

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ  
ИМЕНИ Н. М. ГЕРСЕВАНОВА  
ГОССТРОЯ СССР

НИИОСП

РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
ФУНДАМЕНТОВ  
НА ЗАКАРСТОВАННЫХ  
ТЕРРИТОРИЯХ

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОСНОВАНИИ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИИ  
ИМЕНИ Н.М. ГЕРСЕВАНОВА  
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
ФУНДАМЕНТОВ  
НА ЗАКАРСТОВАННЫХ  
ТЕРРИТОРИЯХ

МОСКВА-1985

В рекомендациях изложены предложения по конструктивным решениям фундаментов на закарстованных территориях, методики определения расчетных размеров карстовых провалов и воронок и вычисления переменного коэффициента жесткости закарстованного основания, даны указания по статическим расчетам на ЭВМ фундаментных плит и перекрытых лент, а также по оценке устойчивости фундаментных плит плоских сооружений при образовании карстовых воронок, приведены примеры расчетов.

В приложениях к Рекомендациям даны классификация карстопроявлений для целей проектирования и противокарстовых конструктивных мероприятий.

**Рекомендации разработаны в лабораториях Механики грунтов (рук. Лавровской), доктор техн. наук, профессор К.Е.Шторр) и Ботанических оснований и конструкций фундаментов (рук. лаборатория, доктор техн. наук, профессор В.А.Сорокин).**

**Рекомендации составили:** разделы 1 и 2 - канд. техн. наук Т.А.Маликова, инж. Г.М.Троицкий (НИИ оснований и подземных сооружений), канд. техн. наук В.В.Толмачев (ПНИИМС); раздел 3 - инж. Г.М.Троицкий (НИИ оснований и подземных сооружений); раздел 4 - канд. техн. наук В.В.Толмачев (ПНИИМС), инж. Г.М.Троицкий (НИИ оснований и подземных сооружений); раздел 5 - канд. техн. наук Т.А.Маликова (НИИ оснований и подземных сооружений); раздел 6 - канд. техн. наук Т.А.Маликова (НИИ оснований и подземных сооружений); раздел 7 - канд. техн. наук В.И.Обозов (ЦНИИСК); прил. 1 - канд. геол.-минерал. наук В.П.Хоменко и канд. техн. наук В.В.Толмачев (ПНИИМС); прил. 2 - инж. Г.М.Троицкий (НИИ оснований и подземных сооружений) и канд. техн. наук В.В.Толмачев (ПНИИМС).

Рекомендации одобрены секцией "Механика грунтов" ИТС института. Замечания и предложения по содержанию Рекомендаций просьба направлять по адресу: IO9369, 2-й Институтская ул., д. 6.

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова, 1985

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Рекомендации распространяются на проектирование фундаментов зданий и сооружений, возводимых на закарстованном основании.

1.2. По настоящим рекомендациям рассчитываются фундаментные плиты и перекрытые ленты, лежащие на естественном закарстованном основании, а также на основании с заполненными пустотами.

1.3. Карстопроявления делятся на поверхностные деформации земной поверхности и подземные, тесно связанные между собой.

1.4. Механизм карстовых деформаций определяется инженерно-геологической и прежде всего гидрогеологической обстановкой, при оценке которой необходимо учитывать техногенное воздействие на карстовый процесс проектируемых и эксплуатируемых объектов.

1.5. Классификация карстопроявлений для целей проектирования противокарстовой защиты приведена в прил. 1.

1.6. Виды карстовых деформаций в значительной мере определяют выбор рациональных статических и конструктивных схем зданий и сооружений, их оптимальные габариты, виды и объемы противокарстовых мероприятий, классификация которых дана в прил. 2.

1.7. Основными и наиболее распространенными поверхностными карстовыми деформациями являются провалы и оседания. Карстовые провалы и оседания считаются промежуточными и встречаются значительно реже.

1.8. Основную опасность для большинства зданий и сооружений представляют провалы, защита от которых требует применения специальных методов проектирования и расчета.

1.9. Великие оседания на зданиях и сооружениях во многом однако с воздействием провалов при сравнительно большой глубине оседаний (большей 0,25 м) или карстовых просадок при малой глубине оседаний (меньшей 0,25 м).

1.10. Карстопроявления могут изменяться в период эксплуатации зданий и сооружений.

1.11. Конструктивная защита зданий и сооружений может выполняться по жесткой, гибкой или промежуточной схеме в зависимости от характера сооружения и степени карстовой опасности.

1.12. Конструктивную защиту зданий следует сосредотачивать в фундаментной части. Увеличение или уменьшение жесткости верхней части здания рекомендуется выполнять в случаях, когда обычные ре-

шения не позволяют обеспечить безаварийную и безопасную эксплуатацию сооружений.

1.13. Строительство зданий и сооружений на отдельных столбчатых фундаментах не допускается.

1.14. Фундаментные конструкции должны выполняться из монолитного железобетона.

1.15. Конструктивные решения монолитных фундаментов неглубокого заложения могут быть в виде плоских или ребристых фундаментных плит, коробчатых и перекрестно-ленточных фундаментов. Допускается также устройство сборных ленточных фундаментов с монолитным промывочным ленточным ленточным.

1.16. Для обеспечения необходимой жесткости и прочности фундаментов ~~в~~ ~~участках~~ ~~зданий~~ и сооружений рекомендуется предусматривать консолидные удлиненные ленты и уширения плит за пределы плана сооружения. Ленточные консоли по своим концам могут быть дилатолой поперечной балкой, образуя в плане конструкции II и III-образного очертания.

1.17. Длину балочных консолей нужно принимать не менее 0,7 прогнозируемого расчетного пролета фундамента  $l_d$  (см. раздел 5). Плитную консоль рекомендуется удлинять на 0,4 расчетного пролета фундамента  $l_d$  при условии, что ширина плиты не менее 1,5  $l_d$ .

1.18. Применение висячих свай в качестве противокарстового решения не допускается. Короткие сваи могут применяться в исключительных случаях, когда это вызвано наличием значительной толщи слабых грунтов в верхних слоях основания.

Головы висячих свай нужно объединять общим ростверком. Узел соединения свай с ростверком должен предусматривать возможность их выскалывания из ростверка о том, чтобы исключить дополнительное нагружение висящими сваями, находящимися на участке образованного провала под фундаментом.

1.19. При неглубоком залегании карстовых пород следует возводить здания и сооружения на глубоких опорах или сваях с обязательной прорезкой зоны активного карстования (зоны карстовых полостей) и залуживанием в ненарушенные породы, определенным по несущей способности пород, но не менее чем на I м. При расчете глубоких опор или свай по прочности необходимо учитывать возможность зависания обрушающейся пород в надкарстовой (покрывающей) толще.

1.20. В сооружениях значительной протяженности следует выпол-

нить минимально необходимое количество швов в фундаментах. Разрезы здания вертикальными швами на независимо деформирующиеся отсеки также не рекомендуется.

1.21. При строительстве зданий на закарстованных территориях нужно применять специальные конструкции фундаментов, препятствующие превращению карстовых провалов в карстововальные воронки.

1.22. При выборе площадок для строительства зданий и сооружений, а также вариантов противокарстовой защиты можно пользоваться категориями устойчивости закарстованных территорий, приведенными в табл. 1/1 либо в рекомендациях [2], с обязательным учетом прогнозируемых размеров поверхностных карстопроявлений.

1.23. При проектировании зданий и сооружений на территориях, где возможны оседания, целесообразно применять методику расчета зданий и сооружений на подрабатываемых территориях с учетом специфики карстовых деформаций, связанных с их механизмом и продолжительностью.

1.24. Конструктивную защиту зданий и сооружений от карстовых просадок рекомендуется проводить с использованием методики проектирования зданий и сооружений в условиях просадочных грунтов или подрабатываемых территорий (на возмездные типа "уступ") в зависимости от соотношения размеров в плане защищаемого объекта и размеров просадок.

## 2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Размер карстового провала в плане (расчетный диаметр) является основным исходным параметром для проектирования противокарстовой конструктивной защиты.

2.2. Способы определения расчетного диаметра карстового провала зависят от полноты исходной информации о наличии и параметрах подземных карстовых форм в основании сооружений, физико-механических характеристик грунтов по всему геологическому разрезу и других характеристиках грунтов по всему возможному изменению сведений за расчетный срок службы сооружений.

2.3. Под основанием в карстовых районах следует понимать зону грунтов и горных пород, глубина которой не менее глубины массивной толщи и глубины возможного расположения подземных карстовых форм (прежде всего полостей), могущих проявиться на земной поверхности.

2.4. Положение и размеры возможных провалов при наличии необходимых исходных данных оцениваются расчетными методами, основываясь на детерминистических моделях, с использованием в случае необходимости методов моделирования.

2.5. При недостаточности некоторых исходных данных расчетно-детерминистические методы могут быть применены для определения среднего и максимально возможного диаметра провала.

2.6. При недостаточности обязательных для расчета исходных данных рекомендуется принимать вероятностно-статистические методы прогноза размеров карстового провала.

2.7. Образование карстово-провальных форм на земной поверхности, в том числе под фундаментом здания или сооружения происходит в две фазы. На первой фазе мгновенно образуется провал с вертикальными или наклонными бортами. Развитие второй фазы происходит настолько медленнее и сопровождается обрушением неустойчивых бортов, которые принимают устойчивое наклонное положение (в обычных случаях наклон бортов близок к углу естественного откоса), таким образом перпендикулярный провал с крутыми бортами принимает форму конусообразной воронки. При небольшой глубине провала воронка приобретает форму перевернутого конуса с усеченной вершиной.

2.8. Расчет фундамента с учетом образования воронки в основании производится на основное сочетание нагрузок. При этом действующие нагрузки считаются длительными. Нагрузка от ветра не учитывается.

2.9. При расчете фундаментных плит и перекрестных лент на карстованном основании допускается принимать модель основания в виде линейно-деформируемого слоя с воронкой у поверхности, имеющей форму шарового сегмента, с зоной разрыхленного грунта под воронкой.

2.10. Для упрощения расчета фундаментов, а также для учета неоднородности основания в плане модель линейно-деформируемого слоя заменяют эквивалентной по осадкам контактной модели поременного коэффициента жесткости, определяемого по указаниям раздела 5.

2.11. За расчетные положения воронок под фундаментами принимают место пересечения стен либо расположения колонн, находящихся под центральной частью, углом, серединой большей и меньшей сторон здания.

ТАБЛИЦА I

Характеристика устойчивости закарстованных территорий для промышленного и гражданского строительства

Категория устойчивости территории	Среднегодовое количество провалов на I кв.км	Условная характеристика устойчивости территории
У	Менее 0,01	Относительно устойчивая
IV	от 0,01 до 0,05	С несколько повышенной устойчивостью
III	от 0,05 до 0,10	Недостаточно устойчивая
II	от 0,10 до 1,0	Неустойчивая
I	1,0 и более	Очень неустойчивая

197

2.12. Расчет фундаментов зданий с несущими стенами и полыми кардасом должен выполняться с учетом совместной работы фундамента с верхним строением.

2.13. Для определения усилий и осадок фундаментной плиты крупнопанельного здания с поперечными несущими стенами достаточно ввести в расчет жесткость одного этажа верхнего строения здания.

2.14. При расчете фундаментов совместно с верхним строением допускается учитывать только упругую отдачу работ железобетона из-за сложности такого расчета.

### 3. РАСЧЕТ ДИАМЕТРОВ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ И ВОРОНОК С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СООРУЖЕНИЯ

3.1. Определение диаметра карстового провала осуществляется из условия равновесия круглоцилиндрического столба грунта, сачащего над карстовой полостью определенного размера. Вес столба уравновешивается суммарным трением, действующим по его боковой поверхности (см.рис.1.).

В расчете учитывается равномерно распределенная нагрузка от

одного или нескольких сооружений, расположенных в пределах зоны влияния, их форма и размеры в плане, глубина заложения фундаментов  $H_*$ , взаимное расположение сооружений и провала на плане территории.

3.2. Диаметр провала определяется по формуле

$$d_0 = 4 \frac{\sum (c_i h_i) + \sum \Delta p_i}{q_i} \quad (I)$$

где  $h_j$  - толщина  $j$ -го слоя грунта с заданными значениями удельного сцепления  $c_j$ , угла внутреннего трения  $\varphi_j$ , удельного веса  $\delta_j$ ;  $\Delta p_j = (\alpha_j p_0 + \sum (\gamma_i \Delta h_i) + \delta_j \Delta h_j / 2) k_j \operatorname{tg} \varphi_j \Delta h_j$ ;

$$k_j = 1 - \sin \varphi_j;$$

$$q_j = \alpha_j p_0 + \delta_j \Delta h_j + \sum (\gamma_i \Delta h_i);$$

$\alpha$  - коэффициент распределения напряжений по глубине основания, принимаемый по табл.2 Руководства [3];  $i$  -  $i$ -й номер слоя грунта, залегающего над  $j$ -м слоем ( $i=j-1, j-2, j-3, \dots$ );  $q_j$  - среднее давление под подошвой фундамента, вычисляемое с учетом природного давления в грунте. Суммирование производится до глубины кровли  $H_k$  карстовых пород или вскрытых полостей (в покровной толще).

3.3. Диаметр воронки на ее верхнем срезе определяется по формуле

$$d_e = 2 \left( \frac{\sum y_i}{n} + \left( \frac{\sum y_i}{n} \right)^2 - \frac{y_i^2}{n} + \frac{\alpha_0^2 S_{obs}^2}{4 \sum \Delta h_i} \right)^{1/2} \quad (2)$$

где  $n$  - количество рассматриваемых элементарных слоев грунта;  $S_{obs}$  - видимая глубина провала, принимаемая равной высоте полости, свободной от плотного заполнителя;  $\Delta h_i$  - толщина элементарных слоев грунта, которую рекомендуется принимать равной 0,1-0,25 м;

$\alpha_0$  - диаметр провала;  $y_i$  - ордината поверхности устойчивого склона борта провальной формы на глубине  $h_i$ , вычисляемая по формуле

$$y_i = \sum (k_i / \operatorname{tg} \varphi_i + \frac{c_i}{p_0 + \sum \gamma_i \Delta h_i}).$$

При этом очертание устойчивого склона борта провальной воронки

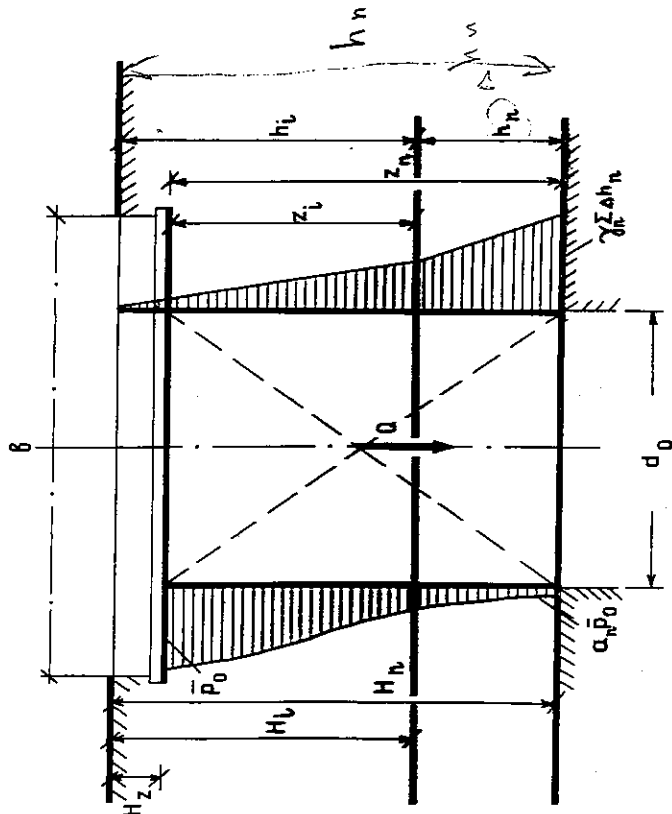


Рис. 1. Расчетная схема для определения диаметра карстового провала

ки определяется в прямоугольной системе координат  $h$  —  $y$  с началом в произвольной точке на земной поверхности или под фундаментом сооружения (см. рис. 2). Вычисление  $\sum h_i$ ,  $\sum y_i$  и  $\sum y_i^2$  производится до выполнения одного из следующих условий: ордината склона  $y_i$  на глубине  $h_i$  равна радиусу провальной воронки  $h_i$  равна  $y_i$   $y_i = \alpha_e / 2$ ; глубина провальной воронки  $h_i$  равна видимой глубине  $S_{obs}$  провала ( $h_i = S_{obs}$ ).

Оса расчета рекомендуется выполнять в табличной форме или на БМ.

3.4. Формулы (1) и (2) позволяют получить минимально возможные диаметры провала  $\alpha_e$  и воронки  $\alpha_e'$ , образование которых возможно о глубины расположения полости при определенном значении видимой глубины провала  $S_{obs}$ . Поэтому для возникновения провала и воронки необходимо, чтобы размер полости в плане был не менее расчетного значения  $\alpha_e'$ .

