

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.4.02

УДК 624.15:624.134

Н.З. Готман

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский
и производственный институт строительного и градостроительного комплекса
Республики Башкортостан, Уфа, Россия

**РАСЧЕТ КАРСТОЗАЩИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Рассматриваются проблемы расчета карстозащитных фундаментов. Анализируются требования и подходы в нормативной литературе, предлагаются новые методы, учитывающие конструктивные особенности зданий и сооружений.

Представлены два метода противокарстовой защиты, используемые при разработке проектов карстозащитных фундаментов: конструктивный – когда запроектированные конструкции подземной части не допускают возникновения усилий в несущих конструкциях здания больше допустимых при образовании карстовых деформаций; геотехнический – когда фундамент проектируется с защитным геотехническим экраном в основании, исключающим или существенно снижающим влияние негативных процессов карстообразования на несущие конструкции здания.

Анализируются расчетные параметры основания, которые следует определять в зависимости от типа карстовых деформаций («провал», «оседание», «локальное оседание») и с учетом конструктивных особенностей здания. Для зданий с подземной частью в качестве расчетного параметра предложено принимать размер карстовой полости, при котором свод полости устойчив.

Рассматриваются особенности моделирования основания в расчетах фундаментов на карстованных территориях с учетом жесткости надфундаментной части здания. Анализируются преимущества контактной модели основания, или модели переменного коэффициента постели, по сравнению с другими моделями основания. Предложено определять коэффициент постели основания (коэффициент жесткости свай) вокруг карстового провала K_1 с понижающими коэффициентами ξ к коэффициентам постели (коэффициентам жесткости свай) за пределами карстового провала K , рассчитываемым по стандартным методикам, т.е. без учета образования карстовых деформаций. Даны аналитические решения для разных видов фундаментов.

Предложен новый метод оценки мощности геотехнического экрана, обеспечивающего эффективную противокарстовую защиту.

Ключевые слова: расчет, карстозащитные фундаменты, контактная модель, геотехнический экран.

N.Z. Gotman

Scientific-Research, Design and Production Institute
of Construction and City Planning Complex of Bashkortostan Republic,
Ufa, Russian Federation

ANALYSIS OF KARST PROTECTIVE FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

The paper presents the problems of karst protective foundations analysis. Design requirements and approaches in standard literature are analyzed, new methods considering the structural characteristics of buildings and structures are suggested.

Two methods of karst protection are considered for karst protective foundations design. The first (structural) when designed structures of the underground part do not allow permissible forces into bearing constructions of the building while karst formation. The second (geotechnical) when the foundation is designed with the protective geotechnical membrane in the base, which excludes or essentially decreases the influence of the negative processes of karst formation on the bearing building parts.

Design parameters of the base are analyzed that should be determined in dependence on the kind of karst deformations ("hole", "subsidence", "local subsidence") and considering the design features of the building. The size of the karst cave that provides cave vault stability is offered as design parameter of the base for buildings with the underground part.

Base modeling features are considered in foundations analysis on the karsted areas taking stiffness of the building part above the foundation into account. The benefits of the base contact model or the model of the variable coefficient of subgrade reaction are analyzed compared to other base models. The coefficient of subgrade reaction (pile stiffness ratio) around the karst hole is suggested to be determined with the decreasing ratios ξ to coefficient of subgrade reaction (pile stiffness ratio) beyond the karst hole calculated according to standards methods. The analytical solutions for the different kinds of foundations are given.

The new method of evaluation of the geotechnical membrane thickness is offered that provides the efficient karst protection.

Keywords: analysis, karst protective foundations, contact model, geotechnical screen.

Методика расчета и проектирования карстозащитных фундаментов для зданий и сооружений на закарстованных территориях зависит от комплекса мероприятий противокарстовой защиты и предполагает два возможных варианта защиты:

– 1-й вариант – путем создания такой конструктивной схемы подземной части здания, которая не позволит допустить усилия в несущих конструкциях больше допустимых, без изменения условий развития карстовых деформаций в основании;

– 2-й вариант – путем устройства защитных геотехнических экранов в основании фундаментов или над карстующимися грунтами, или в толще карстующихся грунтов, исключаящих либо существенно снижающих влияние негативных процессов карстообразования на не-

сущие конструкции здания, с изменением условий развития карстовых деформаций в основании.

Выбор варианта защиты от образования карстовых деформаций определяется уровнем карстовой опасности [1–3]. В нормативной литературе эти два варианта защиты от образования карстовых деформаций отнесены к соответствующим группам мероприятий противокарстовой защиты (конструктивные и геотехнические) и соответственно требования к расчету карстозащитных фундаментов в зависимости от варианта защиты существенно отличаются.

