Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя СССР

Государственный проектный и научно-исследовательский институт
Донецкий Промстройниипроект Госстроя СССР

Центральный научно-исследовательский и проектный институт
типового и экспериментального проектирования жилища
Государственного комитета по гражданскому строительству и
архитектуре при Госстрое СССР

Центральный научно-исследовательский и проектный институт
по градостроительству Государственного комитета по
гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ СССР

Москва, 1967 г.

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя СССР

Государственный проектный и научно-исследовательский институт
Донецкий ПромстройНИИпроект Госстроя СССР

Центральный научно-исследовательский и проектный институт
типового и экспериментального проектирования жилища
Государственного комитета по гражданскому строительству и
архитектуре при Госстрое СССР

Центральный научно-исследовательский и проектный институт
по градостроительству Государственного комитета по
гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В КАРСТОВЫХ РАЙОНАХ СССР

Москва, 1967 г.

Дается краткая характеристика особых условий строительства в карстовых районах. Рекомендуется оценивать устойчивость территорий и производить расчеты зданий и сооружений по данным о среднегодовом количестве провалов, приходящихся на единицу площади, и графикам распределения провалов по их величине. Рассматриваются особенности составления схем районной планировки, генеральных планов городов и проектов детальной планировки. Даются рекомендации по определению характера застройки территорий в зависимости от их устойчивости и излагаются основные требования к жилищному и гражданскому строительству в карстовых районах. Приводятся рекомендации по выбору конструктивных схем и решений промышленных зданий и сооружений. В приложениях дается обоснование рекомендуемого характера застройки территорий и излагается метод расчета ленточных фундаментов как одного из рекомендуемых средств защиты от карстовых провалов ограниченного размера.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников проектных и изыскательских организаций.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Карстовые районы, широко распространенные в СССР (в Европейской части, на Урале, в Сибири, Средней Азии, Казахстане и на Кавказе), относятся к территориям с особыми условиями строительства.

Особые условия промышленного, жилищного и гражданского строительства в карстовых районах связаны в основном с провалами, а также постепенными оседаниями земной поверхности. Кроме того, приходится учитывать особенности гидрогеологических условий, неравномерную несущую способность закарстованных горных пород с наличием ослабленных зон и др. Важно также иметь в виду возможность активизации карста и связанных с ним процессов при искусственном изменении природных условий.

Промышленное, жилищное и гражданское строительство в карстовых районах осуществляется в больших масштабах (города Дзержинск, Казань, Альметьевск, Октябрьский, Уфа, Куйбышев, Славянск, Североуральск, Черемхово и др.). Карстовые явления вызывают большие затруднения при строительстве и использовании территорий, затрачиваются значительные средства на специальные изыскания и мероприятия по защите от вредного влияния карста. С другой стороны, недоучет особенностей карстовых районов приводит к деформациям и авариям зданий и сооружений.

Настоящие рекомендации составлены в результате обобщения опыта изысканий, строительства и научных исследований в карстовых районах. В работе принимали участие: Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в

строительстве (головной институт); Государственный проектный и научно-исследовательский институт Донецкий ПромстройНИИпроект; Центральный научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования жилища; Центральный научно-исследовательский и проектный институт по градостроительству и Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им.В.А.Кучеренко.

Целью настоящих рекомендаций является улучшение использования территорий, повышение надежности зданий и сооружений и обеспечение рационального использования средств при строительстве в карстовых районах.

Рекомендации составлены, исходя из необходимости, с одной стороны, обеспечить надежность зданий и сооружений и достаточную степень безопасности для жизни людей от угрозы карстовых провалов, с другой - обеспечить рентабельность капиталовложений в строительство. Необходимые расчеты и ориентировочные оценки для соблюдения этих требований проведены на основе количественных характеристик, полученных в результате специальных инженерно геологических исследований.

Подобные рекомендации, составленные в результате тщательного изучения условий и опыта строительства и выполнения расчетов и ориентировочных оценок, основанных на количественных показателях устойчивости территорий, фактически разработаны впервые и требуют экспериментальной и практической проверки.

Работа выполнена под общим руководством И.А.Саваренского (ЦНИИИС).

Исполнители по разделам:

I. Общие положения - И.А.Саваренский (ПНИИИС), В.В.Пушкарев (Донецкий ПромстройНИИпроект), М.С.Школьников (ЦНИИЭП жилища).

П. Инженерно-геологические условия строительства и их оценка - И.А.Саваренский (ПНИИИС).

Ш. Особенности составления схем районной планировки, генеральных планов городов и проектов детальной планировки - Г.С.Хмельницкий и Н.М.Ильинская (ЦНИИП градостроительства).

IУ. Проектирование жилых и гражданских зданий - М.С.Школьников (ЦНИИЭП жилища).

У. Выбор конструктивных схем и решений промышленных зданий и сооружений - В.В.Пушкарев (Донецкий ПромстройНИИпроект).

На основе настоящих рекомендаций предполагается в дальнейшем разработать проект нормативного документа (указаний). В связи с этим ПНИИИС обращается с просьбой присылать отзывы, предложения и замечания по адресу: Москва, К-I2, Б.Черкасский пер., 2/I0.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.01. Настоящие рекомендации распространяются на проектирование жилых, гражданских и промышленных зданий и сооружений в карстовых районах.

I.02. Карстовые районы относятся к территориям с особыми условиями строительства (см.раздел 2). При проектировании строительства в этих районах следует пользоваться действующими нормативными документами с учетом настоящих рекомендаций.

Примечание: Соблюдаются также требования нормативных документов для других особых условий (сейсмичность, просадочные и многолетнемерзлые грунты, оползни, сели, подработка территории горными выработками и др.), имеющихся в районе строительства.

I.03. К карстовым районам относятся территории, в геологическом разрезе которых присутствуют растворимые горные породы (известняки, доломиты, мел, гипсы, ангидриты, каменная соль и т.п.), и имеют место или возможны поверхностные и подземные проявления карста.

Примечания: I. Карстом называется "совокупность геологических явлений в земной коре и на ее поверхности, вызванных химическим растворением горных пород и выраженных в образовании в земной коре пустот, в разрушении и изменении структуры и состояния пород, в создании особого характера циркуляции и режима подземных вод и характерного рельефа местности и режима гидрографической сети" (Попов И.В., 1959 г.).

2. На территории с наличием псевдокарста (так называемого глиняного карста, обусловленного легкой размываемостью глинистых

пород) и термокарста (связанного с оттаиванием многолетнемерзлых пород) настоящие рекомендации не распространяются.

I.04. Отнесение районов строительства к карстовым или некарстовым производится на основании геологических материалов, имеющихся в территориальных геологических управлениях, трестах инженерно-строительных изысканий, научно-исследовательских институтах и карстовых станциях, или по данным предварительного обследования. При этом руководствуются также обзорными картами распространения закарстованных пород и карстовых явлений.

Примечание: Примерное распространение карстовых районов на территории СССР показано на схеме, приложенной к "Рекомендациям по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР", изданным ПНИИИСом (М., 1967 г.).

I.05. При проектировании зданий и сооружений в карстовых районах необходимо исходить из следующих основных требований:

а) должна быть предотвращена или сведена до минимума возможность катастрофических разрушений и обеспечена достаточная степень безопасности для жизни людей;

б) должна быть обеспечена рентабельность строительства с учетом возможного ущерба от карстовых явлений и расходов на специальные изыскания и противокарстовые мероприятия.

I.06. Требования, предъявляемые к строительству в карстовых районах, могут быть обеспечены применением следующих мероприятий в различных комбинациях:

а) рациональный выбор и использование территорий (архитектурно-планировочные решения);

б) инженерно-геологические, гидрогеологические и горно-геологические мероприятия (инженерная подготовка территорий);

в) строительные (конструктивные) мероприятия;

г) технологические и эксплуатационные мероприятия.

I.07. Проектирование зданий и сооружений в карстовых районах должно вестись на основании данных тщательных инженерных изысканий, выполняемых с учетом требований "Рекомендаций по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР" (М., 1967 г.).

I.08. Детальным инженерно-геологическим исследованиям территории, намеченной под застройку в районах распространения карста, и проектированию зданий и сооружений должен предшествовать тщательный экономический анализ целесообразности строительства на данной территории.

Экономические расчеты должны быть произведены с учетом экономических преимуществ этой территории, с одной стороны, и вероятного ущерба от проявлений карста и затрат на специальные изыскания и противокарстовые мероприятия - с другой.

I.09. В сумму затрат на специальные изыскания и противокарстовую защиту должна быть включена стоимость следующих мероприятий:

детальных инженерно-геологических исследований территории, предшествующих проектированию и строительству зданий и сооружений;

специальных инженерных мероприятий по подготовке территории к застройке (укрепление закарстованных пород, заполнение полостей, гидрогеологические и водоотводные мероприятия и т.п.);

специальных противокарстовых мероприятий, предусматриваемых (в случае необходимости) в проектах зданий и сооружений, возводимых на данной территории, а также в проектах технологических коммуникаций и оборудования;

специальных противокарстовых мероприятий, наблюдений и обследований, осуществляемых (в случае необходимости) в период эксплуатации зданий, сооружений и территории в целом.

I.IO. Инженерные изыскания, оценка территорий, характер, объем и стоимость мероприятий по борьбе с вредным влиянием карста зависят не только от природных условий, но и от класса зданий и сооружений, т.е. от их назначения, типа, стоимости и размеров.

I.II. При проектировании строительства всегда необходимо учитывать перспективы расширения проектируемого объекта и хозяйственного освоения окружающей территории в целом.

2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И ИХ ОЦЕНКА

2.0I. При проектировании строительства в карстовых районах необходимо учитывать:

а) карстовые деформации земной поверхности (пп.2.02-2.I2);

б) пониженную несущую способность закарстованных пород и отложений, заполняющих поверхностные и погребенные карстовые формы (п.2.I3);

в) особенности гидрологических и гидрогеологических условий, связанные с карстом (п.2.I4);

г) возможность значительной активизации или замедления развития карста и связанных с ним явлений в результате хозяйственной деятельности человека (п.2.26).

2.02. Основные типы карстовых деформаций земной поверхности:

а) провалы (пп.2.03-2.I0);

б) постепенные небольшие по площади местные оседания (п.2.II);

в) постепенные длительные оседания на обширной площади, иногда приводящие к образованию крупных мульд оседания и депрессий (п.2.II);

г) коррозия земной поверхности в местах выхода растворимых горных пород (п.2.I2).

Нередко встречаются комбинированные и промежуточные типы деформаций земной поверхности.

2.03. Провалы, вследствие внезапности их возникновения, представляют главную опасность для зданий и сооружений в карстовых районах. Они образуются в результате наличия на глубине карстовых полостей и расширенных трещин.

При проектировании мероприятий по защите зданий и сооружений следует различать: а) провалы, вызванные обрушением кровли карстовых полостей, б) карстово-суффозионные и в) смешанные. Первые возникают при наличии на сравнительно небольшой глубине достаточно крупной полости с ослабленной кровлей. Вторые происходят в результате просасывания (вмывания) в карстовые полости и расширенные трещины рыхлого материала из отложений, покрывающих карстующиеся породы. При достаточной мощности покрывающих рыхлых (или разрыхляемых) отложений и благоприятных гидродинамических условиях карстовые полости и трещины даже небольшого поперечного сечения, но значительной протяженности, могут привести к возникновению крупных карстово-суффозионных провалов.

2.04. Подготовка провалов происходит на глубине длительное время, на поверхности же провальный процесс протекает очень быстро. При этом обычно сначала на поверхности внезапно появляются трещины, по которым происходит обрушение грунта, и образуется воронка или колодец небольшого диаметра. Затем стенки воронки (колодца) обваливаются и оползают, и размеры ее увеличиваются. В песчаных и глинистых грунтах продолжительность формирования провальной воронки ориентировочно составляет: при малом ее диаметре (до 10 м) - не более нескольких минут, при среднем диаметре (около 20-30 м) - порядка 15-30 мин, при большом диаметре (50 м и более) - 1-3 часа и более.

Образованию провала иногда предшествуют: оседание поверхности земли и возникновение трещин, шум и треск, скачки уровня подземных вод в наблюдательных скважинах и т.п.

