НИИОСП

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТОВ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

gost.e-ecolog.ru

МОСКВА–1985

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТОВ НА ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

МОСКВА–1985

УДК 624.153.524.4.04

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 перекрестных лент, а также по оценке устойчивости фундаментных плит высоких сооружений при образовании карстовых воронок, приведены примеры расчета.

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

Рекомендации разработаны в лабораториях Механики грунтов (рук. лаборатории, доктор техн.наук, профессор К.Е.Егоров) и Естественных оснований и конструкций фундаментов (рук.лаборатории, доктор техн.наук, профессор Е.А.Сорочан).

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

Рекомендации одобрены секцией "Механика грунтов" НТС института.

Замечания и предложения по содержанию Рекомендаций просьба направлять по адресу: 109389, 2-я Институтская ул.,д.6

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

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

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

I.2. По настоящим рекомендациям рассчитываются фундаментные плиты и перекрестные ленты, лежащие на естественном закарстованном основании, а также на основании с заполненными пустотами.

I.3. Карстопроявления делятся на поверхностные деформации земной поверхности и подземные, тесносвязанные между собой.

I.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.

I.5. Классификация карстопроявлений для целей проектирования противокарстовой защиты приведена в прил.I.

I.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.

I.7. Основными и наиболее распространенными поверхностными карстовыми деформациями являются провалы и оседания. Карстовые просадки и проседания считаются промежуточными и встречаются значительно реже.

I.8. Основную опасность для большинства зданий и сооружений представляют провалы, защита от которых требует применения специальных методов проектирования и расчета.

I.9. Влияние проседаний на здания и сооружения во многом одинаково с воздействием провалов при сравнительно большой глубине проседаний (большей 0,25 м) или карстовых просадок при малой глубине проседаний (меньшей 0,25 м).

I.I0. Карстопроявления могут изменяться в период эксплуатации зданий и сооружений.

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

I.I2. 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 сооружения.

I.I3. Строительство зданий и сооружений на отдельностоящих столбчатых фундаментах не допускается.

I.I4. Фундаментные конструкции должны выполняться из монолитного железобетона.

I.I5. 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 противокарстовым поясом.

I.I6. Для обеспечения необходимой жесткости и прочности фундаментов в краевых участках зданий и сооружений рекомендуется предусматривать консольные удлинения лент и уширения плит за пределы плана сооружения. Ленточные консоли по своим концам могут объединяться поперечной балкой, образуя в плане конструкции П и Ш-образного очертания.

I.I7. 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 I,5 ℓ_d.

I.I8. 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 выскальзывания из ростверка с тем, чтобы исключить дополнительное нагружение зависающими сваями, находящимися на участке образовавшегося провала под фундаментом.

I.I9. При неглубоком залегании карстующихся пород следует возводить здания и сооружения на глубоких опорах или сваях с обязательной прорезкой зоны активного карстования (зоны карстовых полостей) и заглублением в ненарушенные породы, определяемым по несущей способности пород, но не менее чем на I м. При расчете глубоких опор или свай по прочности необходимо учитывать возможность зависания обрушающихся пород в надкарстовой (покрывающей) толще.

I.20. В сооружениях значительной протяженности следует выпол-

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

I.2I. При строительстве зданий на закарстованных территориях нужно применять специальные конструкции фундаментов, препятствующие превращению карстовых провалов в карстопровальные воронки.

I.22. При выборе площадок для строительства зданий и сооружений, а также вариантов противокарстовой защиты можно пользоваться категориями устойчивости закарстованных территорий, приведенными в табл.I /I/ либо в рекомендациях /2/, с обязательным учетом прогнозируемых размеров поверхностных карстопроявлений.

I.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.

I.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 воздействие типа "уступ")в зависимости от соотношения размеров в плане защищаемого объекта и размеров просадок.

2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.I. 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 характеристиках грунтов по всему геологическому разрезу и других данных, определенных с учетом возможного изменения сведений за расчетный срок службы сооружения.

2.3. Под основанием в карстовых районах следует понимать зону грунтов и горных пород, глубина которой не менее глубины сжимаемой 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, основывающимися 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, а также под фундаментом здания или сооружения происходит в две фазы. На первой фазе мгновенно образуется провал с вертикальными или нависающими бортами. Развитие второй фазы происходит несколько медленнее и сопровождается обрушением неустойчивых бортов, которые принимают устойчивое наклонное положение (в сыпучих грунтах наклон бортов близок к углу естественного откоса), таким образом первичный 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 закарстованном 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 моделью переменного коэффициента жесткости, определяемого по указаниям раздела 5.

2.11. За расчетные положения воронок под фундаментами принимаются места пересечения стен либо расположения колонн, находящиеся 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 0,0I	Относительно устойчивая
IУ	от 0,0I до 0,05	С несколько пониженной устойчивостью
Ш	от 0,05 до 0,I0	Недостаточно устойчивая
П	от 0,I0 до I,0	Неустойчивая
I	I,0 и более	Очень неустойчивая

493

2.I2. Расчет фундаментов зданий с несущими стенами и полным каркасом должен выполняться с учетом совместной работы фундамента с верхним строением.

2.I3. Для определения усилий и осадок фундаментной плиты крупнопанельного здания с поперечными несущими стенами достаточно ввести в расчет жесткость одного этажа верхнего строения здания.

2.I4. При расчете фундаментов совместно с верхним строением допускается учитывать только упругую стадию работы железобетона из-за сложности такого расчета.

3. РАСЧЕТ ДИАМЕТРОВ КАРСТОВЫХ ПРОВАЛОВ И ВОРОНОК С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СООРУЖЕНИЙ

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

В расчете учитывается равномерно распределенная нагрузка от

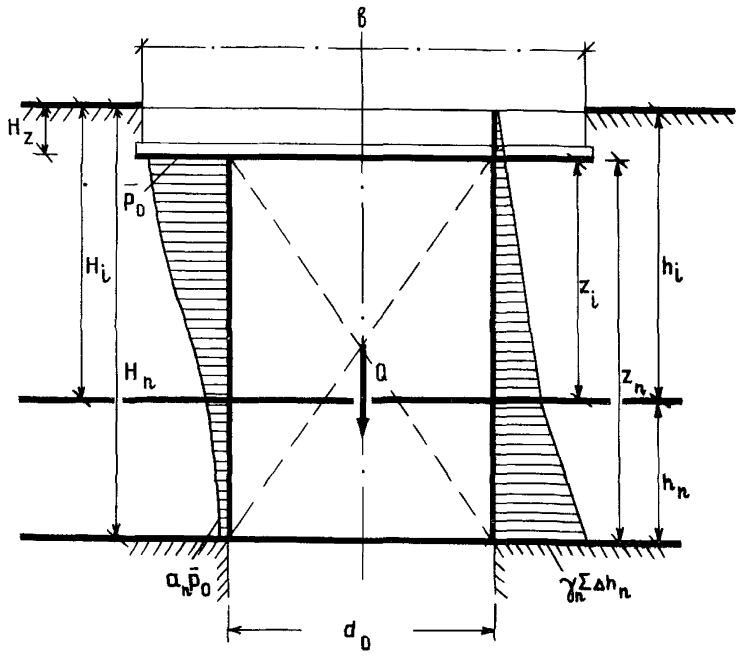


Рис. I. Расчетная схема для определения диаметра карстового провала

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

3.2. Диаметр провала определяется по формуле

$$d_o = 4\,\frac{\Sigma(c_i h_i) + \Sigma \Delta f_i}{q_i}, \qquad (I)$$

где h_j – толщина j -го слоя грунта с заданными значениями удельного сцепления c_j, угла внутреннего трения φ_j, удельного веса γ_j;

$$\Delta f_j = (\alpha_j p_o + \Sigma(\gamma_i \Delta h_i) + \gamma_j \Delta h_j / 2) k_j \operatorname{tg} \varphi_j \Delta h_j;$$

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

$$q_j = \alpha_j p_o + \gamma_j \Delta h_j + \Sigma(\gamma_i \Delta h_i);$$

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

3.3. Диаметр воронки на ее верхнем срезе определяется по формуле

$$d_e = 2\left(\frac{\Sigma y_i}{n} + \left(\left(\frac{\Sigma y_i}{n}\right)^2 - \frac{\Sigma y_i^2}{n} + \frac{d_o^2 S_{obs}}{4 \Sigma \Delta h_i}\right)^{1/2}\right), \qquad (2)$$

где n – количество рассчитываемых элементарных слоев грунта; S_{obs} – видимая глубина провала, принимаемая равной высоте полости, свободной от плотного заполнителя; Δh_i – толщина элементарных слоев грунта, которую рекомендуется принимать равной 0,1–0,25 м;

d_o – диаметр провала; y_i – ордината поверхности устойчивого склона борта провальной формы на глубине h_i, вычисляемая по формуле

$$y_i = \Sigma\left(\Delta h_i / \left(\operatorname{tg} \varphi_i + \frac{c_i}{p_o + \Sigma \gamma_i \Delta h_i}\right)\right).$$

При этом очертание устойчивого склона борта провальной воронки

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

Оба расчета рекомендуется выполнять в табличной форме или на ЭВМ.

3.4. Формулы (I) и (2) позволяют получить минимально возможные диаметры провала d_o и воронки d_e , образование которых возможно с глубины расположения полости при определенном значении видимой глубины провала $Sobs$. Поэтому для возникновения провала и воронки необходимо, чтобы размер полости в плане был не менее расчетного значения d_o

4. ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ПРОЛЕТА КАРСТОВОГО ПРОВАЛА

4.I. 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 рассматриваемая площадка статистически однородна с участком (территорией), для которого были определены эти параметры; б) сооружения несущественно влияют на интенсивность провалов и на величины их 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 обстоятельство: после образования карстового провала на поверхности земли с первоначальным диаметром d_o , последний увеличивается с затухающей во времени скоростью, в первое время главным образом за счет оползания склонов до диаметра d_{lim} , соответствующего устойчивым скло-

498

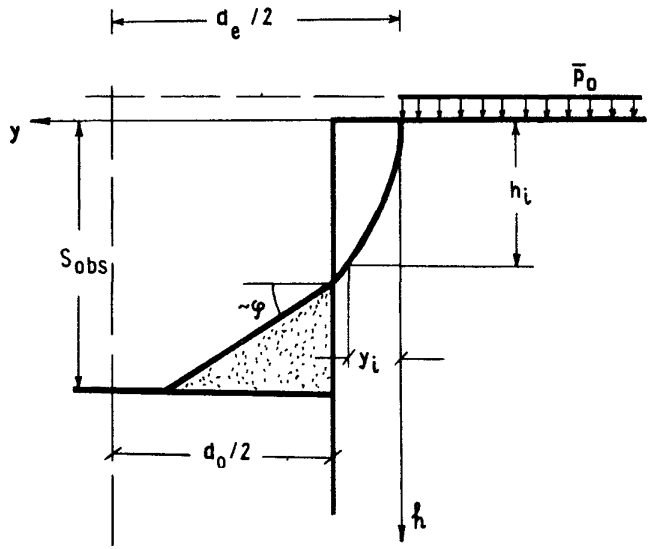


Рис. 2. Расчетная схема для определения диаметра карстовой воронки

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

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

$$P(x) = \frac{(\lambda A t)^x}{x!} exp(-\lambda A t),$$

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

При этом в расчет принимаются: а) независящие друг от друга провалы (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 (надежность), равна

$$P_o = exp(-\lambda A t).$$

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 λ; б) среднее или прогнозируемое (расчетно-детерминистическими методами, например, по разделу 3) значение диаметра карстового провала $\bar{d}_{lim}$; в) максимальное значение диаметра провалов d_{max} при нормальном распределении диаметров $d_{max} = \bar{d}_{lim} + 3\sigma_d$, где σ_d - 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-