#### 4. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ПРОМЕТА КАРСТОВОГО ПРОВАЛА

4.1. Условия применимости вероятностно-статистического метода прогноза размера карстового провала под фундаментом или на земной поверхности применительно к отдельной площадке следующие: а) относительно частоты возникновения провалов (интенсивности провалообразования) и их диаметров расматриваемая площадь статистически однородна с участком (территорией), для которого были определены эти параметры; б) сооружение несущественно влияет на интенсивность провалов и на величинных диаметров.

4.2. В большинстве случаев распределение диаметров провалов на относительно больших по площади территориях близки к логарифмически нормальному закону распределения. На отдельных небольших по площади участках и на территориях, однородных с точки зрения постоянства условий, влияющих на диаметры карстовых провалов, закон распределения диаметров близок к нормальному.

4.3. При интерпретации статистических закономерностей диаметров провалов следует иметь в виду следующее обобщение: после образования карстового провала на поверхности земли с первоначальным диаметром  $\alpha_e'$ , последний увеличивается с затухающей во времени скоростью, в первое время главным образом за счет оползания склонов до диаметра  $\alpha_{lim}$ , соответствующего устойчивым скло-

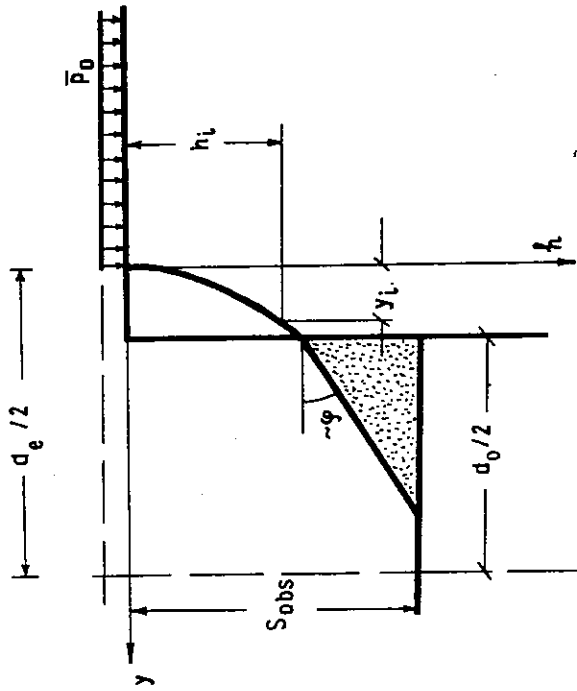


Рис. 2. Расчетная схема для определения диаметра карстовой воронки

нам провального образования (воронки), а затем в основном за счет зрелища склонов до некоторого практически стабильного диаметра  $\alpha_{st}$  (см. рис. 3). Для оценки карстовой опасности и расчета противокарстовых конструктивных мер защиты прежде всего необходимо знать распределение диаметров провалов, достигших  $\alpha_{lim}$ . При отсутствии достаточного числа таких данных значение  $\alpha_{lim}$  необходимо оценить приблизительно по значениям  $\alpha_{st}$  или  $\alpha_0$ .

4.4. Распределение проявления карстовых провалов во времени близко закону Пуассона (закону редких событий). В соответствии с этим вероятность появления провалов  $x$  на территории площадью  $A$  за время  $t$  равна

$$P(x) = \frac{(\lambda At)^x}{x!} e^{-\lambda At},$$

где  $\lambda$  - среднегодовое число провалов, приходящееся на 1 кв. км территории (показатель интенсивности карстовых провалов - провалообразования).

При этом в расчет принимается: а) независимое друг от друга проявление (образование) провала в одном месте не изменяет вероятности его образования в другом; б) лишь первичные провалы (вторичные и последующие провалы в одной точке считаются за один провал - проявление одной полости). Вероятность того, что на данной территории в заданное время не произойдет ни одного провала (безопасность), равна

$$P_0 = e^{-\lambda At}.$$

4.5. Исходными данными для определения расчетного размера карстового провала в плане под ленточным фундаментом (пролета  $L_d$ ) являются следующие параметры: а) показатель интенсивности карстовых провалов  $\lambda$ ; б) среднее или прогнозируемое (расчетно-де-терминистическими методами, например, по разделу 5) значение диаметра карстового провала  $\alpha_{lim}$ ; в) максимальное значение диаметра провалов  $\alpha_{max}$  при нормальном распределении диаметров  $\alpha_{max} = \alpha_{lim} + 3\sigma_\alpha$ , где  $\sigma_\alpha$  - среднее квадратическое отклонение; г) расчетный срок службы сооружения  $t_n$ ; д) размеры и очертание фундамента в плане; е) степень ответственности объекта.

4.6. Рекомендуется придерживаться следующей последовательности при определении расчетного пролета провала: а) построение кривой распределения пролета  $L$  при образовании провала под фунда-

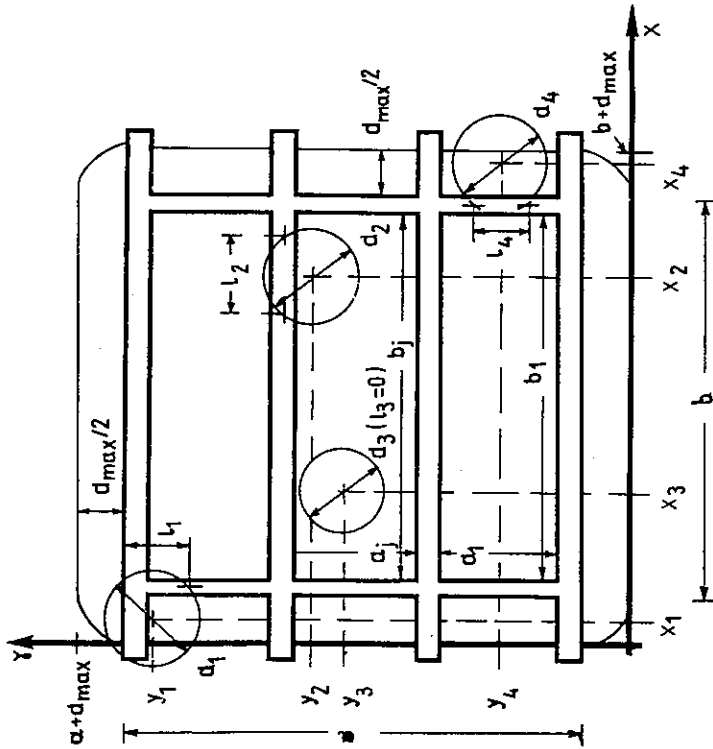


Рис. 3. Расчетные пролеты провалов для ленточного фундамента



ментом; б) определение условной вероятности образования провала под фундаментом при условии, что провал произошел; в) определение безусловной вероятности образования провала под фундаментом; г) нахождение допустимого значения надежности противокарстового фундамента; д) определение расчетного пролета  $\ell_{\alpha}$ .

4.7. Распределение линейных размеров карстовых провалов при попадании их под фундамент рекомендуется находить методом статистических испытаний. Целесообразно для этого использовать ЭВМ. В тех случаях, когда объем работ небольшой, возможно проведение статистических испытаний вручную.

4.8. Последовательность определения условной вероятности образования карстового провала под ленточным фундаментом в случае, когда провал произошел, следующая (см. рис. 3):

а) определяется условная вероятность попадания под фундамент провала при образовании его в зоне вокруг сооружения; б) распределении диаметров провалов по нормальному закону

$$P_{\alpha_0} = \frac{\bar{\alpha}}{\alpha_{max}}$$

при распределении диаметров провалов по логарифмическо-нормальному закону

$$P_{\alpha_0} = \lg d / (\lg d)_{max}$$

при установленном виде распределения диаметров провалов значение  $P_{\alpha_0}$  определяется методом статистических испытаний;

б) вычисляется условная вероятность попадания под фундамент провала при образовании его в зоне одного из отсеков плана фундамента размерами  $\alpha_1$  и  $\delta_1$  ( $\alpha_1 \leq \delta_1$ )

$$P_{\alpha_1} = \alpha_{\alpha_1} \frac{\alpha_1 + \delta_1 - \alpha_{\alpha_1}}{\alpha_1 \delta_1} P_{\alpha_1} + 1 - P_{\alpha_1}$$

где  $\alpha_{\alpha_1}$  - среднее значение диаметров провалов в интервале от 0 до  $\alpha_1$  (см. рис. 3);

$P_{\alpha_1}$  - вероятность образования провалов диаметром до  $\alpha_1$  (см. рис. 3).

в) аналогично находится вероятность  $P_{\delta_1}$  попадания под фундамент провала при образовании его в соседнем  $j$ -м отсеке с размерами  $\alpha_j$  и  $\delta_j$  (без учета части фундамента, общей

с первым отсеком);

г) определяются общая условная вероятность попадания под фундамент провала при образовании его в контуре сооружения и зон около него на площади  $F$  (см. рис. 3).

$$P_{\alpha} = P_{\alpha_0} F_0 + P_{\alpha_1} F_1 + \sum_{j=2}^n P_{\alpha_j} F_j$$

где  $n$  - количество отсеков;

$F_0$  - площадь участка вокруг здания на расстоянии  $\alpha_{max}$  от фундамента;

$F_1$  - площадь в пределах контура  $1$ -го отсека фундамента;

$F_j$  - площадь в пределах контура  $j$ -го отсека фундамента;

$F$  - площадь, определяемая по формуле

$$F = F_0 + \sum_{j=1}^n F_j$$

д) вычисляется вероятность непоражения площади  $F$ , расположенной на территории с интенсивностью провалов  $\lambda$ , за срок службы сооружения  $t_n$

$$P_0 = \exp(-\lambda F t_n)$$

е) находится безусловная вероятность образования провала под фундаментом

$$P_F = (1 - P_0) P_{\alpha}$$

ж) определяется вероятность того, что размер провала под фундаментом будет меньше  $\ell$

$$P_{\alpha \ell} = \frac{P_{\alpha} \ell}{P_F}$$

где  $P_{\alpha \ell}$  - надежность противокарстового фундамента, под которой понимается вероятность того, что за срок службы сооружения фундаментом не будет иметь существенных повреждений вследствие карстовых провалов.

Минимально допустимое значение надежности  $[P_{\alpha \ell}]$  назначается в зависимости от степени ответственности объекта. Для зданий и сооружений с чисто экономической ответственностью значение  $P_{\alpha \ell}$  необходимо определять по минимуму приведенных затрат. Для зданий и сооружений, повреждения которых имеют социально-экономические последствия, нормированное значение должно быть не менее 0,95;

и) находится расчетное значение пролета фундамента  $\ell_{\alpha}$  по

значению  $P_{\alpha}$ , используя интегральную кривую распределения  $\xi$  (см. рис. 4). Если  $[P] + P_f < 1$ ,  $\xi_{\alpha} = 0$ , то для обеспечения заданной надежности  $[P]$  противокарстовая защита не требуется.

4.9. При определении расчетного пролета  $\xi_{\alpha}$  провала для фундаментной плиты (см. рис. 5) следует иметь в виду, что при расположении центра провала в контуре плиты пролет  $\xi_{\alpha}$  совпадает с диаметром провала  $\alpha_{\text{дп}}$ , при расположении центра провала в зоне за пределами периметра плитного фундамента шириной  $\alpha_{\text{max}}/2$  расчетный пролет  $\xi_{\alpha}$  при пересечении с плитой будет всегда меньше заданного диаметра. Распределение  $\xi_{\alpha}$  будет тем больше отклоняться от распределения диаметров, чем больше разность  $(\alpha_{\text{max}} - \delta)$ .

Условная вероятность образования провала под фундаментной плитой в случае, когда провал произошел на площади  $A_n + A_0$ , составлена

$$P_f = P_{f0} \frac{A_0}{A_n + A_0} + \frac{A_n}{A_n + A_0},$$

где  $A_n$  - площадь фундаментной плиты;  $A_0$  - площадь зоны вокруг фундамента на расстоянии  $\alpha_{\text{max}}/2$ ;  $P_{f0}$  - условная вероятность попадания под фундамент провала при образовании его на площади  $A_0 + A_n$ .

Значение  $P_{f0}$  определяется по формулам п. 4.8. Дальнейший расчет пролета провала для фундаментной плиты проводится аналогично расчету для ленточного фундамента.

### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЛИЧИН ПЕРЕМЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ ЗАКАРСТОВАННОГО ОСНОВАНИЯ

5.1. Рекомендации настоящего раздела составлены для определения на контакте с фундаментом деформационной характеристики (перемного коэффициента жесткости при сжатии) неоднородного в плане и по глубине основания, ослабленного карстовой воронкой.

5.2. При определении переменного коэффициента жесткости закарстованного основания учитываются основные параметры физико-механических свойств грунтов, неоднородность геологического строения основания, распределительные свойства грунта, размеры и форма фундаментной плиты либо общей площади, занятой перекрестными лентами, расчетные диаметр и глубина карстовой воронки, глубина расположения карстуемых пород, а также наличие под воронкой разрыхленного грунта, образо-

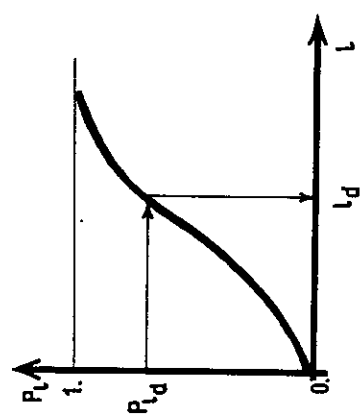


Рис. 4. Интегральная кривая распределения расчетных пролетов провалов

493

вавшегося при провале и в связи с обрушением бортов провала.

5.3. Переменный коэффициент  $k(x, y)$  (жесткости основания, авлаотичный по смыслу Винклеровскому коэффициенту постели) вычисляется как величина, обратная осадкам  $S(x, y)$  линейно-деформированного слоя с шаровым вырезом у поверхности, нагруженного единичной нагрузкой, равномерно распределенной по площади фундаментной плиты либо по пятну здания в случае перекрестных плит

$$k(x, y) = 1/S(x, y).$$

При этом линейно-деформируемый слой характеризуется осредненными приведенными модулем деформации  $E$  и осредненным коэффициентом Пуассона  $\nu$ , определяемыми по указанным соответственно пп. 2.24, 2.25 и 2.16 [3], а также толщиной слоя  $H$ , равной расчетной толщине сжимаемого слоя основания  $H_d$ , рекомендуемой пп. 2.6. и 2.7 [3], если расстояние  $x$  от подошвы фундамента до скального грунта  $x > H_d$ , и равной  $H = x$ , если  $x \leq H_d$ .

5.4. Переменный коэффициент жесткости основания, необходимый для расчета фундаментной плиты либо перекрестных плит, задается по прямоугольным (см. рис. 6) или кольцевым зонам (в зависимости от формы здания в плане), в пределах которых этот коэффициент считается постоянным, с тем чтобы аппроксимировать ступенчатые эпюры в двух взаимно перпендикулярных направлениях действительную эпюру коэффициента жесткости, представляющую собой поверхность с минимальной ординатой в центре фундамента.

5.5. В случае однородного основания ( $\alpha_f = \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 1,5$ , где  $E_{max} \ll E_{min}$  - приведенные по п. 2.22 [3] ширины прямоугольных оснований, определяемые по п. 2.22 [3]) ширина прямоугольных или кольцевых зон с постоянными коэффициентами жесткости принимается одинаковой в направлении каждой оси фундамента. Увеличение количества зон повышает точность учета распределительной способности основания при расчете фундамента.

5.6. При неоднородном основании ( $\alpha_f > 1,5$ ) сначала выполняется разбивка на зоны как для однородного основания, а затем на них наносятся зоны с пониженными или увеличенными приведенными по вертикалям модулями деформации.

5.7. При наложении зон с различными коэффициентами жесткости

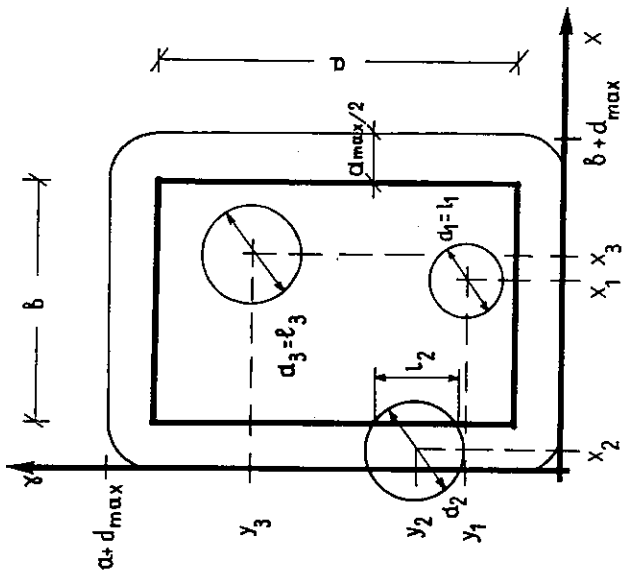


Рис. 5. Расчетные пролеты провалов для фундаментной плиты

соблюдается правило смены ранее заданного коэффициента жесткости.

