Строительство уникальных зданий и сооружений. ISSN 2304-6295. 4 (43). 2016. 18-33

Construction of Unique Buildings and Structures

journal homepage: www.unistroy.spb.ru

Оценка напряженно-деформируемого состояния фундаментной плиты с учетом карстовых провалов в среде SCAD Office

Р.А. Гилемханов [1*], А. Алишер [2]

[1-2] Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье	История	Ключевые слова
УДК 69.04	Подана в редакцию 29 ноября 2015	карст; карстовые процессы; билинейная модель; винклерское основание; расчетный диаметр карста; напряженно-деформируемое состояние; фундаментная плита; численное моделирование; SCAD

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена расчету фундаментной плиты на напряженно-деформируемое состояние с учетом карстовых провалов в SCAD Office. Актуальность темы обусловлена частыми случаями аварий на объектах, построенных на закарстованных территориях, вследствие неправильного расчета влияния карстов на несущую способность здания. Описаны основные модели расчета грунтового основания и сооружения на напряжения и осадки. Рассмотрены вопросы определения местоположения карстовых провалов, а также методика определения расчетного диаметра карста, в зависимости от категории карстоопасности. Показан процесс задания граничных условий (винклерского основания) для фундаментной плиты на основе билинейной модели, используя сателлит «Кросс». Представлен вариант использования модуля «Вариация моделей» в SCAD Office для многовариантного учета месторасположения карстовых провалов. Проведен расчет напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты без учета и с учетом карстовых процессов. На основе полученных данных, осуществлен сравнительный анализ НДС по критерию требуемого диаметра арматуры. Сделан вывод о влиянии карстовых процессов на напряженно-деформируемого состояние фундаментной плиты и необходимости их правильной задачи.

Содержание

1. Введение 19
2. Обзор литературы 19
3. Постановка задачи 20
4. Решение поставленной задачи 21
5. Заключение 27

1*. *Контактный автор:*
+7 (981) 708 9299, asf-rust@ya.ru (Гилемханов Рустам Айдарович, студент)
2. +7 (981) 818 0891, akhatuly_alisher@mail.ru (Ахатулы Алишер, магистрант)

1. Введение

В Российской Федерации около 13 процентов территории являются закарстованными, в том числе 300 городов и тысячи поселений [1]. По различным данным, в результате деятельности карстов суммарный экономический ущерб составляет в среднем 37,5 млрд руб. в год [1]. По разным причинам (плотность застройки, обширность закарстованных территорий и т. п.) отсутствует возможность переносить объекты на более безопасные грунты. Поэтому в России большое количество зданий и объектов, построенных на участках с возможностью возникновения карстовых провалов различных категорий. Более того, рост строительства таких объектов также будет расти. Не всегда получается избежать аварий и разрушений зданий по этой причине. К примеру, карстовый провал (диаметром 30 м, глубина 10 м), возникший на территории корпуса №1 НПО «Дзержинск-Химмаш», повлек за собой полное разрушение здания (рис. 1). Основной причиной таких происшествий является неучет возникновений карстов при проектировании либо неверный подход к расчету. Учет карстов является наукоемкой и трудоемкой задачей, а наиболее применяемые методы основываются на вероятностном подходе. Так как, во-первых, нужно учитывать большое количество факторов: внезапность возникновения, меняющая в пространстве свойства горных пород, изменяющийся гидрогеологический режим, во-вторых, взаимодействие закарстованного грунта с выбранной расчетной схемой тяжело спрогнозировать. Наиболее эффективным методом является экспериментальное изучение путем создания модели. Однако данный метод является дорогостоящим, а, значит, менее эффективным. И зачастую на практике для менее ответственных объектов используют теоретическое численное моделирование карстовых процессов.

С учетом вышесказанного задача этого исследования состоит в оценке влиянии карстовых процессов на прочностные характеристики фундаментной плиты (критерий сравнения: диаметр арматуры плиты) с использованием численного моделирование в программном комплексе SCAD Office. Объектом исследования является фундаментная плита монолитного 6-ти этажного общественного здания.