Явления, предшествующие образованию провальных воронок, могут быть использованы для прогноза возникновения провалов, а время формирования провальной воронки - для осуществления экстренных мероприятий по эвакуации людей и ценностей.

Провалы могут возникать поодиночке и группами. Наблюдаются случаи повторных провалов на месте ранее образовавшихся воронок.

2.05. Размеры провалов зависят от местных геологических и гидрогеологических условий. Их диаметры в одних районах не превышают 5-I0 м, в других - достигают 50 и даже I00-300 м. Глубина - преимущественно от долей метра до нескольких метров, иногда достигает нескольких десятков метров. Для провальных воронок в сухих рыхлых и слабосвязанных грунтах характерно отношение глубины к диаметру от I:3 до I:2. В обводненных рыхлых грунтах (при прочих равных условиях) это отношение уменьшается, а в прочных породах - увеличивается. Небольшие провалы в большинстве районов случаются значительно чаще, чем крупные.

Вокруг провалов нередко отмечается ослабленная зона с пониженной несущей способностью грунтов, концентрическими трещинами и небольшими оседаниями грунта. Ширина этой зоны бывает различна - от долей метра до нескольких метров.

2.06. Для оценки устойчивости территорий рекомендуются следующие показатели: а) среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади, и б) среднегодовая поражаемость территории карстовыми провалами.

2.07. Среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади, рассчитывается по формуле:

$$p = \frac{n}{S \cdot t} \quad \frac{\text{случаев}}{\text{км}^2 \text{ год}} ,$$

где n - число провалов, зарегистрированное на площади S /км^2/ за промежуток времени t лет.

Обратной величиной является средняя периодичность провалов: $T = \frac{1}{p} = \frac{S \cdot t}{n}$, которая показывает, через какие промежутки времени (в среднем) на площади I км^2 появляется один провал.

2.08. Среднегодовая поражаемость территории карстовыми провалами определяется по формуле:

$$B = \frac{\sum s}{S \cdot t} \cdot 100\% \text{ в год}$$

где $\sum s$ - сумма площадей провалов (м^2), образовавшихся на территории S (м^2) за промежуток времени t лет.

2.09. В карстовых районах по степени устойчивости относительно карстовых провалов выделяются следующие категории территорий:

I) Среднегодовое количество провалов очень велико - больше I,0 случая/км^2 год (больше одного провала на I км^2 за год). Территории очень неустойчивые.

II) Среднегодовое количество провалов велико - от 0,I до I,0 случая/км^2 год (один провал на I км^2 за I-I0 лет). Территории неустойчивые.

III) Среднегодовое количество провалов значительно - от 0,05 до 0,I случая/км^2 год (один провал на I км^2 за I0-20 лет). Территории недостаточно устойчивые.

IУ) Среднегодовое количество провалов мало - от 0,0I до 0,05 случая/км^2 год (один провал на I км^2 за период от 20 до I00 лет). Территории с несколько пониженной устойчивостью.

У) Среднегодовое количество провалов очень мало - меньше 0,0I случая/км^2 год (один провал на I км^2 реже, чем за I00 лет) Территории относительно устойчивые.

УI) Образование провалов исключается. Территории устойчивые.

2.I0. Для определения вероятных размеров карстовых провалов в результате изысканий составляются графики распределения провалов по их величине. На графиках по оси абсцисс откладываются размеры провалов, а на оси ординат проценты их повторяемости (при построении кривой повторяемости) и суммы процентов повторяемости (при построении суммарной кривой распределения). Пример такого графика приводится на рис.I.

2.II. Постепенные оседания земной поверхности как небольшие по площади, так и захватывающие значительные территории представляют сравнительно с провалами значительно меньшую опасность. Их учитывают преимущественно в районах активного соляного карста (п.2.20), а также при проектировании особо ответственных зданий и сооружений, чувствительных к осадкам основания.

2.I2. Коррозия земной поверхности в местах выхода растворимых горных пород учитывается редко (п.2.22).

2.I3. Кроме возможности провалов и оседаний земной поверхности, в карстовых районах принимается во внимание наличие поверхностных и погребенных карстовых форм (воронок, впадин и т.п.), которые нередко заполнены отложениями с пониженной несущей способностью, в том числе торфом и слабыми насыпными грунтами.

Если закарстованные породы попадают в сферу распространения нагрузок от зданий и сооружений, оценивается их несущая способность. При этом учитывается неравномерная трещиноватость, наличие зон ослабления механических свойств горных пород вследствие выщелачивания и наличие карстовых пустот (заполненных или незаполненных).

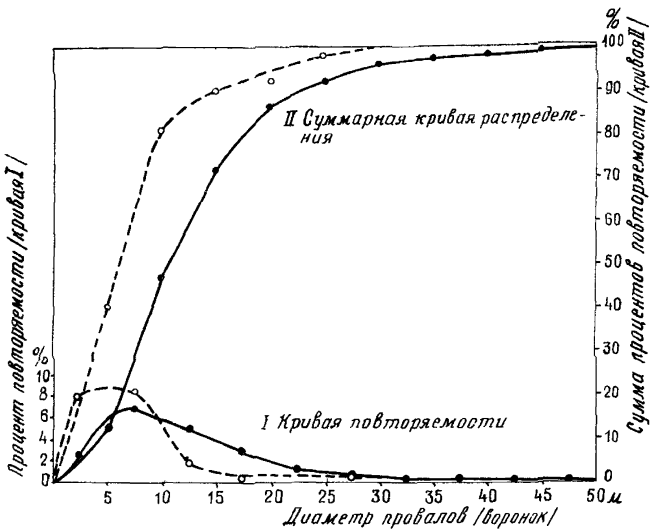

Рис. I. График распределения карстовых провалов и воронок по величине их диаметров (район г.Дзержинска)

Кривые распределения воронок обозначены сплошными линиями, кривые распределения провалов - пунктиром.

2.I4. Гидрологические и гидрогеологические условия в карстовых районах характеризуются существенными особенностями (крайне неоднородная и нередко весьма высокая водопроницаемость карстующихся пород, особенности распределения поверхностного и подземного стока, уровенного режима и т.д.), которые следует иметь в виду при проектировании различных водоемов, систем водоснабжения и канализации, дренажей, водоотлива из котлованов и решении других задач, в том числе при разработке мероприятий по борьбе с карстом.

2.I5. Условия строительства в карстовых районах зависят от региональных, зональных и местных особенностей природной обстановки. Они различны для разных типов карста, выделяемых по литологическому признаку (пп.2.I6-2.20) и по особенностям залегания карстующихся пород (пп.2.2I-2.25), для разных тектонических регионов, климатических и геокриологических зон и т.д.

2.I6. Типы карста, выделяемые по литологическому признаку, особенно сильно различаются по условиям строительства. Основные из них (наиболее часто встречающиеся в практике строительства) следующие:

а) карбонатный (с подтипами: известняковый, доломитовый и в обломочных породах с карбонатным цементом);

б) меловой (являющийся подтипом карбонатного, но ввиду специфических особенностей рассматриваемый отдельно);

в) гипсовый (часто встречающийся в сочетании с карбонатным);

г) соляной (преимущественно встречающийся в сочетании с гипсовым, а иногда и с карбонатным).

2.I7. Карбонатный карст распространен наиболее широко, но развивается значительно медленнее гипсового и соляного.

Растворимость пород мала (в дистиллированной воде при 25°С - 0,0I5 г/л $CaCO_3$, в природных подземных водах - не превышает нескольких сотен мг/л $CaCO_3$), характерно большое влияние на растворимость свободной CO_2. В естественных условиях растворение пород происходит медленно, и возможность образования и роста карстовых полостей за период эксплуатации зданий и сооружений практически может не учитываться.

Пористость пород различна - от единиц и даже десятых долей процента до 30-35%. Степень трещиноватости и водопроницаемость изменяются в широких пределах. На участках сильной трещиноватости и закарстованности коэффициент фильтрации может достигать I00-200 м/сутки и даже более.

Наряду с развитием карста по трещинам нередко характерно (особенно для доломитов) образование мелких многочисленных каверн, увеличение пористости и, в конечном счете, разрушение породы до состояния щебня и рыхлой мучнистой массы (доломитовая и известковая мука). Несущая способность таких пород понижена, кроме того возможен суффозионный вынос доломитовой и известковой муки.

Провалы происходят нечасто. Их среднегодовое количество в естественных условиях, как правило, не превышает 0,I случая на I км^2. Однако возможность провалов необходимо учитывать.

Строительство в районах карбонатного карста при правильном выборе площадей для застройки и соблюдении необходимых требований и мероприятий возможно без существенных осложнений.

2.I8. Меловой карст является разновидностью карбонатного, но отличается особенностями, связанными со свойствами мела и меловидных пород. Распространен достаточно широко в Европейской части СССР. В основном развивается медленно.

Растворимость мела, как и других карбонатных пород, мала (п.2.I7). Пористость высокая - достигает 50% и более. Характерна легкая размываемость, значительное понижение несущей способности при увлажнении и возможность перехода обводненного мела в разжиженное состояние при динамическом воздействии.

Трещиноватость и водопроницаемость мела различны и неравномерны. На участках сильной трещиноватости и закарстованности коэффициент фильтрации достигает десятков метров в сутки и даже более.

Провалы обычно редки и невелики по размерам. Поэтому больших затруднений для промышленного и гражданского строительства меловой карст обычно не создает (за исключением отдельных районов, в которых возможны частые провалы значительных размеров), если правильно учитываются его особенности. Однако известны значительные затруднения при строительстве прудов и водоемов, связанные с большими фильтрационными потерями воды, усугубляющимися суффозионным выносом материала и образованием карстово-суффозионных провалов на дне водоемов.

2.I9. Гипсовый карст часто встречается в сочетании с карбонатным. Распространен достаточно широко. Развивается намного быстрее, чем карбонатный.

Растворимость пород значительна (в дистиллированной воде при 25^0C - 2,I г/л $CaSO_4$ или 2,6 г/л $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, а в природных подземных водах может достигать примерно 7 г/л $CaSO_4$). Растворение пород и рост карстовых полостей за период эксплуатации зданий и сооружений даже в естественных условиях может быть заметным.

Гипсы и ангидриты вследствие их высокой пластичности в основном слабо трещиноваты (трещины редкие и большей частью закры-

тые), имеют малую пористость (от I до 6%) и практически водонепроницаемы. Карст развивается крайне неравномерно - по контактам с водопроницаемыми породами, в особенности с карбонатными, и по редкой неравномерной системе трещин, в то время как основная масса породы долго остается монолитной, водонепроницаемой и практически незакарстованной. Коэффициент фильтрации на сильно закарстованных участках может достигать 100-200 м/сутки и даже более.

В районах гипсового карста провалы - обычное явление. Нередки сильно закарстованные участки, на которых среднегодовое количество провалов составляет от 0,I до I,0 случая на I км^2. Встречаются также участки со среднегодовым количеством провалов больше I,0 случая на I км^2.

Ввиду опасности провалов строительство в районах гипсового карста может быть связано с значительными затратами на изыскания и защитные мероприятия. К выбору площадей для застройки нужно подходить очень осторожно. В частности, следует учитывать, что отсутствие полостей и монолитность гипсов и ангидритов в какой-либо скважине или группе скважин еще не говорит об отсутствии полостей в непосредственной близости. В результате тщательных изысканий могут быть выделены площади пригодные, ограниченно пригодные и непригодные для строительства.

2.20. Соляной карст преимущественно встречается в сочетании с гипсовым, а иногда и с карбонатным. При строительстве с ним приходится сталкиваться лишь в районах соляных месторождений. Ввиду очень высокой растворимости каменной соли (318 г/л при 25^{0}С) соляной карст в благоприятных гидрогеологических условиях развивается чрезвычайно быстро. Однако каменная соль отличается высо-

кой пластичностью, трещины в ней редки и большей частью закрытые, пористость мала. Поэтому в естественных условиях развитие карста ограничено и в основном приурочено к кровле и краевым частям соляных залежей. Основная же часть залежи при этом остается практически неводоносной и незакарстованной. Некоторую роль в развитии карста играет также существенная разница в удельных весах рассолов разной концентрации. Разработка соляных месторождений оказывает очень большое влияние на развитие карста и нередко вызывает резкую его активизацию.