4.93

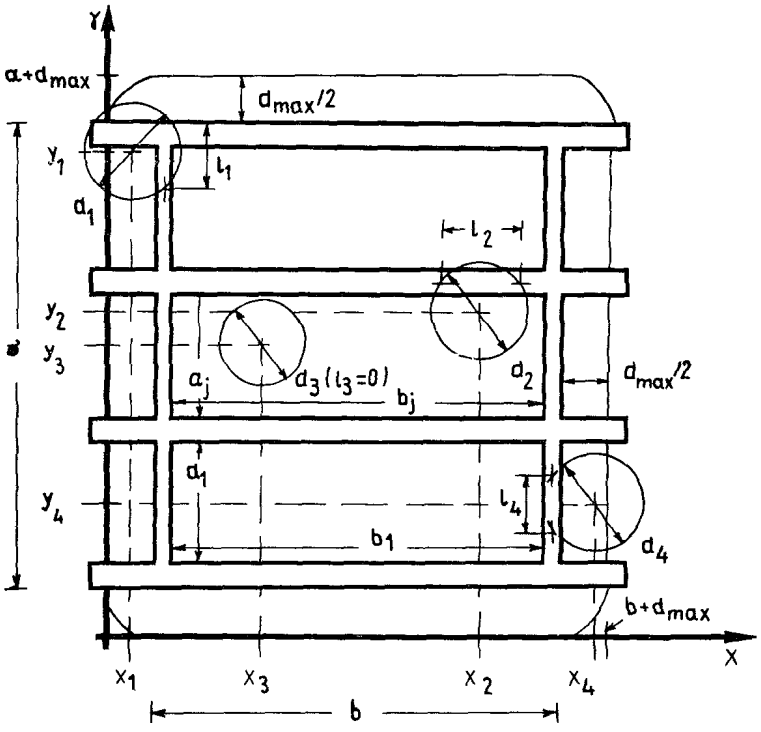


Рис. 3. Расчетные пролеты провалов для ленточного фундамента

ментом; б) определение условной вероятности образования провала под фундаментом при условии, что провал произошел; в) определение безусловной вероятности образования провала под фундаментом; г) назначение допустимого значения надежности противокарстового фундамента; д) определение расчетного пролета ℓ_d

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:
при распределении диаметров провалов по нормальному закону

$$P_{f_0} = \frac{\bar{d}}{d_{max}},$$

при распределении диаметров провалов по логарифмическо-нормальному закону

$$P_{f_0} = \overline{\ell g\, d} / (\ell g\, d)_{max};$$

при неустановленном виде распределения диаметров провалов значение P_{f_0} определяется методом статистических испытаний;

б) вычисляется условная вероятность попадания под фундамент провала при образовании его в зоне одного из отсеков плана фундамента размерами α_1 и b_1 ($\alpha_1 \leq b_1$)

$$P_{f_1} = d_{\alpha_1} \frac{\alpha_1 + b_1 - d_{\alpha_1}}{\alpha_1 b_1} P_{\alpha_1} + 1 - P_{\alpha_1},$$

где d_{α_1} – среднее значение диаметров провалов в интервале от 0 до α_1 (см.рис.3);

P_{α_1} – вероятность образования провалов диаметром до $d = \alpha_1$ (см.рис.3).

в) аналогично находится вероятность P_{f_j} попадания под фундамент провала при образовании его в соседнем j – м отсеке с размерами α_j и b_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).

$$P_f = P_{f_0}\frac{F_0}{F} + P_{f_1}\frac{F_1}{F} + \sum_{j=2}^{n} P_{f_j}\frac{F_{kj}}{F},$$

где n - количество отсеков;

F_0 - площадь участка вокруг здания на расстоянии $\alpha_{max}/2$,

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

F_{kj} - площадь в пределах контура j -го отсека фундамента;

F - площадь, определяемая по формуле

$$F = F_0 + \sum_{j=1}^{n} F_{kj};$$

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

$$P_0 = exp(-\lambda F_{t_n});$$

493

е) находится безусловная вероятность образования провала под фундаментом

$$P_F = (1 - P_0) P_f;$$

ж) определяется вероятность того, что размер провала под фундаментом будет меньше ℓ

$$P_{\ell d} = \frac{[P] + P_F - 1}{P_F},$$

где P - надежность противокарстового фундамента, под которой понимается вероятность того, что за срок службы сооружения фундамент не будет иметь существенных повреждений вследствие карстовых провалов.

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

и) находится расчетное значение пролета фундамента ℓ_d по

значению $P_{\ell d}$, используя интегральную кривую распределения ℓ (см.рис.4). Если $[P] + P_F < 1$, $\ell_d = 0$, то для обеспечения заданной надежности $[P]$ противокарстовая защита не требуется.

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

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

$$P_f = P_{f_o} \frac{A_o}{A_n + A_o} + \frac{A_n}{A_n + A_o},$$

где A_n – площадь фундаментной плиты; A_o – площадь зоны вокруг фундамента на расстоянии $d_{max}/2$; P_{f_o} – условная вероятность попадания под фундамент провала при образовании его на площади $A_o + A_n$.

значение P_{f_o} определяется по формулам п.4.8.

дальнейший расчет пролета провала для фундаментной плиты производится аналогично расчету для ленточного фундамента.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИН ПЕРЕМЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ЖЕСТКОСТИ ЗАКАРСТОВАННОГО ОСНОВАНИЯ

5.1. Рекомендации настоящего раздела составлены для определения на контакте с фундаментом деформационной характеристики (переменного 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 карстующихся пород, а также наличие под воронкой разрыхленного грунта, образо-

493

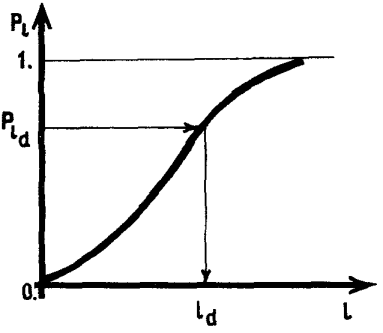


Рис. 4. Интегральная кривая распределения расчетных пролетов провалов

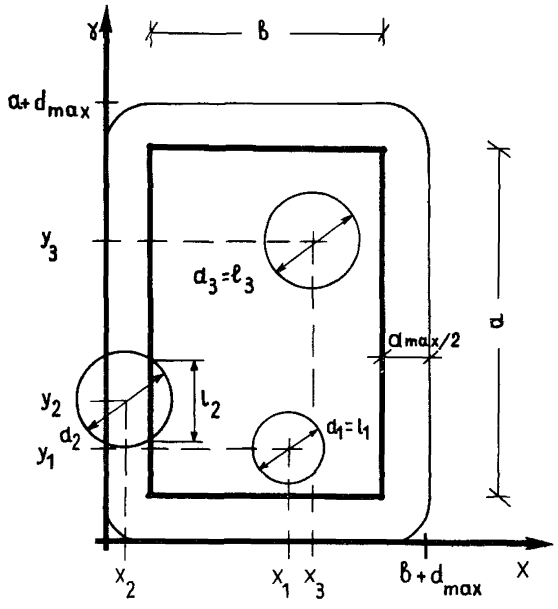


Рис. 5. Расчетные пролеты провалов для фундаментной плиты

вавшегося при провале и в связи с обрушением бортов провала.

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

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

При этом линейно-деформируемый слой характеризуется осредненным приведенным модулем деформации $\bar{E}$ и осредненным коэффициентом Пуассона $\bar{\nu}$, определяемым по указаниям 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 z от подошвы фундамента до скального грунта $z > H_d$, и равной $H = z$, если $z \leq H_d$.

5.4. Переменный коэффициент жесткости основания, необходимый для расчета фундаментной плиты либо перекрестных лент, 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 ступенчатыми эпюрами в двух взаимно перпендикулярных направлениях действительную эпюру коэффициента жесткости, представляющую собой поверхность с минимальной ординатой в центре фундамента.

5.5. В случае однородного основания ($\alpha_E = \frac{E_{max}}{E_{min}} \leq 1{,}5$, где E_{max} и E_{min} – приведенные по вертикалям модули деформации основания, 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 ($\alpha_E > 1{,}5$) 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

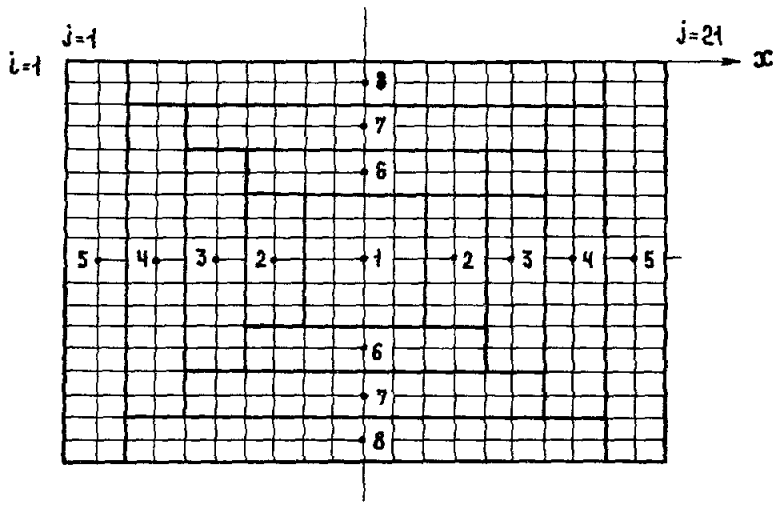


Рис. 6. Схема разбивки на зоны основания фундаментной плиты

соблюдается правило отмены ранее заданного коэффициента жесткости.

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

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

где k – приведенный коэффициент жесткости(I/м) закарстованного 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, реализуя 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

x) Программа КАРСТ может быть получена в НИИОСП либо в Харьковском ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТе.