5.8. Величины переменного коэффициента жесткости однородного основания находятся с помощью программы КАРСТ [4, 7<sup>х</sup>] на ЕС ЭВМ либо по формуле (3) в центрах зон, нанесенных на основание

$$k = k \bar{E} \quad (3)$$

где  $k$  - приведенный коэффициент жесткости (1/м) заваржанного основания, определяемый по табл. 2 и 3 при расчетном радиусе воронки 3 и 6 м, глубине воронки, равной радиусу, и отношении осредненного приведенного модуля деформации основания  $\bar{E}$  к модулю деформации  $E$  ослабленной зоны под воронкой  $n = \bar{E} / E = 4$ ;  $\bar{E}$  - осредненный приведенный модуль деформации основания.

Программа КАРСТ, реализует метод конечных элементов (МКЭ), позволяет определить перемещения и величины переменного коэффициента жесткости линейно-деформируемого слоя как с воронкой и нагрузкой по кольцу, так и без воронки и с нагрузкой по кругу. При этом можно учесть наличие ослабленной зоны грунта под воронкой и вокруг воронки. Расчетная схема линейно-деформируемого слоя со сферической воронкой по МКЭ показана на рис. 7.

5.9. В случае неоднородного основания выполняется несколько расчетов величин коэффициента жесткости основания, в каждом из которых осредненный модуль деформации  $\bar{E}$  основания условно принимается одинаковым для всех зон основания.

5.10. Переменный коэффициент жесткости основания определяется по программе КАРСТ или по табл. 2, 3, 4 в случае, когда воронка расположена под центром фундамента, а также для основания без воронки. Для пользования программой КАРСТ и табл. 2, 3 и 4 загруженная единичной распределенной нагрузкой площадь основания фундамента ортогональной формы в плане приводится к равновеликой кольцевой, соосной с центрально расположенной воронкой, либо к кругу без воронки, и на нее переносятся положения центров зон, в которых требуется определить величины коэффициента жесткости, изменив расстояния между ними пропорционально уменьшению длины и увеличению ширины

х) Программа КАРСТ может быть получена в НИИСП либо в Харьковском ЦОМСТРОЙНИИПРОЕКТЕ.

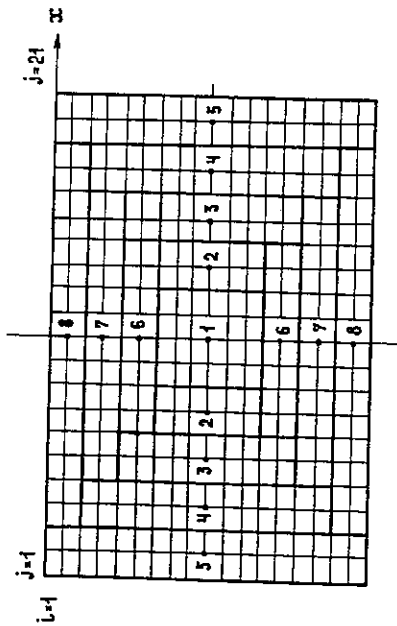


Рис. 6. Схема разбивки на зоны основания фундаментной плиты

Район фундамента, м	Н = 9 м						Н = 12 м											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						
9	13,52	14,04	14,63	15,59	17,21	20,29	29,26	12,82	12,72	12,79	13,01	13,39	13,99	14,92	16,45	19,36	27,76	
12	12,82	12,72	12,79	13,01	13,39	13,99	14,92	12,82	12,72	12,79	13,01	13,39	13,99	14,92	16,45	19,36	27,76	
15	12,59	12,36	12,27	12,27	12,35	12,51	12,76	12,59	12,36	12,27	12,27	12,35	12,51	12,76	13,14	13,72	14,62	16,09
18	12,82	12,39	12,19	12,09	12,05	12,11	12,21	12,82	12,39	12,19	12,09	12,05	12,11	12,21	12,38	12,64	13,01	13,58
9	11,84	12,06	12,57	13,43	14,88	17,66	25,58	10,16	10,20	10,35	10,62	11,03	11,61	12,49	13,88	16,41	23,33	
12	10,16	10,20	10,35	10,62	11,03	11,61	12,49	10,16	10,20	10,35	10,62	11,03	11,61	12,49	13,88	16,41	23,33	
15	9,55	9,50	9,53	9,62	9,78	10,00	10,31	9,55	9,50	9,53	9,62	9,78	10,00	10,31	10,74	11,34	12,21	13,61
18	9,45	9,28	9,23	9,24	9,29	9,38	9,51	9,45	9,28	9,23	9,24	9,29	9,38	9,51	9,69	9,93	10,26	10,70
21	9,37	9,19	9,11	9,08	9,09	9,12	9,18	9,37	9,19	9,11	9,08	9,09	9,12	9,18	9,27	9,39	9,56	9,77
24	9,32	9,19	9,09	9,03	8,99	8,97	8,97	9,32	9,19	9,09	9,03	8,99	8,97	8,97	8,99	9,03	9,08	9,08

Приведенные коэффициенты основания, ослабленного воронкой с  $R = 3м$ ,  $h = 3м$  (увеличенные в  $10^2$  раз)

Таблица 2

493

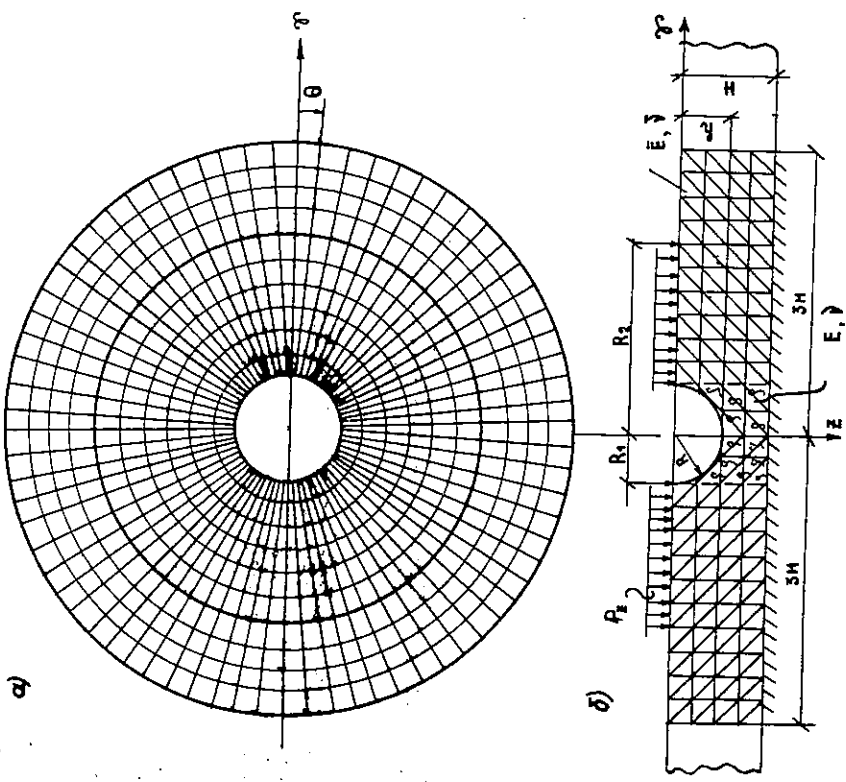


Рис. 2. Расчетная схема линейно-деформируемого слоя со сферической воронкой по МКЭ:  
 а - план; б - разрез

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	9,67	10,10	10,60	11,38	12,63	14,89	20,90					
12	7,81	7,90	8,07	8,34	8,71	9,24	10,01	11,29	13,28	18,52		
15	6,83	6,87	6,96	7,10	7,29	7,54	7,86	8,30	8,89	9,73	11,03	
18	6,45	6,43	6,48	6,57	6,70	6,87	7,08	7,35	7,69	8,13	8,71	
21	5,58	5,58	5,59	5,63	5,67	5,73	5,81	5,90	6,01	6,14	6,31	
24	5,40	5,40	5,39	5,41	5,43	5,48	5,51	5,57	5,63	5,71	5,81	

H = 21 M

Продолжение табл. 2

493

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	10,33	10,76	11,26	12,01	13,22	15,38	21,00					
12	8,78	8,85	9,00	9,26	9,62	10,13	10,86	11,99	13,96	18,86		
15	7,98	7,98	8,04	8,15	8,31	8,53	8,81	9,19	9,70	10,42	11,52	
18	7,70	7,62	7,61	7,65	7,72	7,83	7,97	8,14	8,37	8,67	9,05	
21	7,56	7,46	7,44	7,44	7,47	7,53	7,60	7,69	7,81	7,96	8,15	
24	7,67	7,54	7,50	7,49	7,51	7,53	7,58	7,64	7,71	7,80	7,91	
9	10,32	10,79	11,36	12,26	13,72	16,43	24,09					
12	8,54	8,65	8,86	9,17	9,63	10,28	11,25	12,78	15,58	23,49		
15	7,71	7,76	7,88	8,07	8,32	8,66	9,12	9,74	10,60	11,89	13,98	
18	6,53	6,55	6,58	6,64	6,72	6,82	6,96	7,13	7,34	7,61	7,95	
21	6,29	6,28	6,29	6,31	6,35	6,41	6,48	6,57	6,68	6,82	6,99	
24	6,19	6,16	6,14	6,15	6,16	6,19	6,23	6,28	6,34	6,42	6,51	

H = 15 M

Продолжение табл. 2

I	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Продолжение табл. 2

493

I	Приведенные коэффициенты жесткости оснований $K$ в точках с разлусом $Z$ , м										
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
15	18,89	26,99									
18	14,44	15,87	18,60	26,52							
H = 12 м											
15	16,16	23,18									
18	11,33	12,25	13,72	16,45	24,23						
21	10,05	10,43	10,95	11,69	12,79	14,59	18,12	29,40			
24	9,16	9,27	9,41	9,61	9,87	10,23	10,73	11,45	12,57	14,53	19,46
H = 15 м											
15	13,42	18,09									
18	9,56	10,28	11,37	13,25	17,90						
21	8,38	8,68	9,07	9,54	10,31	11,39	13,29	18,05			
24	8,04	8,21	8,42	8,67	8,99	9,40	9,92	10,64	11,73	13,65	18,65
H = 18 м											
15	18,06	32,21									
18	8,90	9,01	9,91	11,40	14,78						
21	7,20	7,46	7,79	8,23	8,82	9,67	11,10	14,29			
24	6,62	6,76	6,93	7,14	7,40	7,72	8,15	8,73	9,58	10,96	14,08
H = 21 м											
15	13,30	19,22									
18	9,50	10,65	12,49	15,97	27,16						
21	6,50	6,75	7,06	7,45	8,00	8,77	10,00	12,69			
24	5,92	6,06	6,22	6,42	6,67	6,97	7,37	7,90	8,67	9,90	12,59

Продолжение табл. 2

Таблица 3  
 Приведенные коэффициенты жесткости оснований, осадочного воронкой с  $R = 6\text{м}$ ,  $Z = 6\text{м}$   
 (увеличенные в  $10^2$  раз)

Радиус фундаментов, м	Приведенные коэффициенты жесткости оснований $K$ в точках с радиусом $Z$ , м					
	6	7	8	9	10	16

I	H=9м					
	2	3	4	5	6	7
9	17,44	19,08	22,25	32,35		
12	13,43	13,85	14,42	15,33	16,88	19,83
15	12,67	12,70	12,78	12,99	13,35	13,91
18	12,67	12,47	12,34	12,31	12,55	12,48
H=12м						
9	15,27	16,68	19,28	26,86		
12	11,07	11,49	12,03	12,83	14,12	16,40
15	9,20	10,07	10,25	10,53	10,92	11,48
18	9,58	9,58	9,61	9,70	9,83	10,08
21	9,49	9,40	9,36	9,41	9,50	9,64
24	9,56	9,38	9,22	9,17	9,13	9,11

Продолжение табл. 3

I	H=15м					
	2	3	4	5	6	7
9	14,40	15,69	18,13	25,33		
12	9,87	10,26	10,76	11,49	12,65	14,71
15	8,46	8,61	8,81	9,07	9,44	9,95
18	7,89	7,93	8,01	8,12	8,27	8,48
21	7,65	7,63	7,63	7,67	7,74	7,83
24	7,59	7,52	7,48	7,47	7,49	7,52
H=18м						
9	13,81	15,03	17,33	24,02		
12	10,12	10,59	11,21	12,18	13,78	16,79
15	7,57	7,73	7,91	8,16	8,49	8,95
18	6,90	6,97	7,05	7,17	7,33	7,53
21	6,54	6,56	6,59	6,64	6,72	6,82
24	6,40	6,38	6,38	6,40	6,44	6,45

I	H=18м					
	2	3	4	5	6	7
9	13,81	15,03	17,33	24,02		
12	10,12	10,59	11,21	12,18	13,78	16,79
15	7,57	7,73	7,91	8,16	8,49	8,95
18	6,90	6,97	7,05	7,17	7,33	7,53
21	6,54	6,56	6,59	6,64	6,72	6,82
24	6,40	6,38	6,38	6,40	6,44	6,45



	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	13,98	15,22	17,69	25,30								
12	8,65	9,00	9,44	10,08	11,06	12,78	16,97					
15	7,08	7,22	7,40	7,63	8,00	8,34	8,91	9,75	11,14	14,28		
18	6,29	6,37	6,46	6,58	6,75	6,95	7,21	7,55	8,00	8,63	9,55	
21	5,86	5,89	5,94	6,00	6,09	6,20	6,34	6,52	6,73	7,00	7,35	
24	5,63	5,63	5,63	5,68	5,72	5,79	5,86	5,96	6,07	6,21	6,38	

H=21M

Продолжение табл.

Район Функционал	I	13	14	15	16	17	18	19	20
	17	18	19	20	21	22	23	24	
Приведенные коэффициенты жесткости оснований $K$ в точках с районом 2, м	H=9M	18,69	26,59						
	H=12M	16,50	24,41	12,89	14,73	18,25	29,55		
H=15M	24	9,64	9,90	10,25	10,75	11,47	12,59	14,55	19,50
	18	13,22	17,70	10,26	11,38	13,32	18,18		
H=18M	24	8,31	8,61	9,01	9,56	10,34	11,54	13,64	19,06
	18	11,59	15,06						
H=21M	21	8,33	8,93	9,83	11,52	14,54			
	24	7,31	7,59	7,94	8,42	9,09	10,09	11,76	15,78

Продолжение табл.3

Радиус фундамента, м	Приравненные коэффициенты жесткости основания $K_c$ в точках с радиусом $r, м$									
	0	I	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Приравненные коэффициенты жесткости основания  $K$  (увеличенные в  $10^2$  раз)

Таблица 4

Радиус фундамента, м	Приравненные коэффициенты жесткости основания $K$ (увеличенные в $10^2$ раз)										
	0	I	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
9	12,25	12,37	12,46	12,55	12,69	12,83	13,04	13,25	13,56	13,87	14,37
12	11,62	11,67	11,70	11,73	11,78	11,83	11,90	11,97	12,07	12,17	12,32
15	11,45	11,48	11,49	11,50	11,51	11,53	11,55	11,57	11,60	11,63	11,68
18	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43	11,43
H=9M											
9	10,21	10,42	10,78	11,21	11,73	12,35	13,07	13,89	14,81	15,83	16,95
12	9,21	9,31	9,46	9,65	9,88	10,15	10,46	10,81	11,20	11,63	12,10
15	8,79	8,84	8,92	9,03	9,16	9,31	9,48	9,67	9,88	10,11	10,37
18	8,64	8,66	8,69	8,74	8,79	8,84	8,89	8,94	8,99	9,03	9,07
21	8,59	8,60	8,61	8,63	8,64	8,65	8,66	8,67	8,68	8,69	8,70
24	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57	8,57
H=15M											
9	9,13	9,35	9,65	10,13	10,70	11,37	12,14	13,01	14,00	15,11	16,34
12	7,93	8,04	8,20	8,41	8,66	8,94	9,25	9,59	9,96	10,36	10,79

Продолжение табл. 3

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости оснований											
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	10	10,5	11	12	13
H=12м												
9	11,31	13,25	18,63	10,43	12,22	16,95	7,19	7,03	7,10	7,32	7,52	7,19
H=15м												
24	8,57	8,57	8,52	8,61	8,66	9,00	9,24	9,36	8,85	8,75	8,66	8,66
18	8,82	8,93	9,10	9,24	9,27	9,32	9,36	9,36	9,36	9,36	9,36	9,36
15	9,21	9,48	9,89	10,52	11,57	12,52	13,52	14,52	15,52	16,52	17,52	18,52

Продолжение табл. 4

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости оснований											
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	10	10,5	11	12	13
H=9м												
9	14,82	15,59	16,36	17,78	19,20	24,41	29,63	14,84	15,80	16,76	17,72	18,68
12	12,46	12,66	12,87	13,17	13,46	13,91	14,36	15,80	16,76	17,72	18,68	19,64
15	11,71	11,77	11,83	11,91	12,01	12,14	12,27	12,64	13,18	13,72	14,26	14,80
18	11,44	11,44	11,44	11,50	11,58	11,60	11,60	11,60	11,81	12,03	12,25	12,47
9	12,57	14,82	21,65	11,89	14,01	20,20	11,81	12,03	12,25	12,47	12,69	12,91