Рисунок 1. Разрушение промышленного здания «Дзержинск-Химмаш» в результате карстового провала

2. Обзор литературы

Большой круг российских ученых изучал проблемы расчета влияния карстовых процессов на проектируемые здания.

С теоретической точки зрения, наиболее близкой к статье, являются методические указания по совместному расчету здания и фундамента мелкого заложения в SCAD Office расчету, разработанные Н.И. Ватиным, А.А. Мойся [43]. Авторами предложены модели решения задач на совместный расчет фундамента

мелкого заложения и основания, оценены их достоинства и недостатки, а также предложена методика расчета задачи в программном комплексе SCAD Office. Однако авторами не предложен практический пример решения задачи. Поэтому целью статьи также является практическая реализация предложенными учеными методик.

С практической точки зрения наиболее близкая к данной статье является работа В.В. Маскалевой и В.А. Рыбакова [44]. Авторы исследовали влияние размера конечного элемента на результаты совместного расчета фундамента и основания с использованием билинейной модели. Как математический аппарат учеными был выбран SCAD Office. Рекомендованный авторами размер конечного элемента принят к расчетной схеме в данной статье.

Также для практической реализации поставленной задачи, авторами использован широкий спектр теоретический трудов по карстам.

Для определения вероятного появления карстов, были рассмотрены работы В.П. Хоменко [17-20] и Э.И. Мулюкова [8-10]. Методы, предложенные авторами, позволили определить все возможные местонахождения карстов по проектируемому основанию.

Также были рассмотрены работы Е.А. Сорончан и В.В. Толмачева [11], авторами был проведен анализ причин аварий сооружений на закарстованных территориях. Среди основных причин: ошибки в выборе площадки, инженерных изысканиях, проектировании, строительстве или эксплуатации сооружений. В.В. Толмачевем [14-16] также представлены методология определения расчетного диаметра карстовых провалов, которые также приняты во внимание в данной работе.

Цикл трудов, посвященный расчету свайных фундаментов с учетом карстовых процессов, представленный учеными: А.Л. Готманом и Н.З. Готманом [2-7] – позволил глубже понять механизм образования карста под фундаментными плитами и ростверками.

В.Г. Федоровский [41] представил оптимальную модель основания для расчета плит. Предложенный им метод определения коэффициента постели реализован в программе SCAD Office. Данный комплекс взят авторами в качестве математического аппарата.

И многие другие ученые внесли свой вклад в изучение и расчет карстовых процессов [21-25,45-48].

Наиболее известные зарубежные представители, занимающиеся данной проблемой – G.F. Sowers [26], F. Reuter [33], B.F. Beck [27], P.T. Milanović [28], F.G. Bell [29], T. Waltham [30], R. Sogge [31], B.B. Broms [32], H. Matlock [34], M.T. Davisson [35], W. Huang [36] и другие.

Расчету карстовых процессов посвящено большое количество теоретических трудов. Тем не менее авторами не найдены труды, посвященные практической реализации расчета фундаментной плиты с учетом карста. Таким образом, на взгляд авторов данной статьи, отсутствуют труды, исследующие воплощение теории на практике. Поэтому авторы данной статьи стремятся восполнить этот пробел путем исследований на конкретно существующем строительном объекте.

3. Постановка задачи

Цель исследования – провести расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) фундаментной плиты с учетом карстовых процессов в программном комплексе SCAD Office, а также оценить степень влияния карста на НДС плиты.

Привязка к ПК SCAD Office обусловлена выбранным методом решения задачи (билинейная модель и вариативность расчетных схема) и особенностью математической реализации норм СП 22.13330.2011[38]. На взгляд авторов, именно данная программа способна решать поставленную задачу в соответствии с действующими российскими нормами и правилами. Использование другого математического аппарата (к примеру, Robot Structural Analysis), может привести к разным результатам, так как ими по-разному реализованы отечественные нормы [38,40] и метод конечных элементов. Целесообразность выбора ПК SCAD Office также обусловлена широкой применяемостью в России.

