

---

УДК 621.833

## Расчет свайных фундаментов на прочность и устойчивость с учетом карстовых процессов

Лодыгина Н.Д.

Карстовые процессы порождают серьезные экологические проблемы. Образование и рост карстовых полостей под основаниями зданий и сооружений может привести к их разрушению. В карстовых районах предусматривают строительство зданий малочувствительных к неравномерным просадкам грунта, фундаменты свайного типа и другие специальные конструктивные решения, для замедления роста карстовой воронки устраивают фундамент в виде свайного поля. При этом расстояние между сваями не должно быть более  $1/3 \dots 1/5$  диаметра прогнозируемой воронки, а их длина должна превышать возможную глубину провала на 0,5-0,7 м. И в этом случае заделка голов свай в ростверк должна обеспечивать возможное выпадение их в образовавшийся провал. Ростверк нужно рассчитывать как балку, под которой образуется пустота от провала заданного диаметра. Определены опасные сечения ростверка, в которых действуют максимальные напряжения. Расчет сваи проводится по расчетам на прочность и устойчивость.

*Ключевые слова:* карстовые процессы, воронки, прочность, устойчивость, фундамент, свая, ростверк.

## Calculation of pile foundation for strength and stability under consideration of karst processes

Lodigina N.D.

Karst processes give rise to serious environmental problems. Formation and growth of caverns under the bases of buildings and structures may lead to their destruction. In karst areas include the construction of buildings insensitive to uneven ground subsidence, pile foundations, and other special types of design solutions for slowing the growth sinkhole arrange the foundation as a pile field. The distance between the piles should not be more than  $1/3 \dots 1/5$  the diameter of the projected funnel, and the length must exceed the possible depth of the failure of 0.5-0.7 m. In this case, the sealing head piles in the grillage shall provide possible in the resulting loss of their failure. Rostwerk should be calculated as a beam, which is formed by the emptiness of the failure of a given diameter. Identified dangerous section of raft foundation, in which the maximum operating voltage. Calculation of pile is carried out according to the calculations for strength and stability.

*Keywords:* karst processes, crater, strength, stability, foundation piles, grillage.

### Введение

Карстовым процессам подвержены такие воднорастворимые породы, как известняки, доломиты, гипсы, каменная соль. Из всех пород наиболее растворимыми водой являются соли. Для растворения одной части каменной соли достаточно трех частей воды, а для гипса нужно уже 480 частей воды. Растворению способствует повышенная температура и движение воды. Одним из главных факторов карстообразования является действие воды – атмосферной, речной, подземной [1, 4]. Важным

условием развития карста является степень водопроницаемости пород. Чем более водопроницаема порода, тем интенсивнее развивается процесс растворения. Наилучшие условия в этом отношении создаются в трещиноватых породах. Начинается карстовый процесс с проникновения воды в поры и трещины, имеющие в горной породе. На поверхности образуются вначале небольшие углубления, затем промоины, далее – глубокие борозды (карры). Скапливающаяся в них вода проникает на глубину. Образуется целая система подземных

полостей. На поверхности с крупными подземными полостями связаны естественные колодцы и шахты, карстовые воронки, котлованы.

По отношению к земной поверхности различают два типа карста открытый и скрытый. При открытом типе карстовые породы лежат непосредственно на поверхности земли, а при скрытом они перекрываются слоями нерастворимых водопроницаемых пород и лежат на некоторой глубине. Из многочисленных форм карстов наиболее часто встречаются: на поверхности земли – карры, воронки, поля и в глубине карстующихся толщ – каверны и пещеры.

Карры – мелкие желоба, борозды и канавы на склонах рельефа местности из карстующихся пород в виде известняков. Глубина карров колеблется от нескольких сантиметров до 1 – 2 м. Карры – микроформы, начальная стадия карстообразования. Факторы, влияющие на образование карров: а) трещиноватость пород; б) избирательное растворение, связанное с неоднородностью пород по химическому составу; в) различие в текстуре пород (слоистость); г) сульфидные включения.

Воронки – углубления различных форм и размеров. Диаметр их колеблется от 3 – 4 до 40 – 50 м, глубина от 1 – 2 до десятков метров. Форма этих воронок обычно блюдцеобразная. На дне воронок всегда есть трещины, по которым вода поступает в глубину массива пород.