Активный соляной карст очень опасен: растворение пород идет чрезвычайно быстро, часто образуются провалы (среднегодовое количество их нередко больше 0,I - I,0 случая на I км^2), иногда очень крупные, и происходят постепенные оседания значительных площадей земной поверхности (мульды оседания), вызывающие массовые деформации и разрушения зданий и сооружений. Строительство рекомендуется выносить за пределы опасных участков, при этом следует учитывать перспективы разработки соляных месторождений и возможность связанной с этим активизации карста.

2.2Г. По особенностям залегания карстующихся пород выделяются следующие типы карста[x)].

А. По отношению к земной поверхности.

I) Открытый карст:

- карстующиеся породы лежат непосредственно на поверхности.

2) Покрытый карст:

- карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых,

---

x) Принята классификация Д.С.Соколова, с изменением: термин "скрытый карст" заменен термином "покрытый карст".

водонепроницаемых пород;

- карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых, водопроницаемых пород.

Б. По отношению к уровню подземных вод.

I) Карстующиеся породы залегают в зоне аэрации.

2) Карстующиеся породы залегают в зоне постоянного водонасыщения.

3) Карстующиеся породы залегают в зонах аэрации и постоянного водонасыщения.

2.22. Районы открытого карста имеют следующие особенности. Обнаженность карстующихся пород способствует проникновению в них поверхностных вод, развитию процессов выветривания, формирования экзогенной трещиноватости и карста. Провалы и оседания земной поверхности обусловлены обрушением и оседанием пород над карстовыми полостями и закарстованными зонами. Карстово-суффозионные же провалы и оседания наблюдаются лишь в понижениях рельефа, заполненных рыхлым материалом. Однако процессы суффозии внутри карстового массива могут иметь существенное значение. Характерны коррозионные деформации земной поверхности, но при строительстве они больших затруднений не вызывают.

Благодаря тому, что карстующиеся породы лежат непосредственно на поверхности, облегчается производство и повышается эффективность инженерно-геологических изысканий (в том числе геофизических). В результате изысканий без особых затруднений могут быть выделены площади, сложенные слабозакарстованными породами, гарантированные от карстовых провалов. Несущая способность карстующихся пород в основном высокая, но неравномерна и местами может ока-

заться недостаточной. Возможны затруднения в осуществлении мероприятий по недопущению проникновения промышленных и поверхностных вод в грунт.

2.23. Районы покрытого карста, в которых карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых водонепроницаемых пород, имеют следующие особенности (см.также п.2.25). Толща водонепроницаемых пород в той или иной степени препятствует развитию карста и связанных с ним явлений. Провалы могут иметь различное происхождение (вследствие обрушения кровли карстовых полостей, карстово-суффозионное и смешанное), происхождение постепенных оседаний также может быть разным. Производство инженерно-геологических изысканий затрудняется в связи с залеганием на глубине главного объекта изучения - карстующихся пород. Тем не менее, в результате комплексных изысканий и анализа геологических и гидрогеологических условий могут быть выделены площади, на которых опасность образования провалов практически отсутствует. В основном это площади водоразделов, покрытые мощной толщей нерастворимых слабоводопроницаемых пород, удаленные от базисов дренирования подземных вод. Водонепроницаемость покрывающей толщи облегчает мероприятия по отводу поверхностных и промышленных вод с целью предотвращения их проникновения в карстующиеся породы.

2.24. Районы покрытого карста, в которых карстующиеся породы перекрываются слоями нерастворимых водопроницаемых пород, имеют следующие особенности (см.также п.2.25). Толща водопроницаемых пород не является препятствием для развития карста и связанных с ним явлений. В то же время она затрудняет производство инженерно-геологических изысканий. Происхождение провалов (а также оседаний) может быть различным (п.2.23). Получить в результате изыска-

ний полную гарантию какого-либо участка от карстовых провалов крайне трудно (если покрывающая толща имеет значительную мощность и сложена не скальными породами).

2.25. В районах покрытого карста, кроме водопроницаемости, нужно учитывать мощность покрывающих пород и их прочность. В прочных породах преобладают провалы, обусловленные обрушением кровли карстовых полостей, а в рыхлых - карстово-суффозионные, с которыми бороться труднее. Наличие на небольшой глубине прочных скальных (нерастворимых или растворимых) пород достаточной мощности дает возможность более точно оценить устойчивость площадей при изысканиях, а также использовать эти породы в качестве основания зданий и сооружений (например, с применением буровых свай-стоек). С увеличением мощности покрывающих отложений, особенно если они рыхлые, понижается эффективность инженерно-геологических изысканий и точность оценки устойчивости территорий.

2.26. Необходимо учитывать, что изменение природной обстановки в результате хозяйственной деятельности человека может привести к опасной активизации карста и связанных с ним процессов, или наоборот замедлить их развитие. Это относится не только к районам соляного и гипсового, но также карбонатного и мелового карста.

Изменение гидродинамических условий, чаще всего связанное с гидротехническими сооружениями и разработкой месторождений полезных ископаемых, может привести к резкой активизации явлений суффозии. При этом даже в районах карбонатного карста в отдельные периоды ежегодное количество карстово-суффозионных провалов иногда достигает нескольких случаев на I км^2. Кроме того, в районах гипсового и, особенно, соляного карста может ускориться до опасных размеров процесс растворения горных пород.

Изменение агрессивности подземных вод, особенно при сбросе промышленных вод в грунт, также может привести к опасной активизации даже карбонатного карста.

Значительные динамические нагрузки на грунт могут способствовать процессу образования провалов, а в меловом карсте не исключено ослабление несущей способности и даже разжижение обводненного мела.

В некоторых случаях требуется учет других подобных факторов и явлений (например, учет изменений водопроницаемости и несущей способности пород в результате хозяйственной деятельности человека).

3. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ СХЕМ РАЙОННОЙ ПЛАНИРОВКИ, ГЕНЕРАЛЬНЫХ ПЛАНОВ ГОРОДОВ И ПРОЕКТОВ ДЕТАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ

3.01. Составление схем районной планировки, генеральных планов городов и проектов детальной планировки городов и населенных пунктов в карстовых районах должно производиться на основе требований СНиП П-К.2-62 с учетом настоящих рекомендаций.

3.02. При составлении схемы планировочных ограничений в схеме районной планировки должна быть произведена инженерно-геологическая оценка территории в соответствии с "Рекомендациями по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР" (М., 1967 г.).

3.03. При решении вопроса об использовании закарстованных территорий рекомендуется:

1) использовать участки, где среднегодовое количество провалов на 1 км^2 не превышает 0,01, как пригодные для строительства;

2) включать участки, где среднегодовое количество провалов на 1 км^2 составляет от 0,01 до 0,1, в границы ограниченно пригодной для строительства территории с обязательным осуществлением мероприятий по отводу поверхностных и промышленных вод за пределы застраиваемой территории;

3) исключить из застройки участки, где среднегодовое количество провалов на 1 км^2 превышает 0,1.

3.04. При составлении генеральных планов городов выполняются комплексные инженерно-геологические изыскания с составлением инженерно-геологической карты, отражающей районирование территории

по условиям и степени развития карста, и с количественной оценкой устойчивости территорий (пп.2.06-2.10). Изыскания проводятся в соответствии с "Рекомендациями по инженерно-геологическим изысканиям и оценке территорий для промышленного и гражданского строительства в карстовых районах СССР" (М., 1967 г.).

3.05. По результатам проведенного районирования составляется схема планировочных ограничений с указанием на ней территорий:

1) пригодных для застройки, в границы которых попадают участки со среднегодовым количеством провалов на 1 км^2 менее 0,01;

2) ограниченно пригодных для застройки, в границы которых попадают участки со среднегодовым количеством провалов на 1 км^2 от 0,01 до 0,1;

3) исключаемых из застройки, в границы которых попадают участки со среднегодовым количеством провалов на 1 км^2 более 0,1.

3.06. Зонирование городской территории в карстовых районах необходимо производить в строгом соответствии с инженерно-геологической оценкой условий строительства.

Степень пригодности участка в пределах зоны определенного целевого назначения рекомендуется определять отдельно для селитебной, промышленной и транспортной зон в зависимости от закарстованности территории.

3.07. В селитебной зоне рекомендуется характеризовать степень пригодности закарстованной территории следующим способом:

Категории пригодности территории	Пригодные территории	Ограниченно пригодные территории	Непригодные территории
Среднегодовое количество провалов на 1 км^2	Менее 0,01	От 0,01 до 0,1	Более 0,1

3.08. Территории, непригодные для строительства, рекомендуется использовать для зеленых насаждений.

3.09. Следует стремиться к повышению плотности жилого фонда путем увеличения плотности застройки и этажности зданий на участках со среднегодовым количеством провалов менее 0,01 на I км^2 в случае дефицита пригодных к застройке территорий.

3.10. При производстве инженерной подготовки территории для предотвращения развития активного карста необходима организация отвода ливневых, сточных, дренажных и ирригационных вод за пределы водосборных площадей поверхностных вод.

3.11. При эксплуатации подземных сетей необходимо полностью устранить возможные утечки из водопроводной, канализационной, теплофикационной и других сетей.

3.12. В промышленной и транспортной зонах рекомендуется производить следующую оценку пригодности территории:

Категории пригодности территории	Пригодные территории	Ограниченно пригодные территории	Непригодные территории
Среднегодовое количество провалов на I км^2	Провалы исключаются	Менее 0,05	Более 0,05

3.13. При инженерной подготовке территории особое внимание следует уделять недопустимости утечек промышленных агрессивных вод в карстующиеся породы.

3.14. В пояснительной записке к проекту детальной планировки в разделе, характеризующем природные и инженерно-строительные условия района, должна быть дана подробная инженерно-геологиче-

ская характеристика карста с указанием степени его активности, возможности дальнейшего развития и оценкой устойчивости территории. К пояснительной записке прилагается инженерно-геологическая карта районирования территории по условиям и степени развития карста с количественной оценкой устойчивости выделенных районов, площадей и участков.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖИЛЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

4.01. Для определения пригодности под застройку территорий в районах распространения карста в зависимости от среднегодового количества провалов на I км^2 территории рекомендуется пользоваться таблицей I.

4.02. На территориях со среднегодовым количеством провалов до 0,01 на I км^2 проектирование и строительство жилых и гражданских зданий рекомендуется производить как в обычных условиях строительства без учета в конструкциях и планировке зданий какого-либо влияния карста и без ограничения этажности (кроме территорий распространения соляного карста, см. п.4.06).

Плотность застройки этих территорий следует определять согласно СНиП П-К.2-62.

4.03. Территории со среднегодовым количеством провалов от 0,01 до 0,05 на I км^2 рекомендуется застраивать зданиями преимущественно до 5 этажей с ограничением плотности застройки до 20% от жилой территории.

4.04. На территориях со среднегодовым количеством провалов от 0,05 до 0,1 на I км^2 при соответствующем специальном экономическом обосновании необходимости застройки указанных территорий может быть допущено в исключительных случаях строительство жилых и гражданских зданий высотой до 5 этажей с ограничением плотности застройки до 10% от жилой территории.

По возможности следует избегать застраивать указанные территории, предусматривая их использование под сады, парки, скверы и т.п.

Таблица I

Рекомендуемый характер жилищно-гражданского строительства на закарстованных территориях в зависимости от среднегодового количества провалов на I км^2

Категория устойчивости территории	Среднегодовое количество провалов на I км^2	Условная характеристика устойчивости территории	Рекомендуемый характер застройки территории
У	Менее 0,01	Относительно устойчивая	Высота зданий не ограничивается, плотность застройки принимается согласно СНиП П-К.2-62
IУ	От 0,01 до 0,05	С несколько пониженной устойчивостью	Рекомендуется строительство зданий высотой преимущественно до 5 этажей с ограничением плотности застройки до 20% от жилой территории
Ш	От 0,05 до 0,10	Недостаточно устойчивая	Допускается в исключительных случаях строительство зданий высотой до 5 этажей с ограничением плотности застройки до 10% от жилой территории при специальном обосновании необходимости и целесообразности строительства
П	0,1 и более	Неустойчивая	Любой вид капитального строительства не допускается

4.05. На всех застраиваемых карстоопасных территориях в целях предотвращения процесса активизации и стимулирования затухания карста рекомендуется предусматривать организованный отвод ливневых и сточных вод при производстве инженерной подготовки территории.