В качестве объекта исследования выбрана реально существующая фундаментная плита 6-ти этажного монолитного здания (рис. 2). Размерами в плане 21,7х58,71 м., высотой этажей в среднем 3,6м. Фундаментная плита выполнена толщиной в 700 мм из бетона класса В20. Здание расположено в городе Уфа.

Задача, решается численным моделирование в программном комплексе SCAD Office и его сателлите «КРОСС»

Поставленная цель реализуется в несколько этапов:

1. Создание расчетной схемы (разбивка на конечные элементы, назначение жесткостей элементов, сбор нагрузок, назначение расчетных сочетаний усилий [далее РСУ] и т.п.).
2. Задача граничных условий (винклерского основания).
3. Расчет схемы без учета карстовых явлений. Определение наиболее уязвимых зон конструкций.
4. Определение и моделирование карстовых процессов.
5. Расчет с учетом карстовых процессов.

6. Сравнительный анализ полученных данных по критерию диаметра арматуры фундаментной плиты.
7. Выводы из полученных данных.

4. Решение поставленной задачи

Согласно [38], расчетную схему объекта (в том числе и фундаментной плиты) требуется рассчитывать совместно с основанием. Для данного случая возможно применить три модели решения задачи:

1. **Модель Винклера.** Решает только контактную задачу. Основные допущения: осадка основания в точке прямо пропорциональна величине давления; осадки возникают в месте приложения нагрузки, за пределами площадки загружения осадки равняется нулю. Данная модель определяет напряжения и осадки только в пределах контакта объекта с основанием.
2. **Модель линейно-деформируемого основания.** В данной модели грунтовое основание линейно-деформируемое. Отличие ее от модели Винклера заключается в том, что расчет осадка распространяется за пределы площади загружения. Это позволяет определять НДС грунта всего основания.
3. **Билинейная модель.** Усовершенствованная модель линейно-деформируемого основания учитывает наличие у грунта прочности.

Согласно [43], целесообразно выбрать билинейную модель.

4.1 Расчет объекта без учета карстовых процессов

В качестве программы для реализации билинейной модели выбран сателлит «КРОСС», входящий в программный комплекс SCAD Office.

После моделирования конечной элементной модели объекта (разбиение на конечные элементы, назначение жесткостей, сбор нагрузок, назначение расчетных сочетаний усилий), получена расчетная схема (Рис. 2). Шаг разбиения выбран 0,06 м, согласно рекомендациям [44].

Данные о расчетной схеме:

а) 62288 элементов

б) 44259 узлов

в) Тип элемента стержней: пространственный стержень (5 тип КЭ в SCAD Office)

г) Тип элемента пластин: треугольные и 4-х угольные КЭ оболочки (42 и 44тип КЭ в SCAD Office)

Далее, требовалось задать граничные условия для фундаментной плиты, в противном случае, задачу невозможно будет решить.