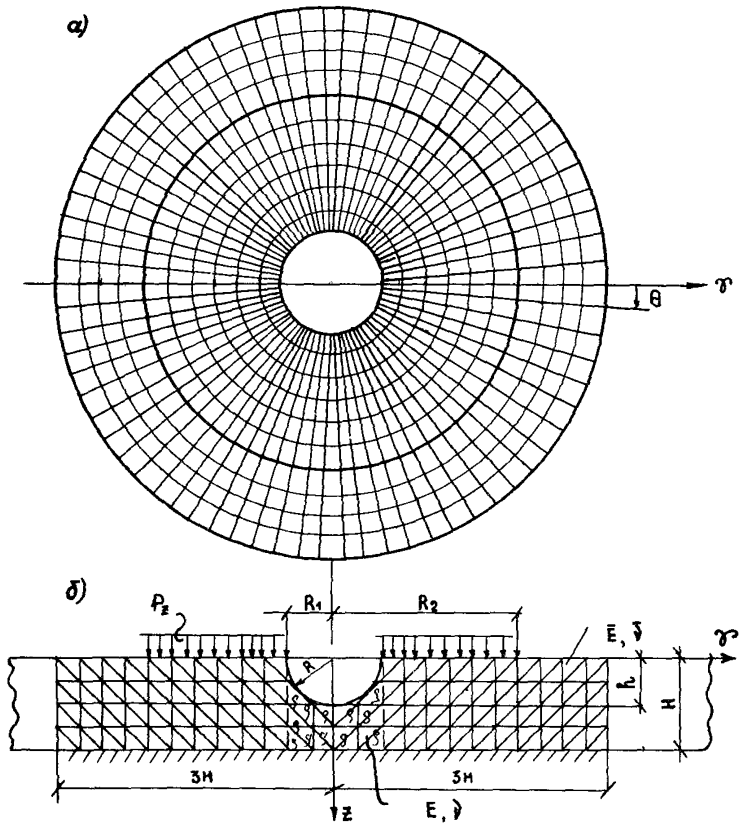


Рис. 7. Расчетная схема линейно-деформируемого слоя со сферической воронкой по МКЭ:
а – план; б – разрез

Таблица 2

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

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{k}$ в точках с радиусом r, м										
	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
		H = 9 м									
9	I3,52	I4.04	I4,63	I5,59	I7,2I	20,29	29,26				
I2	I2,82	I2,72	I2,79	I3,0I	I3,39	I3,99	I4,92	I6,45	I9,36	27,76	
I5	I2,59	I2,36	I2,27	I2,27	I2,35	I2,5I	I2,76	I3,I4	I3,72	I4,62	I6,09
I8	I2,82	I2,39	I2,I9	I2,09	I2,05	I2,II	I2,2I	I2,38	I2,64	I3,0I	I3,58
		H = I2 м									
9	II,84	I2,06	I2,57	I3,43	I4,88	I7,66	25,58				
I2	I0,I6	I0,20	I0,35	I0,62	II,03	II,6I	I2,49	I3,88	I6,4I	23,33	
I5	9,55	9,50	9,53	9,62	9,78	I0,00	I0,3I	I0,74	II,34	I2,2I	I3,6I
I8	9,45	9,28	9,23	9,24	9,29	9,38	9,5I	9,69	9,93	I0,26	I0,70
2I	9,37	9,I9	9,II	9,08	9,09	9,I2	9,I8	9,27	9,39	9,56	9,77
24	9,32	9,I9	9,09	9,03	8,99	8,97	8,97	8,97	8,99	9,03	9,08

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
			H = I5 м								
9	I0,33	I0,76	II,26	I2,0I	I3,22	I5,38	2I,00				
I2	8,78	8,85	9,00	9,26	9,62	I0,I3	I0,86	II,99	I3,96	I8,86	
I5	7,98	7,98	8,04	8,I5	8,3I	8,53	8,8I	9,I9	9,70	I0,42	II,52
I8	7,70	7,62	7,6I	7,65	7,72	7,83	7,97	8,I4	8,37	8,67	9,05
2I	7,56	7,46	7,44	7,44	7,47	7,53	7,60	7,69	7,8I	7,96	8,I5
24	7,67	7,54	7,50	7,49	7,5I	7,53	7,58	7,64	7,7I	7,80	7,9I
			H = I8 м								
9	I0,32	I0,79	II,36	I2,26	I3,72	I6,43	24,09				
I2	8,54	8,65	8,86	9,I7	9,63	I0,28	II,25	I2,78	I5,58	23,49	
I5	7,7I	7,76	7,88	8,07	8,32	8,66	9,I2	9,74	I0,60	II,89	I3,98
I8	6,53	6,55	6,58	6,64	6,72	6,82	6,96	7,I3	7,34	7,6I	7,95
2I	6,29	6,28	6,29	6,3I	6,35	6,4I	6,48	6,57	6,68	6,82	6,99
24	6,I9	6,I6	6,I4	6,I5	6,I6	6,I9	6,23	6,28	6,34	6,42	6,5I

Продолжение табл. 2

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
			H = 2I м								
9	9,67	I0,I0	I0,60	II,38	I2,63	I4,89	20,90				
I2	7,8I	7,90	8,07	8,34	8,7I	9,24	I0,0I	II,29	I3,28	I8,52	
I5	6,83	6,87	6,96	7,I0	7,29	7,54	7,86	8,30	8,89	9,73	II,03
I8	6,45	6,43	6,48	6,57	6,70	6,87	7.08	7,35	7,69	8,I3	8,7I
2I	5,58	5,58	5,59	5,63	5,67	5,73	5,8I	5,90	6,0I	6,I4	6,3I
24	5,40	5,40	5,39	5,4I	5,43	5,48	5,5I	5,57	5,63	5,7I	5,8I

Продолжение табл. 2

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{K}$ в точках с радиусом ζ, м										
	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24
I	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23
			H = 9 м								
I5	I8,89	26,99									
I8	I4,44	I5,87	I8,60	26,52							
			H = I2 м								
I5	I6,I6	23,I8									
I8	II,33	I2,25	I3,72	I6,45	24,23						
2I	I0,05	I0,43	I0,95	II,69	I2,79	I4,59	I8,I2	29,40			
24	9,I6	9,27	9,4I	9,6I	9,87	I0,23	I0,73	II,45	I2,57	I4,53	I9,46
			H = I5 м								
I5	I3,42	I8,09									
I8	9,56	I0,28	II,37	I3,25	I7,90						
2I	8,38	8,68	9,07	9,54	I0,3I	II,39	I3,29	I8,05			
24	8,04	8,2I	8,42	8,67	8,99	9,40	9,92	I0,64	II,73	I3,65	I8,65

Продолжение табл. 2

I	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23
			H = I8 м								
I5	I8,06	32,2I									
I8	8,90	9,0I	9,9I	II,40	I4,78						
2I	7,20	7,46	7,79	8,23	8,82	9,67	II,I0	I4,29			
24	6,62	6,76	6,93	7,I4	7,40	7,72	8,I5	8,73	9,58	I0,96	I4,08
			H = 2I м								
I5	I3,30	I9,22									
I8	9,50	I0,65	I2,49	I5,97	27,I6						
2I	6,50	6,75	7,06	7,45	8,00	8,77	I0,00	I2,69			
24	5,92	6,06	6,22	6,42	6,67	6,97	7,37	7,90	8,67	9,90	I2,59

Таблица 3

Приведенные коэффициенты жесткости основания, ослабленного воронкой с R =6м, h =6м (увеличенные в 10^2раз)

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{k}$ в точках с радиусом r, м										
	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
			H=9м								
9	I7,44	I9,08	22,25	32,35							
I2	I3,43	I3,85	I4,42	I5,33	I6,88	I9,83	28,45				
I5	I2,67	I2,70	I2,78	I2,99	I3,35	I3,9I	I4,8I	I6,30	I9,I2	27,24	
I8	I2,67	I2,47	I2,34	I2,3I	I2,35	I2,48	I2,70	I3,06	I3,62	I4,50	I5,95
			H=I2м								
9	I5,27	I6,68	I9,28	26,86							
I2	II,07	II,49	I2,03	I2,83	I4,I2	I6,40	22,I9				
I5	9,20	I0,07	I0,25	I0,53	I0,92	II,48	I2,34	I3,67	I6,I0	22,68	
I8	9,58	9,58	9,6I	9,70	9,83	I0,08	I0,39	II,06	II,45	I2,38	I3,86
2I	9,49	9,40	9,36	9,4I	9,50	9,64	9,84	I0,II	I0,49	II,0I	II,76
24	9,56	9,38	9,22	9,I7	9,I3	9,II	9,I2	9,I5	9,22	9,3I	9,45

Продолжение табл. 3

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
			H=I5м								
9	I4,40	I5,69	I8,I3	25,33							
I2	9,87	I0,26	I0,76	II,49	I2,65	I4,7I	20,00				
I5	8,46	8,6I	8,8I	9,07	9,44	9,95	I0,67	II,79	I3,72	I8,53	
I8	7,89	7,93	8,0I	8,I2	8,27	8,48	8,75	9,I2	9,62	I0,32	II,39
2I	7,65	7,63	7,63	7,67	7,74	7,83	7,96	8,I3	8,34	8,63	9,0I
24	7,59	7,52	7,48	7,47	7,49	7,52	7,58	7,66	7,76	7,90	8,08
			H=I8м								
9	I3,8I	I5,03	I7,33	24,02							
I2	I0,I2	I0,59	II,2I	I2,I8	I3,78	I6,79	25,78				
I5	7,57	7,73	7,9I	8,I6	8,49	8,95	9,58	I0,54	I2,I5	I5,92	
I8	6,90	6,97	7,05	7,I7	7,33	7,53	7,78	8,I2	8,56	9,I8	I0,08
2I	6,54	6,56	6,59	6,64	6,72	6,82	6,95	7,II	7,3I	7,57	7,90
24	6,40	6,38	6,38	6,40	6,44	6,45	6,56	6,66	6,77	6,9I	7,09

Продолжение табл.3

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{C}$ в точках с радиусом ζ, м							
	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24
I	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20
		H=9м						
I8	I8,69	26,59						
		H=I2м						
I8	I6,50	24,4I						
2I	I2,89	I4,73	I8,25	29,55				
24	9,64	9,90	I0,25	I0,75	II,47	I2,59	I4,55	I9,50
		H=I5м						
I8	I3,22	I7,70						
2I	9,52	I0,26	II,38	I3,32	I8,I8			
24	8,3I	8,6I	9,0I	9,56	I0,34	II,54	I3,64	I9,06
		H=I8м						
I8	II,59	I5,06						
2I	8,33	8,93	9,83	II,52	I4,54			
24	7,3I	7,59	7,94	8,42	9,09	I0,09	II,76	I5,78

Продолжение табл.

I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
				H=2Iм							
9	I3,98	I5,22	I7,69	25,30							
I2	8,65	9,00	9,44	I0,08	II,06	I2,78	I6,97				
I5	7,08	7,22	7,40	7,63	8,00	8,34	8,9I	9,75	II,I4	I4,28	
I8	6,29	6,37	6,46	6,58	6,75	6,95	7,2I	7,55	8,00	8,63	9,55
2I	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	6,2I	6,38

Продолжение табл. 3

I	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20
		H=2Iм						
I8	II,08	I4,63						
2I	7,80	8,44	9,37	I0,9I	I4,46			
24	6,58	6,84	7,I6	7,59	8,I7	9,0I	I0,40	I3,03

Таблица 4

Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{K}$ (увеличенные в 10^2 раз)

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{K}$ в точках с радиусом ξ, м										
	0	I	I,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
			H=9м								
9	I2,25	I2,37	I2,46	I2,55	I2,69	I2,83	I3,04	I3,25	I3,56	I3,87	I4,37
I2	II,62	II,67	II,70	II,73	II,78	II,83	II,90	II,97	I2,07	I2,I7	I2,32
I5	II,45	II,48	II,49	II,50	II,5I	II,53	II,55	II,57	II,60	II,63	II,68
I8	II,43	II,43		II,43		II,43		II,43		II,43	
			H=I2м								
9	I0,2I		I0,42			I0,78			II,42		
I2	9,2I	9,26	9,3I			9,46			9,72		
I5	8,79		8,84			8,92			9,03		
I8	8,64		8,66			8,69			8,74		
2I	8,59		8,60			8,6I			8,63		
24	8,57	8,57	8,57			8,57			8,57		
			H=I5м								
9	9,I3		9,35			9,65			I0,29		
I2	7,93		8,04			8,20			8,45		

Продолжение табл. 4

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{\kappa}$ в точках с радиусом z, м										
	0	I	I,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5
			H=I5м								
I5	7,35	7,42				7,50			7,63		
I8	7.07		7,II			7,I6			7,22		
2I	6,89		6,9I			6,94			6,97		
24	6,89		6,90			6,90			6,93		

