающих сил, учитываемых при расчете колебаний фундамента в условиях нормальной эксплуатации, с указанием размеров площадок передачи сил; величину амплитуды центробежных вынуждающих сил следует принимать равной I5 % статической нагрузки от масс ротора, приходящейся на рассматриваемую площадку;

з) координаты точек приложения, нормативные величины, направления, частоты и продолжительность действия одновременно действующих динамических нагрузок, передаваемых на фундамент в аварийных условиях, с указанием размеров площадок передачи сил; нагрузки должны задаваться как вынуждающие силы;

и) координаты точек приложения, нормативные величины и законы изменения во времени динамических нагрузок, передаваемых на фундамент при коротком замыкании генератора и возбудителя, с указанием размеров площадок передачи сил; величины виброизолированных масс сердечника генератора и собственные частоты

виброизоляции сердечника генератора;

к) координаты точек приложения и нормативные величины нагрузок, передаваемых на фундамент от вспомогательного оборудования (масляных баков, сетевых подогревателей, трубопроводов и т.п.), с указанием размеров площадок передачи нагрузок;

л) зоны действия и нормативные величины монтажных равномерно распределенных нагрузок;

м) участки фундамента, подлежащие защите от воздействия смазочных масел (с указанием типа масла) и др. агрессивных жидкостей.

2.4. При установке турбоагрегатов на ТЭС и АЭС, сооружаемых в сейсмических районах, в состав задания следует включать координаты точек приложения и величины нагрузок, передаваемых на фундамент от турбоагрегата при сейсмическом воздействии, с указанием размеров площадок передачи нагрузок.

2.5. В дополнение к требованиям по проектированию фундаментов, изложенным в разделе 5, заводы-изготовители турбоагрегатов должны учитывать следующие особенности фундаментов:

а) по возможности должны быть выдержаны одинаковыми отметки верха ригелей, балок и плит верхнего строения; следует избегать применения эксцентрично загруженных ригелей и балок, сводя до минимума величину крутящих моментов;

б) количество вынемок, гнезд и скосов должно быть наименьшим;

в) в проекте турбоустановки должны быть предусмотрены мероприятия, исключающие возможность недопустимого нагрева элементов фундамента, предотвращающие их неравномерный нагрев и уменьшающие угловые и вертикальные перемещения поверхностей верхнего строения фундамента, вызванные температурным воздействием турбоагрегата; температура на поверхности теплоизоляции горячих элементов турбоустановки не должна превышать 45°С; между поверхностью теплоизоляции горячих элементов турбоустановки и элементами фундамента должен быть предусмотрен зазор не менее 50 мм.

2.6. Задание генерального проектировщика электростанции на разработку рабочей документации фундамента должно содержать:

а) план и разрезы машинного отделения с указанием:

отметки обслуживания;

привязки осей турбоагрегата к разбивочным осям главного корпуса;

расположения, размеров и глубины заложения соседних фундаментов под колонны несущего каркаса главного корпуса, а также нормативных величин минимальной и максимальной нагрузок на их основание;

расположения, размеров и глубины заложения фундаментов под вспомогательное оборудование и стойки перекрытия конденсационного подвала, расстояние от которых до оси колонн фундамента турбоагрегата не превышает 6 м, а также нормативных величин нагрузок на их основание с подразделением на постоянные, временные, длительные и кратковременные;

расположения трубопроводов технического водоснабжения в пределах фундамента и нормативных величин нагрузок от них на

фундаментную плиту;

нормативных величин и привязок нагрузок (с разделением на постоянные, временные, длительные и кратковременные), передаваемых на фундаментную плиту перекрытием конденсационного подвала, площадками и вспомогательным оборудованием;

б) чертежи расположения и размеров закладных деталей или выпусков арматуры в фундаментной плите для крепления стоек перекрытия конденсационного подвала и площадок, оборудования и трубопроводов, которые намечено разместить в пределах контура фундаментной плиты;

в) чертежи расположения и размеров проемов и отверстий в элементах фундамента для кабельных конструкций и токопроводов, закладных деталей для их крепления, а также площадок для обслуживания токопроводов с указанием нормативных величин нагрузок, с разделением их на постоянные, временные, длительные и кратковременные;

г) чертежи расположения и размеров закладных деталей для крепления трубопроводов к элементам фундамента с указанием нормативных величин нагрузок от них;

д) чертежи расположения и размеров закладных деталей для крепления к элементам фундаментов монтажных кранов или их путей с указанием нормативных величин нагрузок от них;

е) план площадок, примыкающих к фундаменту турбоагрегата на отметке обслуживания;

ж) общую характеристику природных условий участка строительства и инженерно-геологические и сейсмологические характе-

ристики участка расположения фундаментов, содержащиеся в отчетных документах в соответствии с требованиями раздела 3;

з) особые условия подлежащие учету при проектировании сооружений объекта (сейсмичность, климатические условия, особенности технологических решений);

и) тип перил, применяемых в машзале;

к) схемы противопожарных перегородок, перекрытий или других ограждений, пределы их огнестойкости или толщину и материал.

3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЛОЩАДОК СТРОИТЕЛЬСТВА

3.I. Основной задачей инженерно-геологического изучения площадки размещения турбоагрегатов является получение необходимых для проектирования фундаментов исходных данных по природным условиям строительства с учетом возможных их изменений в процессе строительства и эксплуатации электростанции. Детальность и требуемый объем инженерно-геологических изысканий определяется стадией разработки проекта и требованиями настоящего раздела рекомендаций.

3.2. Инженерно-геологические исследования грунтов оснований должны проводиться в соответствии с требованиями СНиП, государственных стандартов по исследованию свойств грунтов для строительства, а также с учетом конструктивных и эксплуатацион-

них особенностей фундаментов турбоагрегатов, указанных в техническом задании.

Проектирование оснований без соответствующего инженерно-геологического обоснования или при его недостаточности не допускается.

3.3. Инженерно-геологическое изучение грунтов оснований следует проводить поэтапно для выбора площадки электростанции, проекта и, при необходимости, для рабочей документации.

На каждом этапе задачи, состав и объем работы должны устанавливаться техническим заданием, учитывающим специальные требования, определяемые конструктивными и эксплуатационными особенностями фундаментов турбоагрегатов. В процессе выполнения изысканий и исследований на каждом этапе должен проводиться обмен информацией между изыскателями и проектировщиками. Вопросы, возникающие при обмене информацией, должны решаться до завершения работ данного этапа или при проведении изысканий следующего этапа (при этом оформляется дополнительное техническое задание).

3.4. При выполнении инженерно-геологических изысканий для стадии ТЭО выбора площадки, имеющих целью получение сравнительных данных по природным условиям конкурентных площадок размещения ТЭС или АЭС, при наличии генерального плана объекта должны быть выявлены специфические грунты и опасные геологические процессы, способные нарушить стабильность оснований в

процессе строительства и эксплуатации фундаментов турбоагрегатов дана предварительная оценка виброустойчивости грунтов на участке предполагаемого главного корпуса станции, залегающих под подошвой фундамента на глубину до I5 м.

В случае увеличения с глубиной сжимаемости грунтов разведочные выработки должны быть доведены до более прочных грунтов.

3.5. При выполнении инженерно-геологических изысканий для стадии "проект" должны быть получены нормативные и расчетные показатели свойств грунтов, выделенных инженерно-геологических элементов с учетом требований, предусмотренных главой СНиП "Инженерные изыскания для строительства".

Объем работ по изучению инженерно-геологических условий на участках предполагаемого расположения фундаментов турбоагрегатов должен устанавливаться программой производства работ, составляемой на основании технического задания с учетом предполагаемого типа фундаментов турбоагрегатов и глубины их заложения. Для фундаментов турбоагрегатов мощностью 500 МВт и более выдаваемое изыскателям техническое задание должно быть согласовано с организацией, разрабатывающей фундамент турбоагрегата.

3.6. Количество разведочных выработок на один турбоагрегат в зависимости от категории сложности природных условий и мощности турбоагрегатов приведено в табл. I.

При I и II категориях сложности инженерно-геологических условий и мощности турбоагрегатов менее 220 МВт выработки

Таблица I

Количество разведочных выработок

Диапазон мощности турбоагрегатов, МВт		Категория сложности инженерно-геологических условий		
для ТЭС	для АЭС	I	II	III
I00-2I0	I00-2I0	2	3	4
220-300	220-300	3	5	6
500-800	500	5	7	9
более 800	более 500	7	9	II

располагаются по оси валопровода. При III категории сложности, а также при мощности турбоагрегатов 220 МВт и более выработки располагаются по контуру фундаментов или "конвертом". При мощности турбоагрегатов 500 МВт и более обязательно расположение не менее трех выработок по оси валопровода.

Одновременно с проходкой разведочных выработок рекомендуется применение различных методов зондирования в сочетании с геофизическими методами исследований. Полученные результаты должны обеспечить построение детальных инженерно-геологических разрезов с отражением всех особенностей природных условий участка расположения фундаментов турбоагрегатов.

3.7. Глубина проходки разведочных выработок должна назначаться с учетом указаний главы СНиП "Инженерные изыскания для строительства" и следующих дополнительных требований:

глубина выработок должна быть не менее чем на 20 м ниже подошвы фундаментов при естественных нескальных основаниях и не менее I5 м ниже предполагаемой глубины погружения свай при свайных основаниях;

для турбоагрегатов ТЭС мощностью 300 МВт и менее (АЭС мощностью 200 МВт и менее) глубину выработок допускается уменьшить до I5 м ниже подошвы фундаментов на естественном основании и до I0 м ниже глубины погружения нижнего конца свай при условии отсутствия ниже по разрезу более сжимаемых разностей;

при наличии скальных грунтов средней и высокой прочности глубина разведочных выработок принимается не менее чем на 5 м ниже кровли этих грунтов.

В случае, если скважины вскрывают специфические грунты (слабые, просадочные, набухающие, элювиальные, засоленные) или такие грунты залегают непосредственно ниже указанных в настоящем пункте глубин, выработки должны быть пройдены не менее чем на 3 м ниже подошвы указанных грунтов.

3.8. В пределах глубин пройденных разведочных выработок должны быть выделены инженерно-геологические элементы, для которых следует определить нормативные и расчетные показатели свойств грунтов с учетом требований действующих нормативных документов по результатам их комплексного изучения в лабораторных и полевых условиях с использованием геофизических методов исследований.

3.9. Модуль деформации каждого слоя нескальных грунтов оснований фундаментов турбоагрегатов в пределах сжимаемой толщи должен определяться комплексом полевых (статические нагрузки штампом, прессиометрия, статическое и динамическое зондирование) и лабораторных методов. Выбор методов обусловливается мощностью турбоагрегатов, номенклатурой испытываемого грунта с учетом положения штампа или прессиометра относительно уровня подземных вод, требованиями ГОСТ 20276-85.