1. Требования к расчету фундаментов как конструктивной мере противокарстовой защиты

Целью конструктивных мероприятий противокарстовой защиты является предотвращение разрушения сооружения при образовании карстовых деформаций в основании фундамента.

Мероприятия конструктивной противокарстовой защиты проектируются на основе расчетов, обеспечивающих несущую способность фундаментов и надфундаментных конструкций, достаточную для восприятия дополнительных нагрузок, возникающих при образовании карстовых деформаций в основании, что, как правило, достигается двумя путями:

- расчетом фундаментов совместно с надфундаментными конструкциями при образовании карстовых деформаций заданных параметров;
- прорезанием карстующихся грунтов и опиранием фундаментов на монолитные скальные грунты.

Примеры из практики проектирования и строительства на закарстованной территории показывают, что при активизации карстовых процессов в основании карстозащитный фундамент, рассчитанный на образование карстовых деформаций, обеспечивает защиту здания от разрушения. Так, при строительстве здания рынка на свайных фундаментах по ул. Кувыкина в г. Уфе на площадке, отнесенной к III категории по устойчивости к образованию карстовых деформаций, запроектирован карстозащитный ленточный свайный фундамент. Однако не были выполнены водозащитные мероприятия, что привело к активизации карстово-суффозионного процесса. В связи с тем что сваи под торцом здания расположены вблизи крутого борта древней карстовой

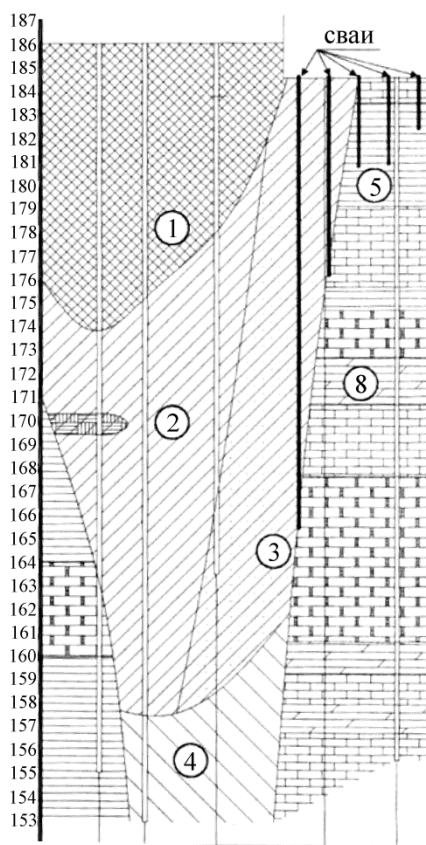


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез карстоопасного основания под фундаментом рынка по ул. Кувыкина в г. Уфе

воронки (рис. 1), по которому шло движение техногенных и атмосферных вод, в области нижних концов свай под торцом здания образовались разуплотненные дезинтегрированные зоны. Это и привело к значительным неравномерным деформациям, но в связи с включением в работу карстозащитного фундамента, рассчитанного на образование карстового провала диаметром 7 м, аварийного разрушения здания не произошло, и в настоящее время выполняются мероприятия по усилению фундаментов и несущих конструкций. Вместе с тем включение в работу карстозащитного фундамента, обеспечивающего эффективную защиту здания, может быть гарантировано только при выполнении расчетов фундаментов на основе расчетных положений и исходных данных, соответствующих природе развития карстовых деформаций. Основными исходными расчетами фундаментов являются расчетные параметры карстовых деформаций.

1.1. Прогноз расчетных параметров карстовых деформаций

Расчетные параметры карстовых деформаций определяются в зависимости от типа карстовых деформаций. Возможны три варианта развития карстовых деформаций: по типу «провал», когда карстовая полость развивается в карстующихся грунтах и «всплывает» под подошву фундамента; по типу «оседание» в результате развития суффозионных процессов в покрывной толще; по типу «локальное

оседание», когда карстовая полость развивается в карстующихся грунтах или в покрывной толще, но не всплывает под подошву фундамента (рис. 2).