Продолжение табл.4

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{\kappa}$ в точках с радиусом z, м											
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	I0	I0,5	II	I2	I3
			H=9м									
9	I4,82	I5,59	I6,36	I7,78	I9,20	24,4I	29,63					
I2	I2,46	I2,66	I2,87	I3,I7	I3,46	I3,9I	I4,36	I5,80		I8,44	25,53	
I5	II,7I	II,77	II,83	II,9I	I2,0I	I2,I4	I2,27	I2,64		I3,I8	I4,0I	I5,35
I8	II,44		II,44		II,50		II,58	II,60		II,8I	I2,03	I2,36
			H=I2м									
9	I2,57			I4,82			2I,65					
I2	I0,I4			I0,79			II,89		I4,0I		20,20	

Продолжение табл 4

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{c}$ в точках с радиусом z, м											
	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	I0	I0,5	II	I2	I3
				H=I2м								
I5	9,2I			9,48			9,89		I0,52		II,57	
I8	8,82			8,93			9,I0		9,36		9,74	
2I	8,65			8,69			8,75		8,85		9,00	
24	8,57			8,57			8,52		8,6I		8,66	
				H=I5м								
9	II,3I			I3,25			I8,63					
I2	8,85			9,46			I0,43		I2,22		I6,95	
I5	7,82			8,I0			8,50		9,09		I0,03	
I8	7,33			7,46			7,66		7,83		8,32	
2I	7,02			7,09			7,I9		7,32		7,52	
24	6,95			6,99			7,03		7,I0		7,I9	

Продолжение табл 4

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{C}$ в точках с радиусом r, м											
	I3,5	I4	I5	I6	I6,5	I7	I8	I9,5	2I	22	22,5	24
			H=9м									
I5		I7,8I	24,33									
I8		I2,86	I3,68	I4,89		I7,47	23,II					
			H=I2м									
I5	I3,58		I9,37									
I8	I0,34		II,34		I3,25		I8,70					
2I	9,24		9,60		I0,I6		II,II	I2,92	I8,03			
24	8,75		8,89		9,I0		9,43	9,96	I0,86		I2,56	I7,36
			H=I5м									
I5	II,72		I6,I2									
I8	8,89		9,80		II,4I		I5,58					
2I	7,77		8,I4		8,69		9,55	II,09	I5,03			
24	7,32		7,50		7,74		8,I0	8,63	9,46	I0,95		I4,73

Продолжение табл.4

Радиус фундамента, м	Приведенные коэффициенты жесткости основания $\bar{c}$ в точках с радиусом z, м								
	0	3	6	9	I2	I5	I8	2I	24
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
		H=I8м							
9	8,56	I0,32	I0,78	I7,23					
I2	7,2I	7,52	8,I7	9,68	I5,I8				
I5	6,52	6,69	7,03	7,69	9,I4	I4,I7			
I8	6,I9	6,29	6,48	6,84	7,5I	8,9I	I3,68		
2I	5,93	5,99	6,II	6,32	6,67	7,3I	8,66	I3,I8	
24	5,82	5,86	5,92	6,04	6,24	6,59	7,2I	8,5I	I2,84
		H=2Iм							
9	8,I3	8,70	I0,I8	I5,89					
I2	6,73	7,0I	7,6I	8,97	I3,72				
I5	5,97	6,06	6,58	7,06	8,36	I2,6I			
I8	5,53	5,63	5,8I	6,I6	6,76	8,0I	II,98		
2I	5,37	5,28	5,40	5,65	5,99	6,59	7,80	II,58	

заданной загруженной площади основания фундамента.

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

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

5.II. В зоне воронки коэффициент жесткости основания принимается равным нулю.

5.I2. При заданном положении воронки в углу или у края загруженной площади основания величины коэффициента жесткости находятся сначала как для основания без воронок, а затем с воронкой в центре по указаниям п.5.I0. На зоны коэффициента жесткости для основания без воронок 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 I. 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 $R_g = 3$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 однородно 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 $H_\alpha = 9$ м, коэффициент ослабления основания под воронкой

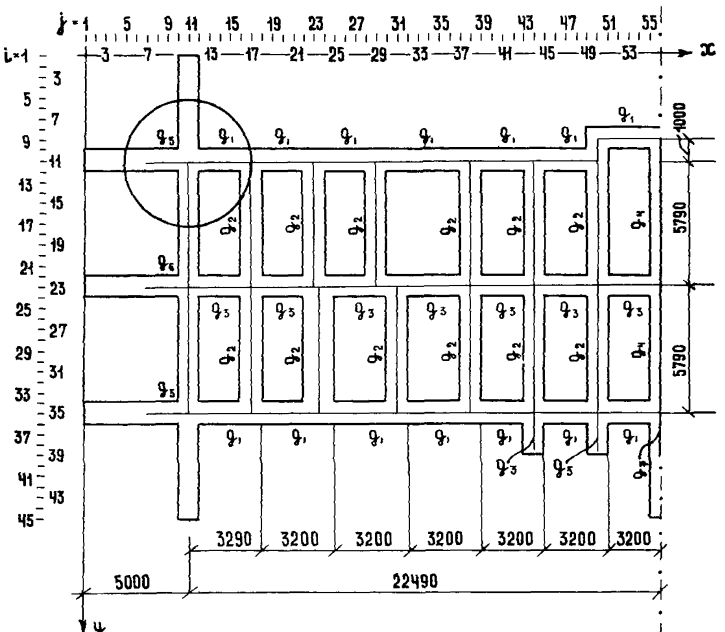


Рис.8. План перекрестно-ленточного фундамента 9-этажного крупнопанельного дома в г.Подольске

– $n = 4$.

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 45х11,6м.

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

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

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 составляют: $z_1 = 10{,}5$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 сжимаемого слоя $H_p = 9$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, эквивалентному по площади прямоугольному пятну здания

$$45 \times 11{,}6 = \pi(R^2 - R_в^2); \quad = \sqrt{\frac{495 + 95\pi}{\pi}} = 12{,}9\text{м}.$$

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 $\bar{\kappa}_4$) и $\kappa = 0$ 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: $\bar{\kappa}_1 = 0{,}1790$м$^{-1}$ $\bar{\kappa}_2 = 0{,}1369$м$^{-1}$ $\bar{\kappa}_3 = 0{,}1275$м$^{-1}$.

Определяем по формуле (3) величины коэффициента жесткости основания: круглого фундамента без воронки $\kappa_1 = 0{,}1712 \times 20 = 3{,}424$ МН/м^3; $\kappa_2 = 2{,}634$ МН/м^3; $\kappa_3 = 2{,}414$ МН/м^3; $\kappa_4 = 2{,}34$ МН/м^3; круглого фундамента с воронкой $\kappa_1 = 3{,}58$ МН/м^3; $\kappa_2 = 2{,}738$ МН/м^3; $\kappa_3 = 2{,}55$ МН/м^3.

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

$\kappa_1 = 3{,}424$ МН/м^3 от $i = I$, $j = I$ до $i = 45$; $j = III$;

$\kappa_2 = 2{,}634$ МН/м^3 от $i = I4$, $j = 22$ до $i = 32$; $j = 90$;

$\kappa_3 = 2{,}414$ МН/м^3 от $i = I7$, $j = 34$ до $i = 29$; $j = 78$;

$\kappa_4 = 2{,}34$ МН/м^3 от $i = 20$, $j = 45$ до $i = 26$; $j = 67$, затем зону с коэффициентом жесткости $\kappa = 0$ в пределах воронки, находящейся в углу здания с центром $i = II$, $j = II$, а также показываем ослабленную зону вокруг воронки от $i = I$, $j = I$ до $i = 23$, $j = 23$ с коэффициентом жесткости $\kappa_3 = 2{,}55$ МН/м^3, вычисленным для основания круглой плиты с воронкой в центре.

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

Требуется вычислить величины переменного коэффициента жесткости основания фундаментной плиты каркасного здания районной АТС с учетом возможности образования карстовой воронки радиусом $R_в = 3$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 осредненным приведенным модулем деформации $\bar{E} = 30$ МПа и подстилается на глубине 25 м закарстованными известняками.

В соответствии с п.5.3 принимаем расчетную толщину линейно-деформируемого слоя основания равной $H_\alpha = I2$ м, коэффициент ослабления основания под воронкой $- n = 6$.

Для вычисления величин переменного коэффициента жесткости

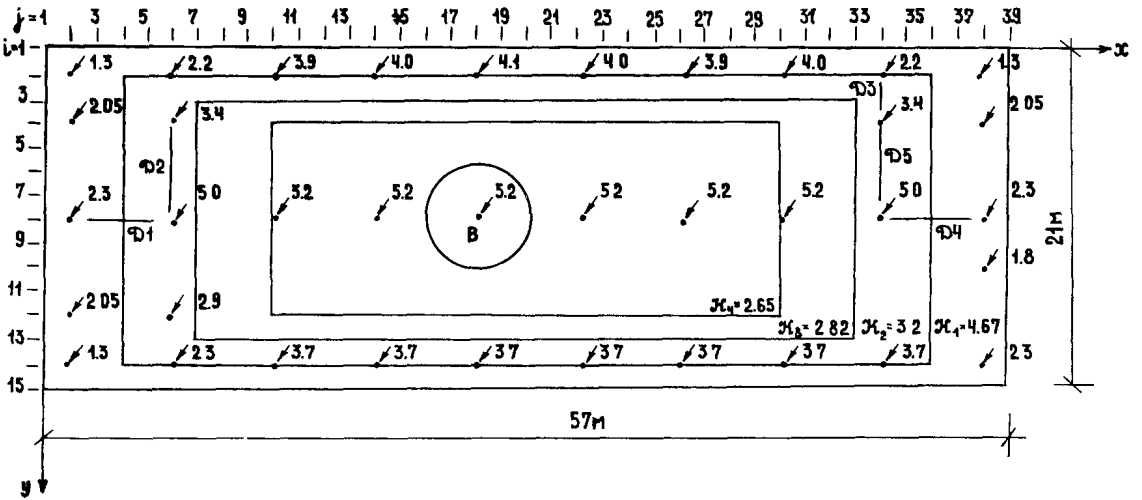


Рис. 9. План фундаментной плиты каркасного здания АТС

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

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

При расчете по программе КАРСТ задаем следующие исходные данные в соответствии с инструкцией к программе [4] : высота слоя (толщина линейно-деформируемого слоя основания) H = 12м; глубина (сферической) воронки h = 3м; радиус воронки $R_в$ = 3м; радиус зоны нарушенной структуры $R_{осл}$ = 3м; координата начала нагрузки R_1 = 3м; координата окончания нагрузки R_2 = 18м (вместо 19,7м для кратности геометрических параметров); радиус зоны концентрации (сгущения сетки элементов) $R_{конц}$ = 18м; глубина зоны концентрации $h_{конц}$ = 3м; общее количество цилиндров 24; общее количество подслоев 15; количество цилиндров в зоне концентрации 12; количество подслоев в зоне концентрации 6; модуль деформации слоя $\bar{E}$ = 30 МПа; модуль деформации нарушенной части основания E = 5 МПа; коэффициент Пуассона слоя $\bar{\nu}$ = 0,3; коэффициент Пуассона нарушенной части ν = 0,3; интенсивность нагрузки - P_z = 127 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 18м 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 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, j = 2,5,8 и 13. Для чего на круглой плите находим аналогичные точки с радиусами соответственно z = 16,96; 13,78; 10,6 и 5,3м. Линейной интерполяцией значений коэффициента жесткости, полученных по программе КАРСТ, вычисляем в этих точках величины K_1 = 4,67 МН/м^3; K_2 = 3,2 МН/м^3; K_3 = 2,82 МН/м^3 и K_4 = 2,65 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

Требуется вычислить величины переменного коэффициента жесткости основания фундаментной плиты 16-этажного крупнопанельного здания с учетом возможности образования двух карстовых воронок радиусом $R_в$ = 3м 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 15м от подошвы фундамента песчаными грунтами с осредненным приведенным модулем деформации $\bar{E}$ = 20 МПа, ниже расположены переслаивающиеся суглинки и пески, подстилаемые юрской глиной, толщина слоя которой составляет 1,5-2м, и закарстованными известняками.