Для всех типов турбоагрегатов обязательным является определение модуля деформации на отметках заложения фундамента в пределах его контура. При отсутствии подземных вод испытания проводят с использованием штампа площадью 5000 $см^2$. Сжимаемость грунтов в разрезе активной зоны ниже уровня подземных вод допускается определять с применением штампов площадью 600 $см^2$ радиальным или лопастным прессиометром с выполнением сравнительных испытаний для аналогичных грунтов в пределах зоны аэрации штампом площадью 5000 $см^2$.

3.I0. Необходимое количество определений модуля деформации для территорий нового строительства на 4 устанавливаемых в машинном отделении электростанции турбоагрегата приведено в табл. 2.

Таблица 2

Количество определений модуля деформации

Диапазон мощности турбоагрегатов, МВт	Категория сложности инженерно-геологических условий		
	I	II	III
от I00 до 500	6	I2	I6
500 и выше	I2	I8	24

3.II. При необходимости определения модуля упругости грунтов, залегающих на глубине до 5 м от подошвы фундамента, единичные штамповые испытания проводят с выполнением циклических нагрузок при удельных давлениях 0,I и 0,2 МПа. Последнюю ступень нагрузки-разгрузки рекомендуется принимать не более величины, соответствующей значению предела пропорциональности на участке линейной зависимости приращения осадки штампа и давления. Местоположение точек производства опытных работ должно быть указано в техническом задании.

3.I2. При ограничении в сейсмических районах кинематических параметров колебаний фундаментов турбоагрегатов необходимо опытным путем с привлечением научно-исследовательских институтов определять коэффициенты жесткости естественных оснований и свайных фундаментов в соответствии с требованиями главы СНиП "Фундаменты машин с динамическими нагрузками".

3.I3. При необходимости выполнения расчетов консолидации и ползучести глинистых грунтов (см.раздел 8) следует по специальному техническому заданию провести дополнительные лаборатор-

ные исследования образцов ненарушенного сложения.

3.I4. При основаниях, сложенных песками средней крупности, мелкими и пылеватыми средней плотности независимо от степени их влажности, песками мелкими и пылеватыми плотными водонасыщенными, супесями пластичными, залегающими в основании или на глубине от подошвы фундаментов турбоагрегатов мощностью:

менее 500 МВт – до 5 м,

от 500 до 750–800 МВт – до I0 м,

более 750–800 МВт – до I5 м,

должны производиться:

а) исследования динамических упругих и демпфирующих свойств грунтов в условиях их природного залегания в соответствии с требованиями главы СНиП "Фундаменты машин с динамическими нагрузками";

б) определение критических значений динамических напряжений и деформаций в лабораторных условиях согласно рекомендациям ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева.

3.I5. Для водонасыщенных мелких и пылеватых песков средней плотности и пластичных супесей независимо от мощности турбоагрегатов, а в основаниях турбоагрегатов мощностью 500 МВт и более, кроме того, для водонасыщенных плотных мелких и пылеватых песков, а также водонасыщенных песков крупных и средней крупности, средней плотности должны проводиться полевые испытания на виброползучесть согласно "Рекомендациям по проведению полевых испытаний виброустойчивости оснований фундаментов турбо-

агрегатов" / НИИОСП, ДИИТ. - М., I986, 30 с.

3.I6. В результате исследований, проводимых согласно пп.3.I4, 3.I5, должны быть установлены значения динамических напряжений, деформаций, ускорений, статического модуля деформации и модуля общей деформации грунтов, определяемого с учетом виброползучести грунта при статических и динамических воздействиях, параметры которых (частоты и амплитуды вибраций, статическое давление) указываются в техническом задании. В задании на изыскания следует указывать расчетное статическое давление под подошвой фундамента или бетонной подушкой, если ее намечено использовать.

3.I7. При проведении исследований грунтов оснований следует учитывать возможность снижения их прочностных и деформационных характеристик вследствие повышения влажности грунтов в процессе строительства и эксплуатации электростанции с учетом прогнозируемого подъема уровня грунтовых вод и накопления влаги за счет нарушения природных условий ее испарения.

3.I8. Характеристики, необходимые при проектировании оснований (модуль деформации E, удельное сцепление C, угол внутреннего трения φ, показатели устойчивости при вибрационных воздействиях), для грунтов, расположенных ниже прогнозируемого уровня грунтовых вод, должны устанавливаться путем испытания грунтов в условиях полного водонасыщения.

3.I9. При наличии специальных указаний в техническом задании в состав исследований оснований фундаментов под турбоагрегаты

должны включаться работы по изучению в полевых условиях сейсмологических разрезов площадок строительства, получаемых с применением методов сейсморазведки и сейсмокаротажа скважин на глубину, равную (2,5÷3,0) $B_ф$, где $B_ф$ – ширина фундамента, а также лабораторные испытания по определению динамических характеристик грунтов для построения расчетных динамических схем неоднородных оснований (слоистых, с динамическими модулями упругости, зависящими от статических напряжений и других факторов).

4. МАТЕРИАЛЫ ФУНДАМЕНТОВ

4.I. Для железобетонных конструкций фундаментов проектом должен предусматриваться тяжелый бетон классов и марок не ниже следующих:

а) для фундаментных плит, опирающихся на сжимаемые грунты основания и рассматриваемых в расчетах по деформациям без трещин в растянутой зоне (см.раздел 8):

по прочности на осевое растяжение	класс B_tI,6;
по прочности на сжатие	класс B I5;

б) для фундаментных плит, опирающихся на практически несжимаемые грунты:

по прочности на сжатие	класс B I5;

в) по морозостойкости для фундаментных плит при расчетной зимней температуре наружного воздуха, °С:

ниже минус 40	марка F I50;
ниже минус 2 до минус 40 включительно	марка F 75;

г) по морозостойкости для надземных конструкций (верхнего строения) при расчетной зимней температуре наружного воздуха, °С:

ниже минус 40 марка F 75;

ниже минус 20 до минус 40 включительно марка F 50;

по модулю упругости - в соответствии с маркой.

4.2. Срок твердения (возраст) бетона в монолитных конструкциях, отвечающий его проектной марке, должен быть указан в рабочих чертежах фундамента.

4.3. Для армирования железобетонных элементов, а также для закладных деталей и стальных элементов фундаментов должна применяться сталь, отвечающая требованиям соответствующих государственных стандартов или утвержденных в установленном порядке технических условий, в соответствии с указаниями глав СНиП по проектированию бетонных и стальных конструкций. Классы и марки стали должны приниматься в соответствии с указаниями раздела 9.

5. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТОВ

5.I. Фундаменты турбоагрегатов должны быть запроектированы так, чтобы они удовлетворяли условиям прочности, устойчивости, жесткости, экономичности, а также требованиям санитарных норм по допустимым вибрациям для обслуживающего персонала и соответствовали РТМ I08.02I.I02-85 "Агрегаты паротурбинные энергетические. Требования к фундаментам".

Колебания фундаментов в условиях нормальной эксплуатации турбоагрегатов не должны оказывать вредного влияния на соседнее

вспомогательное оборудование и приборы, которые могут находиться на фундаменте и вне его, не должны быть опасными для прочности и устойчивости конструкций главного корпуса электростанции.

5.2. Фундаменты турбоагрегатов следует, как правило, проектировать рамного типа, состоящими из ряда поперечных рам, опирающихся на фундаментную плиту и образующих вместе с соединяющими их поверху продольными балками пространственную рамную систему.

Примечание: При особых ограничениях статических деформаций и колебаний элементов фундаментов или при нетрадиционной компоновке оборудования допускается проектировать фундаменты рамно-стеновой или стеновой конструкции.

5.3. Фундаменты следует проектировать отдельными под каждый турбоагрегат. Фундамент следует выполнять симметричным относительно вертикальной плоскости, проходящей через ось турбоагрегата как в отношении общей геометрической схемы, так и по форме элементов.

5.4. Железобетонные фундаменты турбоагрегатов следует проектировать со сборным, сборно-монолитным или монолитным верхним строением.

5.5. Нижнюю часть фундаментов, опирающуюся на грунт или сваи, следует проектировать в виде монолитной железобетонной плиты, симметричной в плане относительно оси турбоагрегата.

Примечание: При прочных скальных основаниях допускается заменять нижнюю плиту ростверком из перекрестных лент.

5.6. Размеры нижней плиты в плане следует принимать в увязке с техническими решениями фундаментов здания и конденсационного подвала машинного отделения главного корпуса и с учетом компоновки оборудования.

5.7. Глубина заложения фундаментной плиты должна назначаться в зависимости от:

её толщины, определенной по расчету деформаций фундамента на грунте (см.раздел 8);

инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки строительства;

глубины заложения фундаментов под колонны несущего каркаса главного корпуса (см.п.5.9);

отметки верха фундаментной плиты, принимаемой в соответствии с заданием из условий расположения оборудования и технологических коммуникаций (см.раздел 2).

5.8. Фундаментную плиту следует проектировать преимущественно прямоугольной формы в плане с одинаковой по длине отметкой подошвы.

Примечания: I. Допускаются уширения плиты в той части фундамента, где располагаются наиболее тяжелые элементы турбоагрегата. Сопряжения участков плиты разной ширины при нескальном естественном основании должны выполняться под углом не более 20 градусов к оси турбоагрегата. Расстояние от наружных граней колонн фундамента до края подошвы фундаментной плиты рекомендуется принимать не менее 0,5 м.

2. Допускается устройство ступеней по продольным сторонам плиты.

5.9. Подошву фундаментной плиты следует, как правило, располагать на одной отметке с соседними фундаментами главного корпуса.

Примечания: I. Перепад отметок допускается при соблюдении отношения величины перепада к расстоянию между фундаментами не более I:3 при сухих и маловлажных и I:5 при влажных грунтах.

2. При водонасыщенных грунтах перепад отметок не допускается.

5.I0. При назначении размеров нижней плиты на естественном снимаемом основании и при висячих сваях следует стремиться, чтобы общий центр тяжести фундамента, оборудования, опирающихся на фундаментную плиту конструкций, засыпки грунта на обрезах фундамента и центр тяжести площади подошвы плиты находились на одной вертикали. Величина эксцентриситета не должна превышать 3 % от размера той стороны подошвы нижней плиты, в направлении которой происходит смещение центра тяжести.

5.II. Фундаментная плита турбоагрегата должна быть отделена от соседних фундаментов здания и оборудования сквозным швом. Расстояние между боковыми гранями нижней плиты фундамента турбоагрегата и соседних фундаментов принимают по конструктивным соображениям с учетом принятых методов производства работ и других условий, но не менее I00 мм.

