

УДК 69.04

РАСЧЕТ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА НА СПЛОШНОМ УПРУГОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ КАРСТОВОГО ПРОВАЛА

Лодыгина Н.Д.

*Муromский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,
Муrom, e-mail: center@mivlgu.ru*

Карстовые процессы значительно осложняют строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Вследствие карстовых деформаций в разное время произошло несколько крупных аварий, анализ которых показал, что во всех случаях допущены принципиальные ошибки на различных стадиях строительного освоения: выборе площадки, инженерных изысканий, проектировании, строительстве или эксплуатации сооружения. Теория расчета балок на упругом основании имеет важное значение в строительной практике. Специалисту по проектированию сооружений приходится часто прибегать к многовариантному проектированию при поиске экономичных форм конструкций этих сооружений. В работе проведен расчет напряжений в сечениях ленточного фундамента от равномерно распределенной нагрузки при возникновении карста. Проведено сравнение экстремальных напряжений при возникновении карста и без его учета для ленточного фундамента как балки на упругом основании.

Ключевые слова: карст, ленточный фундамент, балка на упругом основании, напряжения

CALCULATION OF THE STRIP FOUNDATION ON SOLID ELASTIC FOUNDATION WITH REGARD KARST FAILURE

Lodygina N.D.

*Murom Institute (branch), Vladimir State University named after Alexander G. and Nicholas G. Stoletovs,
Murom, e-mail: center@mivlgu.ru*

Karst processes greatly complicate the construction and operation of buildings and structures. Due to the karstic deformations at different times there have been several major accidents, which analysis showed that in all cases the fundamental errors committed at different stages of building development: site selection, engineering survey, design, construction or operation of the facilities. Theory analysis of beams on elastic foundation is essential in building practice. Specialist engineering facilities often have to resort to multiple designing in finding efficient forms of construction of these facilities. In work the calculation of stresses in cross-sections of the strip foundation evenly distributed load in the event of karst. A comparison of extreme stress in the event of karst and without accounting for the strip foundation as a beam on an elastic foundation.

Keywords: karst, strip foundation, beam on elastic foundation, stress

Под строительство жилых и общественных зданий часто отводятся сложные с точки зрения геологического строения и процессов территории. Одним из таких опасных и малоизученных процессов является карст, широко распространенный на территории России. Наиболее широким распространением проявлений карстовых процессов характеризуются Владимирская, Калужская, Курская, Московская, Архангельская, Нижегородская области, республики Башкортостан, Татарстан, Марий Эл.

Такие горные породы, как гипс, конгломераты и другие, растворяются и разрушаются проточной водой. В них образуются пустоты – карсты, а на земной поверхности – провалы, карстовые провалы, которые с течением времени преобразуются в карстовые воронки, проседания или оседания [3].

Карстовые процессы значительно осложняют строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Вследствие карстовых дефор-

маций в разное время произошло несколько крупных аварий, анализ которых показал, что во всех случаях допущены принципиальные ошибки на различных стадиях строительного освоения: выборе площадки, инженерных изысканий, проектировании, строительстве или эксплуатации сооружения.

При проектировании сооружений на территориях, где возможны карстовые оседания, целесообразно применять методы определения взаимодействия сооружения с деформирующимся основанием с учетом закономерностей формирования карстовых оседаний, прогнозов их скорости и продолжительности. Возможные аварии и повреждения сооружений на закарстованных территориях классифицируются следующим образом:

– катастрофические разрушения, приводящие к пожарам и взрывам, гибели людей и заражению окружающей среды вредными химическими и радиоактивными веществами на больших территориях;

– частичные разрушения и повреждения, приводящие к временному прекращению нормальной эксплуатации сооружений и к локальному загрязнению окружающей среды;

– повреждения, практически не приводящие к затруднению нормальной эксплуатации сооружения.

В последние годы в гражданском и промышленном строительстве наметилась тенденция к существенному увеличению нагрузок на фундаменты за счет повышения этажности жилых зданий и использования тяжелого технологического оборудования в промышленных сооружениях. Зачастую возведение таких зданий осуществляется на карстовых территориях.

Основания и фундаменты должны удовлетворять следующим основным требованиям: обладать достаточной прочностью, устойчивостью на опрокидывание и скольжение в плоскости подошвы, сопротивляться влиянию грунтовых и агрессивных вод, а также влиянию атмосферных факторов (морозостойкость), соответствовать по долговечности сроку службы здания, быть технологичными в изготовлении и экономичными.

По конструкции фундаменты бывают: сплошные, ленточные, столбчатые и свайные.