В соответствии с п.5.3 принимаем расчетную толщину линейно-деформируемого слоя основания равной H_{α} = 10м, 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 = 12м.

При расчете по программе КАРСТ задаем в соответствии с [4] следующие исходные данные: высота (толщина) слоя H = 10м; глубина воронки h = 3м; радиус воронки $R_в$ = 3м; радиус зоны нарушенной структуры $R_{осл}$ = 3м; координата начала нагрузки R_1 = 3м; координата окончания нагрузки R_2 = 12м; радиус зоны концентрации $R_{конц}$=12м; глубина зоны концентрации $h_{конц}$= 3м; 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 МПа; модуль деформации нарушенной части основания 5 МПа; коэффициент Пуассона слоя $\bar{\nu}$ = 0,33; коэффициент Пуассона нарушенной части ν = 0,33; интенсивность нагрузки P_z = 185 кПа.

В результате расчета по программе КАРСТ для основания круглого фундамента в точках с радиусами z = 3,4,5,6,7,8,9,10,11 и 12м 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 МН/м^3.

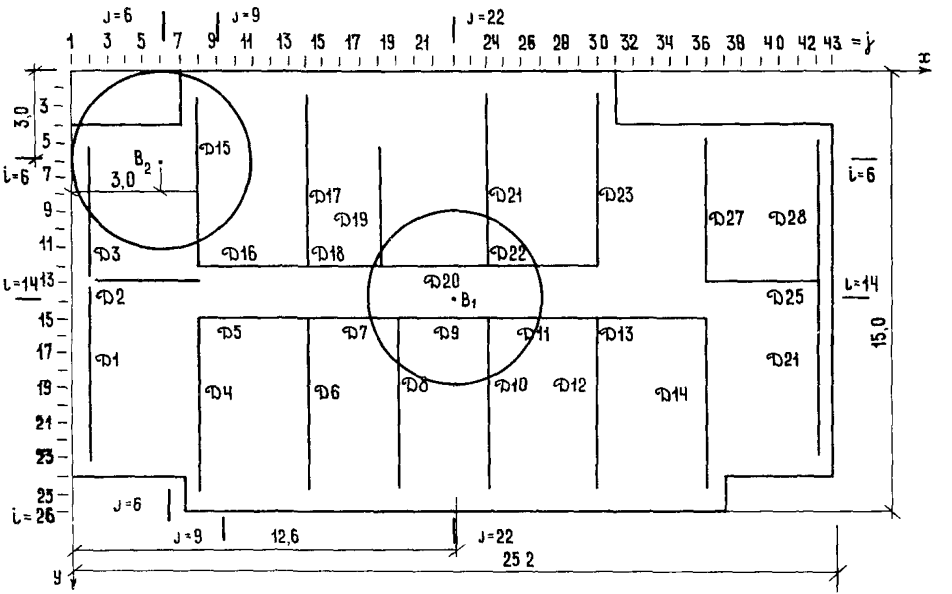


Рис. 10. План фундаментной плиты рядовой секции 16-этажного жилого крупнопанельного дома серии П 44

На плане фундаментной плиты(см.рис.10) задаемся следующими зонами, в пределах которых принимаются постоянные величины коэффициента жесткости: зона I от i = I, j = I до i =26, j = 43; зона 2 от i = 6, j = 7 до i= 2I, j = I0; от i = 4, j = I0 до i = 23, j = 28; от i = 6, j = 28 до i = 23, j = 34 и от i = 6, j = 34 до i = 2I, j = 38; зона 3 от i = 7, j = I2 до i = 20, j = 32; зона 4 от i = I, j = I до i = I6, j = I6.

Значений коэффициента жесткости определяем в средних точках зон с координатами i = I4, j = 4,9,I4. Для чего на круглой плите находим аналогичные точки с радиусами соответственно r = I0,26; 7,4I и 4,56. Линейной интерполяцией значений коэффициента жесткости, полученных по программе КАРСТ, вычисляем в этих точках следующие величины коэффициента жесткости: для зоны I κ_1 =3,I6 МН/м^3; для зоны 2 κ_2 = 2,49 МН/м^3; для зоны 3 κ_3 = 2,3 МН/м^3 и для зоны 4 также κ_4 = 2,3 МН/м^3. В зонах воронок принимаем коэффициент жесткости κ = 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.I. Расчеты фундаментной плиты и перекрестных лент с воронкой в основании выполняются на ЭВМ в нескольких вариантах при различных положениях воронки, принимаемых в соответствии с указаниями п. 2.II, 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 связевым 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 рассчитать 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 загружений, а также выполнять расчеты с различными положениями одной воронки либо сразу двух и более воронок. Причем задание координат центра воронки и её радиуса автоматически связывается с принятием в зоне воронки коэффициента жесткости, равного нулю.

Программа снабжена блоком армирования.

Перекрестно-ленточные фундаменты также могут рассчитываться по программе ПОРТИК - 8 как ребристые либо плоские плиты с вырезами.

493

Для ЭВМ с объмом оперативной памяти 512 К байтов возможен расчет плиты в системе ДОС 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-1060 - 4 мин.

6.4. Программный комплекс ППП АПЖБК (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 ППП АПЖБК при многовариантных расчетах с различными положениями воронки рекомендуется предварительно выбрать с помощью программы ПОРТИК - S наиболее невыгодные для деформаций и усилий в фундаменте положения воронки.

6.6. Для расчета перекрестно-ленточного фундамента с учетом жесткости рамного каркаса здания следует пользоваться программой ПРОФКОН на ЕС ЭВМ Харьковского Промстройниипроекта [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 пространственная стержневая конструкция методом перемещений строительной механики. Усилия в фундаменте определяются по полученным перемещениям узлов системы перекрестных балок с помощью конечно-разностных соотношений.

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

Количественные возможности программы ПРОФКОН (Проектирование фундаментных конструкций) определяются неравенством

$$6И_в + 3И_н \leq 4094,$$

где $И_в$ – число узлов пространственного надфундаментного каркаса; $И_н$ – число узлов системы перекрестных балок.

493

Результатами расчета по программе являются усилия и перемещения фундамента, реактивный отпор 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 карсто 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 воронки диаметром 6м, принятое под центральной колонной, и на одно загружение плиты вертикальной нагрузкой без учета жесткости верхнего строения. Координаты центра воронки составляют x = 25,5м, y =10,5м.

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

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

Толщина плиты 0,7м. Бетон марки М200. Модуль упругости бетона E_c = 24000 МПа. Коэффициент Пуассона ν_c = 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 выполняем 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

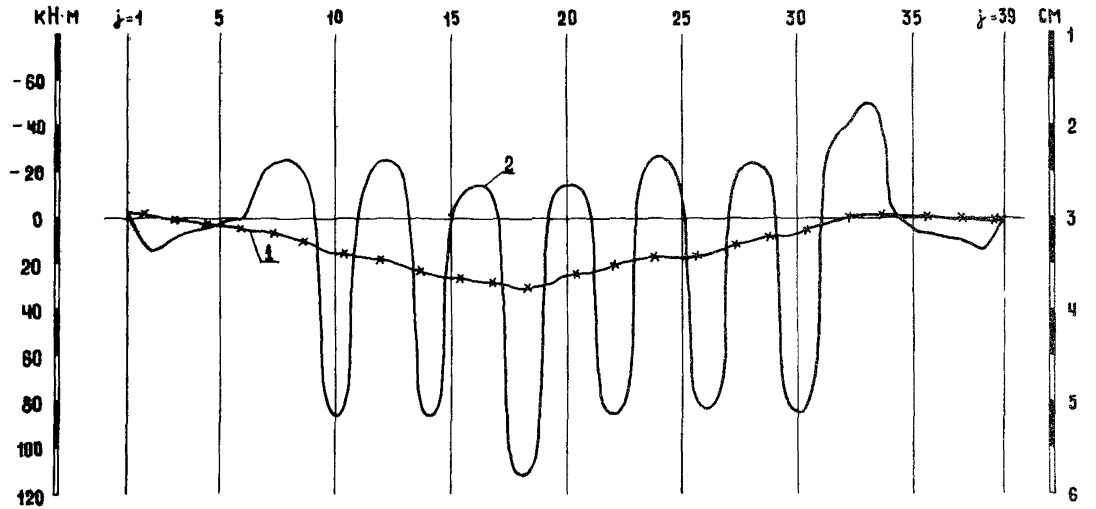


Рис. II. Эпюры осадок (I) и моментов M_x (2) для сечения i = 8 фундаментной плиты каркасного здания

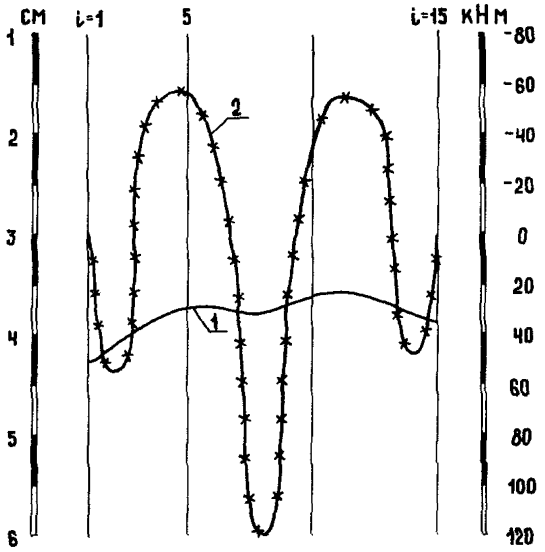


Рис. I2. Эпюры осадок (I) и моментов M_x (2) для сечения j = I8 фундаментной плиты каркасного здания

положениях воронок), и на одно загружение плиты вертикальной нагрузкой, передаваемой стенами. Координаты центров воронок составляют x = 3м, y = 3м и x = I2,6м, y = 7,5м.

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 х I5м. Толщина плиты 0,5м. Бетон плиты марки М200 с модулем деформации E_c = 24000 МПа и коэффициентом Пуассона ν_c = 0,2. Толщина несущих стен 0,I8м. Бетон стен М300 с модулем деформации E_c = 29000 МПа. Высота этажа 2,8м. Шаг сетки 0,6м.

Результаты расчета приведены на рис.I3 и I4. Эпюры осадок и изгибающих моментов M_x показаны для сечений i = 5 и i = I4.

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 двух секционного дома в карстоопасном районе.

Исходные данные составляем в соответствии с инструкцией к программе.

План фундамента с разностной сеткой i, j и нагрузками на ленты q_1 = 0,I5 МН/м, q_2 = 0,22I МН/м, q_3 =0,2 МН/м, q_4 = 0,302 МН/м, q_5 = 0,28МН/м, q_6 = 0,35 МН/м, q_7 = 0,36I МН/м приведен на рис.I0.

Расчетное положение воронки радиусом 3м принимаем под пересечением наружных лент. Координаты воронки составляют $x = y$ = 5м.

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.I.I6, вписываются в прямоугольник, имеющий размеры 55 х 22м, с принятым по возможностям программы минимальным шагом сетки в двух направлениях, равным 0,5м.