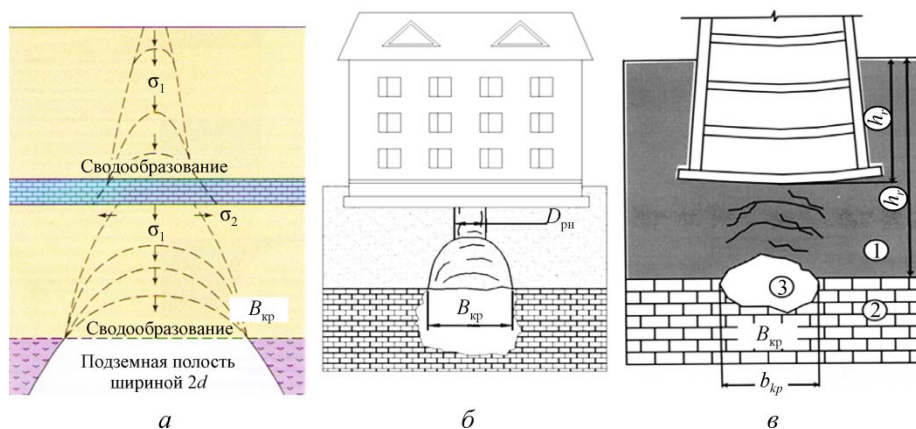


Рис. 2. Схемы карстовых деформаций: *а* – схема сводообразования; *б* – карстовая деформация – провал; *в* – карстовая деформация – локальное оседание

Выбор варианта развития карстовых деформаций определяется грунтовыми условиями и конструктивными особенностями здания. Принимается наиболее опасный вариант развития карстовых деформаций. Для мелкозаглубленных зданий целесообразно выполнять расчеты на образование карстового провала под подошвой фундамента, при этом в качестве расчетного параметра карстовой деформации принимается расчетный диаметр карстового провала, или на образование мульды оседания с заданными параметрами. Для зданий с подземной частью наиболее опасным вариантом может быть карстовая деформация по типу «локальное оседание», так как фундамент приближается к карстующимся грунтам и рост полости в них, даже при условии сохранения устойчивости свода, может вызвать значительные дополнительные усилия в несущих конструкциях подземной части. При этом в качестве расчетного параметра карстовой деформации может быть принят размер карстовой полости, при котором свод полости устойчив. На рис. 3 показан пример определения размера карстовой полости в карстующихся грунтах, при котором свод полости устойчив. Выполняется математическое моделирование роста карстовой полости с использованием конечно-элементной модели грунтового массива путем исключения ослабленных зон (зон локальной потери устойчивости) вокруг

карстовой полости при постоянном контроле условий равновесия свода. Процесс роста полости происходит до образования максимального диаметра полости, при котором выполняется условие равновесия системы в допредельном состоянии грунта покровной толщи [4].

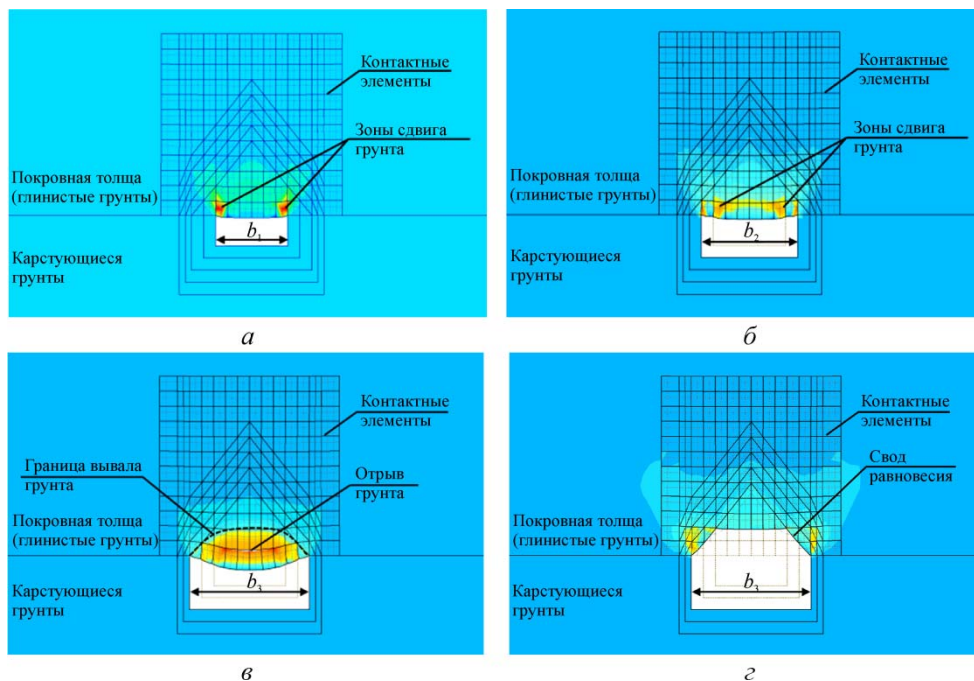


Рис. 3. Изополя сдвиговых деформаций: а, б, в – ширина полости $b = b_1, b_2, b_3$ ($b_1 < b_2 < b_3$); г – образование свода равновесия при $b = b_3$

На рис. 3 показаны изополя сдвиговых деформаций грунта при увеличении ширины полости в карстующихся грунтах от b_1 до b_3 .