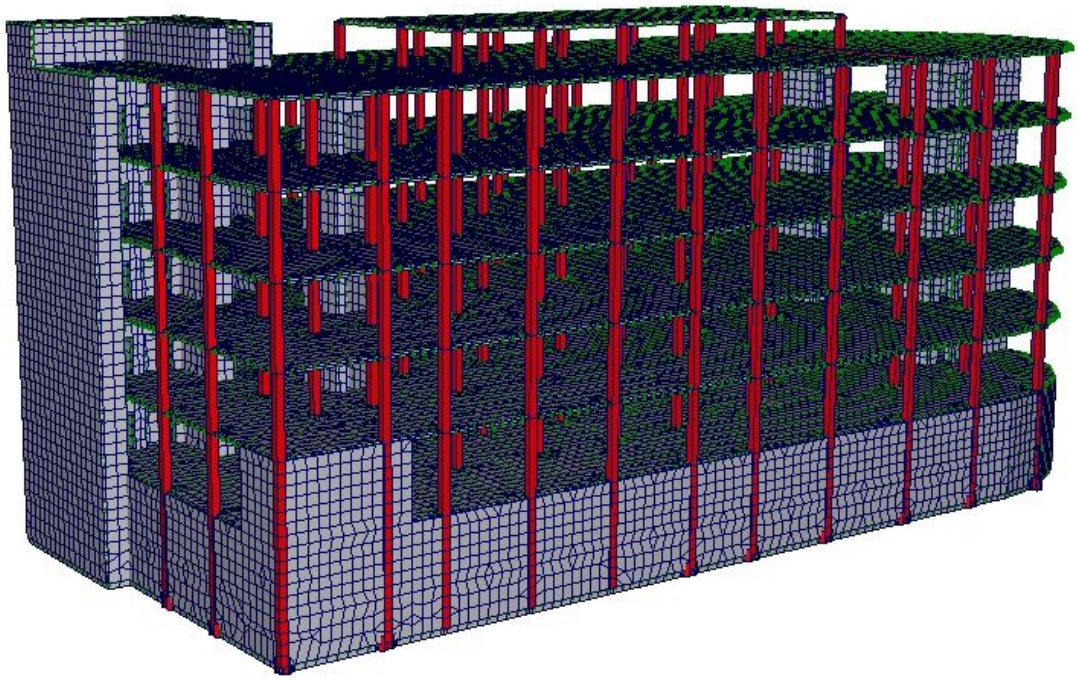

Рисунок 2. МКЭ модель проектируемого объекта

Согласно [18], опирание фундаментной плиты на грунт в SCAD Office требуется задавать переменным коэффициентом постели (коэффициент Винклера). Для определения переменного коэффициента постели используется сателлит «КРОСС».

Программа «КРОСС» позволяет определять напряженно-деформированное основание без учета второго коэффициента постели, благодаря тому, что первый коэффициент постели считается через осадки, которые в свою очередь считаются с учетом распределительной способности основания.

Задание винклеровского основания недостаточно для того, чтобы приступить к расчету, так как коэффициенты постели учитывают граничные условия только по оси Z. Поэтому требуется, чтобы плоскость XOY была неподвижна.

В случае жесткого закрепления нескольких узлов возникнет концентрация напряжений. Поэтому целесообразным вариантом будет закрепить все узлы упругими связями по XY, таким образом, удалось решить вышестоящую проблему и сохранить геометрическую неизменяемость расчетной схемы. Согласно рекомендациям [37], коэффициент упругого равномерного сдвига $c_x = 0{,}7 \cdot c_z$ (c_z- жесткость вертикальной упругой связи). Далее осуществлен предварительный расчет схемы. В результате линейного расчета в SCAD были получены значения нагрузок под подошвой фундаментной плиты и затем переданы в «КРОСС».

Коэффициент постели назначается поэтапно, итерационно, так как нагрузка и осадка меняется вследствие изменения граничных условий при импорте между SCAD Office и сателлитом «КРОСС». Таким образом, смысл итерации заключается в сведении модели фундамента и грунта.

В первом приближении коэффициент постели, равный 680 $\frac{T}{м^3}$, был назначен равномерно по всей фундаментной плите и впоследствии передан в SCAD Office. Во второй итерации расчет был производен с назначением коэффициентов постели, полученных при первой итерации от SCAD Office. Такие итерации проводилось до тех пор, пока коэффициенты перестали ощутимо меняться. Так получены итоговые значения винклерского основания (Рис. 3) в SCAD Office (Рис. 4).