Продолжение табл. 4

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости оснований										
	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
H=15м											
15	7,35	7,42	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
18	7,07	7,11	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16	7,16
21	6,89	6,91	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94	6,94
24	6,89	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90

Продолжение табл. 4

Радиус Фундаменты	Приведенные коэффициенты жесткости оснований в точках с радиусом Z, м									
	0	3	6	9	12	15	18	21	24	10
H=18м	9	8,56	10,32	10,78	17,23					
	12	7,21	7,52	8,17	9,68	15,18				
	15	6,52	6,69	7,03	7,69	9,14	14,17			
	18	6,19	6,29	6,48	6,84	7,51	8,91	13,68		
	21	5,93	5,99	6,11	6,32	6,67	7,31	8,66	13,18	
	24	5,82	5,86	5,92	6,04	6,24	6,59	7,21	8,51	12,84
	9	8,13	8,70	10,18	15,89					
	12	6,73	7,01	7,61	8,97	13,72				
	15	5,97	6,06	6,58	7,06	8,36	12,61			
	18	5,53	5,63	5,81	6,16	6,76	8,01	11,98		
21	5,37	5,28	5,40	5,65	5,99	6,59	7,80	11,58		

493

Продолжение табл. 4

Радиус Фундаменты	Приведенные коэффициенты жесткости оснований в точках с радиусом Z, м									
	13,5	14	15	16	16,5	17	18	19,5	21	22
H=9м	15	17,81	24,33							
	18	12,86	13,68	14,89		17,47	23,11			
	15	13,58	19,37							
	18	10,34	11,34	13,25	18,70					
	21	9,24	9,60	10,16	11,11	12,92	18,03			
	24	8,75	8,89	9,10	9,43	9,96	10,86			
	15	11,72	16,12							
	18	8,89	9,80	11,41	15,58					
	21	7,77	8,14	8,69	9,55	11,09	15,03			
	24	7,32	7,50	7,74	8,10	8,63	9,46	10,95		
15	13,58	19,37								
18	10,34	11,34	13,25	18,70						
21	9,24	9,60	10,16	11,11	12,92	18,03				
24	8,75	8,89	9,10	9,43	9,96	10,86				
15	11,72	16,12								
18	8,89	9,80	11,41	15,58						
21	7,77	8,14	8,69	9,55	11,09	15,03				
24	7,32	7,50	7,74	8,10	8,63	9,46	10,95			
15	13,58	19,37								
18	10,34	11,34	13,25	18,70						
21	9,24	9,60	10,16	11,11	12,92	18,03				
24	8,75	8,89	9,10	9,43	9,96	10,86				
15	11,72	16,12								
18	8,89	9,80	11,41	15,58						
21	7,77	8,14	8,69	9,55	11,09	15,03				
24	7,32	7,50	7,74	8,10	8,63	9,46	10,95			

Продолжение табл. 4

заданной загруженной площади основания фундамента.

Входными параметрами в табл. 2 и 3 являются радиус  $R_0$  и глубина  $h_0$  воронки, радиус  $R$  круглого фундамента, сососного с воронкой, передающего на основание нагрузку единичной интенсивности, толщина линейно-деформируемого слоя  $H$  и координаты  $z$  (радиусы) точек фундамента, в которых определяется коэффициент жесткости основания.

В расчетах по программе КАРСТ можно задавать любое значение коэффициента  $n = \bar{E} / E$  ослабления основания. Рекомендуется принимать  $n = 4 - 6$ .

5.11. В зоне воронки коэффициент жесткости основания принимается равным нулю.

5.12. При заданном положении воронки в углу или у края загруженной площади основания величины коэффициента жесткости находятся сначала как для основания без воронки, а затем с воронкой в центре по указаниям п.5.10. На зоны коэффициента жесткости для основания без воронки накладываются зона с коэффициентом жесткости, равным нулю в месте расположения воронки, и примыкающие к ней на расстоянии радиуса воронки такие же зоны с их величинами коэффициента жесткости, какие были получены вокруг центрально расположенной воронки.

Пример 1. Вычисление переменного коэффициента жесткости закарстованного основания перекрестно-ленточного фундамента с помощью табл.2, 3 и 4.

Требуется определить величины переменного коэффициента жесткости основания перекрестно-ленточного фундамента 9-этажного двухсекционного крупнопанельного дома с учетом возможности образования карстовой воронки радиусом  $R_0 = 3$  м под углом здания.

На рис.8 приведен план фундаментов одной секции дома с нанесенной на нем воронкой и прямоугольной разностной сеткой  $i, j$ , используемой при статическом расчете фундамента.

По данным инженерно-геологических изысканий, основание здания однородное в плане, сложено песчаными грунтами с осредненным приведенным модулем деформации  $\bar{E} = 20$  МПа и подстилается на глубине 9 м закарстованными известняками.

Принимаем толщину линейно-деформируемого слоя основания, равной  $H_0 = 9$  м, коэффициент ослабления основания под воронкой

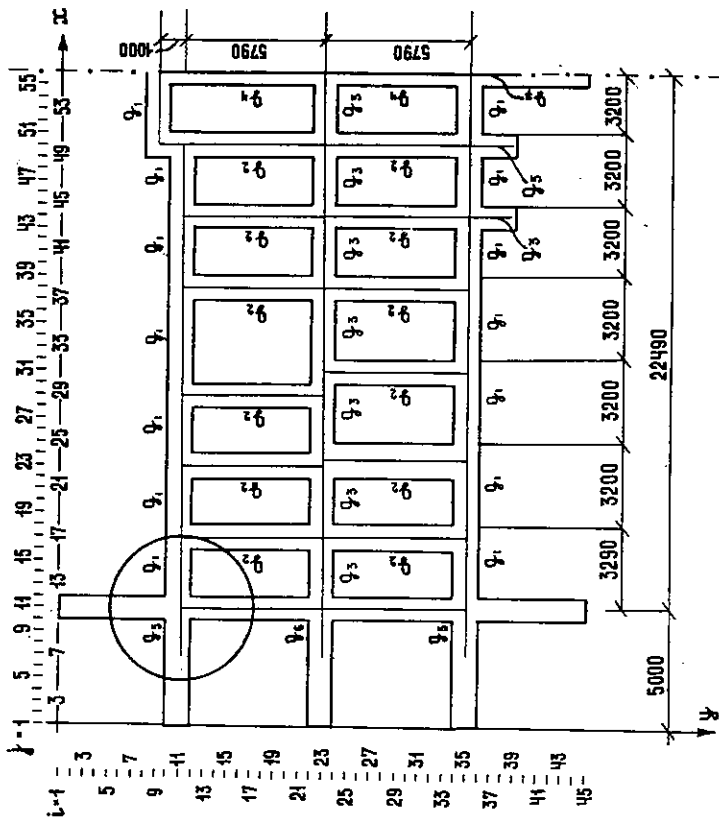


Рис.8. План перекрестно-ленточного фундамента 9-этажного крупнопанельного дома в г.Подольске

В соответствии с п. 5.12 при заданном положении воронки под углом здания сначала находим величины коэффициента жесткости основания круглого фундамента без воронки по формуле (3) и табл. 4, а затем для круглого фундамента соосного с воронкой по табл. 2.

Вычисление величин коэффициента жесткости ведем в следующей последовательности:

1. В соответствии с указаниями п. 5.10 принимаем, что единичная распределенная нагрузка передается на основание по прямоугольному пятну здания, имеющему размеры  $45 \times 11,6$  м.

2. Определяем радиус  $R$  круглого фундамента, эквивалентного по площади прямоугольному пятну здания

$$45 \times 11,6 = \pi R^2; R = \sqrt{\frac{495}{\pi}} = 12,55 \text{ м.}$$

Для удобства пользования табл. 4 принимаем  $R = 12$  м.

3. По указаниям пп. 5.4 и 5.5 наносим на план здания зоны, в пределах которых величина переменного коэффициента жесткости основания задается постоянной. Принимаем одинаковую ширину зон как в направлении длинной, так и короткой сторон фундамента.

Делим на 4 равные части короткую и длинную полуоси фундамента здания, а также радиус условного круглого фундамента.

Координаты центров кольцевых зон основания круглого фундамента составляем:  $z_1 = 10,5$  м;  $z_2 = 7,5$  м;  $z_3 = 4,5$  м;  $z_4 = 1,5$  м.

По табл. 4 для круглого фундамента с  $R = 12$  м при толщине сжатого слоя  $H_f = 9$  м для центров кольцевых зон находим линейной интерполяцией следующие величины приведенного коэффициента жесткости основания:  $\bar{k}_1 = 0,1712 \text{ м}^{-1}$ ;  $\bar{k}_2 = 0,1317 \text{ м}^{-1}$ ;  $\bar{k}_3 = 0,1207 \text{ м}^{-1}$ ;  $\bar{k}_4 = 0,1170 \text{ м}^{-1}$ .

4. Определяем по п. 5.10 радиус круглого фундамента соосного с воронкой, передающего на основание нагрузку единичной интенсивности, распределенную по кольцу, эквивалентную по площади прямоугольному пятну здания

$$45 \times 11,6 = \pi(R^2 - R_0^2); R = \sqrt{\frac{495 + 9\pi R_0^2}{\pi}} = 12,9 \text{ м.}$$

Для удобства пользования табл. 2 принимаем  $R = 12$  м.

Зоны основания, в пределах которых величина коэффициента жесткости считается постоянной, оставляем те же, что и для круглого фундамента без воронки, кроме центральной зоны, включающей воронку, для которой принимаем приведенный коэффициент жесткости  $\bar{k}_3$

(вместо  $\bar{k}_4$ ) и  $k = 0$  в пределах воронки.

По табл. 2 для точек с радиусами  $r_1 = 10,5$  м;  $r_2 = 7,5$  м;  $r_3 = 4,5$  м находим:  $\bar{k}_1 = 0,1790 \text{ м}^{-1}$ ;  $\bar{k}_2 = 0,1369 \text{ м}^{-1}$ ;  $\bar{k}_3 = 0,1275 \text{ м}^{-1}$ .

Определяем по формуле (3) величины коэффициента жесткости

основания: круглого фундамента без воронки  $k_1 = 0,1712 \times 20 = 3,424 \text{ МН/м}^3$ ;  $k_2 = 2,634 \text{ МН/м}^3$ ;  $k_3 = 2,414 \text{ МН/м}^3$ ;  $k_4 = 2,34 \text{ МН/м}^3$ ; круглого фундамента с воронкой  $k_1 = 3,58 \text{ МН/м}^3$ ;  $k_2 = 2,738 \text{ МН/м}^3$ ;  $k_3 = 2,55 \text{ МН/м}^3$ .

На плане фундаментов (см. рис. 8) наносим зоны коэффициента жесткости основания без воронки

$k_1 = 3,424 \text{ МН/м}^3$  от  $i = 1$ ,  $j = 1$  до  $i = 45$ ;  $j = 11$ ;

$k_2 = 2,634 \text{ МН/м}^3$  от  $i = 14$ ,  $j = 22$  до  $i = 32$ ;  $j = 90$ ;

$k_3 = 2,414 \text{ МН/м}^3$  от  $i = 17$ ,  $j = 34$  до  $i = 29$ ;  $j = 78$ ;

$k_4 = 2,34 \text{ МН/м}^3$  от  $i = 20$ ,  $j = 45$  до  $i = 26$ ;  $j = 67$ , затем

зону с коэффициентом жесткости  $k = 0$  в пределах воронки, находящейся в углу здания с центром  $i = 11$ ,  $j = 11$ , а также показываем ослабленную зону вокруг воронки от  $i = 1$ ,  $j = 1$  до  $i = 23$ ,  $j = 23$  с коэффициентом жесткости  $k_3 = 2,55 \text{ МН/м}^3$ , вычисленным для основания круглой плиты с воронкой в центре.

Пример 2. Вычисление на ЭВМ ЕС-1060 переменного коэффициента жесткости каркасного основания фундаментной плиты каркасного здания по программе КАРСТ

Требуется вычислить величины переменного коэффициента жесткости основания фундаментной плиты каркасного здания районной АЭС с учетом возможности образования карстовой воронки радиусом  $R_0 = 5$  м под колонной, расположенной в центре здания.

На рис. 9 приведен план фундаментной плиты здания с воронкой и прямоугольной разностной сеткой  $i, j$ , используемой при статическом расчете плиты.

По данным инженерно-геологических изысканий, основание однородно в плане, сложено песчаными грунтами с осредненными приведенным модулем деформации  $E = 30 \text{ МПа}$  и подстилается на глубине 25 м закарстованными известняками.

В соответствии с п. 5.3 принимаем расчетную толщину линейно-деформируемого слоя основания равной  $H_d = 12$  м, коэффициент ослабления основания под воронкой  $n = 6$ .

Для вычисления величины переменного коэффициента жесткости

основания по программе КАРСТ в соответствии с п.5.10 приводим прямоугольную фундаментную плиту, имеющую размеры в плане 57 х 21м, к кольцевой, равновеликой по площади и соосной с воронкой

$$5\pi(R^2 - R_0^2) = 57,21; R_1 = \sqrt{\frac{57,21 + \pi \cdot 3^2}{\pi}} = 19,7 \text{ м.}$$

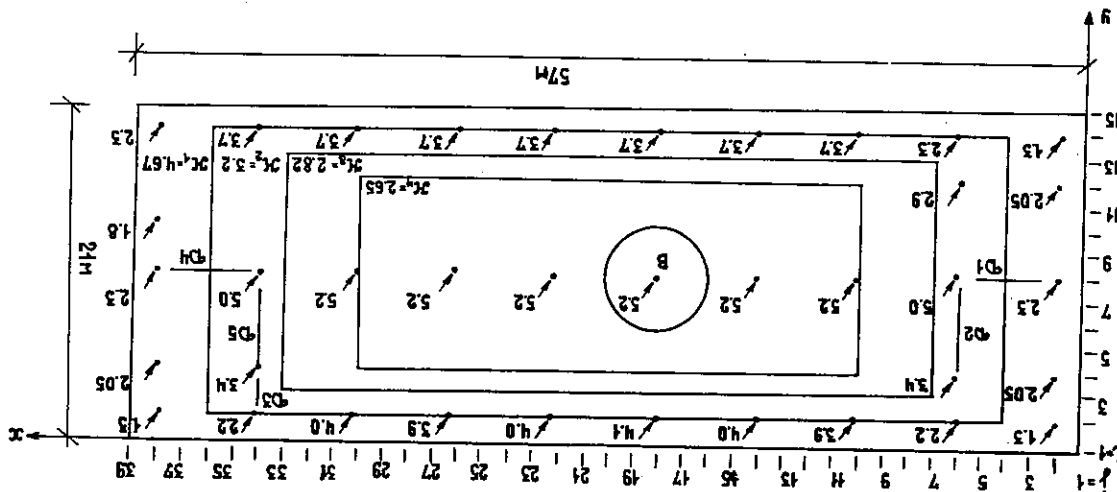
При расчете по программе КАРСТ введем следующие исходные данные в соответствии с инструкцией к программе [4]: высота слон (толщина линейно-деформируемого слоя основания)  $H = 12\text{м}$ ; глубина (сферической) воронки  $h = 3\text{м}$ ; радиус воронки  $R_0 = 3\text{м}$ ; радиус зоны нарушенной структуры  $R_{ссл} = 3\text{м}$ ; координата начала нагрузки  $R_1 = 3\text{м}$ ; координата окончания нагрузки  $R_2 = 18\text{м}$  (вместо 19,7м для кратности геометрических параметров); радиус зоны концентрации (стужения сетки элементов)  $R_{конц} = 18\text{м}$ ; глубина зоны концентрации  $h_{конц} = 3\text{м}$ ; общее количество цилиндров 24; общее количество подслоев 15; количество цилиндров в зоне концентрации 12; количество подслоев в зоне концентрации 6; модуль деформации слон  $\bar{E} = 30 \text{ МПа}$ ; модуль деформации нарушенной части основания  $E = 5 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона слон  $\nu = 0,3$ ; коэффициент Пуассона нарушенной части  $\nu = 0,3$ ; интенсивность нагрузки  $-P_z = 127 \text{ кПа}$ .

В результате расчета по программе КАРСТ для основания круглого фундамента в точках с радиусами  $z = 3; 4,5; 6; 7,5; 9; 10,5; 12; 13,5; 15; 16,5$  и 18 получены соответственно следующие величины переменного коэффициента жесткости:  $K = 2,67; 2,65; 2,65; 2,68; 2,73; 2,81; 2,93; 3,12; 3,44; 4,07$  и  $6,02 \text{ МН/м}^3$ .