Примечания: I. В случае устройства под машинным отделением главного корпуса общей фундаментной плиты допускается непосредственно на этой плите возводить фундаменты турбоагрегатов. При этом должны учитываться требования по ограничению деформаций фундамента на грунте, указанные в разделе 8, и, при необходимости,

на участках установки фундаментов турбоагрегатов следует предусматривать местные утолщения общей плиты.

2. На фундаментную плиту турбоагрегата допускается опирать стойки перекрытия подвала, а также другие конструкции, передающие статические нагрузки.

5.I2. Не допускается без специальных обоснований использовать в качестве естественного основания фундаментов турбоагрегатов в пределах сжимаемой толщи следующие грунты:

а) все виды и разновидности грунтов с модулем деформации менее I2 МПа, залегающие непосредственно под нижней плитой фундамента, если мощность слоя превышает 20 % сжимаемой толщи;

б) размягчаемые, средне- и легкорастворимые в воде скальные и крупнообломочные грунты;

в) элювиальные грунты, характеризуемые большой изменчивостью деформационных и прочностных свойств в пределах площади подошвы фундаментной плиты или недопустимым изменением в открытом котловане указанных свойств при производстве работ без предохранения дна котлована безотлагательным устройством бетонной подготовки;

г) пески рыхлые;

д) мелкие и пылеватые пески, подверженные в водонасыщенном состоянии суффозии, и засоленные грунты;

е) глинистые грунты, в которых под динамическим воздействием турбоагрегата могут проявиться тиксотропные свойства, нарушающие их устойчивость;

ж) текучие и текучепластичные суглинки и глины, текучие супеси;

з) насыпные и намывные грунты за исключением тщательно и послойно уплотненных подушек из щебня и гравийно-песчаной смеси;

и) биогенные (заторфованные) грунты;

к) засоленные грунты, подверженные суффозий-ной осадке.

5.I3. При основаниях, сложенных грунтами, перечисленными в п.5.I2, в проекте должны рассматриваться и сравниваться по технико-экономическим показателям и в увязке с решениями фундаментов главного корпуса варианты:

виброизолированных фундаментов турбоагрегатов или фундаментов с регулированием высотного положения;

свайных фундаментов;

искусственного уплотнения неблагоприятных грунтов на всю их толщу или в верхнем слое с применением, например, вибрационных машин и виброкатков, тяжелых трамбовок, при выборе оборудования, обеспечивающего необходимый эффект уплотнения, с учетом толщины слоя и характера уплотняемого грунта;

полной или частичной замены неблагоприятных грунтов подушками из бетона низких марок, а также из уплотненной вибрационным способом щебеночно-песчаной смеси;

химического закрепления грунтов.

5.I4. При строительстве в особых грунтовых условиях, в том числе на вечномерзлых, просадочных и набухающих грунтах, в проекте должны быть разработаны мероприятия, обеспечивающие соблюдение предельно допустимых деформаций основания и фундамента во времени, указанных в разделе 8.

5.I5. При проектировании свайных фундаментов необходимо учитывать следующие дополнительные указания и рекомендации:

а) рекомендуется применение свай-стоек, передающих нагрузку нижним концом на практически несжимаемые грунты;

б) при отсутствии слоя скальных или крупнообломочных грунтов под нижними концами свай допускается применение свай, которые должны опираться на грунты, применяемые в качестве естественных оснований и передавать на них нижним концом всю нагрузку. При отсутствии таких грунтов применение свай допускается только при условии проведения динамических испытаний. Испытания сваи следует выполнять со статическим прогрузом, равным приходящейся на сваю эксплуатационной статической нагрузке;

в) в пределах площади нижней плиты разбивку свай принимают равномерной, а расстояния между осями свай - по указаниям главы СНиП по проектированию свайных фундаментов.

5.I6. Толщина фундаментной плиты должна определяться расчетом по деформациям на грунте в соответствии с разделом 8 и принимается не менее высоты сечения колонн в плоскостях поперечных рам. За исходные могут приниматься нижеуказанные величины в долях от длины плиты между осями колонн крайних поперечных рам, заданные с учетом сжимаемости грунтов под эксплуатационной нагрузкой и длительности процесса деформации основания:

а) I:20 при сжимаемой толще основания (см.раздел 8), сложенной следующими грунтами, имеющими осредненный модуль деформации $E_{ср} \geqslant 25$ МПа: крупнообломочными грунтами, плотными песками гравелистыми крупными и средней крупности независимо от степени влажности; глинистыми грунтами, характеризуемыми одним из показателей: степень влажности $S_r < 0,8$; коэффициент фильтрации $K_ф \geqslant I0^{-5}$ или $K_ф \leqslant I0^{-8}$ см/с; коэффициент сжимаемости $\alpha < 2,5.I0^{-4}$ МПа;

б) I:I5 при сжимаемой толще основания, сложенной следующими грунтами, имеющими осредненный модуль деформации I2 МПа $\leqslant E <$ <25 МПа: песками средней плотности крупными и средней крупности, песками мелкими и пылеватыми маловлажными и влажными; глинистыми грунтами при одновременном наличии следующих показателей: $S_r \geqslant 0,8$; $K_ф = I0^{-6} \ldots I0^{-7}$ см/с; $\alpha \geqslant 2,5.I0^{-4}$ МПа.

5.I7. Конструктивную схему и размеры элементов верхнего строения фундаментов следует принимать в соответствии с заданием завода-изготовителя турбоагрегата, составленного с учетом требований раздела 2, а также на основании расчетов, выполненных при проектировании фундамента.

5.I8. Колонны рамного верхнего строения фундаментов следует проектировать прямоугольного сечения, балки, как правило, - прямоугольного или таврового сечения. Отступления от этого правила допускаются только при соответствующем обосновании особенностями компоновки оборудования и технологических коммуникаций.

5.I9. Верхнее рамное строение фундаментов должно проектироваться с гибкими колоннами и жесткими верхними балками. Элементы верхнего строения (поперечные ригели и продольные балки) должны быть связаны между собой жесткими рамными узлами, имеющими соответствующее армирование.

5.20. В целях унификации железобетонных изделий размеры сечений элементов, как правило, должны назначаться следующими:

ширина - 700; I000 мм,

высота - I000, I200 и далее кратно 300 мм.

Примечания: I. Допускается назначать размеры сечений кратными I00 мм. 2. Для монолитных фундаментов принимают те же размеры сечений элементов и при этом учитывают условия применения инвентарной опалубки.

Размеры сторон сечений элементов верхнего строения фундаментов должны приниматься не менее указанных ниже:

высота и ширина сечения колонн	- 600 мм,
высота сечения балок	- 400 мм,
ширина сечения балок	- 300 мм,
толщина плит	- 200 мм.

Высота опорного сечения консолей, как правило, должна приниматься не менее 0,75 их вылета. При вынужденном снижении высоты опорного сечения следует производить проверку консоли расчетом на резонанс.

5.2I. Элементы верхнего строения фундаментов, включая колонны и площадки внутри фундаментов, должны быть отделены швами от конструкций здания и площадок обслуживания турбоагрегатов и другого оборудования. В виде исключения допускается опирать на элементы верхнего строения фундаментов вкладные участки площадок обслуживания, не нагруженные оборудованием, и переходные мостики. В этих случаях под опорами балок вкладных участков и мостиков следует предусматривать прокладки из фторопласта и других виброизолирующих материалов.

5.22. Все поверхности элементов верхнего строения фундаментов, которые могут пропитываться маслами в процессе монтажа и эксплуатации, следует защищать специальными покрытиями.

5.23. Размеры анкерных болтов следует принимать по заданию заводов-изготовителей турбоагрегата. По согласованию с ними допускается уменьшать диаметр и длину анкерных болтов до пределов, обусловленных расчетом по заданным усилиям, действующим на болты. Расстояние от грани отверстий и колодцев для анкерных болтов до наружной грани элементов фундамента следует, как правило, принимать не менее I00 мм. Между гранями отверстия и элемента фундамента должна располагаться арматура.

5.24. В рабочих чертежах фундаментов должны быть предусмотрены осадочные марки, предназначенные для измерения осадок и деформации фундаментов. Осадочные марки устанавливают:

а) в фундаментной плите (для измерения с помощью нивелира) около каждой колонны. Эти марки должны быть установлены до бетонирования плиты. При скальном основании марки не устанавливаются;

б) в нижней части каждой колонны выше уровня конденсационного пола по наружному обводу фундамента (для измерения с помощью нивелира). Эти марки устанавливают либо при изготовлении колонн, либо после окончания монтажа турбоагрегата в точках по указаниям организации, выполняющей работы по наблюдению за осадками и деформациями фундаментов;

в) на отметке обслуживания возле каждой колонны (для измерения с помощью нивелира и гидроуровня). Эти марки должны быть установлены при устройстве набетонок.

5.25. Для фундаментов турбоагрегатов мощностью 800 МВт и более, на которых должны проводиться длительные натурные измерения контактных напряжений и послойных деформаций грунтов основания (см.п.I.II), рекомендуется дополнительно предусматривать:

а) установку под подошвой фундаментной плиты датчиков статических и динамических контактных напряжений;

б) установку в вертикальных шахтах в нижней плите вблизи ее подошвы датчиков вибраций;

в) установку в вертикальных стальных трубах глубинных осадочных марок для измерения послойных деформаций грунтов, слагающих сжимаемую толщу основания.

Установку датчиков напряжений и вибраций, а также осадочных марок проектируют по заданию научно-исследовательской организации, выполняющей измерения.

6. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.I. Железобетонные конструкции фундаментов должны удовлетворять требованиям расчетов по несущей способности (предельные состояния первой группы), на колебания, по деформациям, на трещиностойкость и по раскрытию трещин (предельные состояния второй группы).

Коэффициент надежности по назначению принимается равным $\gamma_n = I$, исходя из того, что сооружения главных корпусов ТЭС и АЭС относятся к I классу ответственности зданий и сооружений.

6.2. На стадии "проект" должны выполняться:

расчет фундаментной плиты по прочности, деформациям и трещиностойкости;

расчет деформации кручения ригелей;

расчет динамической податливости фундамента, не нагруженного турбоагрегатом.

На стадии "рабочая документация" должны выполняться:

расчет фундаментной плиты по прочности, деформациям и трещиностойкости на уточненные нагрузки;

полный объем статических и динамических расчетов верхнего строения фундамента по пространственной схеме с учетом всех требований по несущей способности, колебаниям, деформациям и раскрытию трещин.

Расчеты по прочности, деформациям, на трещиностойкость и по раскрытию трещин должны выполняться в соответствии с главой СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

При этом нормативные и расчетные сопротивления, а также модули упругости бетона принимаются с учетом следующего минимального возраста бетона элементов фундамента перед монтажом турбоагрегата:

фундаментной плиты – 6 мес.;

сборных железобетонных элементов, изготовленных без пропаривания – 3 мес.;

бетона замоноличивания стыков сборных элементов – I,5 мес.;

элементов монолитного верхнего строения – 3 мес.