4.06. На территориях распространения соляного карста при проектировании и строительстве зданий следует иметь в виду, что здесь кроме образования провалов, как правило, наблюдается значительное дифференцированное оседание земной поверхности с формированием мульд оседания под влиянием карстовых процессов, а также в результате процесса разработки соли.

Это явление по своему характеру аналогично деформациям земной поверхности над горными выработками и может повлечь за собой деформации зданий, расположенных на оседающих участках, такие же по характеру, как и на подрабатываемых территориях.

Расчет, проектирование и строительство зданий на территориях распространения соляного карста рекомендуется производить с соблюдением всех требований и рекомендаций "Указаний по проектированию зданий и сооружений на подрабатываемых территориях" (СН 289-64) и "Указаний по проектированию конструкций бескаркасных крупнопанельных жилых зданий на подрабатываемых территориях" (СН 358-66) с использованием исходных данных, полученных в результате инженерно-геологических изысканий (прогнозируемых параметров деформации земной поверхности).

4.07. При проектировании застройки любого типа закарстованной территории не рекомендуется размещать здания непосредственно на месте старых карстовых форм (воронок, впадин и т.п.) и вблизи от их скоплений.

4.08. На территориях с неглубоким залеганием карстующихся пород (до 10 м) в случае обоснованной (экономическими, градостроительными или другими причинами) необходимости и при возможности применения достаточно достоверных методов инженерно-геологических исследований карста с последующим принятием мер, гарантирующих достаточную степень безопасности зданий (заделка полостей тампонированием, обрушение свода полостей, размещение зданий вне оконтуренных в результате разведки опасных участков, прохождение закарстованной толщи сваями - стойками и т.п.) допускается строительство жилых и гражданских зданий без учета ограничений, указанных в таблице I.

4.09. При выборе конструктивных и архитектурно-планировочных решений зданий следует стремиться к равномерному и симметричному расположению стен в плане здания.

Рекомендуется: размещать продольные и поперечные стены симметрично относительно центральных продольных и поперечных осей здания, не допускать изломов стен в плане, внутренние стены делать сквозными на всю ширину или длину здания, простенки и проемы по возможности принимать одинаковой ширины и длины, распределяя их равномерно по длине и высоте здания.

Подвалы или технические подполья рекомендуется располагать под всем зданием.

4.10. На территориях со среднегодовым количеством провалов на I км^2 менее 0,I (кроме территорий соляного карста) в зависимости от материально-производственной базы, условий строительства и архитектурно-планировочных требований рекомендуется применение типовых проектов жилых и гражданских зданий существующих, а также

новых серий, предназначенных для строительства в обычных условиях.

Примечания: I) На территориях соляного карста рекомендуется применение типовых проектов зданий, предназначенных для строительства на подрабатываемых территориях с одинаковыми параметрами деформаций земной поверхности.

2) В случае, если карстовые районы совпадают с сейсмическими районами, районами горных выработок, многолетней мерзлоты, а также при наличии просадочных грунтов должны быть применены типовые проекты зданий, предназначенные для строительства в соответствующих условиях.

4.II. На территориях со среднегодовым количеством провалов на I км^2 более 0,I любой вид капитального жилищно-гражданского строительства не допускается.

4.I2. Проектирование уникальных общественных зданий и сооружений, рассчитанных на значительный срок службы, рекомендуется осуществлять согласно таблице 2, приравнивая их к особо ответственным промышленным зданиям и сооружениям.

5. ВЫБОР КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ И РЕШЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

5.01. Пригодность территорий для промышленного строительства в районах распространения карста в зависимости от ожидаемого среднегодового количества провалов на I км^2 рекомендуется определять по таблице 2.

5.02. Принадлежность промышленного здания или сооружения, строящегося в карстовом районе, к той или иной категории ответственности устанавливается соответствующим министерством или ведомством в зависимости от значимости проектируемого здания или сооружения и размера наносимого ущерба при его разрушении в результате возникновения карстовых провалов.

5.03. Промышленные здания и сооружения со взрывоопасными производствами, связанными с применением или получением ядов и других вредных веществ, а также здания энергетического и других назначений, повреждение которых может нанести большой экономический ущерб предприятию или промышленному району, относятся к числу особо ответственных и требуют повышенной степени защиты.

5.04. Выбор мероприятий по защите зданий и сооружений от карстовых провалов производится в зависимости от условий развития и характера проявления карста и от назначения и конструктивных особенностей проектируемого объекта.

Некоторые из возможных сочетаний различных противокарстовых мероприятий и условия их применения приведены в таблице 3.

5.05. Рекомендуемые в настоящем разделе противокарстовые инженерные решения преследуют цель обеспечения полной сохранности

Таблица 2

Рекомендуемый характер промышленной застройки закарстованных территорий в зависимости от среднегодового количества провалов на I км^2

Категория устойчивости территории	Среднегодовое количество провалов на I км^2	Условная характеристика устойчивости территории	Рекомендуемый характер промышленной застройки
У	Менее 0,01	Относительно устойчивая	Любые типы ответственных и неответственных промышленных зданий и сооружений без применения противокарстовых мероприятий. Особо ответственные здания и сооружения с применением противокарстовых мероприятий
IУ	От 0,01 до 0,05	С несколько пониженной устойчивостью	Любые типы неответственных зданий и сооружений с ограниченным применением противокарстовых мероприятий. Любые типы ответственных промышленных зданий и сооружений с применением противокарстовых мероприятий. Особо ответственные здания и сооружения с применением противокарстовых мероприятий при наличии специального обоснования строительства
Ш	От 0,05 до 0,10	Недостаточно устойчивая	Любые типы неответственных зданий и сооружений с применением противокарстовых мероприятий. Любые типы ответственных промышленных зданий и сооружений с применением противокарстовых мероприятий при наличии специального обоснования строительства. Строительство особо ответственных зданий и сооружений не рекомендуется
П	От 0,10 до 1,0	Неустойчивая	Неответственные здания и сооружения с применением противокарстовых мероприятий. Строительство ответственных и особо ответственных зданий и сооружений не рекомендуется
-	1,0 и более	Очень неустойчивая	Любой вид промышленного строительства не рекомендуется

Примечание. Планировка участка строительства, устройство ливневой и промышленной канализации, технологические и эксплуатационные противокарстовые мероприятия обязательны во всех случаях строительства.

Таблица 3

Возможные сочетания различных противокарстовых мероприятий и условия их применения

№ пп	Противокарстовые инженерные мероприятия	Противокарстовые инженерные мероприятия												Условия применимости противокарстовых мероприятий
		I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	
I	Планировка участка строительства и устройство ливневой и промышленной канализации		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Обязательны для любых типов промзданий и сооружений
2	Тампонирование (цементация) карстовых полостей и трещин	+		-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Применимо для любых типов промзданий и сооружений
3	Закрепление несвязных грунтов, перекрывающих трещиноватые породы в районах с карстово-суффозионными провалами	+	-		-	+	+	+	-	-	+	+	+	Ограниченно применимо при относительно неглубоком залегании трещиноватых пород при любых типах промзданий и сооружений
4	Новые виды опор глубокого заложения	+	+	-		-	-	-	-	-	+	+	+	При глубоком (ориентировочно более 20 м) залегании прочных не затронутых карстом пород и больших нагрузках от зданий и сооружений (ориентировочно свыше 400 т на одну колонну)
5	Свайные фундаменты из свай-стоек	+	+	+	-		-	-	-	-	+	+	+	При неглубоком (ориентировочно до 20 м) залегании прочных не затронутых карстом пород и обычных нагрузках от зданий (ориентировочно менее 400 т на одну колонну)
6	Свайные фундаменты из висячих свай	+	+	+	-	-		-	-	+	+	+	+	Как дополнительное мероприятие при отсутствии в основании прочных пород и небольших нагрузках от зданий (ориентировочно не более 200 т на одну колонну)
7	Ленточные фундаменты и сплошные плиты	+	+	+	-	-	-		-	+	+	+	+	При любой глубине залегания карстующихся пород и небольших нагрузках от зданий (ориентировочно менее 200 т на одну колонну)
8	Фундаменты с подпругами	+	+	-	-	-	-	-		+	+	-	+	Ограниченно применимы при любой глубине залегания карстующихся пород и небольших нагрузках от зданий (ориентировочно менее 200 т на одну колонну)
9	Усиление конструкций зданий	+	+	-	-	-	+	+	+		+	-	+	При малых нагрузках от зданий (до 100-150 м на одну колонну). При больших нагрузках - как дополнительное мероприятие
I0	Улучшение условий работы строительных конструкций зданий	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	При любых типах промышленных зданий
II	Применение новых типов промышленных зданий	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+		+	Применимы во всех случаях
I2	Технологические и эксплуатационные мероприятия	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		Обязательны для всех типов промышленных зданий

Условные обозначения: " + " - одновременное применение различных мероприятий возможно;
" - " - одновременное применение различных мероприятий нерационально.

основных несущих строительных конструкций зданий и технологического оборудования при образовании карстовых провалов.

В карстовых районах с интенсивным оседанием земной поверхности (соляной карст) проектирование зданий и сооружений производится с соблюдением правил и норм для строительства на подрабатываемых территориях с использованием исходных данных о параметрах оседания поверхности, полученных в результате инженерно-геологических изысканий.

5.06. Противокарстовые инженерные мероприятия в каждом конкретном случае должны иметь технико-экономические обоснования, разрабатываемые не только из условий снижения стоимости строительства, но также из условий рентабельности предприятия или группы технологически взаимосвязанных предприятий.

5.07. К инженерной подготовке территорий промышленного строительства в карстовых районах должны предъявляться повышенные требования. Планировочные работы и устройство ливневой канализации рекомендуется выполнять не только на участке застройки, но и на смежных территориях, являющихся площадью водосбора атмосферных вод. Утечки агрессивных промышленных стоков в грунт не допускаются.

5.08. Рекомендуется тампонировать водоупорными материалами все водопоглощающие воронки и трещины, выходящие на дневную поверхность, которые могут оказывать влияние на развитие карстовых процессов на участке строительства.

5.09. Опасность возникновения провалов и оседаний оснований зданий и сооружений может быть уменьшена (или ликвидирована) путем тампонирования (цементации) полостей и трещин в карстовом массиве. Рекомендуется применять комбинированный способ тампони-

рования, представляющий собой развитие применяемого в настоящее время обычного способа. Отличие его состоит в том, что в целях экономии цемента тампонирование производится двумя видами материалов: цементным раствором и материалами с нулевой кубиковой прочностью (песком, глинопесчаной смесью и другими бесцементными материалами), закачиваемыми в карстующийся массив через скважины.

Цементный раствор нагнетается через скважины, расположенные по периметру закрепляемого участка, при этом образуется цементационная завеса-обойма, оконтуривающая участок. Карстовые пустоты, находящиеся в пределах пространства, ограниченного цементационной завесой-обоймой, заполняются песком или иными бесцементными материалами (рис.2).

На закрепляемом участке, кроме цементационной завесы по периметру, могут устраиваться дополнительные цементационные завесы-перемычки, делящие участок на ряд отсеков, каждый из которых заполняется инертными материалами.

Цементационные завесы могут создаваться при помощи буровых опор глубокого заложения, пересекающихся в плане.

5.10. В некоторых случаях для закрепления несвязных грунтов, перекрывающих трещиноватые породы, при строительстве в районах с карстово-суффозионными провалами может быть применен способ ослабления или прекращения суффозии песчаных грунтов путем создания искусственного водо,порного пласта в зоне контакта покровной толщи несвязных грунтов и трещиноватого массива (рис.3). Водоупорный пласт может быть создан каким-либо из известных и применяемых в настоящее время способов закрепления грунтов: цементацией, силикатизацией, карбамидными смолами и т.п.