1.2. Основные расчетные положения

Расчетные положения, обеспечивающие эксплуатационную надежность карстозащитных фундаментов, включают расчетные требования и расчетные критерии.

Основными расчетными требованиями, устанавливаемыми нормативными документами, являются обеспечение прочности фундаментов (1-е предельное состояние) и недопущение развития предельных неравномерных деформаций основания здания (2-е предельное состояние), а расчетными критериями – несущая способность основания фундаментов, несущая способность сечений ростверка и допускаемые

неравномерные деформации основания. Расчет фундаментов на образование карстовых деформаций включает два основных этапа, а именно: статический расчет при образовании карстовых деформаций и сопоставление результатов расчета усилий в сечениях ростверка, давлений под подошвой фундамента, нагрузок на сваи и деформаций оснований с расчетными критериями. Для проектирования надежных и экономичных фундаментов важно и в статическом расчете, и при определении расчетных критериев учесть влияние образования карстовых деформаций на напряженно-деформированное состояние основания и несущих конструкций.

Статические расчеты фундаментов в условиях значительных неравномерных деформаций, являющихся следствием образования карстовых деформаций, рекомендуется выполнять с учетом жесткости надфундаментной части здания. Оснащенность проектных институтов современными программными комплексами позволяет выполнять расчеты фундаментов при образовании карстовых деформаций как аналитически, так и путем численного моделирования с использованием процедуры МКЭ. Сложность данных расчетов связана не с процедурой расчета, а с высокой степенью неопределенности при задании исходных данных и об основании, и о сооружении. При этом большее количество вопросов возникает всегда при моделировании основания с учетом образования карстовых полостей. Учитывая, что геометрические размеры карстовых полостей в карстующихся породах строго не определены, а моделирование процесса карстообразования в основании фундаментов здания не может гарантировать надежность результатов расчета фундаментов, наиболее простым решением в данном случае является моделирование карстового провала под подошвой фундамента в соответствии с размерами, определяемыми статистико-вероятностными методами. При этом в местах образования провалов грунт «уходит» из-под подошвы фундамента, а нагрузка перераспределяется на соседние участки, где обеспечен контакт фундамента с грунтом основания. Моделирование поведения основания при образовании карстовых деформаций под подошвой фундамента возможно с использованием как упругопластических моделей основания, так и контактной модели.

Расчетная модель основания должна учитывать сложное напряженное состояние покрывной толщи грунта над карстовой полостью и конструктивные особенности здания и фундаментов. Контактная мо-

дель основания, или модель переменного коэффициента постели, по сравнению с другими моделями основания является наиболее простой и понятной для инженера-практика, позволяет учесть и неоднородность основания, и его реальную распределительную способность. Использование этой модели в численном моделировании, особенно с учетом взаимодействия здания и основания, позволяет также уменьшить порядок решаемой системы уравнений по сравнению с упругими и упругопластическими моделями основания и, соответственно, снизить погрешности расчета.

Применение упругих моделей грунта типа «линейно-деформируемое полупространство с воронкой у поверхности» для расчетов фундаментов при образовании карстовых деформаций нежелательно в связи с тем, что механизм карстообразования обязательно предполагает образование зон пластических деформаций. Практический расчетный опыт российских инженеров-исследователей подтверждает эффективность использования в расчетах фундамента при образовании карстовых деформаций комбинированного подхода, основанного на применении упругопластической модели грунта для расчета напряжений, деформаций и коэффициентов постели основания [5, 6].

Расчет с использованием упругопластической модели грунта позволяет определить напряжения и деформации в основании фундамента с учетом заданных форм карстопроявления. Учитывая, что в применяемых расчетных комплексах используется более 10 типов моделей упругой и упругопластической среды, отличающихся определяющими физическими уравнениями связи между напряжениями и деформациями, а также используемыми прочностными и деформативными характеристиками, важнейшей задачей расчетчика является выбор модели, адекватно отражающей состояние грунта вокруг карстового провала или над карстовой полостью. Поэтому такие расчеты достаточно трудоемки и требуют высокой квалификации расчетчика. Практически на каждом объекте должно выполняться исследование НДС основания, что для практического инженера весьма проблематично. В этих условиях наиболее эффективным путем определения коэффициентов постели основания является определение их с применением понижающих коэффициентов к коэффициентам постели, определенным по стандартным методикам, без учета образования карстовых деформаций.