6.3. На выносливость железобетонные конструкции фундаментов турбоагрегатов, как правило, не рассчитываются. Обеспечение конструкций от усталостного разрушения достигается расчетом несущей способности, в котором входящие в расчетные сочетания усилия от многократно повторяющихся нагрузок увеличиваются путем деления на коэффициент условий работы γ_s, указанный в пункте 6.II.

6.4. При проектировании фундаментов турбоагрегатов для сейсмических районов в расчете по прочности должны учитываться сейсмические нагрузки, определяемые в соответствии с указаниями главы СНиП "Строительство в сейсмических районах". Расчет на сейсмические воздействия фундаментов под турбоагрегаты атомных электростанций должен выполняться с учетом требований нормативно-технической документации по проектированию атомных электростанций.

6.5. Расчеты на колебания следует выполнять в соответствии с указаниями раздела 7.

6.6. Расчет по деформациям заключается в определении:

а) углов закручивания ригелей поперечных рам фундамента под

действием горизонтальных нагрузок, передающихся на фундамент при тепловых перемещениях турбины, согласно указаниям пп.6.2I, 6.22;

б) прогиба фундаментной плиты на грунтовом основании согласно указаниям раздела 8.

6.7. К конструкции нижней плиты фундамента предъявляются требования I-й категории трещиностойкости, к элементам верхнего строения - 3-й категории.

6.8. Расчет колебаний элементов верхнего строения фундаментов и определение усилий в них при статических и динамических нагрузках должен выполняться в предположении упругой работы железобетона. Результаты расчета на колебания и по деформациям должны удовлетворять требованиям РТМ I08.C2I.I02-85.

6.9. Расчет нижней плиты фундамента должен производится на нагрузки, указанные в табл. 3.

6.I0. Расчет конструкций верхнего строения фундаментов должен производиться на нагрузки, указанные в табл. 4 и 6.

6.II. В расчетах фундаментов турбоагрегатов учитывают три категории динамических нагрузок P_d, соответствующих различной степени неуравновешенности турбоагрегата и приложенных в точках передачи на фундамент нагрузок от роторов (R), указанных в задании завода-изготовителя турбоагрегата. Расчетные величины нагрузок определяются формулой

$$P_d = P_{dn} \frac{\gamma_f}{\gamma_s}, \qquad (I),$$

где P_{dn} - нормативная динамическая нагрузка.

Коэффициенты надежности по нагрузке γ_f и условий ра -

боты γ_s , а также предельные величины нормативных и расчетных динамических нагрузок трех категорий приведены в табл.5.

6.I2. Динамические нагрузки трех указанных категорий рассматривают как гармонические силы, действующие раздельно в вертикальном (V) и поперечном горизонтальном (H) направлениях, а приведенные в п.6.II величины рассматривают как амплитудные значения этих сил при рабочей частоте вращения турбоагрегата.

6.I3. Нормативные значения динамических нагрузок P_{dn1} и P_{dn3} следует принимать по заданию завода-изготовителя турбоагрегата с учетом коэффициентов, указанных в табл. 4 и 5. При отсутствии в заводском задании этих нагрузок в расчетах фундамента принимают: $P_{dn1} = 0,I5R$, $P_{dn3} = I,5R$, где R - масса ротора, приходящаяся на рассматриваемый элемент.

6.I4. Точки приложения динамических нагрузок в поперечном горизонтальном направлении должны приниматься: при встроенных подшипниках - на отметке верха элементов фундамента, на которые они передаются, при выносных подшипниках - на отметке оси валопровода.

6.I5. Расчетную динамическую нагрузку второй категории следует использовать при расчете по прочности с учетом многократной повторяемости нагрузки, для чего вводится коэффициент условий работы $\gamma_s = 0,5$. При выполнении расчета на выносливость необходимо принимать $\gamma_s = I$, а коэффициенты условий работы вводить в величины расчетных сопротивлений бетона и арматуры согласно указаниям главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

6.I6. Нормативную величину момента короткого замыкания генератора $M_{n,sc}$ (тс.м) следует принимать по заданию завода-изготовителя турбоагрегата (см.п.2.3), а при ее отсутствии в задании - по формуле

$$M_{n,sc} = 0,975 \frac{N}{n_z} K_{sc}, \qquad (2)$$

где N - номинальная мощность турбоагрегата, кВт; n_z - рабочая скорость турбоагрегата, об/мин; K_{sc} - коэффициент кратности вращающего момента при коротком замыкании (задается заводом).

Расчетный момент короткого замыкания генератора M_{sc}, тс.м, определяется по формуле

$$M_{sc} = M_{n,sc} \frac{\gamma_f}{\gamma_{s,sc}}, \qquad (3)$$

где $\gamma_{s,sc}$ - коэффициент условий работы, учитывающий внезапное приложение нагрузки. Коэффициенты принимают равными: $\gamma_f = I$, $\gamma_{s,sc} = 0,5$. Величину M_{sc} учитывают в расчетах по прочности как статическую нагрузку, эквивалентную динамическому воздействию нагрузки от короткого замыкания.

6.I7. В расчетных сочетаниях нагрузки и усилия от динамического воздействия турбоагрегата, тепловых деформаций турбины и трубопроводов, короткого замыкания генератора и сейсмического воздействия должны учитываться в двух вариантах: со знаком "плюс" и со знаком "минус", поскольку их направление может изменяться.

6.I8. Элементы фундамента, к которым могут быть приложены монтажные нагрузки, должны быть рассчитаны на их действие.

6.I9. Допустимые деформации кручения (уклон верхней грани) ригелей поперечных рам под опорами роторов высокого и среднего давления, вызываемые тепловыми перемещениями турбины, должны приниматься по заданию завода-изготовителя турбины дифференцированно в зависимости от количества опор на ригеле и особенностей конструкции турбины, но не менее 0,2 мм/м.

6.20. Расчет деформаций кручения следует выполнять для ригелей поперечных рам под опорами роторов высокого и среднего давления от действия расчетных значений горизонтальных сил и крутящих моментов, вызываемых тепловыми перемещениями турбины. Величины этих нагрузок необходимо принимать по заданию завода-изготовителя турбины (см.п.2.I) с коэффициентом надежности по нагрузке, равным I,05. Жесткость при кручении тавровых ригелей, имеющих соответствующие размеры поперечного сечения, следует определять согласно приложению.

6.2I. Расчет элементов верхнего строения фундаментов по раскрытию трещин следует выполнять на основное сочетание расчетных нагрузок, в которое включают:

постоянные нагрузки G ($\gamma_f = 1{,}0$),

длительные нагрузки от тепловых деформаций турбины и трубопроводов T ($\gamma_f = 1{,}0$),

длительные динамические нагрузки P_{d1} ($\gamma_f = 2{,}0$).

$$G \pm T \pm P_{d1}. \qquad (4)$$

Таблица 3

Коэффициенты надежности по нагрузке. Нижняя плита

НАГРУЗКИ	Коэффициент надежности по нагрузке		Учитывается в расчетах	
	в расчетах прочности и трещиностойкости	в расчетах по деформациям	прочности и трещиностойкости	по деформациям
I. Постоянные				
I.I. Собственная масса плиты	I,I	I,0	+	+
I.2. Масса грунта и бетонного пригруза конденсационного подвала на уступах плиты	I,I	I,0	+	+
I.3. Масса перекрытий, площадок и др. конструкций, непосредственно опирающихся на плиту	I,I	I,0	+	+
I.4. Масса верхнего строения фундамента и площадок, опирающихся на него	I,I	I,0	+	+
I.5. Масса турбоагрегата, масса вспомогательного оборудования, расположенного на плите и верхнем строении фундамента и на опирающихся на них перекрытиях и площадках	I,05	I,0	+	+
I.6. Масса воды, заполняющей конденсатор	I,0	I,0	+	+
2. Временные				
2.I. Дополнительная масса воды при гидравлических испытаниях вакуумной системы турбины	I,0	-	+	-
2.2. Монтажная равномерно распределенная нагрузка на перекрытиях и площадках, непосредственно опирающихся на верхнее строение фундамента. Нормативная нагрузка принимается по заданию, но не более 0,5тс/м^2	I,0	-	+	-
2.3. Монтажная равномерно распределенная нагрузка на нижнюю плиту от перекрытия конденсационного подвала. Нормативная нагрузка принимается по заданию, но не более I,0 тс/м^2	I,0	-	+	-

Таблица 4

Коэффициенты надежности по нагрузке. Верхнее строение

Нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке
I. Постоянные	
I.I. Масса фундамента и опирающихся на него площадок	I,I
I.2. Масса турбоагрегата, включая массу вращающихся частей; масса вспомогательного оборудования, расположенного как на фундаменте, так и на площадках, опирающихся на него	I,05
I.3. Масса воды, заполняющей конденсатор	I,0
I.4. Масса изоляции оборудования	I,2
2. Временные длительные	
2.I. От тепловых деформаций турбины и трубопроводов	I,05
2.2. Динамические нагрузки (вынуждающие силы), соответствующие условиям нормальной эксплуатации турбоагрегата:	
а) при расчете колебаний;	I,0
б) при расчете раскрытия трещин	2,0
3. Кратковременные	
3.I. Масса воды при гидравлическом испытании вакуумной системы турбины	I,0
3.2. Монтажное равномерно распределенное нагрузки на верхней плите фундамента, а также на площадках, опирающихся на него	I,2
3.3. Нагрузки от монтажных кранов, опирающихся на элементы фундамента	I,2
3.4. Динамические нагрузки, соответствующие максимальной неуравновешенности роторов турбоагрегата в отдельные эксплуатационные периоды	5,0
4. Особые нагрузки и воздействия	
4.I. Нагрузки, передаваемые на фундамент в аварийных условиях – короткое замыкание на генераторе, вылет лопаток и др., сейсмические воздействия	I,0

Таблица 5

Динамические нагрузки

Динамическая нагрузка категория	степень неуравновешенности	Обозначение норм. расч.	Коэффициенты надежности условий по нагрузке работы γ_f	γ_S	Предельная величина нагрузки	Используется в расчетах
I	Неуравновешенность при нормальной эксплуатации турбоагрегата	P_{dn1}	-	-	не более 0,I5 R	виброперемещений
		P_{d1}	2,0	I,0	не более 0,30 R	раскрытия трещин
2	Максимальная неуравновешенность, возможная при эксплуатации турбоагрегата	P_{d2}	5,0	0,5	не более I,5 R	прочности при многократно повторяющейся нагрузке в основном сочетании
3	Максимальная неуравновешенность в аварийных условиях	P_{dn3}	-	-	см.п. 6.I3	
		P_{dn3}	I,0	I,0		прочности в особом сочетании

6.22. При определении внутренних усилий в элементах верхнего строения фундамента от действия всех нагрузок, а также при расчетах деформаций и колебаний этих элементов расчетную схему фундамента необходимо принимать в виде пространственной рамной системы.