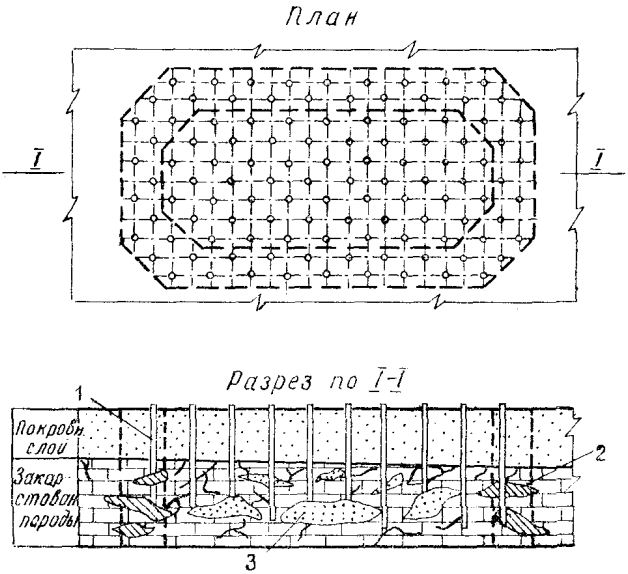

Рис. 2. Схема закрепления карстового участка комбинированным тампонированием

I - буровые скважины; 2 - цементный раствор; 3 - глинопесчаная смесь или песок.

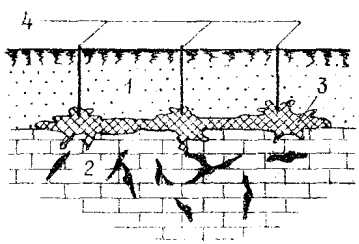

Рис. 3. Схема закрепления несвязных грунтов, покрывающих закарстованные породы

I - песчаные грунты; 2 - закарстованные породы; 2 - закрепленный грунт; 4 - скважины.

5.11. Конструктивные мероприятия применяются с целью обеспечения прочности, устойчивости и эксплуатационной пригодности зданий и сооружений в случае появления карстовых провалов.

Конструкция здания или сооружения, как правило, должна оставаться геометрически неизменяемой даже при появлении карстового провала под любой из основных несущих опор.

Податливые конструктивные схемы промышленных зданий могут иметь ограниченное применение при проектировании в карстовых районах, в которых не предвидится образование карстовых провалов большой глубины.

5.12. К конструктивным мероприятиям относятся:

а) применение специальных типов фундаментов, в том числе:

свайные фундаменты,

новые виды опор глубокого заложения,

ленточные фундаменты и сплошные плиты,

фундаменты с подпругами;

б) усиление конструкций зданий, в том числе:

устройство дополнительных связей в каркасе здания,

применение поэтажных железобетонных поясов,

анкеровка элементов покрытий, перекрытий и ограждающих конструкций;

в) улучшение условий работы конструкций зданий за счет:

применения нового вида опорных частей строительных конструкций,

повышения устойчивости на опрокидывание несущих элементов покрытия,

уменьшения веса строительных конструкций здания и т.д.

г) применение новых типов промышленных зданий.

5.13. В тех случаях, когда прочные, не тронутые карстом породы залегают на относительно небольшой глубине (ориентировочно до 20 м), могут быть применены буровые сваи-стойки (рис.4).

Применение свай-стоек наиболее эффективно преимущественно в районах с ярко выраженными карстово-суффозионными провалами, когда толщу несвязных грунтов, подверженных суффозии, на небольшой глубине подстилают прочные некарстующиеся породы или когда в закарстованном массиве, прорезаемом сваями, не может происходить обрушений больших масс скальных пород, способных разрушить сваи.

5.14. При залегании прочных скальных пород на большой глубине и при отсутствии в промздании больших сосредоточенных нагрузок (ориентировочно не более 100-150 т на одну колонну) могут применяться висячие сваи. При образовании карстового провала отдельные сваи или свайные кусты, попавшие в зону провала, будут исключаться из системы, что потребует устройства ростверка, достаточно жесткого для восприятия дополнительных нагрузок и способного работать с увеличенным пролетом.

5.15. В тех случаях, когда прочные скальные породы залегают на большой глубине (20-60 м и более), и в здании имеются большие сосредоточенные нагрузки (ориентировочно свыше 400 т на одну колонну), может быть рекомендовано применение буровых опор глубокого заложения. Глубокие опоры позволяют пройти всю покровную толщу грунтов и карстующийся массив, передав нагрузки от здания на прочные, не тронутые карстом породы (рис.4). Будучи изготовлены из бетона высоких марок, глубокие опоры с большой площадью поперечного сечения (диаметром до 3 м) имеют высокую несущую способность и могут успешно выдержать дополнительные нагрузки (помимо

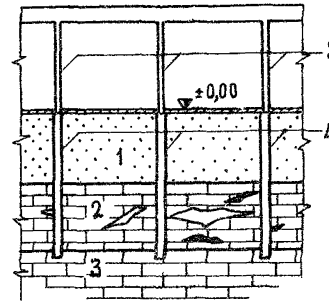

Рис. 4. Схема фундаментов из буровых опор глубокого заложения или из свай-стоек

I - грунты покровной толщи; 2 - закарстованные породы; 3 - прочные незакарстованные породы; 4 - буровые опоры глубокого заложения или сваи-стойки; 5 - колонны каркаса здания.

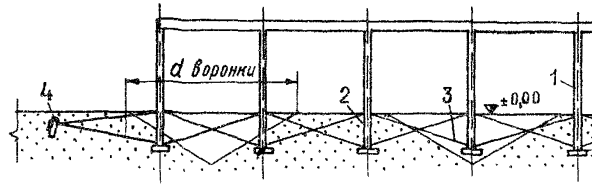

Рис. 5. Схема фундамента с подпругами

I - колонны каркаса; 2 - фундаментные стойки; 3 - ванты; 4 - якорь.

агрузок от здания и собственного веса) от обрушающейся кровли арстовых полостей.

5.16. В районах с карстовыми провалами любого типа при максимальном расчетном диаметре провалов до 20 м и сосредоточенных нагрузках от зданий ориентировочно до 400 т на одну колонну рекомендуются к применению ленточные фундаменты и сплошные плиты.

Метод расчета ленточных фундаментов приводится в приложении № 2.

5.17. При сосредоточенных нагрузках от зданий ориентировочно до 200 т на одну колонну и при отсутствии агрессивных воздействий в основании, в отдельных случаях могут быть применены фундаменты с подпругами-вантами. В этом случае отдельные фундаменты под колоннами связываются между собой системой перекрестных металлических вант, как показано на рис.5. Таким образом, каждый фундамент имеет металлическую подпругу, включающуюся в работу после возникновения карстового провала непосредственно под фундаментом. Каждая подпруга рассчитывается как гибкая нить, нагруженная посредине сосредоточенной силой, равной нагрузке от колонны и весу фундамента.

5.18. Для промышленных зданий с небольшими сосредоточенными нагрузками на колонны (до 100-150 т) может быть рекомендована постановка дополнительных связей между колоннами каркаса, превращающих каркас промздания в конструкцию, состоящую из плоских ферм, как показано на рис.6. При образовании карстового провала под одним фундаментом или группой фундаментов последние перестают воспринимать нагрузки от колонн, и в работу включаются связи.

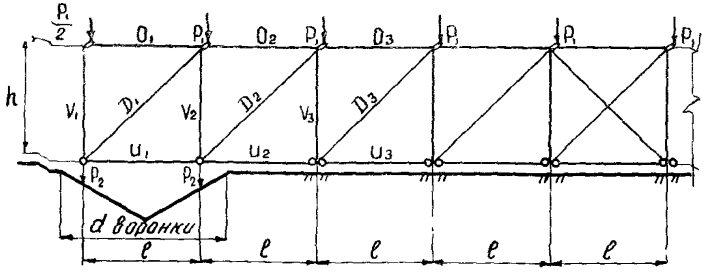

Рис. 6. Схема применения дополнительных связей в каркасе промздания

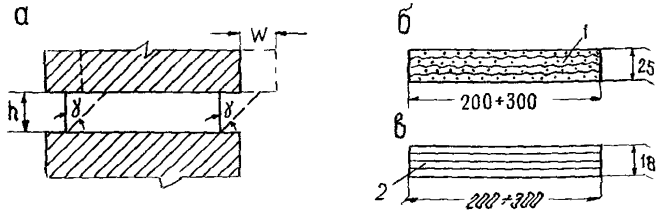

Рис. 7. Резиновая подвижная опора

а - схема деформирования; б - схема армирования проволочными сетками; в - схема армирования металлическими листами; W - абсолютный сдвиг; h - толщина резиновой плиты; γ - относительный сдвиг. $W_{max} = 0{,}9h$. I - проволочные сетки; 2 - металлические листы.

5.I9. С целью улучшения условий работы строительных конструкций зданий рекомендуется применять новые виды опорных частей, изготавливаемых из новых синтетических материалов, а также из естественного каучука. На рис.7 и 8 показаны такие опорные части, примененные для шарнирно-неподвижных (шаровых) опор. Новые виды опорных частей имеют ряд преимуществ по сравнению с известными металлическими: дешевизна, простота в монтаже, малая строительная высота, возможность линейных перемещений в различных направлениях в плоскости опоры и небольших угловых перемещений без появления значительных реактивных усилий, смягчение динамического влияния подвижных нагрузок на конструкции и т.п.

5.20. Повышение надежности конструкций покрытий промышленных зданий может быть достигнуто путем увеличения устойчивости на опрокидывание основных несущих элементов покрытия (стропильных и подстропильных балок или ферм), для чего может быть рекомендован способ опирания указанных элементов в уровне верхнего пояса, как показано на рис.9.

5.2I. С целью улучшения условий работы строительных конструкций и снижения стоимости строительства в карстовых районах рекомендуется применять мероприятия по уменьшению веса зданий, что может быть осуществлено:

а) Путем решения вопроса о степени капитальности тех или иных зданий, входящих в состав промышленного комплекса, размещаемого на закарстованном участке (замена по возможности капитальных зданий облегченными или переход на открытый способ установки технологического оборудования).

б) Путем уменьшения веса строительных конструкций здания за счет:

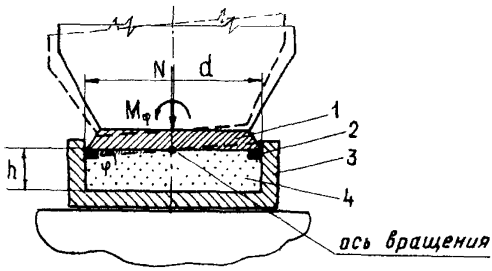

Рис. 8. Схема шаровой опоры

I - пуансон; 2 - уплотнительное кольцо;
3 - стенка цилиндра; 4 - резина.

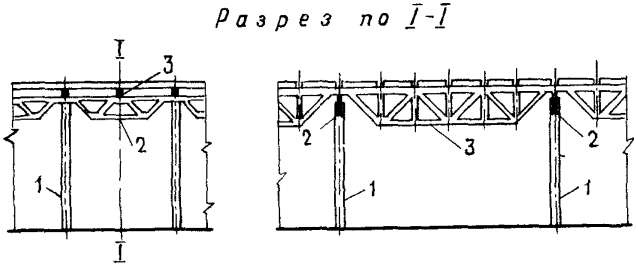

Рис. 9. Схема покрытия здания

I - колонны каркаса; 2 - подстропильные фермы;
3 - стропильные фермы.

- снятия крановых нагрузок с каркаса здания путем замены мостовых кранов козловыми, башенными, портальными, стреловыми на гусеничном ходу и другими видами напольных грузоподъемных средств;

- замены железобетонных конструкций стальными для высоких промзданий с большими пролетами и значительными сосредоточенными нагрузками;

- увеличения пролетов промзданий;

- замены тяжелых бетонов легкими;

- применения пластмасс для ограждающих элементов (многослойные панели покрытия и др.).