Поля возникают в результате постепенного объединения воронок или опускания больших участков земной поверхности в результате карстового выщелачивания пород на глубине толщ. По длине поля простираются на сотни метров и даже километров, глубина достигает несколько метров.

Каверны образуются в результате растворения пород по многочисленным трещинам.

Пещеры – подземные пустоты, формирование которых связано с растворением пород и обрушением. В массиве карстующихся пород

наблюдается обычно несколько пещер, связанных воедино ходами и трещинами. Пещерам свойственны озера и подземные реки. Пещеры разнообразны по форме и размерам.

Глубина развития карстовых процессов определяется уровнем вод в открытых водоемах и водоносных прилегающих долин. Ниже этого уровня процесс распространяться не может. Владимирская область по пораженности карстом занимает одно из первых мест среди центральных областей Нечерноземья. Поверхностные проявления карста по уточненным данным известны на площади 16,1 тыс. кв. км, что составляет 55% территории области. Они охватывают Камешковский, Ковровский, Вязниковский, Гороховецкий, Муромский, Селивановский, Судогодский, Меленковский и Гусь – Хрустальный районы.

Строительство в карстовых районах связано со значительными трудностями, так как карстовые породы являются ненадежным основанием. Пустотность снижает прочность и устойчивость пород, как оснований зданий, так и сооружений. Развитие карстовых форм может вызвать недопустимые осадки или даже полное разрушение конструкций. Карстовые процессы порождают серьезные экологические проблемы. Образование и рост карстовых полостей под основаниями зданий и сооружений может привести к их разрушению. Известны случаи, когда различные сооружения целиком проваливались в карстовые пустоты. Поэтому любое строительство в областях развития карста требует самых тщательных предварительных инженерно – геологических изысканий.

Карстовый процесс особенно опасен для гидротехнических сооружений. Большие сложности могут возникать при решении вопросов водоснабжения в районах карста. Через карстовые пустоты возможны утечки воды из водохранилищ, каналов. Неустойчивость режима карстовых вод может привести к исчезновению водоносных районов, на которых

обустроены водозаборы – и, напротив, к появлению этих вод и развитию процессов подтопления на других участках.

При строительстве в карстовых районах необходимо осуществлять ряд мер, направленных на прекращение развития карстовых форм, повышения устойчивости и прочности пород:

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

### **Расчет свайных фундаментов на прочность и устойчивость**

В карстовых районах предусматривают строительство зданий малочувствительных к неравномерным просадкам грунта, фундаменты свайного типа и другие специальные конструктивные решения. 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.

Конструкции зданий нужно проектировать геометрически неизменяемой системой или вводить в каркас здания дополнительные связи, превращая его в систему, состоящую из плоских ферм. В железобетонных сооружениях используются устройство монолитных железобетонных поясов, как на уровне фундаментов, так и на уровне перекрытий. В фундаментах для уменьшения дополнительных силовых воздействий устраиваются консольные выпуски. Эффективным считается применение фундаментов из свай, прорезающих карстовый слой и передающих нагрузку от сооружений на нетронутый карстом пласт. Для этого используют фундаменты из свай-стоек или глубоких опор. При этом надо учитывать, что некоторое количество свай может поте-

ряться или выйти из общей работы фундамента в зоне карста. Для этого заделку голов свай в ростверке следует предусматривать в виде свободного перемещения по вертикали.

В зданиях и сооружениях башенного типа возникает необходимость обеспечения устойчивости и ограничения крена. Этого можно достигнуть путем дополнительного консольного решения или увеличения площади опорной части фундамента.

Иногда для замедления роста карстовой воронки устраивают фундамент в виде свайного поля. При этом расстояние между сваями не должно быть более  $1/3 \dots 1/5$  диаметра прогнозируемой воронки, а их длина должна превышать возможную глубину провала на 0,5-0,7 м. И в этом случае заделка голов свай в ростверк должна обеспечивать возможное выпадение их в образовавшийся провал. Ростверк нужно рассчитывать как балку, под которой образуется пустота от провала заданного диаметра. 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.

Конструктивные мероприятия, уменьшающие чувствительность сооружений к карстовым деформациям основания, включают: рациональную компоновку сооружения в плане и по высоте, повышение прочности и пространственной жесткости сооружений, устройство приспособлений для выравнивания конструкций сооружения и рихтовки технологического оборудования. В отдельных случаях рациональным является применение податливой конструктивной схемы сооружения (устройство дополнительных шарнирных связей, податливых соединений и др.).