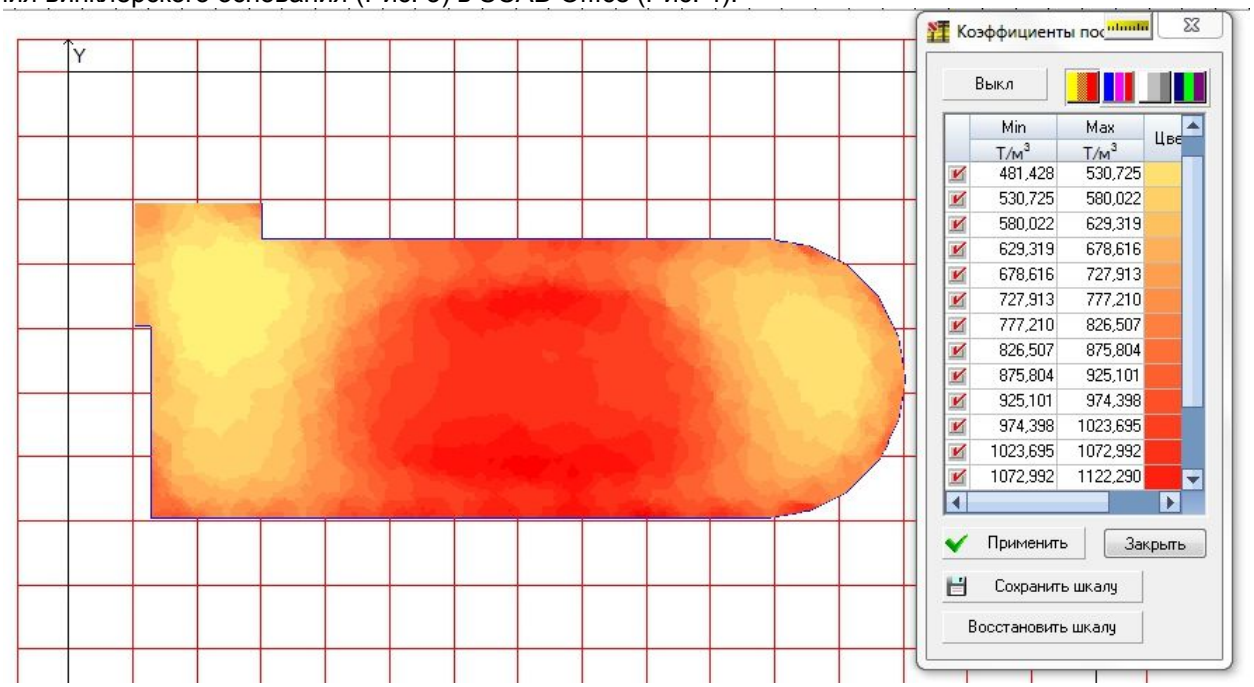

Рисунок 3. К расчету в «КРОСС»

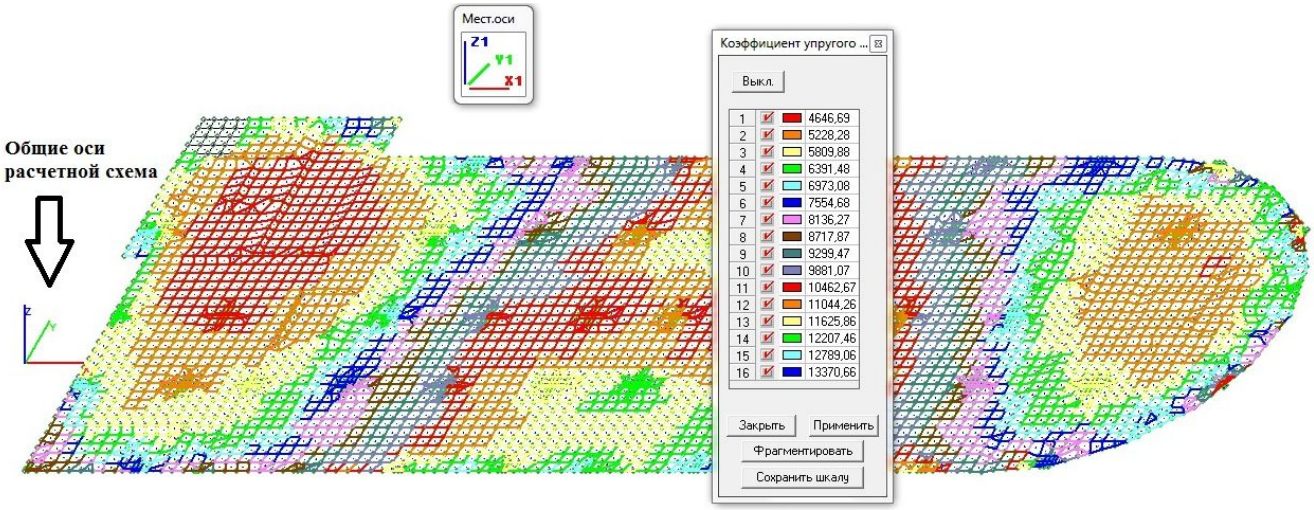

Рисунок 4. Винклерское основание в SCAD Office

Осадки и давления под подошвой (от нормативных нагрузок) не превышают допустимых значений [16].