При образовании карстовых деформаций по типу «провал», или «оседание», податливость основания снижается в связи с разуплотнением грунта вокруг провала и увеличением нагрузки на эти участки основания фундаментов в первом случае и в связи с ослаблением основания и разгрузкой на соседние более прочные участки основания – во втором. Поэтому специалистами ГУП «Институт “БашНИИстрой”» предложено коэффициент постели основания (коэффициент жесткости свай) вокруг карстового провала K_1 определять с понижающими коэффициентами ξ к коэффициентам постели (коэффициентам жесткости свай) за пределами карстового провала K , рассчитываемым по стандартным методикам, т.е. без учета образования карстовых деформаций:

$$K_1 = \frac{K}{\xi}. \quad (1)$$

По результатам численных и натурных исследований разработаны методы определения коэффициентов ξ для свайных ленточных, плитных фундаментов [4, 7, 8].

1.3. Плитный фундамент

Расчет плитного фундамента на закарстованных территориях, как правило, выполняется на карстовые деформации по типу «провал», когда в качестве расчетного параметра карстовых деформаций принимается расчетный диаметр карстового провала. В этом случае коэффициент постели основания в границах карстового провала приравнивается нулю, а за границами – снижается.

Для заглубленных зданий с развитой подземной частью такой подход может быть ошибочным и привести к непрогнозируемым деформациям основания и напряжениям в сечениях фундамента в связи с тем, что карстовая полость в карстующихся грунтах может быть большего диаметра, чем карстовый провал, всплывающий в результате обрушения свода полости. При этом в связи с близостью подошвы фундамента к карстующимся грунтам локальное оседание основания над полостью спровоцирует большие усилия в сечениях фундамента, нежели карстовый провал под подошвой фундамента меньшего диаметра. Поэтому в ГУП «Институт “БашНИИстрой”» был сформулирован новый подход, отличающийся от нормативного тем, что в качестве

расчетного параметра карстовых деформаций принят не расчетный диаметр карстового провала под фундаментом, а расчетный диаметр карстовой полости в карстующихся грунтах (d_p) – максимальный диаметр карстовой полости, при котором покровная толща грунтов сохраняет устойчивость и полость не «всплывает» на поверхность в виде провала, но происходит локальное оседание основания над полостью, что характерно для глинистых покровных толщ.

Разработан метод расчета коэффициента постели основания плитного фундамента заглубленного здания [4], предусматривающий введение снижающего коэффициента k к коэффициенту постели основания, определенному без учета образования полости любыми известными методами,

$$\xi = \frac{h_r - h_k - \alpha \cdot (d_p - 3)}{h_r - h_k + \beta \cdot (d_p - 3)}, \quad (2)$$

где $\alpha = 0,871 - 0,0261 \cdot t$, $\beta = 1,2691 - 0,4163 \cdot t$, t – толщина фундаментной плиты, м; d_p – диаметр полости, м; h_r – глубина расположения кровли карстующихся грунтов, м; h_k – заглубление подземной части здания м.

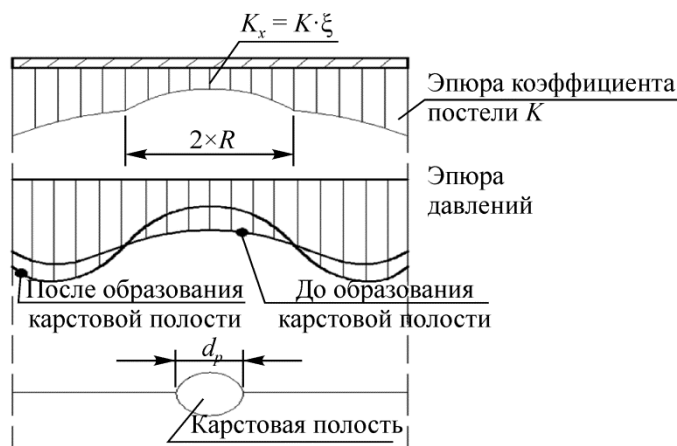


Рис. 4. Коэффициент постели и эпюра давлений в основании фундаментной плиты над карстовой полостью расчетного диаметра d_p

Зона снижения коэффициента постели R (рис. 4) определяется по формуле

$$R = \sqrt[4]{\frac{16Et^3 \cdot \beta \cdot (d_p - 3) \cdot S}{3P(5 + \mu)(1 - \mu) \cdot (h_r - h_k)}} \quad (3)$$

где E и μ – модуль деформации и коэффициент Пуассона бетона фундаментной плиты; P – давление в основании фундаментной плиты.