Для задания Т-образного сечения ребер принимаем основную толщину плиты 0,3м, высоту ребер 0,7м, ширину ребер 0,4м и перечисляем угловые узлы сетки как по контуру плиты, так и по внутренним

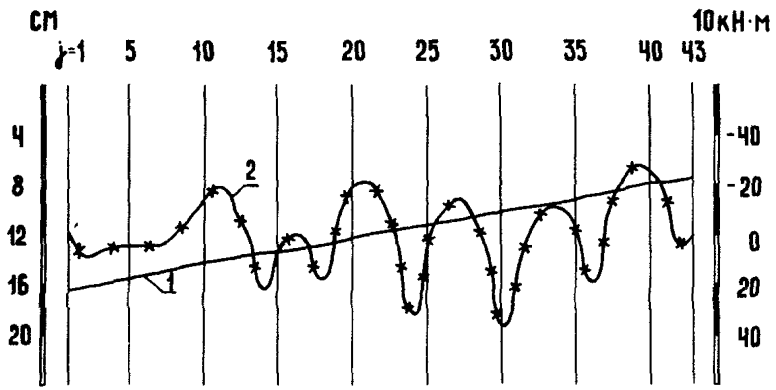


Рис. 13. Эпюры осадок (1) и моментов M_x (2) для сечения $i = 5$ фундаментной плиты крупнопанельного дома

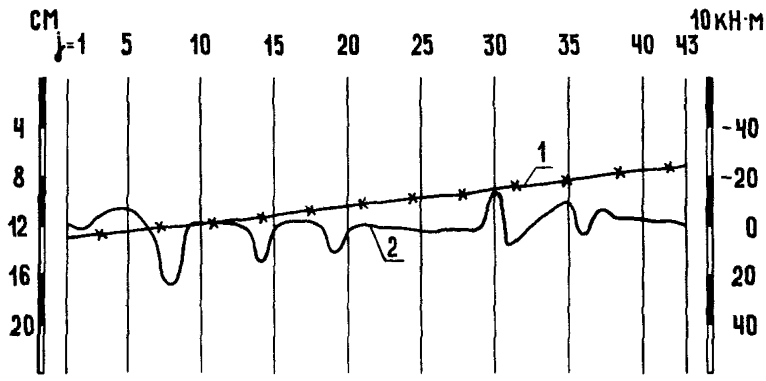


Рис. I4. Эпюры осадок (I) и моментов M_x (2) для сечения i = I4 фундаментной плиты крупнопанельного дома

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

Бетон ребер имеет марку М200, модуль упругости E_c = 24000 МПа и коэффициент Пуассона ν_c = 0,2.

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

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

Результаты расчета приведены на рис.I5. Эпюры осадок и изгибающих моментов M_x показаны для сечения i = II.

7. УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ВЫСОКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ КАРСТОВЫХ ВОРОНОК

7.I. 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 $d_{кр}$ к прогнозируемому (расчетному) значению d_e

$$K_{yc} = \frac{d_{кр}}{d_e} . \qquad (4)$$

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.I6 приведены некоторые случаи накренившихся сооружений с плитными фундаментами. Во всех случаях вращение сооружений при опрокидывании произойдет вокруг оси A_IB_I. Областью устойчивых положений следа равнодействующей масс сооружения на рис.I6,а является площадь $AA_IB_IБСД$ при данном положении карстовой воронки. На рис.I6,б область устойчивых положений - $A_IB_IД$, на рис.I6,в - $A_IB_IД_I$. На рис.I6,г область ус-

493

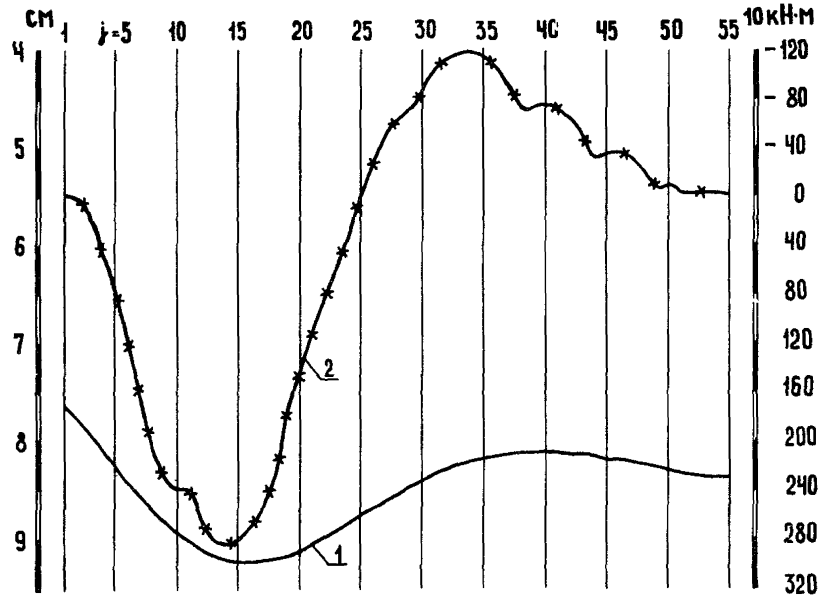


Рис. I5. Эпюры осадок (I) и моментов M_x (2) для сечения i = II перекрестно-ленточного фундамента крупнопанельного дома

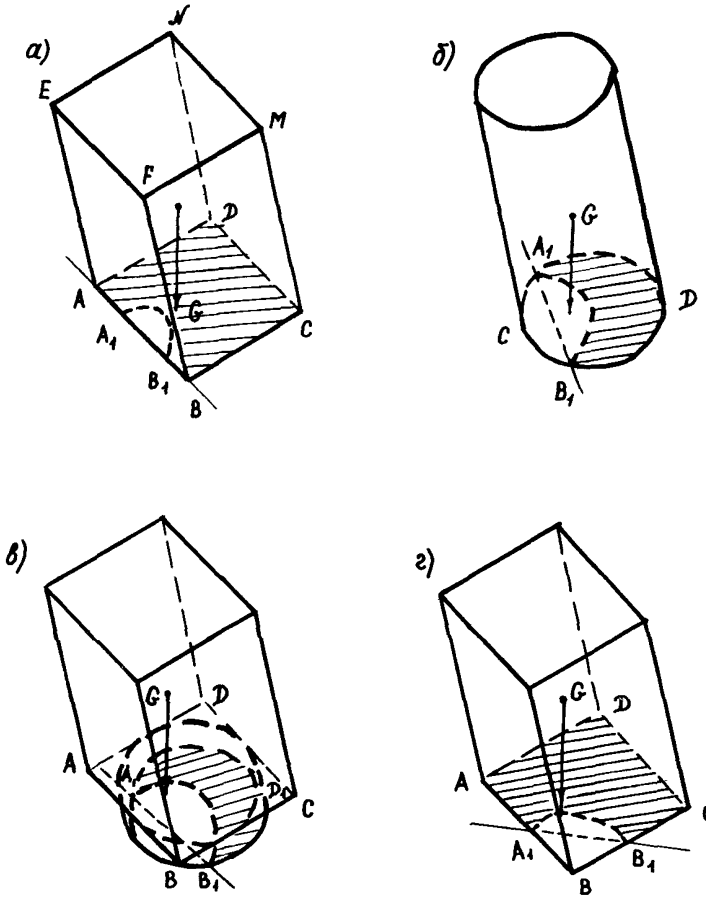


Рис.I6. Устойчивость сооружений при образовании карстовых воронок:
а – воронка под серединой стороны прямоугольного сооружения;
б – воронка под круглым в плане сооружением;
в – воронка под прямоугольным сооружением с круглой в плане цокольной частью;
г – воронка под углом прямоугольного здания

тойчивых положений следа равнодействующей - площадь AA_IB_ICД. При этом области устойчивых положений включают также незаштрихованные участки, заключенные между дугами - контурами карстовых воронок - и осями вращения A_IB_I.

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 $\rho_o/\alpha(\rho_o/2R), A_2$, где ρ_o - радиус карстовой воронки; α - 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 фундаментов при расположении карстовой воронки под углом фундамента(см.рис.17,а)в полярной системе координат с началом, совпадающим с центром карстовой воронки, имеет вид

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

где ρ,φ - 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 отлипание основания от подошвы плиты на противоположном от карстовой воронки крае, имеет вид

$$\begin{aligned}
&A_1\left(\alpha\beta-\frac{\pi\rho_o^2}{4}\right)-A_2\left(\frac{\alpha^2\beta}{2}-\frac{\rho_o^3}{3}\right)-A_3\left(\frac{\alpha\beta^2}{2}-\frac{\rho_o^3}{3}\right)=\frac{G}{c};\\
&\rho_o^2\left[A_1\left(\frac{\pi\alpha}{8}-\frac{\rho_o}{3}\right)-A_2\rho_o\left(\frac{\alpha}{6}-\frac{\pi\rho_o}{16}\right)-A_3\rho_o\left(\frac{\alpha}{6}-\frac{\rho_o}{8}\right)\right]-A_2\left(J_y-\frac{Gh}{c}\right)=0; \qquad (6)\\
&\rho_o^2\left[A_1\left(\frac{\pi\beta}{8}-\frac{\rho_o}{3}\right)-A_2\rho_o\left(\frac{\beta}{6}-\frac{\rho_o}{8}\right)-A_3\rho_o\left(\frac{\beta}{6}-\frac{\pi\rho_o}{16}\right)\right]-A_3\left(J_x-\frac{Gh}{c}\right)=0,
\end{aligned}$$

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

J_x, J_y - моменты инерции площади подошвы фундамента; c - жесткостная характеристика основания (коэффициент постели).

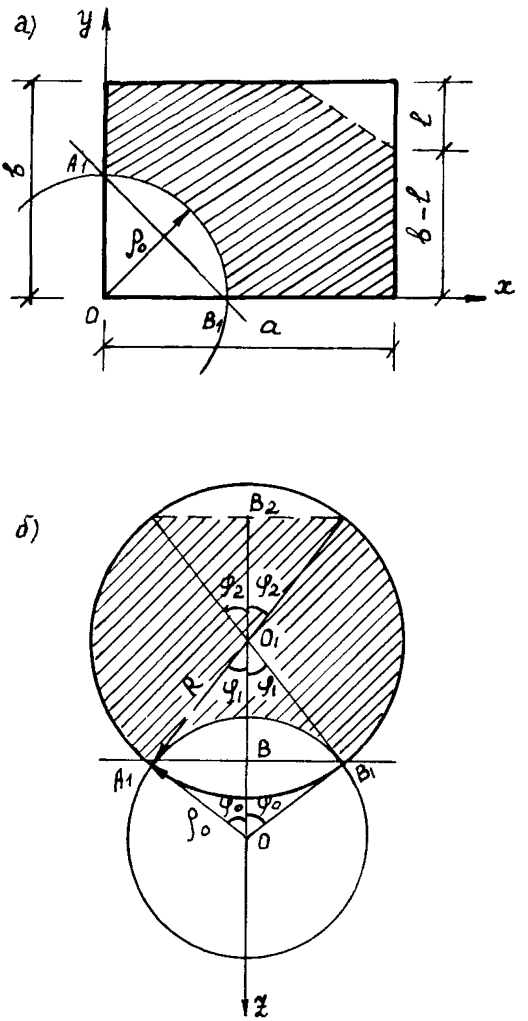


Рис.17. Расположение под сооружениями карстовых воронок:
а – прямоугольное в плане сооружение; б – круглое в плане сооружение