4.2 Расчет объекта с учетом карстовых процессов

Согласно ТСН 302-50-95 РБ [39], участок строительства, расположенный в Уфе, характеризуется условиями территории IV категории устойчивости относительно карстовых провалов.

Дальнейшая проблема состоит в невозможности определить точное местоположение карстового провала под фундаментной плитой. Это ведет к расчетам в условиях неоднозначности и неопределенности задачи. Таким образом, требуется произвести многовариантный расчет.

Благодаря первому расчету без учета карстовых воронок были определены наиболее опасные места: зоны с максимальными перемещениями и напряжениями, наиболее нагруженные колонны. Поэтому положения возможных карстовых провалов под сооружением приняты исходя из этих данных, а также с учетом требований [18].

Расчетный диаметр согласно местному ТСН [17] карстового провала составляет 0,4 м. На рис. 5 представлены местонахождения провалов:

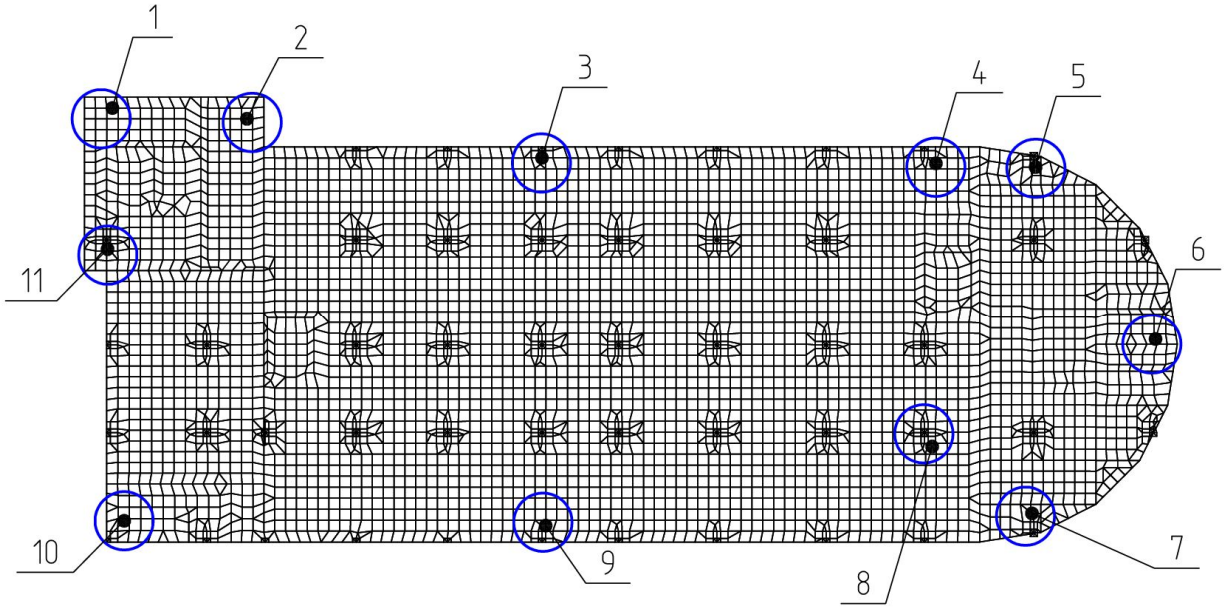

Рисунок 5. Местонахождение провалов

Провалы смоделированы выключением коэффициентов упругого основания под участками плиты. Поэтому необходимо скорректировать шаг сетки так, чтобы контур воронок был идентичен границам КЭ.