5.22. Для строительства в карстовых районах рекомендуется применение новых прогрессивных типов промышленных зданий - павильонного и зального, наиболее полно отвечающих требованиям, предъявляемым к зданиям, возводимым на закарстованных участках. Преимущества этих типов зданий заключаются в снижении нагрузок на основание вследствие уменьшения веса строительных конструкций при больших пролетах зданий, повышении надежности конструкций за счет резкого сокращения количества конструктивных элементов и стыков между ними, большей экономичности, возможности применения прогрессивных конструкций покрытий, например, висячих. Применение промышленных зданий павильонного и зального типа позволяет упростить и снизить стоимость противокарстовых мероприятий вследствие уменьшения числа опор.

5.23. В проектах промышленных зданий и сооружений должны предусматриваться технологические и эксплуатационные противокарстовые мероприятия (повышение надежности продуктопроводов, уст-

ройство систем аварийной сигнализации, предъявление повышенных требований к организации путей эвакуации персонала, геодезические наблюдения за осадками зданий и сооружений и т.д.), назначаемые в зависимости от характера карстопроявлений, назначения и типа промышленного объекта.

Приложение № I

Обоснование к таблице I "Рекомендуемый характер жилищно-гражданского строительства на закарстованных территориях в зависимости от среднегодового количества провалов на I км^2"

Рекомендации по застройке, данные в табл.I, составлены, исходя из следующих предпосылок:

I. Воздействию карстового провала подвергаются не все здания на застраиваемой территории, как это имеет место, например, в случае сейсмических воздействий, а лишь какое-то одно из многих зданий, непосредственно под которым образуется провал.

2. Защита здания от воздействия карстового провала диаметром свыше 5 метров весьма сложна, дорогостояща и не может быть решена разумными и рациональными мерами, пригодными для массового строительства. Поэтому вопрос о конструктивных мерах по защите зданий от воздействия провалов таких размеров снимается, и образование под зданием такого провала рассматривается как явление катастрофического порядка.

3. Для снижения вероятной частоты случаев образования под зданиями провалов диаметром свыше 5 метров (катастрофических случаев) может быть уменьшена плотность застройки. Путем вариации показателя плотности застройки может быть получена допустимая вероятная частота катастрофических случаев.

4. За максимально допустимую вероятную частоту случаев образования под зданиями провалов диаметром свыше 5 метров принят срок, превышающий двойной срок службы зданий (в данных рекомендациях - I00 лет для пятиэтажных зданий).

Подсчитаем вероятную частоту случаев поражения провалами зданий, расположенных на площади I км^2 за один год, применительно

к категориям устойчивости территорий и ограничениям плотности застройки, приведенным в табл.I (имея в виду, что жилая территория составляет ≈ 75% от всей осваиваемой территории).

При выполнении расчетов разделим провалы по характеру их возможного воздействия на здания на две группы:

I. Провалы диаметром $\leqslant 5$ м, которые только в исключительных случаях, при определенном расположении их под зданием, могут вызвать серьезные разрушения его конструкций. В значительном же количестве случаев возможно такое расположение провалов $d \leqslant 5$ м, при котором существенных деформаций конструкций здания не произойдет (*расположение провала между лентами фундаментов, захват фундаментов краем провала и т.п.*). Для защиты жилых зданий от воздействия провалов таких размеров могут быть разработаны в достаточной степени рациональные конструктивные мероприятия, обеспечивающие сохранность прочности и устойчивости зданий. Однако ввиду редкости случаев поражения зданий провалами $d \leqslant 5$ м с аварийными последствиями и неопределенности поражаемого объекта (из чего следует необходимость защиты всех зданий на данной территории), применение специальных мероприятий по защите зданий от воздействия провалов таких размеров нецелесообразно.

2. Провалы диаметром свыше 5 м, образование которых под зданием может вызвать в большинстве случаев катастрофические разрушения его конструкций и здания в целом.

Предусмотреть в достаточной степени рациональные и разумные в условиях массового строительства конструктивные мероприятия, обеспечивающие сохранность и устойчивость жилых зданий в случае образования под ними провалов таких размеров, не представляется возможным.

Образование под зданием провала диаметром свыше 5 метров следует рассматривать как явление катастрофического порядка, как явление, аналогичное авиационной, железнодорожной или т.п. катастрофам.

Введем следующие обозначения:

a – ширина здания;

b – длина здания;

d – диаметр карстового провала;

e – плотность застройки (брутто) в долях от всей осваиваемой территории;

k – коэффициент, учитывающий влияние размеров провалов на вероятную частоту случаев поражения зданий;

A – вероятная частота случаев поражения провалами зданий, расположенных на территории в I км^2 за I год;

A' – вероятная частота случаев поражения провалами территории в I км^2 за I год (среднегодовое количество провалов на I км^2 территории);

$F_{пораж.}$ – площадь зоны, образование провалов с расположением центров в любой точке которой приводит к поражению здания (см. рис.IO);

$F_{зд.}$ – площадь здания.

$$A = k \cdot e \cdot A'$$

В вышеприведенной формуле, как видно из рис.IO,

$$k = \frac{F_{пораж.}}{F_{зд.}} = \frac{(a+d)(b+d) - \left(d^2 - \frac{\pi d^2}{4}\right)}{ab} = \frac{ab + d(a+b+0{,}79d)}{ab}$$

$$k = 1 + \frac{d}{b} + \frac{d}{a} + \frac{0{,}79d^2}{ab}$$

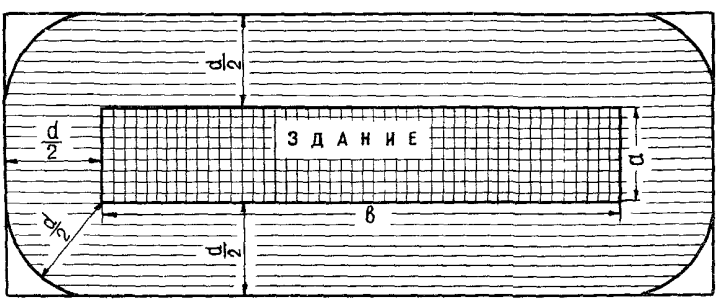

Рис. 10. Схема параметров "зоны поражения" здания карстовыми провалами

Расчет по указанным формулам проводится с некоторым запасом, так как в число случаев поражения входят случаи: I) когда провал задевает здание лишь краем и не может привести к существенным повреждениям; 2) когда провал располагается между фундаментами несущих конструкций, не захватывая их.

Примем для дальнейших рассуждений, что на территории строятся жилые дома наиболее часто встречающихся размеров в плане: a = I2 м; b = 80 м.

В этом случае получим, что коэффициенты k будут равны:

при d = 5 м $\quad k_5$ = I,47;

при d = I0 м $\quad k_{10}$ = 2,03.

При расчетах условно можно принять, что из всего числа случаев провалов 50% приходится на провалы $d \leqslant$ 5 м и, соответственно, 50% на провалы большего размера. Действительно, из кривых распределения провалов по величине их диаметров можно видеть, что для большинства территорий количество провалов диаметром более 5 м, представляющих наибольшую опасность, не превышает 50% от общего числа провалов.

Для всех провалов с $d \leqslant$ 5 м примем условный расчетный диаметр d = 5 м. Это будет худший случай, так как при образовании провалов меньших диаметров вероятность поражения ими зданий будет меньше ввиду уменьшения площади "зоны поражения" $F_{\text{пораж.}}$ и; соответственно, уменьшения коэффициента k .

Для провалов с диаметром больше 5 м примем условный расчетный диаметр d = I0 м (тоже с некоторым запасом).

Переходим непосредственно к расчетам, принимая значения A^1 для каждой категории территорий максимальными.

I. Территории со среднегодовым количеством провалов на I км^2 менее 0,0I.

Плотность застройки по СНиП для 5 этажных зданий $\approx 20\%$ от жилой территории, для зданий большей этажности плотность застройки менее 20%.

$e = 0,20 \cdot 0,75 = 0,I5$; $A' = 0,0I$.

Поражение зданий провалами $d \leqslant 5$ м ($k_5 = I,47$; $A'_5 = 0,0I \cdot 0,5$)

$A_5 = I,47 \cdot 0,I5 \cdot 0,0I \cdot 0,5 = II,0 \cdot I0^{-4}$ случаев в год или I случай за 9I0 лет.

Поражение зданий провалами $d > 5$ м ($k_{I0} = 2,03$; $A'_{I0} = 0,0I \cdot 0,5$)

$A_{I0} = 2,03 \cdot 0,I5 \cdot 0,0I \cdot 0,5 = I5,25 \cdot I0^{-4}$ случаев в год или I случай за 660 лет.

2. Территории со среднегодовым количеством провалов на I км^2 от 0,0I до 0,05

Плотность застройки, согласно табл.I, $\approx 20\%$ от жилой территории.

$e = 0,20 \cdot 0,75 = 0,I5$; $A' = 0,05$.

Поражение зданий провалами $d \leqslant 5$ м

$A_5 = I,47 \cdot 0,I5 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = 55,0 \cdot I0^{-4}$ случаев в год или I случай за I82 года.

Поражение зданий провалами $d > 5$ м

$A_{I0} = 2,03 \cdot 0,I5 \cdot 0,05 \cdot 0,5 = 76,0 \cdot I0^{-4}$ случаев в год или I случай за I32 года.

3. Территории со среднегодовым количеством провалов на I км^2 от 0,05 до 0,I

Плотность застройки, согласно табл.I, $\approx$ I0%

e = 0,I0·0,75 = 0,075

Поражение зданий провалами $d \leqslant 5$ м

A_5 = I,47·0,075·0,I·0,5 = I38,0·I0^{-4} случаев в год или I случай за 73 года.

Поражение зданий провалами $d > 5$ м

A_{I0} = 2,03·0,075·0,I·0,5 = I90,0·I0^{-4} случаев в год или I случай за 53 года.

Как видно из расчетов, для территорий со среднегодовым количеством провалов на I км^2 до 0,05 случаев вероятная периодичность возможных поражений зданий карстовыми провалами диаметром больше 5 м (представляющих наибольшую опасность) превышает принятый двойной срок их службы.

Для территорий со среднегодовым количеством провалов на I км^2 от 0,05 до 0,I случая эта величина приближается к сроку службы зданий. Решение о строительстве на таких территориях при соблюдении указанных ограничений плотности застройки может быть принято в исключительных случаях только при специальном обосновании.

Следует подчеркнуть, что все расчеты выполнены с некоторым запасом и что не все случаи поражения зданий окажут существенное влияние на их конструкции, так как в расчете не учтено, что существует возможность расположения провалов малых диаметров (до 5 м) между фундаментными полосами, а также ввиду того, что

значительная доля случаев поражения придется на провалы, которые только частично захватят фундаменты или только коснутся их, не вызвав нарушения устойчивости конструкций. (В расчете за случай "поражения" принималось любое расположение провала в "зоне поражения", изображенной на рис.10).

Приложение № 2

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

Ленточные фундаменты могут быть рекомендованы к применению для строительства в карстовых районах и обладают следующими особенностями:

I. Являясь монолитной неразрезной конструкцией, ленточный фундамент может успешно работать на изгиб без появления больших прогибов в случае возникновения провальной воронки на каком-либо участке по оси фундамента.

Колонны каркаса, опирающиеся на неразрезной ленточный фундамент, получат незначительные линейные и угловые перемещения и будут нормально функционировать даже после образования карстовых провалов. По предварительным данным, ленточные фундаменты могут применяться при нагрузках на одну колонну до 200 тонн, при диаметре провала 20 м. При меньших диаметрах провалов нагрузки от колонны могут быть увеличены.

2. Конструкция фундамента проста и не требует при возведении сложного специального оборудования. Это обстоятельство может оказаться решающим при выборе типа противокарстовой конструкции.

3. Ленточный фундамент позволяет сравнительно простыми средствами проводить постоянные наблюдения за характером работы системы и за состоянием материала конструкции в условиях воздействия возможной агрессивной среды с целью получения достоверных данных, необходимых для оценки надежности конструкции в пределах срока эксплуатации здания.

4. Конструкция фундамента поддается расчету в условиях образования одной или нескольких провальных воронок по его оси и

может быть сравнительно просто и экономично запроектирована.

5. Устройство ленточных фундаментов позволяет применить типовые строительные конструкции каркаса здания без каких-либо дополнительных противокарстовых мероприятий.