На рис.9 нанесены зоны основания фундаментной плиты, в пределах которых принимаются постоянные величины коэффициента жесткости. Эти величины определяем в средних точках зон с координатами  $i = 8, i = 2,5, 8$  и 13. Для чего на круглой плите находим аналогичные точки с радиусами соответственно  $z = 16,96; 13,78; 10,6$  и  $5,3\text{м}$ . Линейной интерполяцией значений коэффициента жесткости, полученных по программе КАРСТ, вычисляем в этих точках величины  $K_1 = 4,67 \text{ МН/м}^3$ ;  $K_2 = 3,2 \text{ МН/м}^3$ ;  $K_3 = 2,82 \text{ МН/м}^3$  и  $K_4 = 2,65 \text{ МН/м}^3$ . В зоне воронки принимаем коэффициент жесткости  $K = 0$ .

Пример 3. Вычисление на ЭВМ ЕС-1060 переменного коэффициента жесткости закарстованного основания фундаментной плиты крупнопанельного здания по программе КАРСТ

Рис. 9. План фундаментной плиты каркасного здания АТС



Требуется вычислить величины переменного коэффициента жесткости основания фундаментной плиты 16-этажного крупнопанельного здания с учетом возможности образования двух карстовых воронок радиусом  $R_0 = 3\text{ м}$  одновременно под центральной и угловой частями плиты.

На рис. 10 показан план фундаментной плиты с воронками и прямоугольной разностной сеткой  $i, j$ , используемой при статическом расчете плиты.

По данным инженерно-геологических изысканий, основание однородно в плане, сложено до глубины 15 м от подошвы фундамента песчаными грунтами с осредненным приведенным модулем деформации  $\bar{E} = 20\text{ МПа}$ , ниже расположено переслаивающиеся суглинки и пески, подстилаемые мягкой глиной, толщина слоя которой составляет 1,5-2 м, и закарстованными известняками.

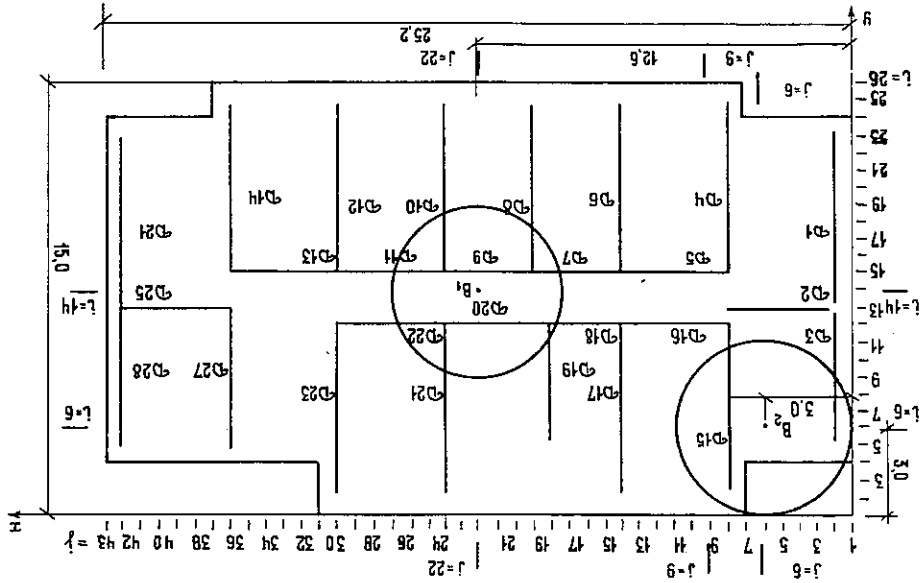
В соответствии с п. 5.3 принимаем расчетную толщину линейно-деформируемого слоя основания равной  $H_L = 10\text{ м}$ , коэффициент ослабления основания под воронкой  $-n = 4$ .

Для вычисления значений переменного коэффициента жесткости основания по программе КАРСТ приводим ортогональную в плане фундаментную плиту к равновеликой по площади и соосной с воронкой кольцевой плите с наружным радиусом  $R = 12\text{ м}$ .

При расчете по программе КАРСТ задаем в соответствии с [4] следующие исходные данные: высота (толщина) слоя  $H = 10\text{ м}$ ; глубина воронки  $h = 3\text{ м}$ ; радиус воронки  $R_0 = 3\text{ м}$ ; радиус зоны нарушенной структуры  $R_{ост} = 3\text{ м}$ ; координата начала нагрузки  $R_1 = 3\text{ м}$ ; координата окончания нагрузки  $R_2 = 12\text{ м}$ ; радиус зоны концентрации  $R_{кон} = 12\text{ м}$ ; глубина зоны концентрации  $h_{кон} = 3\text{ м}$ ; общее количество цилиндров 30; общее количество подслоев 10; количество цилиндров в зоне концентрации 12; количество подслоев в зоне концентрации; модуль деформации слоя  $\bar{E} = 20\text{ МПа}$ ; модуль деформации нарушенной части основания 5 МПа; коэффициент Пуассона слоя  $\nu = 0,33$ ; коэффициент Пуассона нарушенной части  $\nu = 0,33$ ; интенсивность нагрузки  $R_3 = 185\text{ кПа}$ .

В результате расчета по программе КАРСТ для оснований круглого фундамента в точках с радиусами  $R = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$  и  $12\text{ м}$  получены соответственно следующие величины переменного коэффициента жесткости  $k = 2,25; 2,28; 2,31; 2,36; 2,44; 2,56; 2,74; 3,02; 3,55$  и  $4,97\text{ МН/м}^3$ .

Рис. 10. План фундаментной плиты рядовой секции 16-этажного жилого крупнопанельного дома серии П 44





На плане фундаментной плиты (см. рис. 10) задается следующими зонами, в пределах которых принимаются постоянные величины коэффициента жесткости: зона I от  $i = 1, j = 1$  до  $i = 26, j = 43$ ; зона 2 от  $i = 6, j = 7$  до  $i = 21, j = 10$ ; от  $i = 4, j = 10$  до  $i = 23, j = 28$ ; от  $i = 6, j = 28$  до  $i = 23, j = 34$  и от  $i = 6, j = 34$  до  $i = 21, j = 38$ ; зона 3 от  $i = 7, j = 12$  до  $i = 20, j = 32$ ; зона 4 от  $i = 1, j = 1$  до  $i = 16, j = 16$ .

Значения коэффициента жесткости определяем в средних точках зон с координатами  $i = 14, j = 4, 9, 14$ . Для чего на круглой плите находим аналогичные точки с радиусами соответственно  $r = 10, 26; 7, 41$  и  $4, 56$ . Линейной интерполяцией значений коэффициента жесткости, полученных по программе КАРСТ, вычисляем в этих точках следующие величины коэффициента жесткости: для зоны I  $K_1 = 3,16 \text{ МН/м}^3$ ; для зоны 2  $K_2 = 2,49 \text{ МН/м}^3$ ; для зоны 3  $K_3 = 2,3 \text{ МН/м}^3$  и для зоны 4 также  $K_4 = 2,3 \text{ МН/м}^3$ . В зонах воронок принимаем коэффициент жесткости  $K = 0$ . В соответствии с п. 5.7 при наложении зон отменяется ранее заданная величина коэффициента жесткости.

#### 6. СТАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ И ПЕРЕКРЕСТНЫХ ЛЕНТ С УЧЕТОМ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ С ВЕРХНИМ СТРОЕНИЕМ

6.1. Расчеты фундаментной плиты и перекрестных лент с воронкой в основании выполняются на ЭВМ в нескольких вариантах при различных положениях воронок, принимаемых в соответствии с указаниями п. 2.11, с тем чтобы определить максимальные усилия и деформации фундамента.

6.2. При выборе программы для расчета фундаментов на ЭВМ следует пользоваться перечнем и характеристиками программ, приведенными в прил. I Руководства [3].

6.3. Для многовариантных расчетов фундаментных плит с учетом жесткости верхнего строения здания с несущими стенами либо со связанным каркасом наиболее удобной является программа ПОРТИК - S (разработчик - Челябинский политехнический институт им. Ленинского комсомола) на ЕС ЭВМ [5], доведенная до практического использования после составления перечня программ Руководства [3].

Программа ПОРТИК - S отличается от других известных программ быстродействием, простотой подготовки, ввода и контроля исходных данных, позволяет рассчитывать плиту произвольной ортогональной фор-

мы в плане, ступенчато-переменной толщины с отверстиями и ребрами на основании, характеризуемом переменным коэффициентом жесткости, который для закарстованного основания определяется по указаниям раздела 5.

Расчет плиты выполняется вариационно-разностным методом. Верхнее строение моделируется системой стен, связанных между собой дисками перекрытий. Учитывается жесткая связь стен в уровне каждого этажа. Взаимодействие стен между собой выражается в виде вертикальных усилий сдвига. Стены считаются способными сопротивляться изгибу только в своей плоскости.

Диски перекрытий выполняют роль недеформирующихся связей между стенами. Соединение их со стенами - шарнирное. Взаимодействие стен с дисками перекрытий учитывается в виде горизонтальных усилий сдвига.

На контакте стен с фундаментной плитой действуют вертикальные силы и момент, который приводится к паре вертикальных сил с плечом, равным ширине стены. Возможен поворот стен. Вертикальные силы, передаваемые стеной, считаются приложенными к плите в крайних точках контактной зоны. Влияние на работу плиты сдвигающих усилий, возникающих в этой зоне, не учитывается.

Перемещения стены на контакте с плитой изменяются по линейному закону, так как для стены принята гипотеза плоских сечений, что обеспечивается заданием достаточно большой жесткости плиты (при шестикратной толщине плиты) в плоскости стены.

Фундаментная плита может быть нагружена произвольной вертикальной нагрузкой, приводимой к узлам сетки.

К стенам прикладываются погонная вертикальная нагрузка и сосредоточенная ветровая, задаваемая в уровне перекрытий соответствующего этажа.

Плиту можно рассчитывать сразу при нескольких вариантах загрузки, а также выполнять расчеты с различными положениями одной воронки либо сразу двух и более воронок. Причем задание координат центра воронки и ее радиуса автоматическим связывается с принятием в зоне воронки коэффициента жесткости, равного нулю.

Программа снабжена блоком армирования.

Перекрестно-ленточные фундаменты также могут рассчитываться по программе ПОРТИК - S как ребристые либо плоские плиты с вырезами.

Для ЭВМ с объемом оперативной памяти 512 К байтов возможен расчет плиты в системе ДЭС с общим количеством узлов разностной сетки до 4000 и в системе ОС до 1600 узлов, а также с верхним строением, включающим до 50 плоских стен.

Время расчета на ЕС - 1033 фундаментной плиты, имеющей 1118 узлов разностной сетки, с учетом жесткости одного этажа здания составляет примерно 20 мин, а на ЕС-1160 - 4 мин.

6.4. Программный комплекс ИПП АПЖК (Лира) Киевского НИИАСС [3], обладающий большими расчетными возможностями, рекомендуется для выполнения расчета фундаментной плиты произвольной формы и переменной толщины, а также перекрестных лент совместно с верхним строением здания, в результате которого определяются усилия и деформации как фундамента, так и элементов верхнего строения.

Комплекс реализует метод конечного элемента для фундамента и верхнего строения.

Для основания может быть принята модель переменного коэффициента жесткости.

Комплекс имеет блок армирования. Расчет ведется в упругой постановке. Нелинейные деформации железобетона учитываются при подборе арматуры.

Расчет может выполняться сразу на несколько загружений.

Ограничениями для программного комплекса являются время счета и число узлов сетки, не превышающее 3200.

6.5. Для уменьшения времени расчета по программному комплексу ИПП АПЖК при многовариантных расчетах с различными положениями воронок рекомендуется предварительно выбрать с помощью программы ПОРТИК - S наиболее невыгодные для деформаций и усилий в фундаменте положения воронок.

6.6. Для расчета перекрестно-ленточного фундамента с учетом жесткости рамного каркаса здания следует пользоваться программой ПРОФЖОН на ЕС ЭВМ Харьковского Проектноинициатора [3].

Программа позволяет также выполнить расчет фундаментной плиты произвольной формы в плане, ступенчато-переменной толщины совместно с рамным каркасом здания. Основание может моделироваться переменным коэффициентом жесткости.

Каркас здания представляется стержневой расчетной схемой.

Плита заменяется эквивалентной по жесткости системой перекрестных

балок.

Система каркас-фундамент-основание рассчитывается как просторанственная стержневая конструкция методом перемещений строительной механики. Узлы в фундаменте определяются по полученным перемещениям узлов системы перекрестных балок с помощью конечно-разностных соотношений.

При образовании воронок в основании стержни системы перекрестных балок, оказавшиеся в зоне воронок, исключаются из категории стержней на другом основании и переходят в категорию обычных стержней. Количество, размеры и очертания воронок при этом произвольны.

Качественные возможности программы ПРОФЖОН (Проектирование фундаментных конструкций) определяются неравностью

$$6N_0 + 3N_1 \leq 1094,$$

где  $N_0$  - число узлов просторанственного неадресованного каркаса;

$N_1$  - число узлов системы перекрестных балок.

Результатами расчета по программе являются усилия и перемещения фундамента, реактивный опор основания, а также армирование фундамента.

Пример 4. Расчет фундаментной плиты каркасно-связевого здания по программе ПОРТИК - S

Требуется рассчитать на ЭВМ по программе ПОРТИК - S фундаментную плиту здания районной АТС, расположенного в потенциально опасно-опасном районе (по районированию, указанному в [2]).

Исходные данные для расчета задаем в соответствии с инструкцией к программе.

На рис.9 приведен план плиты с нагрузками на колонны, МН (нагрузки на диафрагмы переданы колоннам).

Расчет выполняем на одно из невыгодных положений воронок диаметром 6м, принятое под центральной колонной, и на одно загружение плиты вертикальной нагрузкой без учета жесткости верхнего строения. Координаты центра воронки составили  $x = 25,5\text{м}, y = 10,5\text{м}$ .

Величин коэффициента жесткости основания, ослабленного рошкой, задаем по результатам вычислений, приведенных в примере 2 (см. раздел 5). Зоны коэффициента жесткости и положение воронок показаны на плане плиты (см. рис.9).

Размеры прямоугольника, в который вписывается плита, составляют 57 x 21м. Шаг сетки в двух направлениях 1,5м.

Толщина плиты 0,7м. Бетон марки М200. Модуль упругости бетона  $E_c = 24000 \text{ МПа}$ . Коэффициент Пуассона  $\nu = 0,2$ .

Результаты расчета приведены на рис.11 и 12. Эпюры изгибающих моментов  $M_x$  показаны для сечений  $i = 8$  и  $j = 18$ .

Пример 5. Расчет фундаментной плиты крупнопанельного 16-этажного дома по программе ПОРТИК - S

Требуется рассчитать на ЭВМ по программе ПОРТИК - S фундаментную плиту рядовой секции П44-1/16 крупнопанельного 16-этажного дома с поперечными несущими стенами, расположенного в потенциально карсто-опасном районе.

Исходные данные для расчета задаем в соответствии с инструкцией к программе.

План плиты с марками стен приведен на рис.10. Нагрузки на стены даны в табл.5

Таблица 5

Нагрузки на стены в уровне верха фундаментной плиты рядовой секции П44-1/16, кН/м

Марка стены	Нагрузка	Марка стены	Нагрузка	Марка стены	Нагрузка
Д1	770	Д10	670	Д19	370
Д2	480	Д11	430	Д20	500
Д3	720	Д12	590	Д21	710
Д4	690	Д13	430	Д22	250
Д5	500	Д14	710	Д23	770
Д6	570	Д15	680	Д24	770
Д7	410	Д16	250	Д25	480
Д8	550	Д17	760	Д26	720
Д9	420	Д18	500	Д27	650

Расчет плиты выполнен с учетом жесткости одного этажа здания в соответствии с рекомендациями п.2.13 при двух невыгодных положениях воронок диаметром 6м, принятых под углом и центром плиты (образование сразу двух воронок большого диаметра маловероятно, но принято для того, чтобы показать расчет плиты при двух возможных

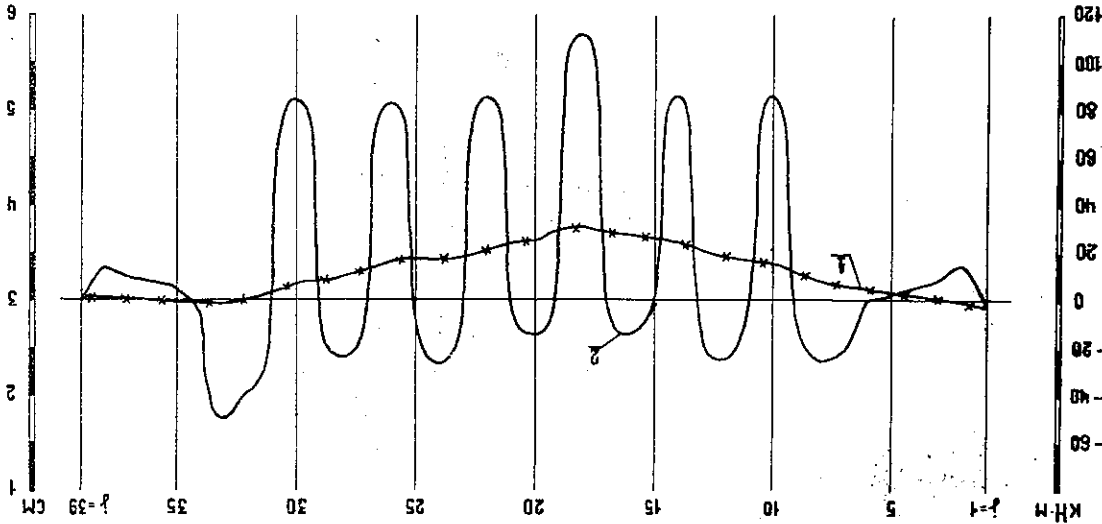


Рис. 11. Эпюры осадок (1) и моментов  $M_x$  (2) для сечения  $i = 8$  фундаментной плиты каркасного здания

положениях воронок), и на одно загрузке плиты вертикальной нагрузкой, передаваемой стенами. Координаты центров воронок составили  $x = 3\text{ м}$ ,  $y = 3\text{ м}$  и  $x = 12,6\text{ м}$ ,  $y = 7,5\text{ м}$ .