Колонны фундамента рассматриваются как стержни, защемленные в уровне верхней грани фундаментной плиты.

6.23. Расчет фундаментов под турбоагрегаты на сейсмическое воздействие должен производиться по схеме пространственной стержневой системы. При этом массы фундамента и турбоагрегата приводятся к узлам пространственной рамы.

Таблица 6

Сочетания нагрузок или усилий

№ сочетания	Расчетные условия	Категория сочетания	Сочетания нагрузок или усилий	
I	Монтаж и испытания турбоагрегата	основное	$G + P_{ht}$	
2	Эксплуатация турбоагрегата	основное	$G \pm T \pm P_{d2}$	$G \pm T \pm V_2$ $G \pm T \pm H_2$
3	Авария турбоагрегата (короткое замыкание)	особое	$G \pm M_{sc} \pm$ $\pm 0{,}8 P_{d2}$	$G \pm M_{cs} \pm 0{,}8 V_2$ $G \pm M_{cs} \pm 0{,}8 H_2$
4	Авария турбоагрегата (вылет лопаток и т.п.)	особое	$G \pm P_{d3}$	$G \pm V_3$ $G \pm H_3$
5	Сейсмическое воздействие	особое	$0{,}9G \pm 0{,}8T \pm$ $\pm S \pm P_{d1}$	$0{,}9G \pm 0{,}8T \pm S_e \pm P_{d1}$ $0{,}9G \pm 0{,}8T \pm S_a \pm P_{d1}$

Буквенные обозначения в табл.6: G - постоянные нагрузки; P_{ht} - дополнительная нагрузка от массы воды при гидравлическом испытании вакуумной системы турбины; T - нагрузки от тепловых перемещений турбины и трубопроводов; V,H - вертикальная и горизонтальная компоненты динамических нагрузок; S - сейсмическая нагрузка горизонтального поперечного (S_t) и осевого (S_a) направлений.

6.24. Расчет по несущей способности железобетонных элементов фундаментов должен производиться по СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции".

7. ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

7.I. Динамический расчет фундамента турбоагрегата должен включать:

а) расчет на колебания, в котором определяются динамические характеристики фундамента для проверки их соответствия нормативным требованиям (см.пп.7.3, 7.8-7.I3);

б) расчет на колебания, в котором определяются внутренние динамические усилия в железобетонных элементах фундаментов, используемые в сочетаниях усилий при расчетах по прочности и раскрытию трещин.

7.2. Динамическим расчетом должны быть определены:

а) на стадии "проект" - при подборе геометрических размеров элементов - динамическая податливость (амплитуда колебаний при единичной возмущающей силе) элементов фундамента, не нагруженного оборудованием, во всех точках передачи на фундамент динамических нагрузок от подшипников валопровода;

б) на стадии "рабочая документация" - виброперемещения и внутренние динамические усилия (амплитуды и фазы) в элементах фундамента, к которому присоединены массы турбоагрегата, от одновременного и синфазного действия всех динамических нагрузок (вынуждающих сил), создаваемых турбоагрегатом. В соответствии с заданием завода действие нагрузок P_{dj} может быть принято противофазным.

Примечания: I. При выполнении расчета следует использовать геометрические схемы, наиболее полно учитывающие особенности пространственной структуры рамной конструкции фундамента. 2. В расчет должны вводиться величины поперечных сечений ригелей с набетонкой, если она соединена с ригелями при помощи арматуры. Если такая связь отсутствует, набетонка учитывается лишь в виде массы.

7.3. Оценку динамических характеристик при выборе варианта фундамента на стадии "проект" рекомендуется выполнять с учетом возможного разброса значений модуля упругости бетона и логарифмического декремента колебаний.

За окончательное расчетное значение динамической податливости фундамента на каждой частоте в каждом сечении должно приниматься наибольшее из полученных расчетных результатов с коэффициентом надежности I,2.

В наиболее ответственных случаях (для фундаментов новой конструкции при единичной мощности турбоагрегатов I200 МВт и более) рекомендуется дополнительно выполнять проверочный расчет фундамента при фактических значениях модуля упругости отдельных железобетонных элементов, определенных в натурных условиях до монтажа фундамента.

7.4. В рабочей документации должны быть помещены указания о классе бетона, а также о необходимости изготовления всех элементов и узлов из одинаковых материалов.

7.5. Расчеты по определению динамической податливости следует выполнять как минимум для диапазона частот 42–60 Гц раздельно для вертикального и горизонтального поперечного и осевого направлений.

7.6. Виброперемещения и динамические усилия должны определяться для каждого стержня пространственной рамы фундамента не менее чем в трех сечениях: два у концевых опор и одно в середине пролета стержня.

7.7. В сочетания усилий, используемых в расчете элементов фундаментов по прочности, следует включать максимальные значения усилий для диапазона частот от 40 до 60 Гц.

7.8. Динамические характеристики элементов фундамента, не нагруженного оборудованием, определенные расчетом в диапазоне частот от 47 до 55 Гц, должны удовлетворять требованиям РТМ I08.02I.IC2–85, ограничивающим значения модулей коэффициентов динамической податливости нижеуказанными величинами (пп.7.9–7.II).

7.9. В местах передачи на фундамент динамических нагрузок от выносных подшипников роторов турбины в вертикальном и горизонтальном (поперечном) направлениях модуль главных коэффициентов динамической податливости элементов фундамента не должен превышать значений, указанных в табл.7.

Таблица 7

Статическая нагрузка на площадку фундамента от массы ротора, тс	20 и менее	30	40	50	60
Модуль главного коэффициента динамической податливости фундамента, мкм/тс	6,50	4,50	4,00	3,50	3,00

Для промежуточных величин статических нагрузок на площадки фундамента от масс роторов допустимые значения модулей главных коэффициентов динамической податливости должны определяться интерполированием.

7.10. В местах передачи на фундамент динамических нагрузок от ротора возбудителя генератора модули главных коэффициентов не должны превышать 4 мкм/тс.

7.11. В местах передачи на фундамент динамических нагрузок от выносных подшипников роторов модули побочных коэффициентов динамической податливости в осевом (продольном) направлении фундамента должны определяться расчетом и согласовываться с предприятием-изготовителем турбоагрегата.

7.12. В местах передачи на фундамент динамических нагрузок от встроенных подшипников при массах роторов от 25 до 50 т на площадках, расположенных на ригелях поперечных рам фундамента по оси валопровода, и на продольных балках по осям встроенных подшипников в вертикальном и горизонтальном (поперечном) направлениях модули главных коэффициентов динамической податливости не должны превышать 8 мкм/тс.

7.13. Расчетные значения амплитуд виброперемещений при действии динамических нагрузок, соответствующих условиям нормальной эксплуатации турбоагрегата P_{dn1} для несущих балок и плит верхнего строения фундамента на отметке обслуживания, учитывая воздействие на персонал менее 1 ч в течение рабочего дня, не должны превышать 25 мкм в диапазоне 47-55 Гц.

7.14. Значение динамического модуля упругости железобетона должно назначаться для расчета фундамента на колебания по данным главы СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции", а величина логарифмического декремента должна приниматься равной 0,13 для ненагруженного фундамента под головной турбоагрегат.

7.15. Величины модуля сдвига бетона G и плотности железобетона для динамического расчета фундаментов следует принимать равными соответственно 0,4 E и 2500 кг/м^3.

7.16. При расчете фундамента после установки турбоагрегата величину логарифмического декремента колебаний следует назначать равной 0,30.

При расчете несущей способности элементов фундамента на сочетания, включающие аварийные нагрузки, величину логарифмического декремента следует принимать равной 0,40.

8. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТА И ОСНОВАНИЯ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ

8.1. Расчет фундамента и основания по деформациям заключается в определении прогиба фундаментной плиты на снимаемом основании.

8.2. Расчетный относительный прогиб фундаментной плиты

(отношение стрелы прогиба к длине плиты) за 4-летний межремонтный период эксплуатации не должен превышать:

0,0001 – при длине турбоагрегата в осях крайних подшипников до 40 м;

0,00015 – при длине турбоагрегата в осях крайних подшипников 70 м и более.

При промежуточных величинах длины турбоагрегата (40-70 м) допустимую величину относительного прогиба определяют интерполированием.

Величина прогиба должна отсчитываться от состояния, соответствующего пуску турбоагрегата в эксплуатацию после монтажа или капитального ремонта.

8.3. Расчет по деформациям следует производить на постоянные нагрузки, указанные в разделе 6. При этом необходимо принимать коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$.

Примечание. Нагрузки на плиту допускается определять без учета их перераспределения верхним строением фундамента.

8.4. В расчетах по деформациям следует рассматривать плиту, работающую на изгиб в продольном и поперечном направлениях.

Примечание. Допускается определять изгиб плиты в продольном направлении, принимая плиту абсолютно жесткой в поперечном направлении.

8.5. Необходимая жесткость плиты должна определяться расчетом исходя из того, что при действии постоянных нагрузок и нагрузок от гидравлического испытания вакуумной системы турбины трещины в растянутой зоне плиты не образуются.

8.6. Расчет по деформациям фундамента и основания необходимо выполнять с учетом жесткости фундаментной плиты и пространственной рамы верхнего строения. Допускается выполнять расчет, учитывая жесткость только фундаментной плиты, принимаемую по формуле

$$B_{sl} = \frac{\varphi_{b1}}{\varphi_{b2}} E_b I_{red}, \qquad (5)$$

где φ_{b1} - коэффициент, учитывающий влияние кратковременной ползучести бетона и принимаемый для тяжелого бетона равным 0,85; φ_{b2} - коэффициент, учитывающий влияние длительной ползучести бетона без трещин и принимаемый равным I,3 или определяемый по рекомендациям НИИЖБ в зависимости от возраста бетона при загружении, влажности среды, жесткости бетонной смеси, модуля открытой поверхности плиты; E_b - начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении, принимаемый с учетом его возраста согласно табл.8; I_{red} - момент инерции приведенного сечения плиты относительно его центра тяжести, определяемый по указаниям главы СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции".

Примечание. Величину I_{red} определяют по главе СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции".

8.7. В расчете по деформациям следует, как правило, применять расчетную схему основания в виде линейно деформируемого слоя толщиной H или H_c.

8.8. При ширине фундамента $b < 10$ м или при среднем значении модуля деформации грунтов основания $E < 12$ МПа нижняя граница сжимаемой толщи основания принимается на глубине

$$z = H_c, \qquad (6)$$

при которой выполняется условие

$$\sigma_{zp} = 0,2\,\sigma_{zg}. \qquad (7)$$

Здесь σ_{zp} и σ_{zg} – вертикальное нормальное напряжение на глубине z по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента от внешней нагрузки и от собственного веса грунта (σ_{zp} и σ_{zg} определяются в соответствии с указаниями СНиП 2.02.0I-83).