6. В случае осуществления мер по максимальному уменьшению веса строительных конструкций промзданий (путем замены тяжелых бетонов легкими, выполнения большепролетных и высоких конструкций в металле, замены обычно применяемых мостовых кранов козловыми, башенными, гусеничными, или иными средствами напольного транспорта и т.д.) ленточные фундаменты могут успешно конкурировать с другими конструкциями.

Проектирование ленточных фундаментов может производиться в следующем порядке:

I. Выполняется расчет фундамента как балки на сплошном упругом основании, работающей в обычных условиях, т.е. без появления карстовых провалов; при этом находятся в первом приближении жесткость балки, ширина подошвы фундамента, интенсивность реактивного давления грунта, прогибы, расчетные усилия.

2. Задавшись расчетным диаметром провальной воронки под фундаментом, вычисляют приближенно величины расчетных усилий в балке, дополнительные осадки (прогибы) балки и другие параметры по нижеприведенным формулам:

I) длина участка отпора грунта (рис.II):

$$a = \sqrt[3]{\frac{72EJ(ql+N_k)}{k_0 bl(2ql+3N_k)}} \qquad (I)$$

где EJ - жесткость фундамента;

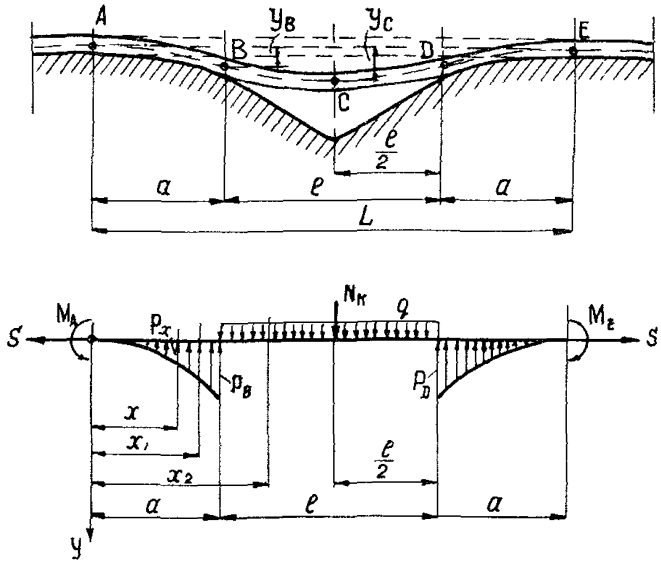

Рис. II. Схема работы и расчетная схема ленточного фундамента

q - интенсивность равномерно распределенной нагрузки;

N_k - сосредоточенная сила, передаваемая на фундамент колонной;

ℓ - размер провальной воронки по длине фундамента;

k_0 - коэффициент постели;

b - ширина подошвы фундамента.

2) Длина изогнутого участка ленточного фундамента:

$$L = \ell + 2a \qquad (2)$$

3) Изгибающий момент в концевом сечении изогнутого участка ленточного фундамента (в точках А или Е, см.рис.II):

$$M_A = M_{0(A)} + \Psi_{A(q)} \frac{q\ell^2}{12} + \Psi_{A(N)} N_k \ell \quad , \qquad (3)$$

где $M_{0(A)}$ - изгибающий момент в рассматриваемом сечении балки на сплошном упругом основании;

$$\Psi_{A(q)} = \frac{10 + 15\varepsilon + 6\varepsilon^2}{10(1+2\varepsilon)} \qquad (4)$$

$$\Psi_{A(N)} = \frac{5 + 5\varepsilon + 2\varepsilon^2}{40(1+2\varepsilon)} \quad ; \qquad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{a}{\ell} \quad . \qquad (6)$$

4) Изгибающий момент в любом сечении участка АВ на расстоянии x_1 от начала координат, где $0 < x_1 \leqslant a$:

$$M_{x_1} = M_{0(x_1)} + (q\ell + N_k) \frac{x_1^4}{8a^3} - M_A \quad , \qquad (7)$$

где $M_{0(x_1)}$ – изгибающий момент в рассматриваемом сечении балки на сплошном упругом основании.

5) Изгибающий момент в любом сечении участка ВС на расстоянии x_2 от начала координат, где $a < x_2 \leq a + \frac{\ell}{2}$:

$$M_{x_2} = M_{0(x_2)} + \left(\frac{q\ell}{2} + \frac{N_k}{2}\right)\left(x_2 - \frac{3}{4}a\right) - \frac{q(x_2 - a)^2}{2} - M_A \quad . \qquad (8)$$

6) Изгибающий момент в сечении посредине пролета фундамента (в точке С):

$$M_c = M_{0(c)} + \Psi_{c(q)}\frac{q\ell^2}{12} + \Psi_{c(N)}N_k\ell \quad , \qquad (9)$$

где $$\Psi_{c(q)} = \frac{3}{2}(1+\varepsilon) - \Psi_{A(q)} = \frac{5+30\varepsilon+24\varepsilon^2}{10(1+2\varepsilon)} \quad ; \qquad (10)$$

$$\Psi_{c(N)} = \frac{1}{8}(2+\varepsilon) - \Psi_{A(N)} = \frac{5+20\varepsilon+8\varepsilon^2}{40(1+2\varepsilon)} \quad . \qquad (11)$$

7) Прогиб фундамента в любом сечении участка АВ на расстоянии x_1 от начала координат, где $0 < x_1 \leq a$:

$$y_1 = y_{0(1)} + \frac{1}{EJ}\left[M_A\frac{x_1^2}{2} - (q\ell + N_k)\frac{x_1^6}{240a^3}\right] \quad , \qquad (12)$$

где $y_{0(1)}$ – прогиб балки в сечении $0 < x \leq a$ на сплошном упругом основании.

8) Прогиб фундамента в точке В, т.е. на расстоянии $x_1 = a$ от начала координат:

$$y_B = y_{0(B)} + \frac{q\ell^2a^2}{24EJ}\left(\Psi_{A(q)} - \frac{\varepsilon}{10}\right) + \frac{N_k\ell a^2}{2EJ}\left(\Psi_{A(N)} - \frac{\varepsilon}{120}\right) \quad . \qquad (13)$$

9) Прогиб фундамента в любом сечении участка ВС на расстоянии x_2 от начала координат, где $a < x_2 \leq \left(a + \frac{\ell}{2}\right)$:

$$y_2 = y_{o(2)} + \frac{1}{EJ}\left\{M_A \frac{x_2^2}{2} + q\frac{(x_2-a)^4}{24} - \frac{q\ell + N_k}{768}\left[64\left(x_2 - \frac{3}{4}a\right)^3 - \right.\right.$$

$$\left.\left. - 12\, x_2 a^2 + 11 a^3\right] - \frac{q\ell + 3N_k}{48}\, \ell a\,(x_2 - a)\right\}. \qquad (14)$$

10) Прогиб фундамента посредине пролета (в точке С):

$$y_c = y_{o(c)} + \beta_q \frac{q\ell^4}{384EJ} + \beta_N \frac{N_k \ell^3}{192EJ}\ , \qquad (15)$$

где $\beta_q = 1 + 6\varepsilon + 16\varepsilon^2$; (16)

$$\beta_N = 1 + 3\varepsilon + 12\varepsilon^2\ . \qquad (17)$$

Если найденные расчетные параметры не удовлетворяют нормативным требованиям, то расчет повторяется с введением уточненных данных (жесткости балки и ширины фундамента). Обычно уже во втором приближении получается удовлетворительный результат.

Пример расчета неразрезного ленточного фундамента одноэтажного бескранового промышленного здания

а) Исходные данные

Здание трехпролетное с сеткой колонн 24 х 12 м, размеры в плане 72 х 72 м.

Каркас железобетонный; покрытие - железобетонные ребристые плиты по железобетонным фермам, опирающимся на подстропильные фермы.

Фундаменты - неразрезные монолитные железобетонные коробчатого сечения, располагаются по рядам колонн. Длина каждого фундамента принята с превышением длины здания на 24 м, по I2 м в обе стороны (рис.I2), что делается с целью уменьшения расчетной длины консольной части фундамента при образовании провала под торцом здания, когда наблюдается консолирование здания.

Фундамент рассчитывается как балка на упругом основании с применением гипотезы коэффициента постели (модель Винклера).

Расчетный максимальный диаметр провальной воронки ℓ = 20 м.

Коэффициент постели грунта основания k_0 = 2 кг/см^3.

Характеристики материалов фундамента:

Бетон марки "300".

$R_p^н$ = 2I кг/см^2 $\qquad$ R_p = 9,5 кг/см^2

$R_u^н$ = 260 кг/см^2 $\qquad$ R_u = I60 кг/см^2

$E_б$ = 3I5000 кг/см^2

Арматура - Ст. 5 периодического профиля.

R_a = 2700 кг/см^2 $\qquad$ E_a = 2,I · I0^6 кг/см^2

Общий коэффициент условий работы m = I,0.

Коэффициент условий работы арматуры m_a = I,0.

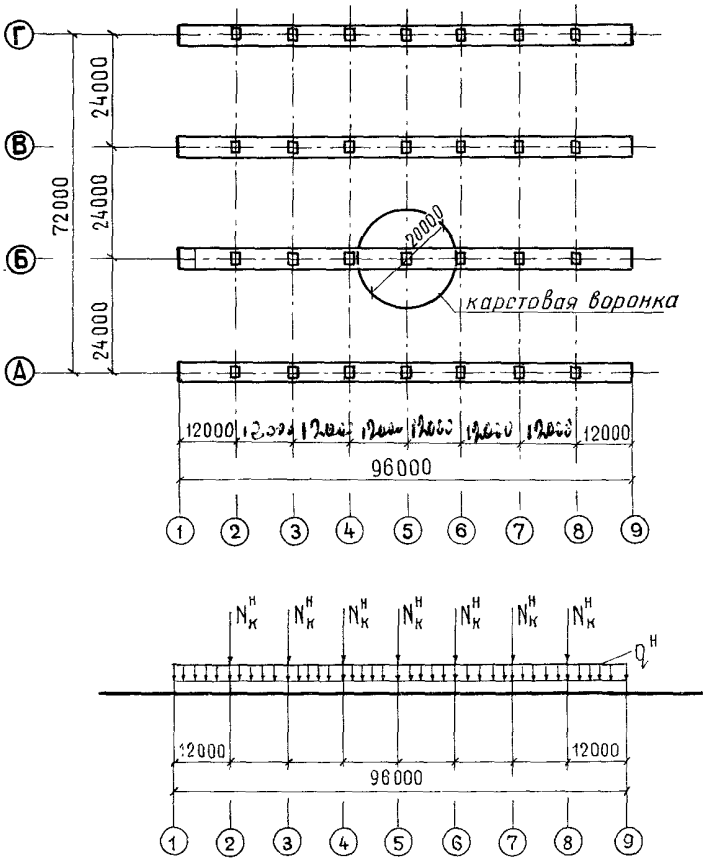

Рис. I2. План фундаментов и расчетная схема балки на сплошном у ругом основании

Нагрузки, действующие на фундамент:

Наименование	Нагрузка	
	Нормативная	Расчетная
I. Сосредоточенная нагрузка от колонны		
Постоянная	$Q_k^н$ = I20 т	Q_k = I36 т
Временная	$P_k^н$ = 29 т	P_k = 43 т
Полная	$N_k^н$ = I49 т	N_k = I79 т
II. Равномерно распределенная нагрузка		
Постоянная	$q^н$ = 6 т/м	q = 6,6 т/м
Временная	$p^н$ = 2 т/м	p = 2,8 т/м
Полная	$q^н$ = 8 т/м	q = 9,4 т/м

б) Расчет поперечного сечения фундамента по несущей способности

Предварительно определяется ширина подошвы и глубина заложения фундамента, исходя из величины действующих на фундамент нагрузок и характеристик грунта основания с учетом возникновения провала и связанного с этим значительного увеличения давления на грунт под подошвой фундамента в окрестностях провальной воронки.

Принятые ориентировочные размеры поперечного сечения фундамента показаны на рис.I3.