В тех случаях, когда у поверхности залегают слои слабых грунтов (например, карсты), которые не могут служить основанием для фундаментов проектируемого сооружения, возникает необходимость передачи нагрузки на более плотные слои, расположенные на глубине основания почвы. В подобных ситуациях чаще всего прибегают к устройству свайного фундамента. Наиболее эффективными являются фундаменты в виде сплошных свайных полей из забивных свай, объединенных плитой, получившие название свайные фундаменты. В таком фундаменте сваи сводят осадки до нормативно допускаемых величин, а плита, обладая высокой распределительной способностью, обеспечивает нормальную работу фундамента в условиях неравномерных деформаций основания, что особенно важно при карстовом провале.

Грунты, используемые в качестве оснований зданий и сооружений, подразделяются на глинистые, песчаные, крупнообломочные, скальные, заторфованные. Карст существенно влияет на ландшафтные особенности территории, ее рельеф, подземные воды, реки и озера, почвенно-растительный покров и хозяйственную деятельность населения.

Карстовые деформации характеризуются интенсивностью их проявления (среднегодовое количество карстовых деформаций

на единицу площади территории), средним и максимальным диаметром провалов и оседаний, их средней глубиной, а для оседаний, кроме того, кривизной земной поверхности и наклоном краевых участков зоны оседания. Параметры карстовых деформаций определяются расчетом с использованием вероятностно-статистических методов на основе анализа инженерно-геологических и гидрогеологических условий и с учетом их возможных изменений за время эксплуатации сооружений, закономерностей проявления деформаций, конструктивных особенностей сооружения, степени его ответственности и срока эксплуатации.

Важнейшими задачами инженерно-геологических исследований являются: изучение закономерностей развития карста, оценка современного его состояния и возможностей дальнейшего роста. На основе исследований должны быть выявлены участки, на которых процессы карста не вызывают и не будут вызывать существенных затруднений при строительстве или представлять опасность для строительства.

Для решения определенных инженерно-строительных задач необходимо располагать не только общими сведениями в отношении наличия карста и общих закономерностей его развития в пределах строительной площадки. Следует также владеть подробными сведениями по микрорайону обо всех его связях с прилегающим регионом, в пределах которого проектируется строительство.

Для расчета и проектирования мероприятий по обеспечению устойчивости сооружений необходимы сведения о современном состоянии карстового процесса на данной строительной площадке с достаточно точным для инженерных целей наличием всех карстовых пустот, провалов, подземных ходов и тому подобное, а не случайным, выборочным их нахождением при прохождении буровой скважины [2].

Необходимы такие инженерно-геологические данные по карсту, которые создали бы прочную основу расчета мероприятий по обеспечению надежности и устойчивости сооружений. Это главный вопрос, подлежащий решению при производстве инженерно-гидрогеологических изысканий.

При наличии требуемых данных для проектирования можно уверенно решать вопрос о строительстве сооружений в карстовом районе.

Также можно решить вопрос о степени устойчивости и надежности толщи в кровле обнаруженных карстовых пустот, необходимости и возможности усиления несущей способности этой толщи или разгрузки ее

в нужной степени, прекращения карстовых процессов в части толщи кровли пустот, обеспечивающего нормальную эксплуатацию сооружений.

Строительство в карстовых районах связано со значительными трудностями, так как карстующиеся породы являются ненадежным основанием. Пустотность снижает прочность и устойчивость пород, оснований зданий и сооружений. Развитие карстовых форм может вызвать недопустимые осадки или даже полное разрушение конструкций.

Карстовый процесс особенно опасен для гидротехнических сооружений. Через карстовые пустоты возможны утечки воды из водохранилищ, каналов. При строительстве в карстовых районах необходимо осуществлять ряд мер, направленных на прекращение развития карстовых форм, повышение устойчивости и прочности пород:

- предохранять растворимые породы от воздействия поверхностных и подземных вод;
- упрочнять карстовые породы.

Для правильного проектирования зданий и сооружений в карстовых районах необходимы детальные инженерно-геологические исследования, которые должны носить комплексный характер. При этом изучают климат, растительность, гидрологию, геологию местности, подземные воды и в том числе все, что связано с самими карстовыми формами.

Расчет ленточного фундамента

Проектирование оснований и фундаментов сооружений, возводимых на закарстованных территориях, производится в соответствии с общими требованиями СНиП 2.02.01-83. При этом предусматривают мероприятия, исключающие возможность образования карстовых деформаций и снижающие их неблагоприятные воздействия на сооружения.