При расположении нижней границы слоя в грунте с $E < 5$ МПа или при залегании такого грунта непосредственно ниже этой границы он включается в сжимаемую толщу. Нижнюю границу сжимаемого слоя в этом грунте следует определять исходя из условия

$$\sigma_{zp} = 0,1\,\sigma_{zg}. \qquad (7')$$

8.9. При ширине фундамента $b \geq$ IC м и модуле деформации грунтов основания $E \geq$ I2 МПа и отсутствии слоев с $E <$ IC МПа толщина линейно деформируемого слоя H вычисляется по формулам (8) и (9):

$$H = H_0 + \Psi b, \qquad (8)$$

где H_0 и Ψ – принимают соответственно равными для оснований, сложенных пылевато-глинистыми грунтами 9 и C,25; песчаными грунтами 6 и C,2.

Если основание сложено пылевато-глинистыми и песчаными грунтами, значение H определяется по формуле

$$H = H_S + h_{cl/s}, \qquad (9)$$

где H_S – толщина слоя, вычисленная по формуле (8) в предположении, что основание сложено только песчаными грунтами;

h_{cl} – суммарная толщина слоев пылевато-глинистых грунтов в пределах от подошвы фундамента до глубины, равной H_{cl} – значению H, вычисленному по формуле (8) в предположении, что основание сложено только пылевато-глинистыми грунтами.

8.I0. Если в пределах сжимаемой толщи основания, определенной из условий (7), (7') или (8), (9), включая ее нижнюю границу, залегает слой грунта с модулем $E \geqslant I00$ МПа или если в пределах сжимаемой толщи основания имеется слой грунта толщиной h_1 с модулем деформации $E_1 \geqslant I00$ МПа, подстилаемый грунтом с модулем деформации E_2, причем соблюдается условие $h_1 \geqslant H_c\left(1-\sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}}\right)$, то сжимаемую толщу следует ограничить кровлей грунта с E $(E_1) \geqslant I00$ МПа.

8.II. В расчетах по деформациям допускается использовать средние в пределах сжимаемой толщи H_c значения модуля деформации $\bar{E}$ и коэффициента Пуассона $\bar{\nu}$ грунтов основания, которые должны определяться для однородных по геологическому строению участков основания в пределах площади подошвы фундаментной плиты. Осредненные для всей площади основания значения $\bar{E}_{cp}$ и $\bar{\nu}_{cp}$ должны определяться как отношение суммы значений $\bar{E}$ и $\bar{\nu}$ отдельных участков основания, умноженных на их площадь, к суммарной площади подошвы плиты. Осредненный модуль деформации для всей площади основания допускается принимать лишь при отличии не более чем на 20 % между наименьшим и наибольшим значениями $\bar{E}$. При отличии более чем на 20 % следует принимать переменную величину модуля деформации по длине плиты.

8.I2. Средние в пределах сжимаемой толщи значения $\bar{E}$ и $\bar{\nu}$ необходимо определять по приложению к главе СНиП "Основания зданий и сооружений".

8.I3. В расчетах длительных деформаций оснований (и фундаментных плит) необходимо учитывать консолидацию и ползучесть глинистых грунтов сжимаемой толщи при одном из следующих видов оснований:

а) однородное основание в пределах сжимаемой толщи, сложенной грунтами со значениями коэффициентов фильтрации $K_{ф} = I0^{-6} \ldots I0^{-7}$ см/с;

б) неоднородное основание в пределах сжимаемой толщи, если оно содержит переслаивающиеся слои связных (глинистых) и несвязных дренирующих грунтов (песчаных и крупнообломочных) при мощности глинистых слоев: более 2 м – при одностороннем дренировании слоя, более 4 м – при двустороннем дренировании;

в) если одновременно выполняются следующие условия:

коэффициент сжимаемости $a \geq 0{,}0025$ см^2/кг,

степень влажности грунта $S_r \geq 0{,}8$.

Ползучесть скелета глинистых грунтов следует учитывать, если по результатам испытаний в лабораторных условиях образцов природного сложения длительные деформации составляют не менее 20 % упругих, а скорость ползучести бетона менее $0{,}00I$ ч$^{-I}$. В расчетах длительных деформаций фундаментных плит необходимо учитывать ползучесть бетона плит.

8.I4. Для фундаментов турбоагрегатов мощностью 800 МВт и менее допускается приближенно оценивать длительные деформации

Таблица 8

Вид сопротивления	Возраст бетона, мес.	Нормативные и расчетные сопротивления тяжелого бетона для предельных состояний первой и второй групп, начальные модули упругости бетона, кг/см²							
		при классе бетона по прочности на сжатие					при классе бетона по прочности на осевое растяжение		
		В15	В20	В22,5	В25	В30	B_t 1,6	B_t 2,0	B_t 2,4
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
Сжатие осевое (призменная прочность)	I	II2	I53	I70	I89	224	-	-	-
	6	I43	I89	209	220	270	-	-	-
$R_{bn}(R^{H}_{пр})$, $R_{b,ser}(R_{пр}II)$	I2	I5I	I97	2I8	239	280	-	-	-
	I8	I55	204	226	248	290	-	-	-
Растяжение осевое	I	II,7	I4,3	I5,0	I6,3	I8,4	I6,0	20,0	24,0
	6	I3,4	I6,3	I7,I	I8,2	20,I	I7,4	2I,I	24,8
$R_{btn}(R^{H}_{p})$, $R_{bt,ser}(R_{p}II)$	I2	I3,9	I6,8	I7,5	I8,7	20,6	I7,9	2I,6	25,I
	I8	I4,2	I7,I	I7,9	I9,0	20,9	I8,2	2I,9	25,3

Продолжение таблицы 8

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
Сжатие осевое (призменная прочность) $R_в$ ($R_{пр}$)	I	86,7	II7	I35	I48	I73	–	–	–
	6	II0	I42	I6I	I76	208	–	–	–
	I2	II6	I48	I68	I84	2I7	–	–	–
	I8	I20	I54	I74	I90	223	–	–	–
Растяжение осевое $R_{вt}$ ($R_р$)	I	7,65	9,I8	I0,0	I0,7	I2,2	I2,7	I5,8	I8,9
	6	8,94	I0,5	II,4	I2,0	I3,3	I3,8	I6,6	I9,6
	I2	9,29	I0,9	II,7	I2,3	I3,7	I4,I	I7,0	I9,9
	I8	9,47	II,I	II,9	I2,5	I3,9	I4,4	I7,2	20,0
Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении (естественное твердение) $E_в$	I	235000	275000	290000	306000	33I000	290000	358000	390000
	6	262000	298000	3II000	323000	342000	3II000	384000	4I9000
	I2	270000	304000	3I7000	329000	347000	3I7000	389000	42I000
	I8	274000	308000	32I000	333000	350000	32I000	392000	423000

Примечание. Таблица составлена на основании данных НИИЖБ.

плиты на однородном виброустойчивом основании, протекающие в 4-летний эксплуатационный период (табл.9), как долю от расчетной величины полной деформации (прогиба), определенного согласно указаниям пп.8.3-8.I4.

Таблица 9

Виды и характеристики грунтов	Доля полной деформации, приходящаяся на 4-летний период
I. Галечниковый, щебенистый, гравийный, дресвяный грунты. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, плотные, независимо от степени влажности.	0
2. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, средней плотности. Пески мелкие, плотные, независимо от степени влажности	0,I
3. Пески мелкие, средней плотности, независимо от степени влажности. Пески пылеватые, плотные и средней плотности, маловлажные	0,2
4. Пески пылеватые плотные и средней плотности, влажные, водонасыщенные	0,3
5. Непросадочные и ненабухающие: супеси твердые, суглинки и глины твердые и полутвердые	0,4
6. Непросадочные и ненабухающие: супеси пластичные, суглинки и глины тугопластичные и мягкопластичные	0,5

При неоднородном основании, сложенном грунтами различных видов, долю прогиба, протекающего за четырехлетний эксплуатационный период, следует определять как среднее значение.

8.I5. При основаниях, сложенных водонасыщенными глинистыми грунтами, допускается также приближенная оценка величины прогиба фундаментной плиты турбоагрегатов мощностью 800 МВт и менее, протекающего за 4-летний эксплуатационный период, как разницы между расчетными прогибами, соответствующими расчетным эпюрам реактивного давления:

линейной эпюре, соответствующей моменту пуска турбоагрегата;

эпюре по схеме упругого линейно деформируемого основания, соответствующей моменту стабилизации прогиба после завершения процесса консолидации.

8.I6. Для турбоагрегатов мощностью 800 МВт и более при снимаемой толще основания, сложенной полностью или преимущественно глинистыми консолидирующими грунтами, в расчетах деформаций плиты и основания необходимо учитывать влияние нагрузок от соседних фундаментов, расположенных вдоль плиты и по ее торцам.

8.I7. При проведении полевых испытаний на виброползучесть согласно рекомендациям НИИОСП и ДИИТ (см.п.3.I5) и определении $E_{общ} = K_{\varepsilon} E$ (где K_{ε} – коэффициент снижения статического модуля) в расчете деформаций фундаментной плиты следует принимать расчетную схему основания с переменным модулем деформации по длине плиты. Расчет должен выполняться по наиболее невыгодной схеме расположения участков со статическим модулем деформации E и сниженным модулем $E_{общ}$.

8.I8. Среднее давление от статических нагрузок на основание под подошвой нижней плиты фундамента не должно превышать С,8 расчетного сопротивления грунтов основания, определенного по главе СНиП "Основания зданий и сооружений". Для оснований, сложенных из мелких и пылеватых водонасыщенных песков и пылевато-глинистых грунтов текучей консистенции, дополнительно вводится коэффициент условий работы 0,7.

8.I9. При сваях, опертых нижним концом на сжимаемые грунты с модулем деформации менее IC0 МПа, расчет деформаций должен выполняться как для плиты, непосредственно лежащей на этих грунтах, в соответствии с пп.8.3-8.I8. Расчет несущей способности свай следует производить в соответствии с главами СНиП "Свайные фундаменты" и "Фундаменты машин с динамическими нагрузками".

8.20. При проектировании турбоагрегатов мощностью более 800 МВт оценку динамической прочности и устойчивости несвязных и слабосвязных грунтов рекомендуется дополнительно производить путем выполнения расчетов статического и динамического напряженного состояния основания методами динамики сплошных сред, разработанными ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева.

9. ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУИРОВАНИЮ

9.I. Конструирование железобетонных элементов фундаментов турбоагрегатов должно выполняться в соответствии с главой СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции" и действующими нормативными документами.