Величины и зоны коэффициента жесткости основания, ослабленного воронкой, задаем по результатам вычислений, приведенных в примере 3 (раздел 5).

Размеры прямоугольника, в который вписывается плита сложной ортогональной формы в плане, составляют  $25,2 \times 15\text{ м}$ . Толщина плиты  $0,5\text{ м}$ . Бетон плиты марки М200 с модулем деформации  $E_c = 24000\text{ МПа}$  и коэффициентом Пуассона  $\nu = 0,2$ . Толщина несущих стен  $0,18\text{ м}$ . Бетон стен М300 с модулем деформации  $E_c = 29000\text{ МПа}$ . Высота этажа  $2,8\text{ м}$ . Шаг сетки  $0,6\text{ м}$ .

Результаты расчета приведены на рис. 13 и 14. Эпюры осадок и изгибающих моментов  $M_x$  показаны для сечений  $i = 5$  и  $i = 14$ .

Пример 6. Расчет перекрестно-ленточного фундамента крупнопанельного 9-этажного дома по программе ПОРТИК - S

Требуется рассчитать на ЭВМ по программе ПОРТИК - S перекрестно-ленточный фундамент 9-этажного крупнопанельного двухсекционного дома в карстоопасном районе.

Исходные данные составлены в соответствии с инструкцией к программе.

План фундамента с разностной сеткой  $i, j$  и нагрузками на ленты  $q_1 = 0,15\text{ МН/м}$ ,  $q_2 = 0,221\text{ МН/м}$ ,  $q_3 = 0,2\text{ МН/м}$ ,  $q_4 = 0,302\text{ МН/м}$ ,  $q_5 = 0,28\text{ МН/м}$ ,  $q_6 = 0,35\text{ МН/м}$ ,  $q_7 = 0,361\text{ МН/м}$  приведен на рис. 10.

Расчетное положение воронок радиусом  $3\text{ м}$  принимаем под пересечением наружных лент. Координаты воронок составляют  $x = y = 5\text{ м}$ .

Расчет перекрестных лент ведем как ребристой плиты с отверстиями между ребрами.

Перекрестные ленты с консольными участками, выпущенными за пределы здания в соответствии с указаниями п.1.16, вписываются в прямоугольник, имеющий размеры  $55 \times 22\text{ м}$ , с принятым по возможности программы минимальным шагом сетки в двух направлениях, равным  $0,5\text{ м}$ .

Для задания Т-образного сечения ребер принимаем основную толщину плиты  $0,3\text{ м}$ , высоту ребер  $0,7\text{ м}$ , ширину ребер  $0,4\text{ м}$  и перемычку угловых узлов сетки как по контуру плиты, так и по внутренним

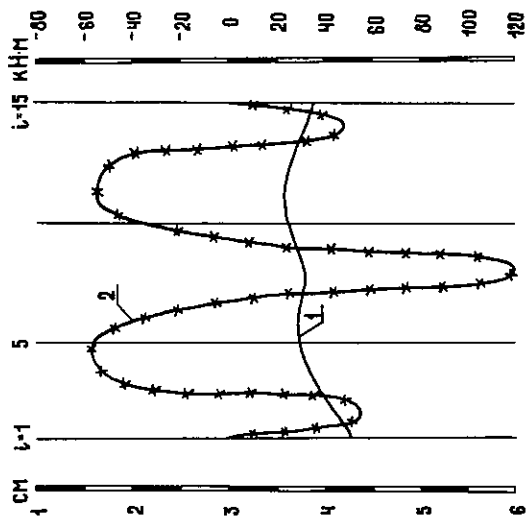


Рис. 12. Эпюры осадок (I) и моментов  $M_x$  (II) для сечения  $i = 18$  фундаментной плиты каркасного здания

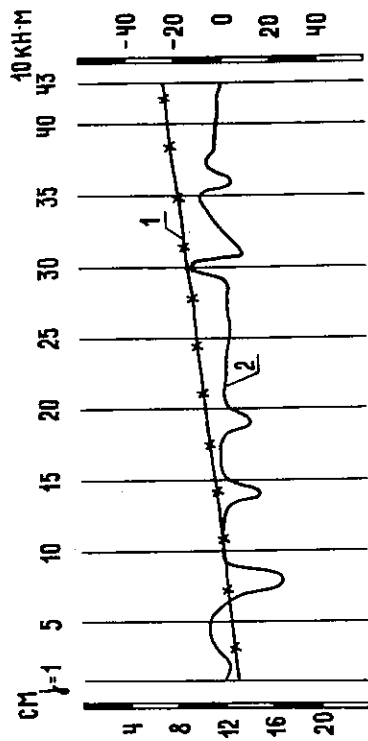


Рис. 14. Эпюры осадок (1) и моментов  $M_x$  (2) для сечения  $l = 14$  фундаментной плиты крупнопанельного дома

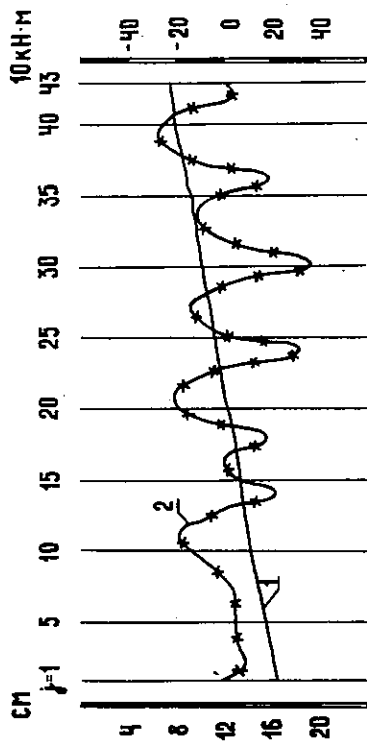


Рис. 13. Эпюры осадок (1) и моментов  $M_x$  (2) для сечения  $l = 5$  фундаментной плиты крупнопанельного дома

контурам, расположенным между ребрами. Указываем на наличие одного внешнего контура.

Бетон ребер имеет марку М200, модуль упругости  $E_c = 24400$  МПа и коэффициент Пуассона  $\nu_c = 0,2$ .

Безличины и зоны коэффициента жесткости основания, ослабленного боронкой, задаем по результатам вычислений, приведенных в примере I (см. раздел 5).

Расчет ведем на один вариант загрузки фундамента вертикальной нагрузкой без учета жесткости верхнего строения.

Результаты расчета приведены на рис.15. Эпюры осадок и изгибающих моментов  $M_x$  показаны для сечения  $i = II$ .

### 7. УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ВЫСОКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КАРСТОВЫХ ВОРОНОК

7.1. Рекомендации настоящего раздела распространяются на проектирование плитных фундаментов высоких сооружений прямоугольной и круглой формы в плане. При этом предполагается, что вплоть до опрокидывания обеспечивается прочность и устойчивость самих элементов сооружения.

7.2. Устойчивость положения плитных фундаментов высоких сооружений характеризуется коэффициентом устойчивости  $K_{yc}$ , который определяется как отношение критического значения диаметра карстовой воронки  $\alpha_{кр}$  к прогнозируемому (расчетному) значению  $\alpha_e$

$$K_{yc} = \frac{\alpha_{кр}}{\alpha_e} \quad (4)$$

7.3. За критическое значение диаметра карстовой воронки принимается размер воронки, при котором равнодействующая масс сооружения и плитного фундамента  $G$  пересекает контур области устойчивых положений, в результате чего происходит опрокидывание сооружения. В общем случае область устойчивых положений следа равнодействующей масс на контактной плоскости не совпадает с опорной площадью. На рис.16 приведены некоторые случаи накренившихся сооружений с плитными фундаментами. Во всех случаях вращение сооружений при опрокидывании произойдет вокруг оси  $A_1B_1$ . Областью устойчивых положений следа равнодействующей масс сооружения на рис.16, а является площадь  $AA_1B_1B_1$  при данном положении карстовой воронки. На рис.16, б область устойчивых положений —  $A_1B_1A_1$ , на рис.16, в —  $A_1B_1D_1$ . На рис.16, г область ус-

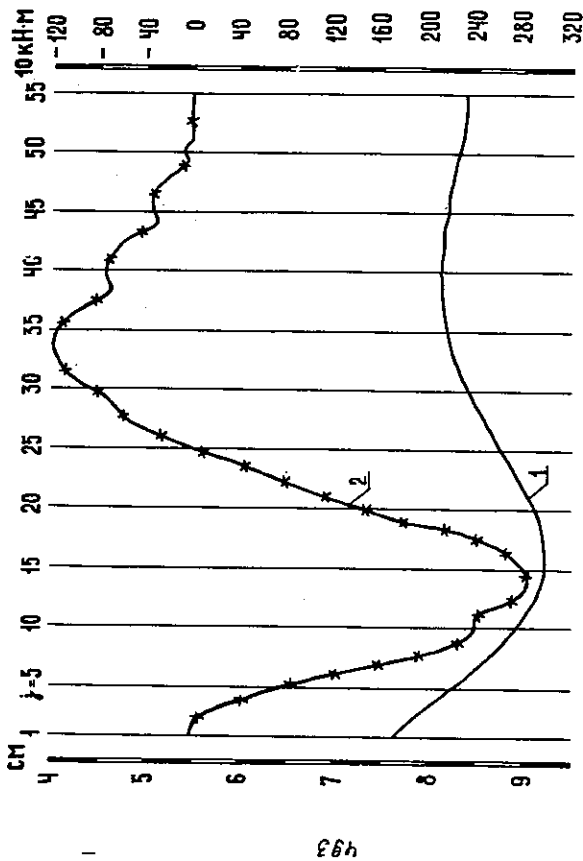


Рис. 15. Эпюры осадок (1) и моментов  $M_x$  (2) для сечения  $i = II$  перекрестно-панельного фундамента крупнопанельного дома

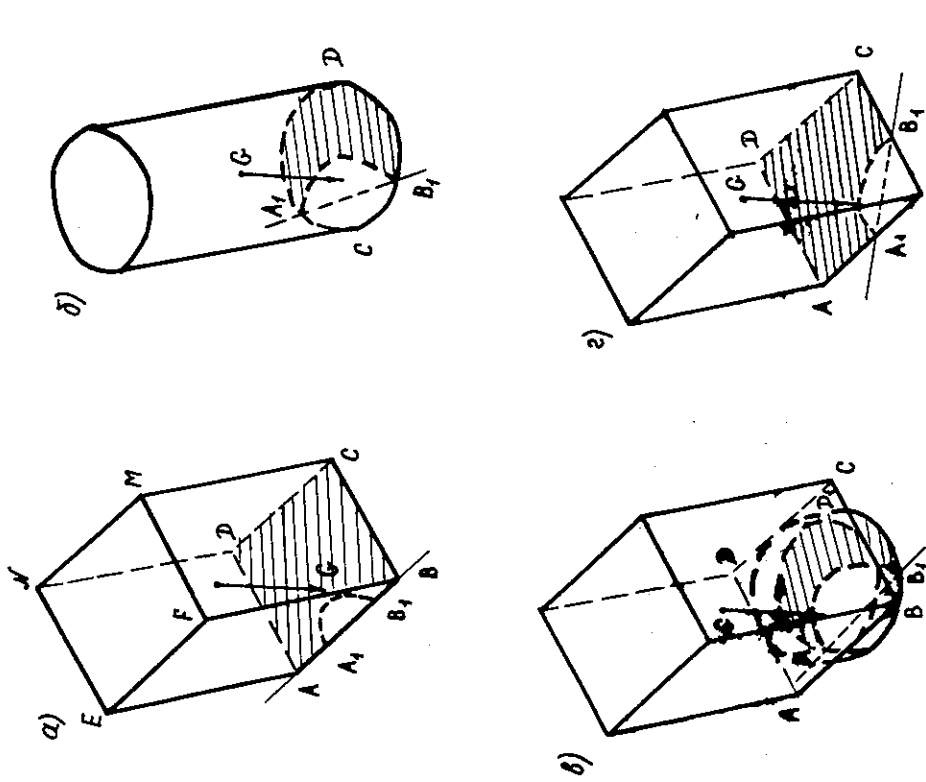


Рис.16. Устойчивость сооружений при образовании карстовых воронок:  
 а - воронка под серединой стержня прямоугольного сооружения;  
 б - воронка под круглым в плане сооружением;  
 в - воронка под прямоугольным сооружением с круглой в плане цокольной частью;  
 г - воронка под углом прямоугольного здания

тойчивых положений следа равнодействующей - площадь  $AA_1B_1C_1D_1$ . При этом области устойчивых положений включают также незашифрованные участки, заключенные между дугами - контурами карстовых воронок - и осями вращения  $A_1B_1$ .

7.4. Критические значения диаметров карстовых воронок определяются построением кривых равновесных состояний сооружений при последовательном увеличении размеров карстовых воронок. Кривые равновесных состояний строятся в координатной системе  $\rho_0/\alpha(\rho_0/2R), A_2$ , где  $\rho_0$  - радиус карстовой воронки;  $\alpha$  - размер стороны прямоугольного плитного фундамента в плоскости крена сооружения;  $R$  - радиус круглого плитного фундамента;  $A_2$  - крен сооружения (плиты).

7.5. Уравнение осадок прямоугольных плитных фундамента при расположении карстовой воронки под углом фундамента (см. рис.17, а) в полярной системе координат с началом, совпадающим с центром карстовой воронки, имеет вид

$$w(\rho, \varphi) = A_1 - A_2 \rho \cos \varphi - A_3 \rho \sin \varphi \quad (5)$$

где  $\rho, \varphi$  - соответственно текущий радиус и угол, составленный текущим радиусом с полярной осью;  $A_1$  - осадка угловой точки прямоугольной плиты, в которой размещено начало полярной системы координат;  $A_2, A_3$  - крены сооружения в вертикальных плоскостях, параллельной полярной оси и нормальной к полярной оси.

Система уравнений равновесия до момента, когда еще отсутствует отслапание оснований от подошвы плиты на противоположном от карстовой воронки крае, имеет вид

$$A_1 \left( \alpha \delta - \frac{\pi \rho_0^2}{4} \right) - A_2 \left( \frac{\alpha \delta}{2} - \frac{\rho_0^2}{3} \right) - A_3 \left( \frac{\alpha \delta^2}{2} - \frac{\rho_0^2}{3} \right) = \frac{G}{C};$$

$$\rho_0^2 \left[ A_1 \left( \frac{\pi \alpha}{\delta} - \frac{\rho_0}{3} \right) - A_2 \rho_0 \left( \frac{\alpha}{\delta} - \frac{\pi \rho_0}{16} \right) - A_3 \rho_0 \left( \frac{\alpha}{\delta} - \frac{\rho_0}{3} \right) \right] - A_1 \left( \gamma_y - \frac{G h}{C} \right) = 0; \quad (6)$$

$$\rho_0^2 \left[ A_1 \left( \frac{\pi \delta}{\delta} - \frac{\rho_0}{3} \right) - A_2 \rho_0 \left( \frac{\delta}{\delta} - \frac{\rho_0}{\delta} \right) - A_3 \rho_0 \left( \frac{\delta}{\delta} - \frac{\pi \rho_0}{16} \right) \right] - A_1 \left( \gamma_x - \frac{G h}{C} \right) = 0,$$

где  $h$  - расстояние от центра тяжести сооружения до подошвы плитного фундамента;

$\gamma_x, \gamma_y$  - моменты инерции площади подошвы фундамента;  $C$  - жестко-стная характеристика основания (коэффициент постели).