Однако выполнение указанных мероприятий не всегда исключает возможность развития карстовых деформаций, а в некоторых случаях становится технически невозможным или нецелесообразным их применение. В этом случае предусматривают конструктивные мероприятия, назначаемые исходя из расчета фундаментов и подземных конструкций сооружения с учетом возможного развития карстовых деформаций.

Конструкции фундаментов зданий и сооружений, возводимых на закарстованных территориях, имеют свои особенности. Расчеты фундаментов производят на основании прогнозирования размеров карстовых проявлений и вероятности их образования в основании проектируемого сооружения. Расчетные расположения провалов варьиру-

ются и назначаются исходя из наиболее неблагоприятных условий работы фундаментной конструкции. Сложные задачи расчета фундаментов на карстующихся основаниях с учетом совместной работы с надземными конструкциями решаются на ЭВМ.

Теория расчета балок на упругом основании имеет важное значение в строительной практике. Специалисту по проектированию сооружений приходится часто прибегать к многовариантному проектированию при поиске экономичных форм конструкций этих сооружений.

В первую очередь это относится к сооружениям на слабых грунтах (например, к трубам), ленточным фундаментам железобетонных путепроводов, наплавным мостам, фундаментам высотных зданий, подкрановым путям, полов промышленных зданий и т.п. На возведение таких сооружений в нашей стране уходит почти половина бетона, используемого в строительстве.

Столь огромные материальные и денежные затраты требуют внимательного отношения к вопросам расчета конструкций на упругом основании. Проблемы, связанные с исследованием конструкций, лежащих на упругом основании, представляют собой одну из актуальных, сложных и интересных задач строительной механики.

В последнее время внимание к этим задачам все более возрастает. С одной стороны, это объясняется насущными потребностями инженерной практики, а с другой, развитием и совершенствованием методов расчета.

Большую роль при этом играет современная вычислительная техника. При расчете конструкции на упругом основании сначала устанавливается ее расчетная модель и рассматриваются условия ее контакта с основанием, а затем производится расчет [1].

Обычно конструкции изготавливаются из однородного и изотропного материала. Их контакт с основанием при любых сочетаниях внешних воздействий считается непрерывным, то есть предполагается совпадение вертикальных перемещений конструкции и поверхности основания по всей площади контакта.

В инженерной практике часто встречаются балки, лежащие на сплошном упругом основании. Упругим основанием называют такое основание балки, которое деформируется под действием веса балки и расположенной на ней нагрузки и при этом оказывает упругое противодействие прогибу.

Балки, лежащие на таком основании, называют балками на упругом основании.

К таким балкам могут быть отнесены шпалы железнодорожного пути, ленточные фундаменты различных сооружений, передающие нагрузку на грунт, фундаменты плотин и др. Расчет балки на упругом основании не может быть выполнен с помощью уравнений статики. Эта задача является статически неопределимой. Уравнение статики позволяет найти только суммарную реакцию со стороны основания и не дает возможности определить закон распределения реакции по длине балки. Величина реакции в каждой точке зависит от прогиба балки, а прогиб балки в свою очередь зависит от реакции со стороны основания.

Для решения задачи обычно принимают гипотезы, связывающие величины реакций с осадкой основания [5]. Одной из наиболее распространенных гипотез является гипотеза о пропорциональной зависимости между реакцией и осадкой основания.

Такая гипотеза относительно свойств грунта впервые была предложена Н.И. Фуссом в 1801 году и в применении к балкам на упругом основании использована Е. Винклером.

Согласно этой гипотезе реакция основания в каждой точке пропорциональна упругой осадке в этой точке.

Иными словами, чем больше прогиб, тем больше и реактивное сопротивление. Таким образом, реакция упругого основания по отношению к балке представляет собой изменяющуюся по длине балки нагрузку интенсивности:

$$q_0 = -k \cdot y;$$

$$k = k_0 b,$$

где k_0 – постоянный коэффициент, характеризующий жесткость основания, называемый коэффициентом постели; он равен реактивной силе, приходящейся на единицу площади 1 см^2 и возникающей со стороны основания при прогибе балки, равном 1 см . Этот коэффициент определяют из опытов и размерность его Н/см^2 ; b – ширина подошвы балки.

Следовательно, $k = k_0 b$ представляет собой погонный коэффициент основания. Он численно равен реакции основания, приходящейся на единицу длины балки при прогибе, равном 1 см . Размерность коэффициента k , Н/см^2 .