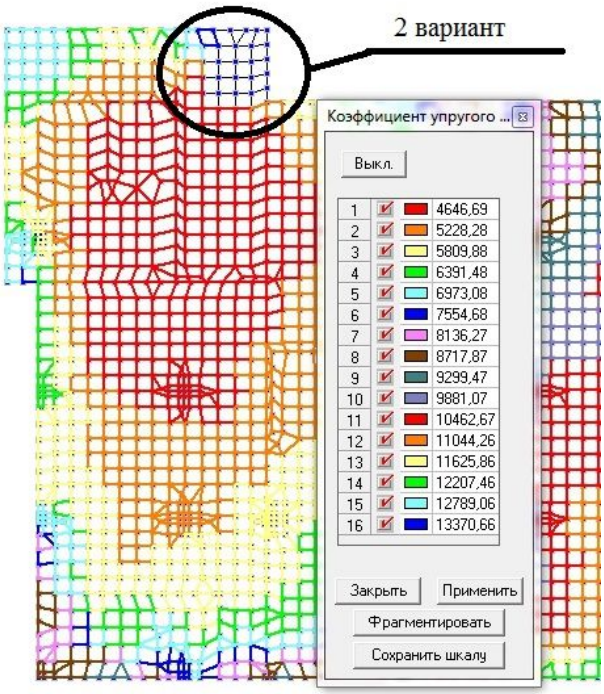

Рисунок 6. Выключением коэффициентов упругого основания (2 вариант карстового провала)

Для корректного расчета фундаментной плиты требуется учесть все 11 вариантов расположения карста (рис. 4). Для этого случая в программе SCAD Office для учета многовариантности расчетной модели реализован специальный режим "Вариация моделей". Он позволяет учесть все 11 вариантов расположения карста, то есть найти все опасные усилия из вариантов и осуществить их совместный расчет. Тем самым задается наихудшее условие, когда карстовые провалы образуются сразу во всех местах. Однако следует отметить, что расчетная схема должна иметь одинаковое количество узлов, стержней, расчетное сочетание усилий и т.п. Допустимые изменяемые параметры: жесткости элементов, условия примыкания, коэффициента постели и т.п. Данные ограничения являются допустимыми, так как коэффициенты постели варьируются с изменением положения карстового провала.

При решении поставленной задачи были созданы и просчитаны 11 разных расчетных схем с различным расположением карстовых провалов (Рис. 5). Далее произведен расчет с учетом влияния всех 11-ти расчетных схем с помощью модуля «Вариация моделей» (Рис. 7).

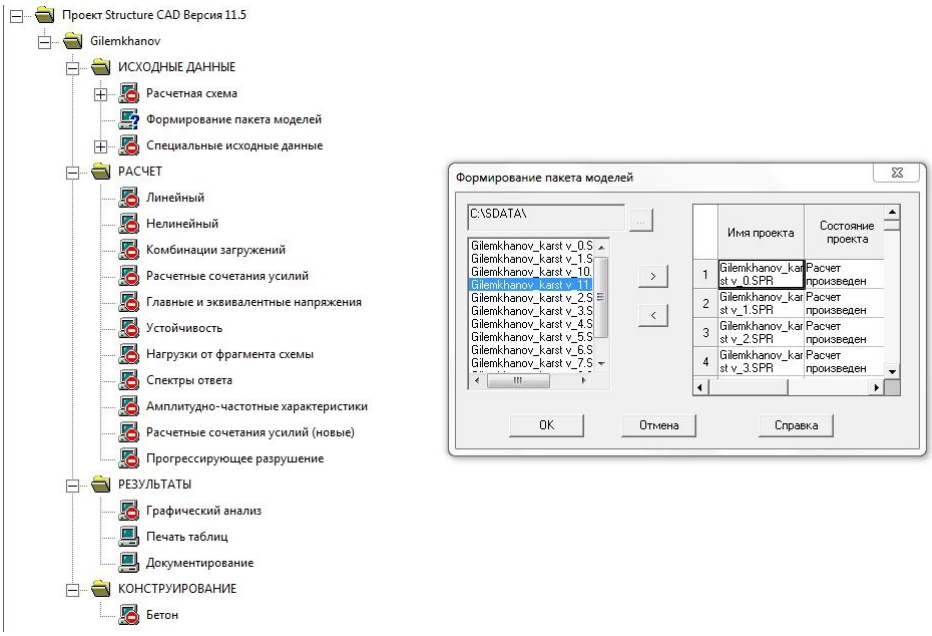

Рисунок 7. Режим «Вариация моделей» в SCAD Office

В итоге результаты всех одиннадцати расчетных схем были объединены в одном месте с учетом наихудшего НДС в каждом варианте. Это позволяет просчитать фундаментную плиту с учетом всех карстовых провалов (подобрать диаметр арматуру, толщину плиты, класс бетона и т.п.)