Конструкции фундаментов зданий и сооружений, возводимых на закарстованных территориях, имеют свои особенности. Они обусловлены необходимостью обеспечения восприятия дополнительных усилий в элементах надземных конструкций в условиях почти полной неопределенности количества и мест появления карстовых деформаций, их вида.

Расчеты фундаментов производят на основании прогнозирования размеров карстовых проявлений и вероятности их образования в основании проектируемого сооружения. Расчетные расположения провалов варьируются и назначаются исходя из наиболее неблагоприятных условий работы фундаментной конструкции.

В работе рассмотрены методы расчета ростверка ленточного фундамента и сваи. Расчетная схема ростверка представлена как статически неопределимая неразрезная балка [2], проходящая, не прерываясь, над рядом  $n$  промежуточных опор, с которыми она соединена шарнирно. Нагрузку на неразрезную балку (ростверк) со стороны сооружения берется в виде равномерно распределенной по длине балки. В равномерно распределенной нагрузке учитывается так же вес ростверка. Определены опасные сечения ростверка, в которых действуют максимальные напряжения.

С явлением потери устойчивости приходится считаться и в реальных инженерных конструкциях, в которых характер равновесия зависит от действующих нагрузок. Наряду с проблемой прочности и жесткости существует проблема устойчивости сооружения или его элементов. При этом потеря устойчивости может произойти при напряжениях, значительно меньших тех, которые допустимы с точки зрения прочности конструкции. Расчет сваи проводится по расчетам на прочность и устойчивость [3]. Определены максимальный прогиб и максимальный момент в сечениях сваи с учетом осевых и поперечных сил.

### Заключение

Способностью статически неопределимых систем воспринимать большую нагрузку по сравнению со статически определимыми системами, сохраняя при этом прочность и жесткость конструкции, объясняется их широкое распространение в строительстве. Расчетная схема ростверка представлена как статически неопределимая неразрезная балка. Рассмотрен метод расчета ростверка ленточного фундамента. Определены опасные сечения ростверка, в которых действуют максимальные напряжения.

Для надежной работы сваи необходимо предусмотреть определенный запас устойчивости, поэтому напряжения в свае должны быть меньше расчетного сопротивления. Расчет сваи проводится по расчетам на прочность, жесткость и устойчивость. Определены максимальный прогиб и максимальный момент в свае с учетом осевых и поперечных сил.

### Литература

1. Гвоздецкий Н.А. Карст. – М.: Изд-во «Мысль», 1981.
2. Лодыгина Н.Д. Расчет свайных фундаментов на закарстованных территориях // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. №2, 2014. – С.15-18.
3. Лодыгина Н.Д., Шаранов Р.В. Особенности расчета оснований сооружений на закарстованных территориях. // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. №5, том 19, 2014. – С. 1439-1441.
4. Шаранов Р.В. Мониторинг экзогенных процессов // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. №2, 2012. – С.39-42.

### References

1. Gvozdeckij N.A. Karst. – Moscow: Izd-vo «Mysl», 1981.
2. Lodygina N.D. Raschet svajnyh fundamentov na zakarstovannyh territorijah [Calculations on pile foundations on karst territories] // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti [Engineering industry and life safety]. №2, 2014. – P.15-18.

3. *Lodygina N.D., Sharapov R.V.* Osobennosti rascheta osnovanij sooruzhenij na zakarstovannyh territorijah [Features of the calculation bases structures on karst areas] // Vestnik Tambovskogo universiteta. Serija: Estestvennye i tehicheskie nauki [Vestnik Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences.]. №5, Vol. 19, 2014. – P. 1439-1441.

4. *Sharapov R.V.* Monitoring jezkogennyh processov [Monitoring of exogenous processes] // Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti [Engineering industry and life safety]. №2, 2012. – P.39-42.

**Статья поступила в редакцию 11 марта 2016 г.**

---

*Лодыгина Нина Дмитриевна* – доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром, Россия. E-mail: [nina.lodygina@yandex.ru](mailto:nina.lodygina@yandex.ru)

---

*Lodigina Nina Dmitrievna* – Ph.D., Murom Institute of Vladimir State University, Murom, Russia. E-mail: [nina.lodygina@yandex.ru](mailto:nina.lodygina@yandex.ru)