Если ℓ – размер зоны отлипания вдоль стороны размером b, то

$$A_1 = bA_3 + aA_2 - \ell A_3 , \qquad (7)$$

и система уравнений в стадии отрыва основания от подошвы плиты на конце, противоположном от карстовой воронки, имеет вид:

$$\begin{aligned}
&\ell A_3\left(ab - \frac{\pi\rho_o^2}{4}\right) + A_2\left(\frac{a^2 b}{2} - \frac{\pi a\rho_o^2}{4} + \frac{\rho_o^3}{3}\right) + \\
&+ A_3\left(\frac{ab^2}{2} - \frac{\pi b\rho_o^2}{4} + \frac{\rho_o^3}{3}\right) + \frac{A_3^2\ell^3}{6A_2} = \frac{G}{C} ; \\
&\ell A_3\left(\frac{\pi a}{8} - \frac{\rho_o}{3}\right)\rho_o^2 + A_2\left[\rho_o^2\left(\frac{a\rho_o}{2} - \frac{\pi\rho_o^2}{16} - \frac{\pi a^2}{8}\right) + \right. \\
&\left. + J_y - \frac{Gh}{C}\right] + A_3\rho_o^2\left(\frac{a\rho_o}{6} - \frac{\rho_o^2}{8} - \frac{\pi ab}{8} + \frac{b\rho_o}{3}\right) + \\
&+ \ell^3\frac{aA_3^2}{12A_2} - \ell^4\frac{A_3^3}{18A_2^2} = 0 ; \\
&\ell A_3\left(\frac{\pi b}{8} - \frac{\rho_o}{3}\right)\rho_o^2 + A_2\rho_o^2\left(\frac{b\rho_o}{6} - \frac{\rho_o^2}{8} - \frac{\pi ab}{8} + \frac{b\rho_o}{3}\right) + \\
&+ A_3\left[\rho_o^2\left(\frac{b\rho_o}{2} - \frac{\pi\rho_o^2}{16} - \frac{\pi b^2}{8}\right) + J_x - \frac{Gh}{C}\right] + \\
&+ \ell^3\frac{bA_3^2}{12A_2} - \ell^4\frac{A_3^2}{18A_2} = 0 .
\end{aligned} \qquad (8)$$

7.6. Крен квадратных плит фундаментов ($b = a$, $A_3 = A_2$) в вертикальной диагональной плоскости до отлипания основания от подошвы фундамента определяется по формуле

$$\begin{aligned}
A_2 = \frac{G}{C}\left(\frac{\pi a}{8} - \frac{\rho_o}{3}\right) \Big/ \left[\rho_o\left(\frac{a}{3} - \frac{\rho_o}{8} - \frac{\pi\rho_o}{16} + \right.\right. \\
\left. + \frac{J}{\rho_o^3} - \frac{Gh}{C\rho_o^3}\right)\left(a^2 - \frac{\pi\rho_o^2}{4}\right) - \\
\left. - \left(a^3 - \frac{2\rho_o^3}{3}\right)\left(\frac{\pi a}{8} - \frac{\rho_o}{3}\right)\right] .
\end{aligned} \qquad (9)$$

Значение $\rho_0=\rho_1$, при котором начинается отлипание основания от подошвы плиты, определяется из уравнения

$$\rho_1^4\left(\frac{\pi}{16}+\frac{1}{8}\right)-\alpha\rho_1^3+\frac{\pi\alpha^2}{4}\rho_1^2-J+\frac{Gh}{c}=0. \qquad (10)$$

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

$$\ell^4-\frac{3\alpha}{2}\ell^3-18\rho_0^2\left(\frac{\pi\alpha}{8}-\frac{\rho_0}{3}\right)\ell-$$
$$-18\rho_0^2\left(\alpha\rho_0-\frac{\pi\alpha^2}{4}-\frac{\rho_0^2}{8}-\frac{\pi\rho_0^2}{16}\right)- \qquad (11)$$
$$-18\left(J-\frac{Gh}{c}\right)=0.$$

Крен сооружения в стадии отлипания основания от подошвы плиты

$$A_2=\frac{G}{c}\left(\frac{\pi\alpha}{8}-\frac{\rho_0}{3}\right)\Big/\Big\{\rho_0\left(\frac{\alpha}{3}-\frac{\rho_0}{8}-\frac{\pi\rho_0}{16}+\frac{J}{\rho_0^3}-\right.$$
$$-\frac{Gh}{c\rho_0^3}\Big)\cdot\left(\alpha^2-\frac{\pi\rho_0^2}{4}\right)-\left(\alpha^3-\frac{2\rho_0^3}{3}\right)\left(\frac{\pi\alpha}{8}-\frac{\rho_0}{3}\right)- \qquad (12)$$
$$-\frac{\ell^3}{12}\left[\frac{\alpha}{\rho_0^2}\left(\alpha^2-\frac{\pi\rho_0^2}{4}\right)-2\left(\frac{\pi\alpha}{8}-\frac{\rho_0}{3}\right)\right]+$$
$$\left.+\frac{\ell^4}{18\rho_0^2}\left(\alpha^2-\frac{\pi\rho_0^2}{4}\right)\right\}.$$

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

$$A_2=G/c\left[\frac{\pi R^4 B}{4A}-\frac{GhB}{CA}-2R^3\frac{\sin^3\varphi_1}{3}-\right.$$
$$\left.-2\rho_0^2 0{,}0\left(\frac{\varphi_0}{2}-\frac{\sin 2\varphi_0}{4}\right)+2\rho_0^3\frac{\sin^3\varphi_0}{3}\right], \qquad (13)$$

где

$$A = 2R^3\frac{\sin\varphi_1^3}{3} + 2\rho_o^2 O_1O\left(\frac{\varphi_o}{2} - \frac{\sin 2\varphi_o}{4}\right) - 2\rho_o^3\frac{\sin^3\varphi_o}{3};$$

$$B = R^2\left(\pi - \varphi_1 + \frac{\sin 2\varphi_1}{2}\right) - 2\rho_o^2\left(\frac{\varphi_o}{2} - \frac{\sin 2\varphi_o}{4}\right);$$

O_IO – расстояние между центрами круглой фундаментной плиты и карстовой воронки. Углы φ_o, φ_1 показаны на рис.I7,б.

Значение радиуса $\rho_o = \rho_{o1}$ карстовой воронки, при котором наступает отлипание основания под противоположным от воронки краем фундамента, определяется из уравнения

$$\frac{\rho_{o1}^4}{4}\left(\varphi_o - \frac{\sin 4\varphi_o}{4}\right) - 2\rho_{o1}^3 R\sin^3\varphi_o + 4\rho_{o1}^2 R^2\left(\frac{\varphi_o}{2} - \frac{\sin 2\varphi_o}{4}\right) +$$

$$+\frac{2}{3}R^4\sin^3\varphi_1 + \frac{Gh}{c} - \frac{\pi R^4}{4} + \frac{R^4}{4}\left(\varphi_1 - \frac{\sin 4\varphi_1}{4}\right) = 0. \qquad (I4)$$

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

$$A_2 = G/c\left\{0{,}1B_2\pi R^2 - 20{,}1B_2\left[R^2\left(\frac{\varphi_1}{2} - \frac{\sin 2\varphi_1}{4}\right) + \right.\right.$$

$$\left.+\rho_o^2\left(\frac{\varphi_o}{2} - \frac{\sin 2\varphi_o}{4}\right)\right] - 2\rho_o^2 O_1O\left(\frac{\varphi_o}{2} - \frac{\sin 2\varphi_o}{4}\right) + \qquad (I5)$$

$$\left.+2\rho_o^3\frac{\sin^3\varphi_o}{3} + 2R^2 0{,}1B_2\left(\frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 2\varphi_2}{4}\right) + 2R^3\frac{\sin^3\varphi_2}{3}\right\},$$

где O_IB_2 и φ_2 – параметры, характеризующие размер зоны отлипания (см.рис.I7,б).

Величины φ_2 и O_IB_2 связаны функционально и определяются методом попыток из следующего уравнения

$$0{,}1B_2\left[2R^3\frac{\sin^3\varphi_1}{3} + 2\rho_o^2 O_1O\left(\frac{\varphi_o}{2} - \frac{\sin 2\varphi_o}{4}\right) - 2\rho_o^3\frac{\sin^3\varphi_o}{3} + \right.$$

$$+2R^3\frac{\sin^3\varphi_2}{3}\Big] - \frac{R^4}{4}\left(\varphi_2 - \frac{\sin 4\varphi_2}{4}\right) + \frac{Gh}{c} - \frac{\pi R^4}{4} + \qquad (I6)$$

$$+\frac{R^4}{4}\left(\varphi_1 - \frac{\sin 4\varphi_1}{4}\right) + 2\rho_o\left[0{,}1O^2\left(\frac{\varphi_o}{2} - \frac{\sin 2\varphi_o}{4}\right) - \right.$$

$$\left.-2\rho_o O_1O\frac{\sin^3\varphi_o}{3} + \frac{\rho_o^2}{8}\left(\varphi_o - \frac{\sin 4\varphi_o}{4}\right)\right] = 0.$$

Пример определения критических размеров карстовой воронки под прямоугольной фундаментной плитой

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

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

$$\rho_1^4(0{,}196 + 0{,}125) - 18\rho_1^3 + \frac{\pi 18^2}{4}\rho_1^2 - \frac{18 \cdot 18^3}{12} + \frac{97200 \cdot 40}{3000} = 0,$$

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 крены 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; $A_2 = 0{,}00947$; $\ell = 3{,}18$ м;
$\rho = 9$ м; $A_2 = 0{,}01485$; $\ell = 5{,}7$ м;
$\rho = 10$ м; $A_2 = 0{,}02426$; $\ell = 7{,}4$ м;
$\rho = 12$ м; $A_2 = 0{,}07874$; $\ell = 9{,}07$ м.

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

Смещение центра масс от первоначального положения $e = A_2 h = 0{,}07871 \cdot 40 = 3{,}15$ м. Расстояние от центра фундаментной плиты до оси вращения $A_I B_I$ при этом равно $O_I B = 2{,}83$ м, что меньше $e = 3{,}15$ м. Следовательно, положение сооружения неустойчиво, так как линия действия равнодействующей перешла точку B, находящуюся на оси вращения.

Проверим устойчивость сооружения при радиусе воронки ρ =II,6м. ρ = II,6 м; ℓ = 8,85 м; A_2=0,05956; e = 2,38 м < O_1B = 3,II м. Следовательно, след равнодействующей G находится внутри устойчивой области.

Проверим устойчивость сооружения при радиусе воронки ρ =II,9м. ρ = II,9 м; ℓ = 9,04 м; A_2= 0,07324; e = 2,92 $\approx$ O_1B = 2,89 м. Следовательно, значение радиуса воронки ρ = II,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 α_e = I0 м равен

$$K_{yc} = \frac{2.II,9}{I0} = 2,38.$$

Кривая I равновесных состояний построена на графике рис.I8 в координатах $\rho_o/\alpha, A_2$.

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. Жесткостная характеристика грунта основания C = 4000 кН/м^3. Масса сооружения G = 5660 кН. Расчетный диаметр карстовой воронки, по данным инженерно-геологических изысканий, α_e = 3м.

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

С использованием уравнения (I4) последовательными попытками определим значение радиуса воронки, при котором наступает отлипание основания от подошвы фундамента на противоположном от воронки крае.