Теория расчета балок на упругом основании очень подробно была разработана А.Н. Крыловым с применением метода начальных параметров [4]. Преимущество этого метода заключается в том, что для любого вида нагрузки и любого способа закрепления концов

балки уравнение изогнутой оси балки на упругом основании содержит четыре начальных параметра, которыми являются прогиб, угол наклона, изгибающий момент и поперечная сила в каком-либо поперечном сечении балки, принимаемом за начало координат. Причем два из этих параметров всегда известны, а для нахождения двух других приходится решать систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными.

Ленточный фундамент в данной работе рассматривается как балка на упругом основании при действии на нее равномерно распределенной нагрузки. Рассмотрено два случая:

– нагрузка действует на всей длине ленточного фундамента l ;

– нагрузка действует на длине $l - l_1$ (l_1 – диаметр карстового провала).

Соответственно, выражения для прогиба, угла поворота и изгибающего момента запишутся в виде:

– без карстового провала (начальные параметры $M_0 = 0, Q_0 = 0$)

$$y(\xi) = 91,18 \cdot 10^2 \cdot q \cdot Y_1 \cdot (l - 10,95 \cdot 10^5 \cdot \xi);$$

$$\varphi(\xi) = 33,3 \cdot q \cdot Y_4 \cdot (10,95 \cdot 10^2 \cdot \xi - l);$$

$$M(\xi) = 10,95 \cdot 10^2 \cdot q \cdot Y_3 \cdot (l - 10,95 \cdot 10^2 \cdot \xi);$$

– с учетом карстового провала (начальные параметры $M_0 = ql^2/2; Q_0 = ql$)

$$y(\xi) = y_0 \cdot Y_1 + 1095 \cdot \varphi_0 \cdot Y_2 + 1,04 \cdot q \cdot l^2 \cdot Y_3 + 91,18 \cdot 10^2 \cdot q \cdot l \cdot Y_4 - 998,38 \cdot 10^4 \cdot q \cdot Y_1 \cdot \xi;$$

$$\varphi(\xi) = \varphi_0 \cdot Y_1 - 0,365 \cdot 10^{-2} \cdot (0,1251 \cdot Y_2 + 10,95 \cdot 10^2 \cdot Y_3);$$

$$M(\xi) = 0,12 \cdot y_0 \cdot Y_3 + 130 \cdot \varphi_0 \cdot Y_4 - 3 \cdot 10^3 \cdot q \cdot (1,5 \cdot 10^3 \cdot Y_1 + 10,95 \cdot 10^2 \cdot Y_2) - 1199,025 \cdot 10^5 \cdot q \cdot Y_3 \cdot \xi.$$

Здесь Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 – функции А.Н. Крылова имеют широкое применение в инженерных расчетах. Поэтому для их значений составлены таблицы для значений аргумента ξ . Проведено численное исследование прогибов, углов поворота и изгибающих моментов в зависимости от аргумента ξ . Напряжения при карстовом провале увеличиваются в некоторых сечениях ленточного фундамента до 21 раза.

Вывод

В работе проведен расчет напряжений и деформаций в сечениях ленточного фундамента от равномерно распределенной нагрузки при возникновении карста.

Проведено сравнение экстремальных напряжений при возникновении карста и без его учета для ленточного фундамента (балка на упругом основании). Получены расчетные формулы для определения параметров напряженно-деформированного состояния ленточного фундамента в любом его сечении.

Список литературы

1. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.Л. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1973.
2. Лодыгина Н.Д., Шарапов Р.В. Особенности расчета оснований сооружений на закарстованных территориях // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – № 5, т. 19. – С. 1439–1441.

3. Лодыгина Н.Д. Расчет свайных фундаментов на закарстованных территориях/ Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 2. – С. 15–18.

4. Никифоров С.Н. Сопротивление материалов. – М.: Высш. школа, 1966.

5. Сопротивление материалов / под ред. А.Ф. Смирнова. – М.: Высш. школа, 1975.

References

1. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.L. Raschet konstruksij na uprugom osnovanii. M.: Strojizdat. 1973.

2. Lodygina N.D., SHarapov R.V. Osobennosti rascheta osnovanij sooruzhenij na zakarstovannykh territoriyakh // Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki. no. 5, tom 19, 2014.pp. 1439–1441.

3. Lodygina N.D. Raschet svajnykh fundamentov na zakarstovannykh territoriyakh/ Mashinostroenie i bezopasnost zhiznedeyatelnosti. no. 2, 2014. pp. 15–18.

4. Nikiforov S.N. Soprotivlenie materialov. M.: Vyssh. shkola, 1966.

5. Soprotivlenie materialov. Pod red. A.F. Smirnova. M.: Vyssh. shkola, 1975.