1.4. Свайно-плитный фундамент

Расчет свайно-плитного фундамента на закарстованных территориях, как правило, выполняется на карстовые деформации по типу «провал». Коэффициент жесткости свай приравнивается к нулю в границах карстового провала, а за границами провала принимается постоянным, определенным по стандартным методикам, т.е. без учета образования карстового провала.

Учитывая особенности работы свайно-плитного фундамента, а именно – эффект обжатия свай в грунте от нагрузки на соседние сваи, возможна ситуация, когда массив грунта, укрепленный сваями, воспринимает напряжения от карстовых деформаций и карстовая полость под нижними концами свай не развивается до подошвы фундаментной плиты. В этом случае карстовые деформации должны рассматриваться по типу «локальное оседание», а усилия в сечениях плиты и, соответственно, армирование плиты, могут быть существенно снижены.

С учетом этих особенностей работы свайно-плитного фундамента разработан метод расчета коэффициента жесткости свайного основания над карстовой полостью под нижними концами свай (рис. 5) [7]. Получены аналитические решения для определения давления в основании и осадок плиты над карстовым провалом.

2. Требования к расчету фундаментов как геотехнической мере противокарстовой защиты

Одним из наиболее эффективных карстозащитных геотехнических мероприятий является цементация грунтов покрывной толщи над карстующимися грунтами. Проекты противокарстовой цементации основания разрабатываются на основании действующих нормативных документов, в которых рекомендован тампонаж полостей и всей толщи карстующихся грунтов [9]. Однако на практике достаточно часто эти толщи достигают значительных размеров (15–20 м)

и цементация их на всю глубину до монолитных скальных грунтов, в которых карстовые полости не образуются, не представляется возможной в связи с существенным удорожанием строительства и технологическими проблемами цементации и контроля на больших глубинах. Исследования напряженно-деформированного состояния искусственно укрепленного основания фундаментов над карстовой полостью в карстующихся грунтах [10] позволили установить, что наиболее эффективно устройство укрепленного цементацией массива грунта на кровле карстующихся грунтов. При этом дополнительные деформации в основании фундаментов при образовании карстовой полости в карстующихся грунтах минимальны, а обрушение грунта в карстовую полость не допускается, если высота вероятной области обрушения над полостью не более мощности искусственно укрепленного слоя грунта, а мощность и характеристики укрепленного массива грунта обеспечивают условия прочности в соответствии с расчетной схемой, проведенной на рис. 6.

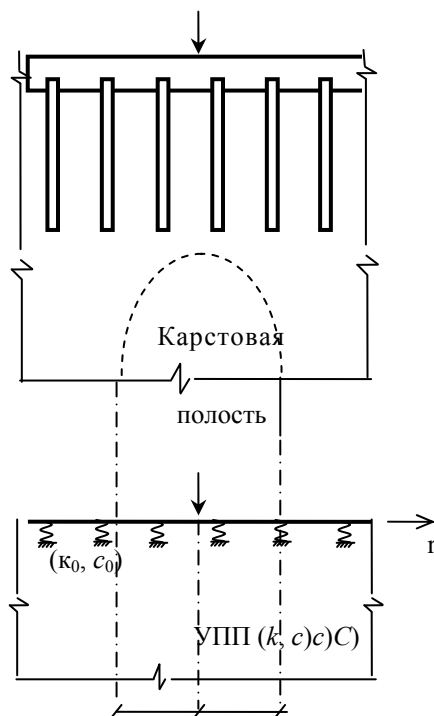


Рис. 5. Расчетная схема фундамента над карстовой полостью



Рис. 6. Расчетная схема укрепленного грунта над карстовой полостью

Расчет прочности производится из условия предельного равновесия толщи грунта над карстовой полостью с диаметром D :

$$\frac{\gamma_1(H-x)\pi D^2}{4} + \frac{\gamma_2 x \pi D^2}{4} = \tau \pi D x, \quad (4)$$

$$x = \frac{2DH}{-M + \sqrt{M^2 - 4Dz}},$$

где $M = \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1} D - 4H\xi \operatorname{tg}\varphi - D - 4c / \gamma_1 \right)$, $z = 4H\xi \operatorname{tg}\varphi$, $\xi = \operatorname{tg}^2(45 - \varphi / 2)$,

C, γ, φ – удельное сцепление, объемный вес и угол внутреннего трения природного и укрепленного грунта; ξ – коэффициент бокового давления.