После ряда попыток приходим к ρ_{o1} = 0,744 м. При этом

$$OB = \frac{3}{2} + \frac{0,744^2 - 9}{6} = 0,092 ; \quad BO_1 = 2,908 \text{ м};$$

$$\varphi_o = arc\,cos\,\frac{0,0922}{0,744} = I,4466 \text{ рад}; \quad \varphi_o = 82^0 50' ;$$

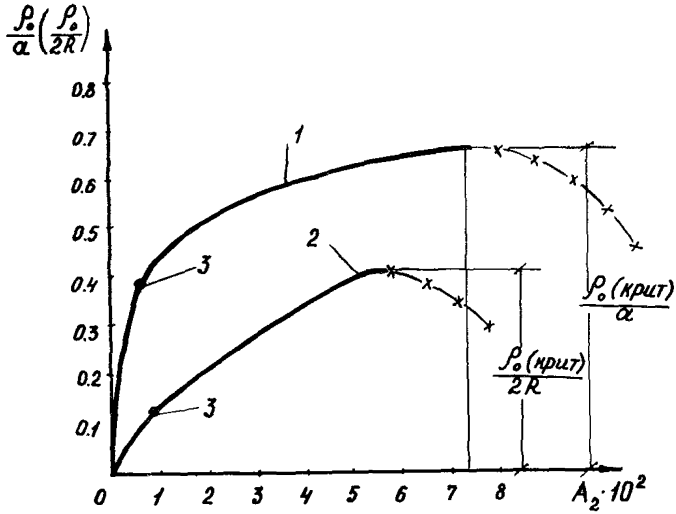


Рис.I8. Кривые равновесных состояний:
I - квадратное в плане здание; 2 - круглое в плане сооружение;
3 - точки, соответствующие началу отрыва подошвы фундамента от основания

$$\varphi_1 = \alpha rc\cos\frac{2{,}908}{3} = 0{,}24883 \text{ рад}; \qquad \varphi_1 = 14^0 10 \ .$$

Подставим эти значения в уравнение (14):

$$\frac{0{,}744^2}{4}\left(1{,}4466 - \frac{\sin 331°20'}{4}\right) - 2\cdot 0{,}744^3(\sin 82°50')^3 +$$

$$+ 4\cdot 0{,}744^2\cdot 3^2\left(\frac{1{,}4466}{2} - \frac{\sin 165°40'}{4}\right) + \frac{2}{3}3^4(\sin 14°10')^3 +$$

$$+ \frac{5660\cdot 36}{4000} - \frac{3{,}14\cdot 3^4}{4} + \frac{3^4}{4}\left(0{,}2488 - \frac{\sin 56°40'}{4}\right) = 0 .$$

Определим крены башни при последовательном увеличении радиуса карстовой воронки. Пользуемся формулами (15) и (16), поскольку рассматриваем значения $\rho_0 > \rho_{0_1}$.

Получены следующие значения кренов:

1. ρ_0 = 1,5 м; $O_I B_2$ = 1,145 м; OB = 0,375 м; A_2 = 0,0305.
   Проверка отклонения центра тяжести от начального положения
   $e = A_2 h$ = 0,0305 . 36 = 1,098 м;
   $O_0 O - OB = R - OB$ = 3 − 0,375 = 2,625 > 1,098 = e;

2. ρ_0 = 1,8 м; $O_I B_2$ = 0,87 м; OB = 0,54 м; A_2 = 0,0363.
   Отклонение центра тяжести e = 0,0363 . 36 = 1,307 м;
   $R - OB$ = 3 − 0,54 = 2,46 > 1,307 = e;

3. ρ_0 = 2,3 м; $O_I B_2$ = 0,57 м; OB = 0,882 м; A_2 = 0,0494
   Отклонение центра тяжести e = 0,0494 . 36 = 1,778 м;
   $R - OB$ = 3 − 0,882 = 2,118 > 1,778 = e;

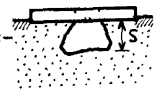
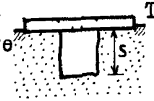
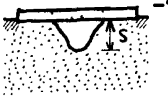
4. ρ_0 = 2,52 м; $O_I B_2$ = 0,49 м; OB = 1,058 м; A_2 = 0,05337.
   Отклонение центра тяжести e = 0,05337 . 36 = 1,922 м;
   $R - OB$ = 3 − 1,058 = 1,942 ≈ 1,922 = e.

Окончательно примем критическое значение радиуса карстовой воронки равным $\rho_{0кр}$ = 2,52 м. Таким образом, коэффициент устойчивости водонапорной башни равен

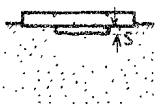
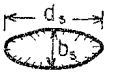
$$k_{уст} = \frac{2\ .\ 2{,}52}{3} = \frac{5{,}04}{3} = 1{,}68 .$$

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

Таблица I. Классификация карстопроявлений для целей проектирования фундаментов в условиях покрытого карста

Карстопроявления		Характеристика карстопроявлений		Связь с другими карстопроявлениями			
Типы	Виды	Форма в разрезе	Форма в плане	Устойчивость к разрушению в естественном состоянии	Предшествующие карстопроявления	Сопутствующие карстопроявления	Последующие карстопроявления
I	2	3	4	5	6	7	8
Поверхностные с нарушением сплошности грунта	Провалы сводообразные S > 0,25м		Условно круглая 	Неустойчивые	Полости	Зоны разуплотнения в покрывающих породах	Конические провалы
То же	Провалы цилиндрические S > 0,25м		То же	Малоустойчивые	То же	То же	1.Конические провалы 2.Котлообразные провалы
-"-	Провалы конические S>0,25м		-"-	Устойчивые	1.Цилиндрические провалы 2.Сводообразные провалы	-"-	Не ожидаются

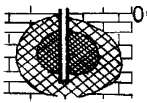
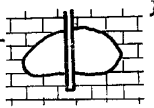
Продолжение табл.I

1	2	3	4	5	6	7	8
Поверхностные с нарушением сплошности грунта	Карстовые просадки $S<0,25$м		Условно круглая	Устойчивые	Полости	Зоны разуплотнения в покрывающих породах	Не ожидаются
Поверхностные без нарушения сплошности грунта	Проседания (локальные оседания) $R_s<1,0$км		Условно круглая и овальная 	То же	I.Зоны дезинтеграции в карстующихся породах 2.Понижения в кровле карстующихся пород	То же	То же
То же	Оседания $R_s \geq 1,0$км		Овальная и любая круглая	-"-	I.Зоны разуплотнения в покрывающих породах 2.Понижения в кровле карстующихся пород	I.Отсутствуют 2.Зоны разуплотнения в покрывающих породах	-"-

Продолжение табл.I

1	2	3	4	5	6	7	8
I.Поверхностные без нарушения сплошности грунта 2.Подземные, не имеющие четких границ	Понижения в кровле карстующихся пород и связанные с ними неравномерные осадки		I.Любая круглая 2.Отсутствует	Устойчивые	I.Зоны дезинтеграции в карстующихся породах 2.Отсутствуют	I.Зоны разуплотнения в покрывающих породах 2.Отсутствуют	I.Локальные и обширные оседания 2.Не ожидаются
Подземные, не имеющие четких границ	Зоны разуплотнения в покрывающих породах (ослабленные зоны)		Отсутствует	Малоустойчивые	I.Отсутствуют 2.Провалы и просадки 3.Понижения в кровле карстующихся пород 4.Полости в покрывающих породах	Отсутствуют	Локальные и обширные оседания

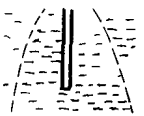
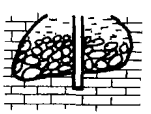
Продолжение табл.I

I	2	3	4	5	6	7	8
Подземные, не имеющие четких границ	Зоны, дезинтеграции в карстующихся породах (ослабленные зоны)		Отсутствует	Малоустойчивые	Отсутствуют	Отсутствуют	I.Полости в карстующихся породах 2.Зоны разуплотнения в покрывающих породах 3.Зоны фильтрационного разрушения в покрывающих породах
Подземные, ограниченные в пространстве	Полости в карстующихся породах		Любая	То же	I.Отсутствуют 2.Зоны дезинтеграции в карстующихся породах	I.Отсутствуют 2.Заполнитель полостей в карстующихся породах	I.Зоны фильтрационного разрушения в покрывающих породах 2.Зоны гравитационного сдвижения в покрывающих породах

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5	6	7	8
Подземные, ограниченные в пространстве	Полости в неводонасыщенных покрывающих породах		Любая округлая	Малоустойчивые	I.Зоны дезинтеграции в карстующихся породах 2.Полости в карстующихся породах	Зоны гравитационного сдвижения и фильтрационного разрушения в покрывающих породах	I.Сводообразные цилиндрические провалы 2.Просадки 3.Зоны разуплотнения в покрывающих породах
То же	Полости в водонасыщенных покрывающих породах		То же	Неустойчивые	I.Полости в карстующихся породах 2.Зоны дезинтеграции в карстующихся породах	То же	То же

Продолжение табл.I

1	2	3	4	5	6	7	8
То же	Зоны гравитационного сдвижения в покрывающих породах		То же	Малоустойчивые	1.Полости 2.Зоны фильтрационного разрушения в покрывающих породах	Полости в покрывающих породах	То же
То же	Зоны фильтрационного разрушения в покрывающих породах		-"-	То же	1.Полости в карстующихся породах 2.Зоны дезинтеграции в карстующихся породах	То же	-"-
То же	Заполнитель полостей в карстующихся породах		Любая	-"-	Зоны дезинтеграции в карстующихся породах	Полости в карстующихся породах	Зоны гравитационного сдвижения и фильтрационного разрушения в покрывающих породах

Примечания к табл.I:

 - фундамент мелкого заложения

 - карстующиеся породы

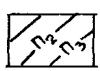
 - фундамент глубокого заложения

 - водонасыщенные покрывающие породы

 - поверхность грунтового массива

 - неводонасыщенные и водонасыщенные покрывающие породы

 - неводонасыщенные покрывающие породы



- линии равных значений пористости

Приложение 2

Таблица 2. Классификация противокарстовых конструктивных мероприятий

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

Продолжение табл.2

Тип мероприятий	Вид мероприятий	Период применения
	Фундаменты с подпругами	Б,В
	Конструкции фундаментов, исключающие возможность развития провальных образований в воронки	Б
	Кусты висячих свай с резервным их числом; ростверк, обеспечивающий выпадение свай при провале	Б
	Сваи-стойки при прорезке карстующихся пород	Б
	Глубокие опоры при прорезке карстующихся пород	
	Поддомкрачивание с целью выправления сооружений	Б,В
	Наклонные буроинъекционные сваи с целью связывания толщи грунтов основания сооружений	Б,В

Примечание к табл.2. В последней графе указаны противокарстовые 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

I. Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР. М.,Стройиздат,1967.

2. *Временные Указания по проектированию зданий и сооружений в районах г.Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов.* М., Моспроект-I, 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 исследование 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.

УДК

Содержание

I. 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 I0
5. Определение величин переменного коэффициента жесткости закарстованного основания I6
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 I. Классификация карстопроявлений для целей проектирования фундаментов в условиях покрытого карста .. 68
Приложение 2. Классификация противокарстовых конструктивных мероприятий 75
Список литературы 77

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

Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях

Отдел патентных исследований и научно-технической информации

Зав.отделом Б.И.Кулачкин
Редактор Л.В.Пузанова

Л 54219 Подп. к печати 29/Ш I985 г. Заказ № 493
Формат 60 х 90 I/I6. Усл.печ.л.4,98. Усл.кр.-отт.5,23.
Уч.изд.л.5,22.
Тираж 500 экз. Цена 58 коп.

Производственные экспериментальные мастерские ВНИИИС Госстроя СССР

I2I 47I, Москва, Можайское шоссе, 25

gost.e-ecolog.ru