9.2. Для армирования железобетонных элементов фундаментов должна применяться стержневая арматурная сталь.

9.3. При назначении сечений арматуры по расчету следует применять арматуру класса А-Ш. Конструктивную арматуру и хомуты, как правило, принимают класса А-I.

9.4. Площадь сечения продольной арматуры в железобетонных элементах фундаментов (в процентах от площади сечения бетона) должна приниматься не ниже указанной в табл.IC.

Таблица IO

Условия работы арматуры	Минимальная площадь сечения продольной арматуры в железобетонных элементах (% площади сечения бетона)
I. Арматура S изгибаемых, а также S и S' внецентренно растянутых элементов верхнего строения	0,I5
2. Арматура S и S' внецентренно сжатых колонн при	
$l_0/h < 5$	0,I0
$5 \leq l_0/h \leq I0$	0,I5
$I0 \leq l_0/h \leq 24$	0,20
$l_0/h > 24$	0,25
3. Арматура фундаментной плиты:	
а) в продольном направлении плиты:	
по нижней грани	0,I5
по верхней грани	0,I0
б) в поперечном направлении плиты:	
по нижней грани при ширине плиты по подошве $b > 8$ м	0,I0
по верхней грани и по нижней грани при ширине плиты по подошве $b \leq 8$ м	0,05
в) при практически несжимаемых грунтах основания в обоих направлениях плиты по нижней и верхней граням	0,05

Примечания: I. Здесь и далее буквенные обозначения приняты в соответствии с главой СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции". 2. Для элементов таврового сечения минимальную площадь сечения продольной арматуры назначают в процентах от площади сечения ребра. 3. Практически несжимаемыми грунтами считают скальные и нескальные грунты с модулем деформации $E \geq$ I00 МПа.

9.5. Минимальный процент содержания арматуры во внецентренно сжатых элементах, несущая способность которых при расчетном эксцентриситете используется менее чем на 50 % независимо от гибкости элементов, принимается равным 0,05.

9.6. Закладные и монтажные изделия применяют, как правило, по действующим альбомам унифицированных изделий.

Для закладных и монтажных изделий, а также стальных конструкций опор под элементы турбоустановки и площадок в пределах фундаментов должна применяться сталь в соответствии с указаниями главы СНиП "Бетонные и железобетонные конструкции".

9.7. Класс бетона элементов фундамента должны приниматься в соответствии с указаниями раздела 4.

9.8. Фундаментные плиты армируют по расчету или конструктивно. Кроме расчетной или конструктивной нижней и верхней арматуры устанавливают дополнительную арматуру по боковым граням, а также в теле массива в виде пространственной решетки из стержней диаметром I2-20 мм через 600-700 мм в каждом из трех направлений. При этом площадь сечения стержней дополнительной арматуры, расположенных в растянутой зоне должна быть не менее 0,I % площади сечения бетона, ее учитывают, как арматуру S (см.п.9.4 и табл.I0).

9.9. Армирование фундаментных плит рекомендуется выполнять исходя из указанной последовательности производства работ:

а) укладывают нижний ряд арматуры из отдельных стержней на вязке или из сеток;

б) устанавливают пространственные каркасы - этажерки размерами в плане 600х600 ... 700х700 мм и высотой, соответствующей высоте плиты. Каркасы прикрепляют к нижнему ряду арматуры с помощью привариваемых коротышей круглого профиля. Шаг каркасов 2,5-3,5 м;

в) укладывают горизонтальные стержни с приваркой их к пространственным каркасам, устанавливают вертикальную противоусадочную арматуру и соединяют стержни в пересечениях на вязке или сварке.

Растянутую арматуру фундаментных плит толщиной более 2 м (по верхней и нижней граням в продольном направлении) следует располагать в 2-3 ряда в зоне, равной 0,15 толщины плиты. В этих рядах сосредотачивают не менее 80 % площади сечения арматуры.

Выпуски арматуры для стыкования с продольными стержнями колонн устанавливают по кондуктору, заделывают в плиту на требуемую длину анкеровки и прикрепляют к арматуре плиты.

9.10. Сборные колонны должны проектироваться из одного заводского изделия без стыков по длине. Сборные балки проектируют одно- и двухпролетными в зависимости от предельно допустимой массы сборных элементов. Стыки сборных балок по длине в пролете не допускаются.

9.11. Предельно допустимую массу сборных железобетонных элементов следует принимать в зависимости от грузоподъемности

кранов на заводе железобетонных конструкций и на строительной площадке, условий изготовления на заводе, а также грузоподъемности средств железнодорожного транспорта. При необходимости применяют сборно-монолитные балки, состоящие из сборного элемента прямоугольного или таврового сечения, по которому балка добетонируется до проектной высоты после монтажа сборных конструкций фундамента (см.также п.9.23).

9.I2. Бетонирование всех сборных железобетонных элементов за исключением индивидуальных следует предусматривать в универсальных стальных формах, дающих возможность изготавливать балки и колонны унифицированных сечений разной длины. При конструировании сборных элементов следует учитывать конструкцию стальных форм, которая диктует определенные габариты элементов и унифицированную разбивку продольной арматуры в торцевых частях изделий для стыкования в узлах замоноличивания.

9.I3. Высоту плит под возбудители следует принимать с учетом каналов и высоты закладных опорных плит под фундаментные рамы заднего подшипника генератора.

9.I4. Опирание сборных продольных балок, как правило, следует предусматривать непосредственно на сборные колонны, а ригелей поперечных рам фундамента - на консоли колонн. Допускается опирание балок на консоли колонн, а ригелей - непосредственно на колонны. Если устройство консолей в колоннах недопустимо из-за габаритов элементов турбоагрегата, то ригели и продольные балки опирают непосредственно на колонну. Это достигается устройством подрезок ригеля и балок по ширине на их приопорных

участках длиной до 500 мм. Длина опирания ригелей и балок на колонны должна быть не менее I50 мм при балках с подрезками по ширине. В расчете на поперечную силу ширину сечения балок на опорном участке принимают за вычетом подрезок, в расчете на кручение с изгибом - полную ширину сечения балок.

9.I5. Монтажный зазор между сборными колоннами и балками верхнего строения необходимо принимать высотой не менее 80-I00 мм. Балки укладывают на рихтующие подкладки, а зазор заделывают бетоном при замоноличивании узла. При высоте зазора более I00 мм балки укладывают на стальные столики, привариваемые к закладным изделиям, специально предусматриваемым в верхних торцах колонн. Между этими столиками и балкой оставляют зазор для рихтующих прокладок высотой 30-50 мм. Допускается укладка балок "насухо", т.е. без устройства под ними замоноличиваемых зазоров.

9.I6. Стыки сборных балок и колонн, как правило, следует располагать в узлах поперечных рам верхнего строения фундамента. Стыки конструируют с учетом необходимости обеспечения работы фундамента в законченном виде как монолитной рамной пространственной конструкции. Стыки выполняют со сваркой выпусков арматуры из балок и колонн, замоноличиванием и, в случае необходимости, последующим обжатием плоскостей контакта бетона замоноличивания со сборным железобетоном (см.пп.9.26-9.30).

9.I7. Армирование всех элементов верхнего строения фундаментов следует проектировать из продольных стержней, подвязываемых к поперечной арматуре.

9.I8. Колонны следует армировать симметричной продольной арматурой. Расстояние между стержнями продольной арматуры колонн

и балок по всем их граням должно приниматься не более 400 мм. Диаметр стержней арматуры – не менее I6 мм.

9.I9. Стержни продольной арматуры колонн и балок следует, как правило, принимать из целых прутков без стыков по длине. Допускаются заводские стыки стержней с соблюдением следующих условий:

количество стыкуемых прутков (заготовок) в одном стержне должно быть не более двух;

стыки выполняются с применением контактной стыковой сварки, при сварке стержней продольной арматуры балок из стали класса А-Ш должна выполняться предварительная механическая зачистка концов стыкуемых стержней.

9.20. Поперечную арматуру принимают: для колонн – из плоских сварных сеток, изготавливаемых с помощью контактной точечной сварки, для балок и ригелей – из хомутов, а при наличии согласования с заводом-изготовителем железобетонных изделий – из сварных сеток.

9.2I. Хомуты в балках принимают замкнутыми четырехсрезными, состоящими из наружного хомута, работающего на поперечную силу и кручение с изгибом, внутреннего хомута, работающего только на поперечную силу. В балках, работающих на кручение с изгибом, поперечная сила, учитываемая в расчете по прочности наклонных сечений, принимается уменьшенной на величину поперечных усилий (Q_{sw}), воспринимаемых внутренними хомутами, пересекающими наклонную трещину.

Шаг хомутов, как правило, не должен превышать 300 мм при высоте балок I500 и 500 мм – при большей их высоте. Хомуты диамет-

ром менее I2 мм следует принимать с перепуском концов (стык внахлестку), хомуты диаметром I2 мм и более - со стыком на контактной стыковой сварке с предварительной механической зачисткой концов стержня.

9.22. Поперечную арматуру полок сборных балок таврового сечения следует предусматривать во всех случаях, когда на полки опираются элементы турбоагрегата или фундамента.

9.23. В сборных элементах сборно-монолитных балок (см. п.9.II) хомуты или плоские сварные сетки поперечной арматуры следует выпускать на всю высоту сборно-монолитной балки с целью обеспечения совместной работы сечения балки на изгиб и кручение.

9.24. В сборных балках и плитах верхнего строения предусматривают выпуски арматуры (щетину) для соединения с монолитными набетонками под оборудование. Кроме того, выпуски устанавливают в пределах замоноличивания стыков сборных элементов верхнего строения, а также в монолитных набетонках для связи с бетоном подливки фундаментных рам. Выпуски принимают диаметром 8 мм из арматуры периодического профиля с шагом 200 мм в обоих направлениях.

9.25. Монтажная сварка стыков горизонтальных стержней арматуры элементов верхнего строения в зависимости от усилий в рассматриваемом сечении должна выполняться:

а) если усилия от динамических нагрузок не превышает 20 % суммы усилий от всех других нагрузок - ванно-шовная одноэлектродная по ГОСТ I4098-85;

б) если усилия от динамических нагрузок больше указанных в п.а) - ванная одноэлектродная в инвентарных формах.

9.26. С целью обжатия плоскостей контакта бетона замоноличивания стыков со сборным железобетоном (см.п.9.I6) для замоноличивания может применяться напрягающий бетон, приготавливаемый на напрягающем цементе НЦ, обеспечивающий всестороннее равномерное обжатие, экономию времени и трудозатрат. Бетон на напрягающем цементе должен отвечать требованиям нормативных документов. При бетонировании и уходе за напрягающим бетоном должны соблюдаться технологические рекомендации НИИ бетона и железобетона (НИИЖБ). Рекомендуется применять по согласованию с цементным заводом цемент марки НЦ30 и НЦ40, допускается применение цемента марки НЦ20. Проектная марка напрягающего бетона по самонапряжению должна быть не ниже S_p I,5, класс бетона по прочности на сжатие - не ниже принятого для сборных элементов.