3. Применение методов расчета на практике проектирования

Экспертная оценка проектных решений фундаментов на закарстованных территориях показывает, что расчеты производятся для карстовой деформации по типу «провал», или «оседание», а коэффициент постели или коэффициент жесткости свай, характеризующий деформативность основания, приравнивается к нулю над карстовым провалом, а за границами провала он принимается равным коэффициенту до образования провала, при этом снижение деформативности основания на границах провала, как правило, не учитывается.

К чему приводит такая упрощенная интерпретация деформативности основания и сведение всех расчетов практически только к одному варианту карстовых деформаций?

1. Экспериментальными и численными исследованиями НДС основания фундаментов над карстовыми деформациями установлено, что на границах провала грунт разуплотняется, а несущая способность основания и свай снижается, фактический пролет фундамента над провалом увеличивается по сравнению с расчетным. Неучет этого факта в расчете может привести к разрушению ростверка и надфундаментных конструкций. Расчет с учетом обоснованного им снижения жесткости связей у границ провала позволяет учесть увеличение расчетного пролета фундамента, в большей степени включить в работу ростверк и надфундаментные конструкции, а также обоснованно уменьшить размеры фундамента и количество свай.

2. В большинстве случаев наиболее опасным вариантом разрушения основания в связи с карстовой деформацией является карстовый провал под подошвой фундамента, а основным расчетным параметром – расчетный диаметр карстового провала. Исключением являются плитные фундаменты подземных сооружений. Учитывая отсутствие хорошо обоснованных методов прогноза расчетных параметров карстовых провалов под фундаментами заглубленных зданий, целесообразно производить расчеты при условии, что за нормативный срок эксплуатации здания полость не вырастет до критических размеров. В этом случае расчеты на образование карстового провала под подошвой фундамента могут не выполняться.

Заключение

В связи с отсутствием конкретных рекомендаций по расчету фундаментов на закарстованных территориях расчеты, как правило, выполняются с применением упрощенных подходов к оценке деформативности основания при образовании карстовых деформаций, что в некоторых частных случаях может привести к разрушению фундамента при образовании карстовых деформаций. В большей степени это относится к фундаментам подземных сооружений.

По результатам исследований российских специалистов-геотехников разработан ряд предложений расчета фундаментов на закарстованных территориях, повышающих эксплуатационную надежность

и снижающих материалоемкость карстозащитных фундаментов, основанных на учете взаимодействия «основание – фундамент – здание» в расчете на образование карстовых деформаций. Однако остается практически не изученным вопрос определения несущей способности основания фундаментов у границ карстового провала, что снижает надежность выполняемых расчетов.

Важнейшим вопросом расчета фундаментов на закарстованных территориях является определение расчетных параметров карстовых деформаций и расчетного пролета фундамента. В связи с серьезными трудностями прогноза этих параметров, требующего высокой квалификации инженера-геолога и геотехника, такие расчеты должны выполняться только специализированными организациями.

Библиографический список

1. Использование понятия карстового риска при инженерно-строительном освоении закарстованных территорий / В.В. Толмачев, М.В. Леоненко, С.А. Махнатов, М.М. Уткин // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: сб. тр. Рос. конф. с междунар. участием. – Уфа, 2012. – С. 233–240.

2. Хоменко В.П. Карстово-обвальные провалы «простого» типа: полевые исследования // ПНИИС. Инженерная геология. – 2009, декабрь. – С. 40–48.

3. Хоменко В.П. Карстовое провалообразование: механизм и оценка опасности // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Междунар. симп. – Пермь, 2015. – С. 50–60.

4. Готман Н.З., Каюмов М.З. Расчет фундаментов зданий с развитой подземной частью на закарстованных территориях // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2013. – № 4. – С. 13–18.

5. Барвашов В.А., Заматов П.В. К расчету фундаментов на закарстованном основании // ПНИИС. Геориск. – 2007, декабрь. – С. 30–32.

6. Безволев С.Г. Проектирование карстозащитный фундаментов высотного здания // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: сб. тр. Рос. конф. с междунар. участием. – Уфа, 2012. – С. 5–13.

7. Готман Н.З. Расчет противокарстовых фундаментов зданий и сооружений // Основания и фундаменты. – 2008. – № 1. – С. 20–24.