Если  $\ell$  — размер зоны отгибания вдоль стороны размером  $\delta$ , то

$$A_1 = \delta A_3 + \alpha A_2 - \ell A_3, \quad (7)$$

в системе уравнений в ступни отрыва основания от подошвы плиты на конце, противоположном от карстовой воронки, имеет вид:

$$\begin{aligned} & \ell A_3 \left( \alpha \delta - \frac{\pi \rho_0^2}{4} \right) + A_2 \left( \frac{\alpha^2 \delta}{2} - \frac{\pi \alpha \rho_0^2}{4} + \frac{\rho_0^2}{3} \right) + \\ & + A_3 \left( \frac{\alpha \delta^2}{2} - \frac{\pi \delta \rho_0^2}{4} + \frac{\rho_0^2}{3} \right) + \frac{A_1 \ell^2}{6 A_2} = \frac{C}{C}; \\ & \ell A_3 \left( \frac{\pi \alpha}{\delta} - \frac{\rho_0}{3} \right) \rho_0^2 + A_2 \left[ \rho_0^2 \left( \frac{\alpha \rho_0}{2} - \frac{\pi \rho_0^2}{16} - \frac{\pi \alpha^2}{\delta} \right) + \right. \\ & \left. + \rho_0 \left( \frac{gh}{C} \right) + A_3 \rho_0 \left( \frac{\alpha \rho_0}{\delta} - \frac{\rho_0^2}{\delta} - \frac{\pi \alpha \delta}{\delta} + \frac{\delta \rho_0}{3} \right) + \right. \\ & \left. + \ell^2 \frac{\alpha A_1^2}{12 A_2} - \ell \frac{A_1^2}{18 A_2} \right] = 0; \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & \ell A_3 \left( \frac{\pi \delta}{8} - \frac{\rho_0}{3} \right) \rho_0^2 + A_2 \rho_0^2 \left( \frac{\delta \rho_0}{6} - \frac{\rho_0^2}{8} - \frac{\pi \alpha \delta}{8} + \frac{\delta \rho_0}{3} \right) + \\ & + A_3 \left[ \rho_0^2 \left( \frac{\delta \rho_0}{2} - \frac{\pi \rho_0^2}{16} - \frac{\pi \delta^2}{8} \right) + \rho_0 \left( \frac{gh}{C} \right) + \right. \\ & \left. + \ell^2 \frac{\delta A_1^2}{12 A_2} - \ell \frac{A_1^2}{18 A_2} \right] = 0. \end{aligned}$$

7.6. Крен квадратных плит фундаментов ( $\delta = \alpha$ ,  $A_3 = A_2$ ) в вертикальной диагональной плоскости до отгибания основания от подошвы фундамента определяется по формуле

$$\begin{aligned} A_2 = & \frac{C}{c} \left( \frac{\pi \alpha}{\delta} - \frac{\rho_0}{3} \right) \left[ \rho_0 \left( \frac{\alpha}{3} - \frac{\rho_0}{\delta} - \frac{\pi \rho_0}{16} + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{\rho_0}{3} - \frac{gh}{c \rho_0^2} \right) \left( \alpha^2 - \frac{\pi \rho_0^2}{4} \right) - \right. \\ & \left. - \left( \alpha^3 - \frac{2 \rho_0^3}{3} \right) \left( \frac{\pi \alpha}{\delta} - \frac{\rho_0}{3} \right) \right]. \end{aligned} \quad (9)$$

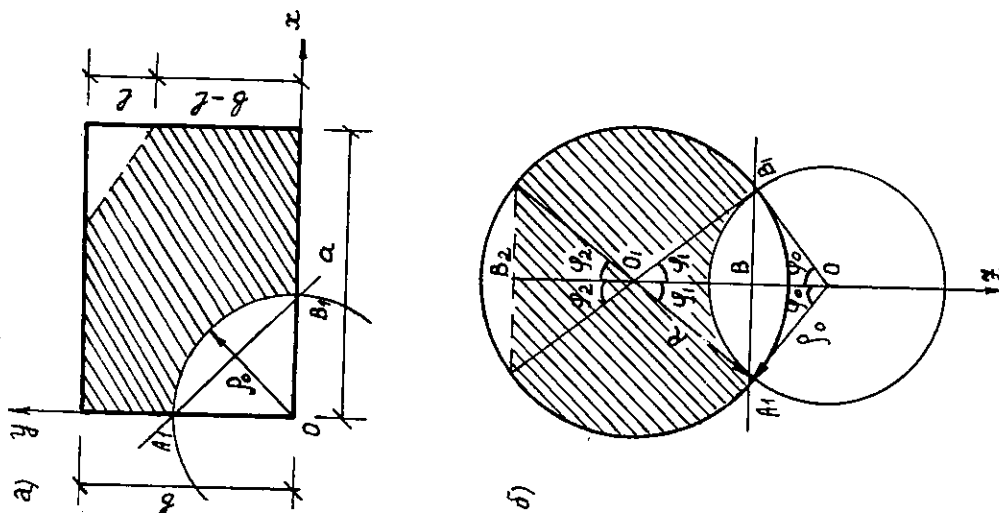


Рис. 17. Расположение под сооружениями карстовых воронок: а — прямоугольное в плане сооружение; б — круглое в плане сооружение



Значение  $\rho_0, \rho_1$ , при котором начнется отлипания основания от подошвы плиты, определяется из уравнения

$$\rho_1^4 \left( \frac{\sqrt{2}}{16} + 1 \right) - \alpha \rho_1^3 + \frac{\sqrt{2} \alpha^2}{4} \rho_1^2 - \gamma + \frac{Gh}{C} = 0. \quad (10)$$

Размер  $\ell$  зоны отлипания основания на противоположном от карстовой воронки крае (рис. 17, а) определяется из уравнения

$$\begin{aligned} \ell^4 - \frac{3\alpha}{2} \ell^3 - 18\rho_0^2 \left( \frac{\sqrt{2}\alpha}{8} - \frac{\rho_0}{3} \right) \ell - \\ - 18\rho_0^2 \left( \alpha \rho_0 - \frac{\sqrt{2}\alpha^2}{4} - \frac{\rho_0^2}{8} - \frac{\sqrt{2}\rho_0^2}{16} \right) - \\ - 18 \left( \gamma - \frac{Gh}{C} \right) = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Крен сооружения в стадии отлипания основания от подошвы плиты

$$\begin{aligned} A_2 = \frac{G}{C} \left( \frac{\sqrt{2}\alpha}{8} - \frac{\rho_0}{3} \right) \left\{ \rho_0 \left( \frac{\alpha}{3} - \frac{\rho_0}{8} - \frac{\sqrt{2}\rho_0}{16} + \frac{\gamma}{\rho_0^2} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{Gh}{C\rho_0^2} \right) \cdot \left( \alpha^2 - \frac{\sqrt{2}\rho_0^2}{4} \right) - \left( \alpha^2 - \frac{2\rho_0^2}{3} \right) \left( \frac{\sqrt{2}\alpha}{8} - \frac{\rho_0}{3} \right) - \right. \\ \left. - \frac{\ell^3}{12} \left[ \rho_0^2 \left( \alpha^2 - \frac{\sqrt{2}\rho_0^2}{4} \right) - 2 \left( \frac{\sqrt{2}\alpha}{8} - \frac{\rho_0}{3} \right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{\ell^4}{18\rho_0^2} \left( \alpha^2 - \frac{\sqrt{2}\rho_0^2}{4} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

7.7. Крен круглой фундаментной плиты в случае расположения центра карстовой воронки на некотором расстоянии от края фундамента (см. рис. 17б) при размерах карстовой воронки, не вызывающих отлипания основания от подошвы плиты, определяется по формуле

$$\begin{aligned} A_2 = G/C \left[ \frac{\sqrt{2}R^2}{4A} - \frac{GhB}{CA} - 2R^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} - \right. \\ \left. - 2\rho_0^2 \rho_1 \rho_0 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) + 2\rho_0^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} \right], \end{aligned} \quad (13)$$

где

$$A = 2R^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} + 2\rho_0^2 \rho_1 \rho_0 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) - 2\rho_0^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3};$$

$$B = R^2 \left( \sqrt{2} - \varphi_2 + \frac{\sin 2\varphi_2}{2} \right) - 2\rho_0^2 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right);$$

$\rho_1 \rho_0$  — расстояние между центрами круглой фундаментной плиты и карстовой воронки. Углы  $\varphi_2, \varphi_1$  показаны на рис. 17, б.

Значение радиуса  $\rho_0 = \rho_0$ , карстовой воронки, при котором наступает отлипания основания под противоположным от воронки краем фундамента, определяется из уравнения

$$\begin{aligned} \frac{\rho_0^4}{4} \left( \varphi_2 - \frac{\sin 4\varphi_2}{4} \right) - 2\rho_0^2 R^2 \sin^2 \varphi_2 + 4\rho_0^2 R^2 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) + \\ + \frac{2}{3} R^4 \sin^2 \varphi_2 + \frac{Gh}{C} - \frac{\sqrt{2}A^2}{4} + \frac{R^4}{4} \left( \varphi_1 - \frac{\sin 4\varphi_1}{4} \right) = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

После отлипания основания от подошвы фундамента крен сооружения  $A_2$  определяется по формуле

$$\begin{aligned} A_2 = G/C \left\{ \rho_1 \rho_2 \pi R^2 - 2\rho_1 \rho_2 \left[ R^2 \left( \frac{\varphi_1}{2} - \frac{\sin 2\varphi_1}{4} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \rho_0^2 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) \right] - 2\rho_0^2 \rho_1 \rho_0 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) + \right. \\ \left. + 2\rho_0^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} + 2R^2 \rho_1 \rho_2 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) + 2R^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} \right\}, \end{aligned} \quad (15)$$

где  $\rho_1 \rho_2$  и  $\varphi_2$  — параметры, характеризующие размер зоны отлипания (см. рис. 17, б).

Величины  $\varphi_2$  и  $\rho_1 \rho_2$  связаны функционально и определяются методом попыток из следующего уравнения

$$\begin{aligned} \rho_1 \rho_2 \left[ 2R^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} + 2\rho_0^2 \rho_1 \rho_0 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) - 2\rho_0^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} + \right. \\ \left. + 2R^2 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} - \frac{R^4}{4} \left( \frac{\varphi_2 - \sin 4\varphi_2}{4} \right) + \frac{Gh}{C} - \frac{\sqrt{2}A^2}{4} + \right. \\ \left. + \frac{R^4}{4} \left( \varphi_1 - \frac{\sin 4\varphi_1}{4} \right) + 2\rho_0^2 \rho_1 \rho_0 \left( \frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4} \right) - \right. \\ \left. - 2\rho_0^2 \rho_1 \rho_0 \frac{\sin^2 \varphi_2}{3} + \frac{\rho_0^2}{8} \left( \varphi_2 - \frac{\sin 4\varphi_2}{4} \right) \right] = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Пример определения критических размеров карстовой воронки под прямоугольной фундаментной плитой

Определим коэффициент устойчивости односекционного 24-этажного каркасно-панельного здания с размерами в плане  $\alpha = \beta = 18$  м. Фундамент запроектирован в виде сплошной плиты. Расстояние от центра тяжести здания до подошвы фундамента  $h = 40$  м. Жесткость на характеристика грунта основания  $C = 3000$  кН/м<sup>3</sup>. Масса сооружения  $G = 97200$  кН. Расчетный диаметр карстовой воронки по данным инженерно-геологических изысканий  $\alpha_c = 10$  м.

По формуле (10) определим значение радиуса карстовой воронки, центр которой совпадает с угловой точкой фундамента, при котором в противеположном от воронки углу фундамента наступает отслапание основания

$$\rho^4 (0,196 + 0,125) - 18\rho^3 + \frac{2 \cdot 18^2}{4} \rho^2 - \frac{18 \cdot 18^3}{12} + \frac{97200 \cdot 40}{3000} = 0,$$

откуда  $\rho_1 = 7,29$  м.

Производим вычисление крена  $A_2$  в вертикальной диагональной плоскости. При  $\rho < \rho_1$  вычисления производим по формуле (9), при  $\rho > \rho_1$  - по формуле (12). Вычислим крен при нескольких значениях радиуса карстовой воронки

$\rho = 2$ м;	$A_2 = 0,00037$ ;
$\rho = 4$ м;	$A_2 = 0,00158$ ;
$\rho = 6$ м;	$A_2 = 0,00415$ ;
$\rho = 7,29$ м;	$A_2 = 0,00628$ ;
$\rho = 8$ м;	$A_2 = 0,00947$ ;
$\rho = 9$ м;	$A_2 = 0,01485$ ;
$\rho = 10$ м;	$A_2 = 0,02426$ ;
$\rho = 12$ м;	$A_2 = 0,07874$ ;

Проверим положение следа  $G$  на контактной плоскости при  $\rho = 12$  м;  $e = 9,07$  м;  $A_2 = 0,07874$ .

Смещение центра масс от первоначального положения  $e = A_2 h = 0,07874 \cdot 40 = 3,15$  м. Расстояние от центра фундаментной плиты до оси вращения  $A_1 B_1$  при этом равно  $O_1 B = 2,83$  м, что меньше  $e = 3,15$  м. Следовательно, положение сооружения неустойчиво, так как линия действия равнодействующей перешла точку В, находящуюся на оси вращения.

64

Проверим устойчивость сооружения при радиусе воронки  $\rho = 11,6$  м.  $e = 8,85$  м;  $A_2 = 0,05956$ ;  $e = 2,38$  м <  $O_1 B = 3,11$  м. Следовательно, след равнодействующей  $G$  находится внутри устойчивой области.

Проверим устойчивость сооружения при радиусе воронки  $\rho = 11,9$  м.  $e = 9,04$  м;  $A_2 = 0,07324$ ;  $e = 2,92 \approx O_1 B = 2,89$  м. Следовательно, значение радиуса воронки  $\rho = 11,9$  м может быть принято за критическое, при котором равнодействующая масс сооружения пересекает контур области устойчивых положений и наступает безразличное равновесие сооружения.

Коэффициент устойчивости сооружения при расчетном диаметре карстовой воронки  $\alpha_c = 10$  м равен

$$K_{ус} = \frac{2 \cdot 11,9}{10} = 2,38.$$

Кривая I равновесных состояний построена на графике рис.18 в координатах  $\rho_c / \alpha, A_2$ .

Пример определения критических размеров карстовой воронки под круглой фундаментной плитой

Определим коэффициент устойчивости водонапорной башни диаметром 6 м, высотой 44 м с фундаментом - круглой сплошной плитой. Расстояние от центра тяжести здания до подошвы фундамента  $h = 36$  м. Жесткость характеристика грунта основания  $C = 4000$  кН/м<sup>3</sup>. Масса сооружения  $G = 5660$  кН. Расчетный диаметр карстовой воронки по данным инженерно-геологических изысканий  $\alpha_c = 3$  м.

Выполним расчет для случая, когда центр карстовой воронки расположен под краем круглой фундаментной плиты.

С использованием уравнения (14) последовательными попытками определим значение радиуса воронки, при котором наступает отслапание основания от подошвы фундамента на противоположном от воронки крае.

После ряда попыток приходим к  $\rho_c = 0,744$  м. При этом

$$O_1 B = \frac{3}{2} + \frac{0,744^2 - 9}{6} = 0,092$$

$$80,1 = 2,908$$

$$\varphi = \arcs \cos \frac{0,0922}{0,744} = 1,4466 \text{ рад}; \quad \varphi = 82^{\circ}50'$$

$$\varphi = \alpha z \cos \frac{2,908}{3} = 0,24883 \text{ рад}; \quad \varphi_4 = 14^{\circ}10'$$

Подставим эти значения в уравнение (14):

$$\begin{aligned} & \frac{0,744^2}{4} \left( 1,4466 - \frac{\sin 331^{\circ}20'}{4} \right) - 2 \cdot 0,744^3 (\sin 82^{\circ}50')^3 + \\ & + 4 \cdot 0,744^2 \cdot 3^2 \left( \frac{1,4466}{2} - \frac{\sin 165^{\circ}40'}{4} \right) + \frac{2}{3} \cdot 3^4 (\sin 14^{\circ}10')^3 + \\ & + \frac{5660 \cdot 36}{4000} - \frac{3,14 \cdot 3^4}{4} + \frac{3^4}{4} \left( 0,2488 - \frac{\sin 56^{\circ}40'}{4} \right) = 0. \end{aligned}$$

Определим крены башни при последовательном увеличении радиуса карстовой воронки. Пользуемся формулами (15) и (16), поскольку рассматриваем значения  $\rho_0 > \rho_{cr}$ .