Задавшись значением $\xi = \frac{a}{\ell} = 0$ (при $a = 0$), по формулам (4) и (5) находим значения функций $\Psi_{A(q)}$ и $\Psi_{A(N)}$

$\Psi_{A(q)} = I,0;$ $\Psi_{A(N)} = 0,I25.$

1348

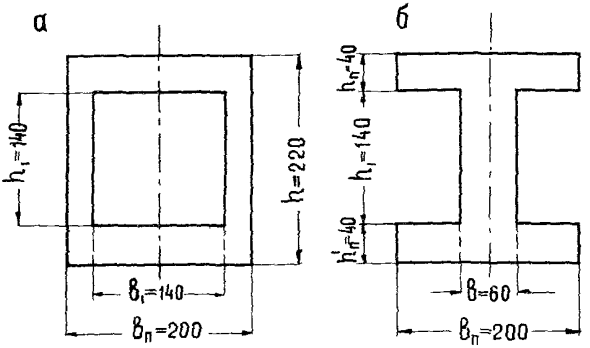

Рис. I3. Поперечные сечения балочного фундамента
а - действительное; б - эквивалентное.

Далее по формуле (3) вычисляется частное значение дополнительного изгибающего момента в концевом сечении изогнутого участка фундамента по оси 4 плана фундаментов, возникающего после образования провала. При этом значение $M_{0(A)}$ принимается равным нулю. Величина $M_{0(A)}$ будет найдена позднее, когда будет известна жесткость балки.

$$M_{A_1} = \Psi_{A(q)} \frac{q^{H} \ell^2}{12} + \Psi_{A(N)} N_k^H \ell =$$

$$= 1 \cdot \frac{8 \cdot 20^2}{12} + 0{,}125 \cdot 149 \cdot 20 = 640 \text{ тм}$$

Коробчатое сечение фундамента рассчитывается как тавровое. Устанавливается случай расчета тавровых сечений по формуле:

$$M_{A_1} \leqslant m b_п' h_п' R_u \left(h_0 - \frac{h_п'}{2}\right)$$

$$6{,}4 \cdot 10^7 < 1 \cdot 200 \cdot 40 \cdot 160 \left(210 - \frac{40}{2}\right) = 24{,}3 \cdot 10^7 \text{ кг·см}$$

Отношение $\frac{h_п'}{h_0} = \frac{40}{210} = 0{,}19 \leqslant 0{,}20$

Таким образом, определился первый расчетный случай.

Площадь сечения арматуры:

$$F_a = \frac{M}{m \cdot m_a R_a \left(h_0 - \frac{h_п'}{2}\right)} =$$

$$= \frac{6{,}4 \cdot 10^7}{1 \cdot 1 \cdot 2700 \cdot \left(210 - \frac{40}{2}\right)} = 125 \text{ см}^2.$$

Процент армирования:

$$\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot 100 = \frac{125}{60 \cdot 210} \cdot 100 = 0{,}99\%.$$

Жесткость балки из условия деформации от всей кратковременно действующей нагрузки: $E J_{(1)} = 8{,}18 \cdot 10^{12}$ кгсм^2.

Используя найденное значение жесткости фундамента, определяем по методу Крылова величину изгибающего момента $M_{0(A)}$ в сечении фундамента по оси 4 плана (см.рис.I2):

$$M_{0(A)_1} = 143{,}2 \text{ тм.}$$

Тогда суммарный изгибающий момент

$$M_{A_2} = 143{,}2 + 640 = 783{,}2 \text{ тм.}$$

Пересчитываем величину жесткости фундамента, исходя из нового значения изгибающего момента, а следовательно, и площади арматуры:

$$E\mathcal{J}_{(2)} = 10{,}01 \cdot 10^{12} \text{ кг}\cdot\text{см}^2.$$

Тогда:

$$M_{0(A)_2} = 175 \text{ тм.}$$

Суммарный изгибающий момент:

$$M_{A_3} = 175 + 640 = 815{,}0 \text{ тм.}$$

Длина участка отпора грунта:

$$a = \sqrt[3]{\frac{72E\mathcal{J}(q^H\ell + N_k^H)}{k_0 b\ell(2q^H\ell + 3N_k^H)}} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{72 \cdot 10{,}01 \cdot 10^{12}(80 \cdot 2000 + 149000)}{2 \cdot 200 \cdot 2000(2 \cdot 80 \cdot 2000 + 3 \cdot 149000)}} = 712 \text{ см.}$$

Значения функций $\Psi_{A(q)}; \Psi_{A(N)}; \Psi_{c(q)}; \Psi_{c(N)}$

при $\xi = \frac{a}{\ell} = \frac{712}{2000} = 0{,}356$:

$$\Psi_{A(q)} = \frac{10 + 15 \cdot 0{,}356 + 6 \cdot 0{,}356^2}{10\,(1 + 2 \cdot 0{,}356)} = 0{,}941;$$

$$\Psi_{A(N)} = \frac{5 + 5 \cdot 0{,}356 + 2 \cdot 0{,}356^2}{40\,(1 + 2 \cdot 0{,}356)} = 0{,}103;$$

$$\Psi_{c(q)} = \frac{5 + 30 \cdot 0,356 + 24 \cdot 0,356^2}{10\ (1 + 2 \cdot 0,356)} = 1,09;$$

$$\Psi_{c(N)} = \frac{5 + 20 \cdot 0,356 + 8 \cdot 0,356^2}{40\ (1 + 2 \cdot 0,356)} = 0,191.$$

Изгибающие моменты:

$$M_{A(4)} = M_{0(A)_2} + \Psi_{A(q)} \frac{q^H \ell^2}{12} + \Psi_{A(N)} N_k^H \ell =$$

$$= 175 + 0,941 \frac{8 \cdot 20^2}{12} + 0,103 \cdot 149 \cdot 20 = 733 \text{ тм};$$

$$M_c = M_{0(c)} + \Psi_{c(q)} \frac{q^H \ell^2}{12} + \Psi_{c(N)} N_k^H \ell$$

$$M_{c(1)} = 177 + 1,09 \frac{8 \cdot 20^2}{12} + 0,191 \cdot 149 \cdot 20 = 1037 < 2430 \text{ тм}.$$

Ранее найденное значение жесткости балки корректируется с учетом значения изгибающего момента $M_{c(1)}$, значение которого превысило величину $M_{A(4)}$:

$$E\mathcal{J}_{(3)} = 13,1 \cdot 10^{12} \text{ кг} \cdot \text{см}^2.$$

Значения длины участка отпора и функций $\Psi_{A(q)}, \Psi_{A(N)}, \Psi_{c(q)}, \Psi_{c(N)}$ корректируются с учетом уточненного значения жесткости $E\mathcal{J}_{(3)}$.

$$a = \sqrt[3]{\frac{72 \cdot 13,1 \cdot 10^{12} (80 \cdot 2000 + 149000)}{2 \cdot 200 \cdot 2000 (2 \cdot 80 \cdot 2000 + 3 \cdot 149000)}} = 780 \text{ см};$$

$$\varepsilon = \frac{a}{\ell} = \frac{780}{2000} = 0,39;$$

$$\Psi_{A(q)} = \frac{10 + 15 \cdot 0,39 + 6 \cdot 0,39^2}{10(1 + 2 \cdot 0,39)} = 0,942;$$

$$\Psi_{A(N)} = \frac{5 + 5 \cdot 0,39 + 2 \cdot 0,39^2}{40\ (1 + 2 \cdot 0,39)} = 0,102;$$

$$\Psi^{\rho}_{C(\varphi)} = \frac{5 + 30 \cdot 0{,}39 + 24 \cdot 0{,}39^2}{10(1 + 2 \cdot 0{,}39)} = 1{,}094;$$

$$\Psi^{\rho}_{C(N)} = \frac{5 + 20 \cdot 0{,}39 + 8 \cdot 0{,}39^2}{40 \cdot (1 + 2 \cdot 0{,}39)} = 0{,}197.$$

Изгибающие моменты:

$M_{0(A)_3} = 227$ тм,

$M_{0(C)_2} = 232$ тм,

$$M_{A(5)} = 227 + 0{,}942 \frac{8 \cdot 20^2}{12} + 0{,}102 \cdot 149 \cdot 20 = 785 \text{ тм},$$

$$M_{C(2)} = 232 + 1{,}094 \frac{8 \cdot 20^2}{12} + 0{,}197 \cdot 149 \cdot 20 = 1092 \text{ тм}.$$

Проверка показала незначительное изменение жесткости фундамента (при пересчете с $M_{C(1)}$ на $M_{C(2)}$), поэтому пересчет длины участка отпора грунта и функций $\Psi^{\rho}_{A(\varphi)}, \Psi^{\rho}_{A(N)}, \Psi^{\rho}_{C(\varphi)}, \Psi^{\rho}_{C(N)}$ не требуется.

в) Определение прогибов фундамента

Прогиб в точке "В" - у края провальной воронки (на расстоянии 2 м от оси 4 справа, см.рис.12):

$$y_B = \frac{q^H \ell^2 a^2}{24 E J}\left(\Psi^{\rho}_{A(\varphi)} - \frac{\varepsilon}{10}\right) + \frac{N^H_k \ell a^2}{2 E J}\left(\Psi^{\rho}_{A(N)} - \frac{\varepsilon}{120}\right) =$$

$$= \frac{80 \cdot 2000 \cdot 780^2}{24 \cdot 13{,}1 \cdot 10^{12}}\left(0{,}942 - \frac{0{,}39}{10}\right) + \frac{149000 \cdot 2000 \cdot 780^2}{2 \cdot 13{,}1 \cdot 10^{12}}\left(0{,}102 - \right.$$

$$\left. - \frac{0{,}39}{120}\right) = 0{,}684 \text{ см}.$$

Прогиб фундамента в точке "С" - посредине провальной воронки (по оси 5 плана фундаментов):

$$y_c = \beta_q \frac{q^н \ell^н}{384 EJ} + \beta_N \frac{N_k^н \ell^3}{192 EJ} \quad ;$$

$$\beta_q = 1 + 6\varepsilon + 16\varepsilon^2 = 1 + 6 \cdot 0{,}39 + 16 \cdot 0{,}39^2 \approx 5{,}76;$$

$$\beta_N = 1 + 3\varepsilon + 12\varepsilon^2 = 1 + 3 \cdot 0{,}39 + 12 \cdot 0{,}39^2 \approx 3{,}984;$$

$$y_c = 5{,}76 \frac{80 \cdot 2000^4}{384 \cdot 13{,}1 \cdot 10^{12}} + 3{,}984 \frac{149000 \cdot 2000^3}{192 \cdot 13{,}1 \cdot 10^{12}} = 3{,}36 \text{ см}.$$

Прогиб фундамента под колонной по оси 4 (на расстоянии $x_1 = 580$ см от точки А справа):

$$y_4 = \frac{1}{EJ}\left[M_A \frac{x_1^2}{2} - (q^н \ell + N_k^н) \frac{x_1^5}{240 a^3}\right] =$$

$$\frac{1}{13{,}1 \cdot 10^{12}}\left[785 \cdot 10^5 \cdot \frac{580^2}{2} - (80 \cdot 2000 + 149000) \frac{580^5}{240 \cdot 780^3}\right] = 0{,}997 \text{ см}.$$

$y_4 \approx 1$ см.

Неравномерная осадка смежных колонн по осям 4 и 5 (шаг колонн 12 м):

$$\Delta y = 3{,}36 - 1{,}0 = 2{,}36 \text{ см}.$$

Следовательно, наклон подстропильной фермы равен 1,97 мм /м $<$ 2,0 мм/м.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3

I. Общие положения 6

2. Инженерно-геологические условия строительства и их оценка I0

3. Особенности составления схем районной планировки, генеральных планов городов и проектов детальной планировки 25

4. Проектирование жилых и гражданских зданий 29

5. Выбор конструктивных схем и решений промышленных зданий и сооружений 34

Приложение I. Обоснование к таблице I "Рекомендуемый характер жилищно-гражданского строительства на закарстованных территориях в зависимости от среднегодового количества провалов на I км^2" .....

Приложение 2. Рекомендации по расчету ленточных фундаментов .....

Л-81394 подп.к печ 27/IX-67 Заказ № 1348 Тираж 1000 экз.
Бумага 60х90/16 д.л.
Отпечатано в Производственных Экспериментальных мастерских
ЦИНИСа Госстроя СССР