8. Давлетяров Д.А. Расчет коэффициента жесткости свай свайного ленточного фундамента при образовании карстового провала // Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: сб. тр. Рос. конф. с междунар. участием. – Уфа, 2012. – С. 35–41.

9. Челпанов П.Е. Опыт оценки качества тампонажа закарстованного участка в г. Уфа // Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах: материалы Междунар. симп. – Пермь, 2015. – С. 284–290.

10. Готман Н.З., Вагапов Р.Р. Расчет мощности цементированных грунтов как меры противокарстовой защиты зданий и сооружений // Вестник гражданских инженеров. – 2013. – № 4 (39). – С. 125–132.

References

1. Tolmachev V.V., Leonenko M.V., Makhnatov S.A., Utkin M.M. Ispolzovanie poniatiiia karstovogo riska pri inzhenerno-stroitel'nom osvoenii zakarstovannykh territorii [Use of karst risk concept while engineering-construction development of karsted areas]. *Sbornik trudov Rossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Geotekhnicheskie problemy proektirovaniia zdaniia i sooruzhenii na karstoopasnykh territoriiakh"*. Ufa, 2012, pp. 233-240.

2. Khomenko V.P. Karstovo-obval'nie provaly "prostogo" tipa: polevyie issledovaniia [Karst-collapsible holes of the "simple" type: field tests]. *PNIIS. Inzhenernaia geologiya*, 2009, December, pp. 40-48.

3. Khomenko V.P. Karstovoe provaloobrazovanie: mekhanizm i otsenka opasnosti [Karst hole formation: mechanism and assessment of the risk]. *Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma "Ekologicheskaiia bezopasnost' i stroitel'stvo v karstovykh raionakh"*. Perm, 2015, pp. 50-60.

4. Gotman N.Z., Kayumov M.Z. Raschet fundamentov zdaniia s razvitoi podzemnoi chast'iu na zakarstovannykh territoriiakh [Analysis of buildings foundations with the developed underground part on the karsted areas]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2013, no. 4. pp. 13-18.

5. Barvashov V.A., Zamatov P.V. K raschetu fundamentov na zakarstovannom osnovanii [To analysis of foundations on the karsted base]. *PNIIS. Georisk*, December, 2007, pp. 30-32.

6. Bezvoley S.G. Proektirovanie karstozashchitnykh fundamentov vysotnogo zdaniia [Design of karst protective foundations of the high-rise

building]. *Sbornik trudov Rossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Geotekhnicheskie problemy proektirovaniia zdaniia i sooruzhenii na karstoopasnykh territoriiakh"*. Ufa, 2012, pp. 5-13.

7. Gotman N.Z. Raschet protivokarsovykh fundamentov zdaniia i sooruzhenii [Analysis of karst protective foundations of buildings and structures]. *Osnovaniia i fundamenty*, 2008, no. 1, pp. 20-24.

8. Davletiarov D.A. Raschet koeffitsienta zhestkosti svai svainogo lentochnogo fundamenta pri obrazovanii karstovogo provala [Analysis of stiffness ratio of a pile in the pile strip footing while karst hole formation]. *Sbornik trudov Rossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Geotekhnicheskie problemy proektirovaniia zdaniia i sooruzhenii na karstoopasnykh territoriiakh"*. Ufa, 2012, pp. 35-41.

9. Chelpanov P.E. Opyt otsenki kachestva tamponazha zakarstvannogo uchastka v gorode Ufa [Experience of cementation quality assessment of the karsted area in Ufa city]. *Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma "Ekologicheskaiia bezopasnost' i stroitel'stvo v karstovykh raionakh"*. Perm, 2015, pp. 284-290.

10. Gotman N.Z., Vagapov R.R. Raschet moshchnosti stsementirovannykh gruntov kak mery protivokarstovoi zashchiti zdaniia i sooruzhenii [Analysis of thickness of cemented soils as measure of karst protection of buildings and structures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2013, no. 4 (39), pp. 125-132.

Получено 19.08.2015

Об авторе

Готман Наталья Залмановна (Уфа, Россия) – доктор технических наук, зав. отделом «Основания и фундаменты» ГУП «Института «БашНИИстрой»» (450064, г. Уфа, ул. Конституции, 3, e-mail: niistroy@mail.ru).

About the author

Natalia Z. Gotman (Ufa, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Head of Bases and Foundations Department, Institute «BashNIISTroy» (3, Konstitutsiia st., Ufa, 450064, Russian Federation, e-mail: niistroy@mail.ru).