Получены следующие значения кренов:

1.  $\rho_0 = 1,5 \text{ м}; \quad O_1 B_2 = 1,145 \text{ м}; \quad OB = 0,375 \text{ м}; \quad A_2 = 0,0305.$

Проверка отклонения центра тяжести от начального положения

$$e = A_2 h = 0,0305 \cdot 36 = 1,098 \text{ м};$$

$$O_1 O - OB = R - OB = 3 - 0,375 = 2,625 > 1,098 = e;$$

2.  $\rho_0 = 1,8 \text{ м}; \quad O_1 B_2 = 0,87 \text{ м}; \quad OB = 0,54 \text{ м}; \quad A_2 = 0,0363.$

Отклонение центра тяжести  $e = 0,0363 \cdot 36 = 1,307 \text{ м};$

$$R - OB = 3 - 0,54 = 2,46 > 1,307 = e;$$

3.  $\rho_0 = 2,3 \text{ м}; \quad O_1 B_2 = 0,57 \text{ м}; \quad OB = 0,882 \text{ м}; \quad A_2 = 0,0494$

Отклонение центра тяжести  $e = 0,0494 \cdot 36 = 1,778 \text{ м};$

$$R - OB = 3 - 0,882 = 2,118 > 1,778 = e;$$

4.  $\rho_0 = 2,52 \text{ м}; \quad O_1 B_2 = 0,49 \text{ м}; \quad OB = 1,058 \text{ м}; \quad A_2 = 0,05337.$

Отклонение центра тяжести  $e = 0,05337 \cdot 36 = 1,922 \text{ м};$

$$R - OB = 3 - 1,058 = 1,942 \approx 1,922 = e.$$

Окончательно примем критическое значение радиуса карстовой воронки равным  $\rho_{cr} = 2,52 \text{ м}$ . Таким образом, коэффициент устойчивости водонапорной башни равен

$$K_{ус} = \frac{2 \cdot 2,52}{3} = \frac{5,04}{3} = 1,68.$$

По полученным результатам на графике рис.18 в координатах  $\frac{\rho_0}{2R}$  и  $A_2$  построена кривая равновесных состояний 2.

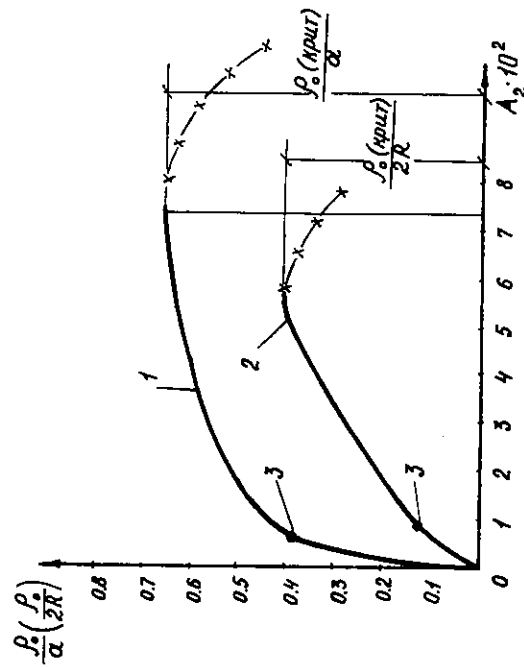


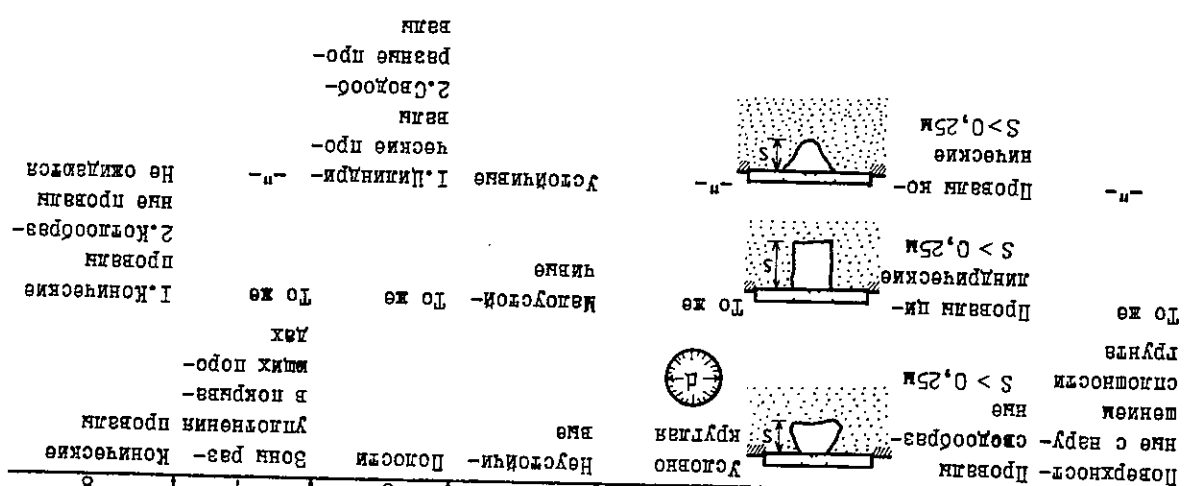
Рис.18. Кривые равновесных состояний:

1 - квадратное в плане здание; 2 - круглое в плане сооружение;  
3 - точки, соответствующие началу осыпания подошвы фундамента от основания

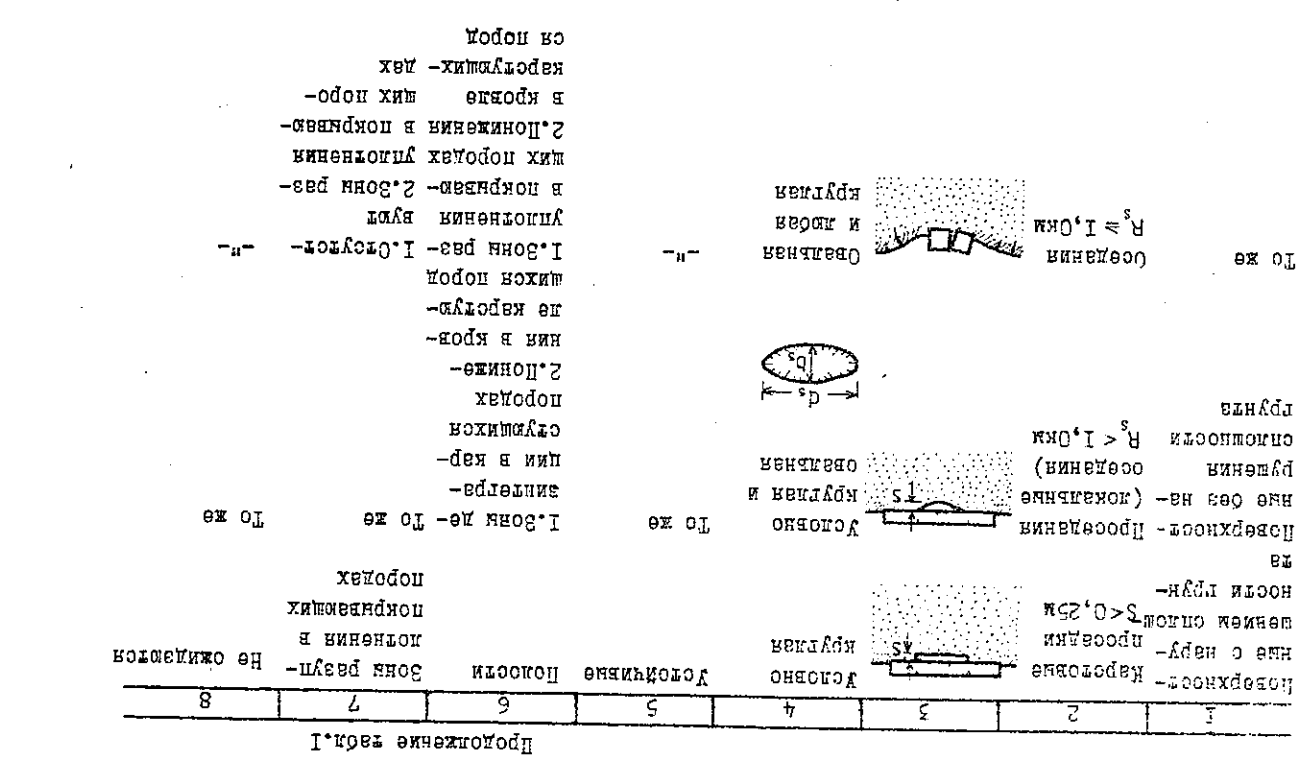
Приложение I  
 Таблица I. Классификация карстопоровиданий для целей проектирования фундаментов  
 в условиях покрытия карста

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Тип	Вид	Форма в разрезе	Форма в плане	Устойчивость к развалу-взвешиванию	Устойчивость в разрезе			Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
Карстопоровидания	Характеристика карстопоровиданий	Разрез	План	Устойчивость в разрезе	Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
Карстопоровидания	Характеристика карстопоровиданий	Разрез	План	Устойчивость в разрезе	Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
Карстопоровидания	Характеристика карстопоровиданий	Разрез	План	Устойчивость в разрезе	Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	



Тип	Вид	Форма в разрезе	Форма в плане	Устойчивость в разрезе	Устойчивость в разрезе			Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
Карстопоровидания	Характеристика карстопоровиданий	Разрез	План	Устойчивость в разрезе	Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
Карстопоровидания	Характеристика карстопоровиданий	Разрез	План	Устойчивость в разрезе	Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
Карстопоровидания	Характеристика карстопоровиданий	Разрез	План	Устойчивость в разрезе	Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	Связь с другими карстопоровиданиями
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	
					Устойчивость	Помости	Зоны развал-конические	



Поверхность - Проваля - Карстовые  
 ные с нару- просадки  
 шенем  $S > 0,25m$   
 ности  $R_s < 1,0m$   
 рушения оседания)  
 овальная  
 Основно  
 Круглая и  
 Овальная  
 и любая  
 Круглая

Поверхность - Проваля - Карстовые  
 ные с нару- просадки  
 шенем  $S > 0,25m$   
 ности  $R_s < 1,0m$   
 рушения оседания)  
 овальная  
 Основно  
 Круглая и  
 Овальная  
 и любая  
 Круглая

Поверхность - Проваля - Карстовые  
 ные с нару- просадки  
 шенем  $S > 0,25m$   
 ности  $R_s < 1,0m$   
 рушения оседания)  
 овальная  
 Основно  
 Круглая и  
 Овальная  
 и любая  
 Круглая

Поверхность - Проваля - Карстовые  
 ные с нару- просадки  
 шенем  $S > 0,25m$   
 ности  $R_s < 1,0m$   
 рушения оседания)  
 овальная  
 Основно  
 Круглая и  
 Овальная  
 и любая  
 Круглая

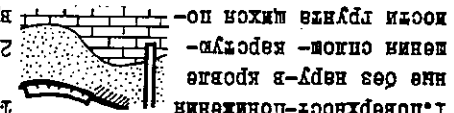
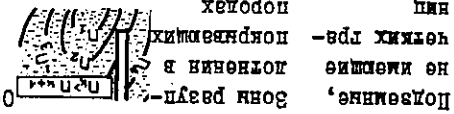
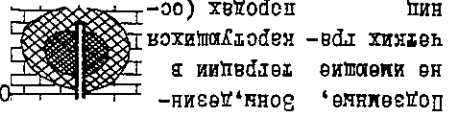
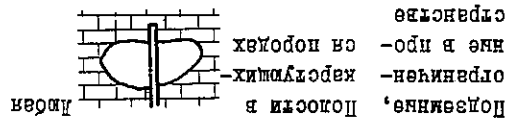
1	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
2	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
3	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
4	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
5	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
6	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
7	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
8	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода

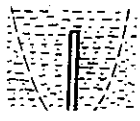
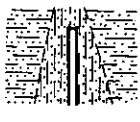
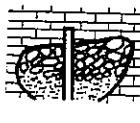
Продолжение табл. I

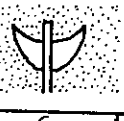
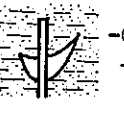
493

1	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
2	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
3	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
4	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
5	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
6	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
7	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода
8	Ползание, зона, линия - не имеющие четких границ (осадки)	Порода

Продолжение табл. I











Продолжение табл. I							
1	2	3	4	5	6	7	8
То же	Зона гравитационного смещения в породах		То же	Магустой-1. Покости чиньне	2. Зона фальс-крявэших	Зона гравитационного смещения в породах	Зона гравитационного смещения в породах
То же	Зона фальс-крявэших породах		То же	Магустой-1. Покости чиньне	2. Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах
То же	Зона фальс-крявэших породах		То же	Магустой-1. Покости чиньне	2. Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах

Продолжение табл. I							
1	2	3	4	5	6	7	8
То же	Покости в ограничен-не в про-странстве		То же	Магустой-1. Покости чиньне	2. Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах
То же	Покости в ограничен-не в про-странстве		То же	Магустой-1. Покости чиньне	2. Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах	Зона фальс-крявэших породах

Таблице 2. Классификация противокоррозивных конструктивных мероприятий

Тип мероприятий	Вид мероприятий	Период применения
Статические схемы несущих конструкций сооружений	Выбор рациональной конструктивной схемы Изменение статической схемы конструкций сооружений Сокращение числа температурных и деформационных швов до минимума (при карстовых провалах, воронках) Разрезка на укороченные отсеки (при мульдe оседания)	Б В Б,В Б,В
Увеличение жесткости и прочности несущих конструкций зданий и сооружений (усиление)	Ввод дополнительных связей в каркасные конструкции Горизонтальные армированные пояса, тязи Усиление несущих элементов конструкций армированными обоями, рубашками	Б,В Б,В Б,В
Податливая конструктивная схема сооружений	Устройство дополнительных шарнирных связей в каркасных конструкциях Податливые соединения крупноразмерных элементов сооружений	Б,В Б
Конструкции фундаментов зданий и сооружений	Монолитное или сборно-монолитное решение железобетонных фундаментов (ленты, перекрестные ленты, коробчатые фундаменты, плиты) Увеличение площади опирания фундаментов с целью уменьшения контактного давления на основание Развитие фундаментов за пределы периметра сооружения (консольные и П-образные вступы) Фундаменты с горизонтальными связями	Б,В Б,В Б Б

Примечания к табл. I:

-  - фундамент мелкого заложения
-  - фундамент глубокого заложения
-  - поверхность грунтового массива
-  - водонасыщенные покрывающие породы
-  - карстуемая порода
-  - водонасыщенные покрывающие породы
-  - неводонасыщенные и водонасыщенные порывающие породы
-  - линии равных значенний порывности

Продолжение табл.2

Тип мероприятий	Вид мероприятий	Период применения
Фундаменты с подпругами		Б,В
Конструкции фундаментов, исключая- щие возможность развития проваль- ных образований в воронки		Б
Кусты висячих свай с резервным их числом; ростверк, обеспечиваю- щий выделение свай при провале		Б
Свай-стойки при прорезке карсту- ющихся пород		Б
Глубокие опоры при прорезке карстующихся пород		Б,В
Подомкращивание с целью выправ- ления сооружений		Б,В
Наклонные буронавигационные сваи с целью связывания толщи грунтов основания сооружений		Б,В

Примечание к табл.2. В последней графе указаны противокарсто-  
вые мероприятия, применяемые в момент строительства объектов на  
площадке (Б) и противокарстовые мероприятия, применяемые в период  
эксплуатации объектов в качестве мер по усилению и восстановлению  
конструкций сооружений (В).

Список литературы

1. Рекомендации по проектированию зданий и сооружений  
в карстовых районах СССР. М., Стройиздат, 1967.
2. Временные указания по проектированию зданий и сооруже-  
ний в районах г.Москвы с проявлением карстово-суффозионных  
процессов. М., Моспроект-1, 1979.
3. Руководство по проектированию плитных фундаментов  
каркасных зданий и сооружений башенного типа. М., Стройиздат, 1984.
4. Торлин Г.Г., Фрайфельд Е.Б., Маликова Т.А. Методика  
определения и исследования перемещений слоя конечной толщины,  
ослабленного карстовой воронкой.-Тезисы докладов Всесоюзного  
совещания "Строительство на закарстованных территориях",  
Подольск, 1983.
5. Высоковский В.Л., Наумова Н.И., Соломин В.И. Метод и  
алгоритм расчета фундаментных плит зданий каркасно-связевого  
типа с учетом сложных грунтовых условий. - В сб.: Основания  
и фундаменты. Пермский политехнический институт. Пермь, 1982.



Содержание

1. Общие положения .....	3
2. Основные расчетные положения .....	5
3. Расчет диаметров карстовых провалов и воронок с учетом влияния сооружений .....	7
4. Вероятностно-статистическое определение расчетного пролета карстового провала .....	10
5. Определение величин переменного коэффициента жесткости закарстованного основания .....	16
6. Статические расчеты фундаментных плит и перекрестных лент с учетом совместной работы с верхним строением .....	46
7. Устойчивость фундаментных плит высоких сооружений при образовании карстовых воронок .....	56
Приложение 1. Классификация карстопроявлений для целей проектирования фундаментов в условиях открытого карста ..	68
Приложение 2. Классификация противокарстовых конструк- тивных мероприятий .....	75
Список литературы .....	77

Научно-исследовательский институт оснований и подземных  
сооружений имени Н.М.Герсеванова

Рекомендации по проектированию фундаментов на закарсто-  
ванных территориях

Отдел патентных исследований и научно-технической информации

Зав.отделом Б.И.Кулачкин

Редактор Л.В.Лузавова

---

Л 54219 Подл. к печати 29/III 1985 г. Заказ № 493  
Формат 60 x 90 1/16. Усл.печ.л.4,98. Усл.кр.-отт.5,23.  
Уч.изд.л.5,22.  
Тираж 500 экз. Цена 58 коп.

---

Производственные экспериментальные мастерские БНИИИС  
Госстроя СССР

---

121 471, Москва, Можайское шоссе, 25