9.27. При отсутствии производственных возможностей для применения напрягающего бетона допускается применение напрягаемых арматурных стержней для обжатия плоскостей контакта бетона замоноличивания стыка с торцами колонн и ригелей.

9.28. Усилия натяжения напрягаемых стержней принимают исходя из обеспечения сжимающих напряжений по плоскостям контакта монолитного и сборного бетона у растянутых граней сечений элементов.

9.29. При выполнении обжатия плоскости контакта верхнего торца колонны с бетоном замоноличивания стыка напрягаемые стержни устанавливают по всем четырем граням колонны в количестве не менее двух на каждой грани. Для обеспечения равномерной эпюры сжимающих напряжений напрягаемые стержни располагают в выемках,

оставлен . в колоннах, и приваривают к выпускам из колонн на расстоянии не менее 300 мм от торца колонн. Напрягаемые стержни пропускают через вертикальные каналы, предусматриваемые на приопорных участках балок, опирающихся на колонну, а по внешней грани рамного узла – через каналы, оставленные при замоноличивании стыка. Усилие натяжения не должно передаваться на каналообразователь.

9.30. Горизонтальные напрягаемые стержни, обтекающие плоскость контакта верхней растянутой зоны ригеля поперечной рамы фундамента с бетоном замоноличивания стыка, предусматривают в количестве не менее двух. Стержни приваривают к верхней рабочей арматуре ригеля и заключают в трубки-каналообразователи, предусматриваемые в ригеле на участке длиной 300 мм от торца. Усилие натяжения не должно передаваться на каналообразователь.

9.3I. При соотношении погонных жесткостей элементов верхнего строения и стоек I0:I и более и выполнении при этом верхнего строения сборно-монолитным с высотой монолитного пояса не менее 600 мм, обоймы бетона узлов сопряжения верхнего строения, как правило, не предусматривают.

9.32. Во всех отверстиях в элементах фундамента при размере диаметра или сторон отверстий более 300 мм надлежит предусматривать окаймляющую противоусадочную арматуру из стержней диаметром I0–I2 мм из стали класса А-I, расположенных через I50–200 мм. Если отверстие любого диаметра ослабляет сечение или перерезает рабочую арматуру, то окаймляющую арматуру принимают по расчету.

9.33. Отверстия для пропуска анкерных болтов и шпилек крепления турбоагрегата в балках верхнего строения образуют закладными

асбестоцементными трубами с соблюдением указаний п.5.27.

9.34. На чертежах сборных элементов должны быть указаны места нанесения рисок, облегчающих монтаж и выверку. Местоположения рисок определяют в зависимости от конфигурации сборных элементов и от конструкции узлов их сопряжения.

9.35. Монтажные (подъемные) петли сборных элементов принимают по альбомам унифицированных изделий Госстроя и АЭПа, а также, при необходимости, - по индивидуальным чертежам. При больших усилиях допускается применение спаренных петель из двух одинаковых стержней диаметром 25, 32, 36 мм с соблюдением следующих требований:

допуск на размеры криволинейного участка петли - I мм;

допуск на взаимное смещение стержней в вертикальном направлении - 0,06 диаметра стержня;

сварка стержней между собой допускается только в пределах прямой части стержней, на криволинейном участке допускаются только фиксирующие сварные прихватки.

9.36. Высота монолитных набетонок по сборным элементам верхнего строения определяется глубиной каналов для трубопроводов, а также высотой фундаментных плит турбоагрегата и элементов присоединения их к фундаменту.

9.37. Армирование монолитных фундаментов должно выполняться с учетом следующих рекомендаций и указаний:

а) при сооружении фундамента с использованием инвентарных несущих лесов и подмостей или инвентарных несущих элементов опалубки рекомендуется применять гибкую вязаную арматуру;

б) при отсутствии инвентарных лесов или несущих элементов опалубки рекомендуется применять несущие пространственные сварные арматурные каркасы, к которым на монтаже крепят инвентарные

шить опалубки, после чего монтируют арматурно-опалубочные блоки.

9.38. Фундаменты турбоагрегатов, сооружаемых в сейсмических районах, должны соответствовать требованиям главы СНиП "Строительство в сейсмических районах". При соотношении длины элемента к его поперечному размеру более 5 хомуты ставят с учетом следующих указаний:

на приопорных участках колонн и в примыканиях к рамным узлам на длине, равной высоте сечения, шаг хомутов принимают не более I50 мм;

на приопорных участках ригелей и продольных балок при высоте сечения $h < I500$ мм на длине, равной h, и при $h \geq I500$ мм на длине, равной $0{,}75h$, шаг хомутов принимают I50-25C мм в зависимости от размеров сечений и сейсмичности района.

9.39. Для проведения приемочных динамических испытаний фундаментов головных турбоагрегатов в соответствии с требованиями РТМ I08.02I.I02-85 необходимо предусмотреть:

анкерные болты для крепления вибраторов в пределах площадок передачи на элементы фундамента динамических сил;

закладные детали в элементах фундамента для крепления вибродатчиков.

9.4C. Для проведения приемочных испытаний фундаментов головных турбоагрегатов по контролю деформации кручения ригелей поперечных рам под опорами роторов высокого и среднего давления в этих элементах должны быть предусмотрены закладные детали для крепления силового устройства и измерительных приборов.

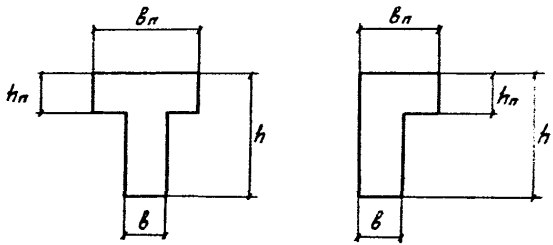
9.4I. На заглавном листе рабочих чертежей фундамента под головной турбоагрегат и под серийный турбоагрегат, если конструкция его фундамента существенно отличается от той, которая была

осуществлена для головного турбоагрегата, должно быть помещено указание о недопустимости сдачи фундамента под монтаж турбоагрегата без проведения приемочных испытаний по контролю его динамических податливостей и деформаций кручения ригелей в соответствии с РТМ I08.02I.I02-85.

ПРИЛОЖЕНИЕ
Рекомендуемое

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРУТИЛЬНОЙ ЖЁСТКОСТИ РИГЕЛЕЙ

СХЕМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ РИГЕЛЕЙ



ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

№ № п/п	Тип профиля	Размеры сечений				I_t
		h	b	$b_п$	$h_п$	
I	I-образный	I,5	0,7	I,35	0,5	0,I53
2	Тавровый	I,5	0,7	2,0	0,5	0,I93
3	I-образный	2,I	0,7	I,35	I,I	0,447
4	Тавровый	2,I	0,7	2,0	I,I	0,789
5	I-образный	I,5	I,0	I,5	0,4	0,306
6	Тавровый	I,5	I,0	2,0	0,4	0,328
7	I-образный	2,I	I,0	I,5	I,0	0,697
8	Тавровый	2,I	I,0	2,0	I,0	0,952
9	I-образный	I,8	I,0	I,5	0,4	0,403
I0	Тавровый	I,8	I,0	2,0	0,4	0,426
II	I-образный	2,4	I,0	I,5	I,0	0,797
I2	Тавровый	2,4	I,0	2,0	I,0	I,055
I3	I-образный	2,I	I,0	I,5	0,4	0,50I
I4	Тавровый	2,I	I,0	2,0	0,4	0,525
I5	I-образный	2,8	I,0	I,5	I,I	0,983
I6	Тавровый	2,8	I,0	2,0	I,I	I,294
I7	I-образный	2,4	I,0	I,5	0,4	0,599
I8	Тавровый	2,4	I,0	2,0	0,4	0,625
I9	I-образный	3,I	I,0	I,5	I,I	I,II0
20	Тавровый	3,I	I,0	2,0	I,I	I,394
2I	I-образный	3,0	I,0	I,5	0,6	0,837
22	Тавровый	3,0	I,0	2,0	0,6	0,896
23	I-образный	3,6	I,0	I,5	0,6	I,034
24	Тавровый	3,6	I,0	2,0	0,6	I,I09
25	I-образный	3,I	I,2	2,0	0,7	I,470
26	Тавровый	3,I	I,2	2,8	0,7	I,609
27	I-образный	3,6	I,2	I,5	0,6	I,667
28	Тавровый	3,6	I,2	2,0	0,6	I,732
29	I-образный	3,6	I,2	I,8	I,2	2,07I
30	Тавровый	3,6	I,2	2,4	I,2	2,576

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

I. РАЗРАБОТАНЫ И ВНЕСЕНЫ Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники им.Б.Е.Веденеева и Ленинградским научно-исследовательским и проектно-конструкторским отделением Всесоюзного государственного проектно-конструкторского и изыскательского института Атомэнергопроект

ИСПОЛНИТЕЛИ:

Е.Г.Бабский, И.С.Нейман, д-р техн.наук (руководитель темы); Г.Г.Аграновский, канд.техн.наук; А.Л.Гольдин, д-р техн.наук; И.С.Литвин; С.Н.Рыбаков; И.Б.Соколов, д-р техн.наук; Р.И.Финкельштейн; А.А.Храпков, д-р техн.наук; Е.Б.Шуман

2. УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ заместителем Министра энергетики и электрификации СССР Ю.Н.Корсуном 24.0I.9I
СОГЛАСОВАНЫ заместителем Министра атомной энергетики и промышленности СССР Е.А.Реметниковым 2I.09.90

3. ВЗАМЕН СТП 34-03-73

4. ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение НТД на который дана ссылка	Номер пункта, подпункта, перечисления, продолжения
РТМ I08.02I.I02-85	I.2, I.I0, 2.I, 5.I, 6.8, 7.8, 7.I0, 9.39, 9.4I
ГОСТ 20276-85	3.9
ГОСТ I4098-85	9.25

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. Общие положения 2

2. Состав заданий и требования к заводам-изготовителям турбоагрегатов 6

3. Дополнительные требования по изучению инженерно-геологических условий площадок строительства..... 14

4. Материалы фундаментов 23

5. Требования к проектированию фундаментов..... 24

6. Основные расчетные положения 34

7. Динамический расчет 44

8. Расчет фундамента и основания по деформациям..... 48

9. Требования к конструированию 58

ПРИЛОЖЕНИЕ. Определение крутильной жесткости ригелей 71

Информационные данные..... 73

gost.e-ecolog.ru