4.3 Сравнительный анализ

Сравнение напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты без учета и с учетом карстовых процессов будет проводится по критерию требуемого максимального диаметра арматуры, который возникает в зоне с повышенным напряжением и деформаций.

Результаты анализа карт армирования (Рис.8,9) представлены в таблице 1. На этом основании сделан вывод о том, что значительных различий в результатах армирования не видно.

Таблица 1. Сравнительный анализ расчетных схем без учета и с учетом карстовых процессов

	Нижняя сетка (диаметр арматуры), мм		Верхняя сетка (диаметр арматуры), мм	
	по оси X	По оси У	по оси X	По оси У
Без учета карстовых процессов	16	25	25	20
С учетом карстовых процессов	18	28	32	22

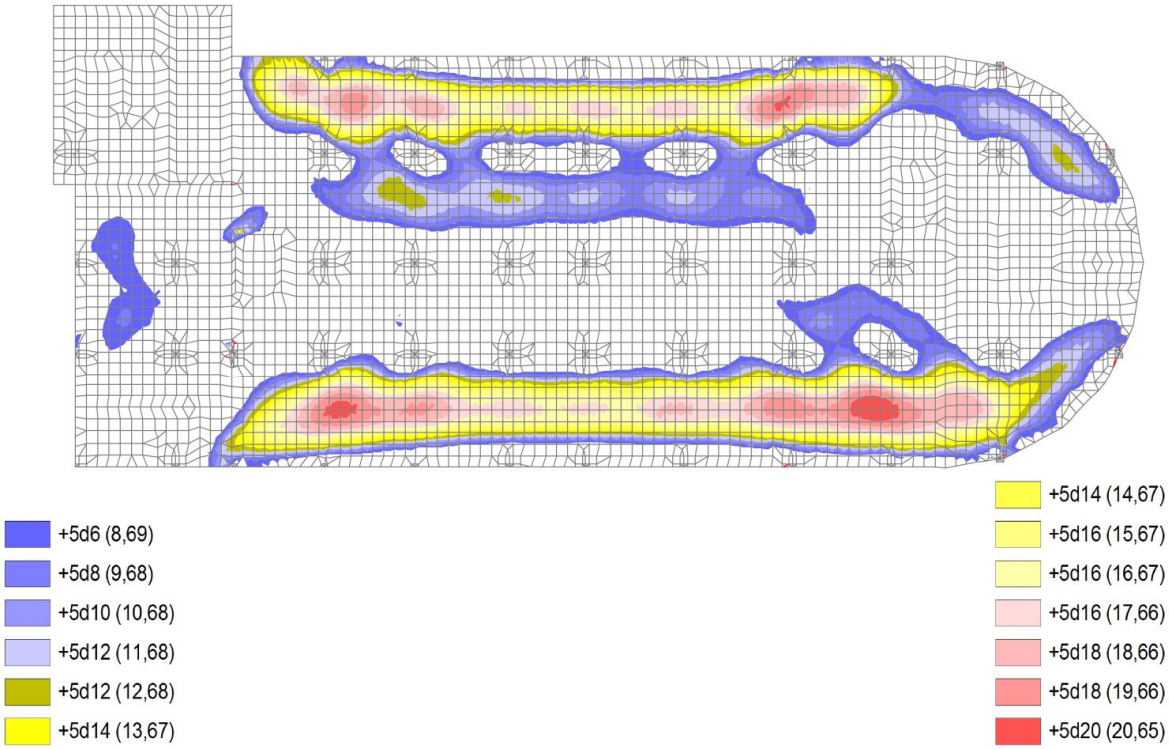

Рисунок 8. Карта армирования верхней сетки фундаментной плиты по оси У без учета карстовых процессов

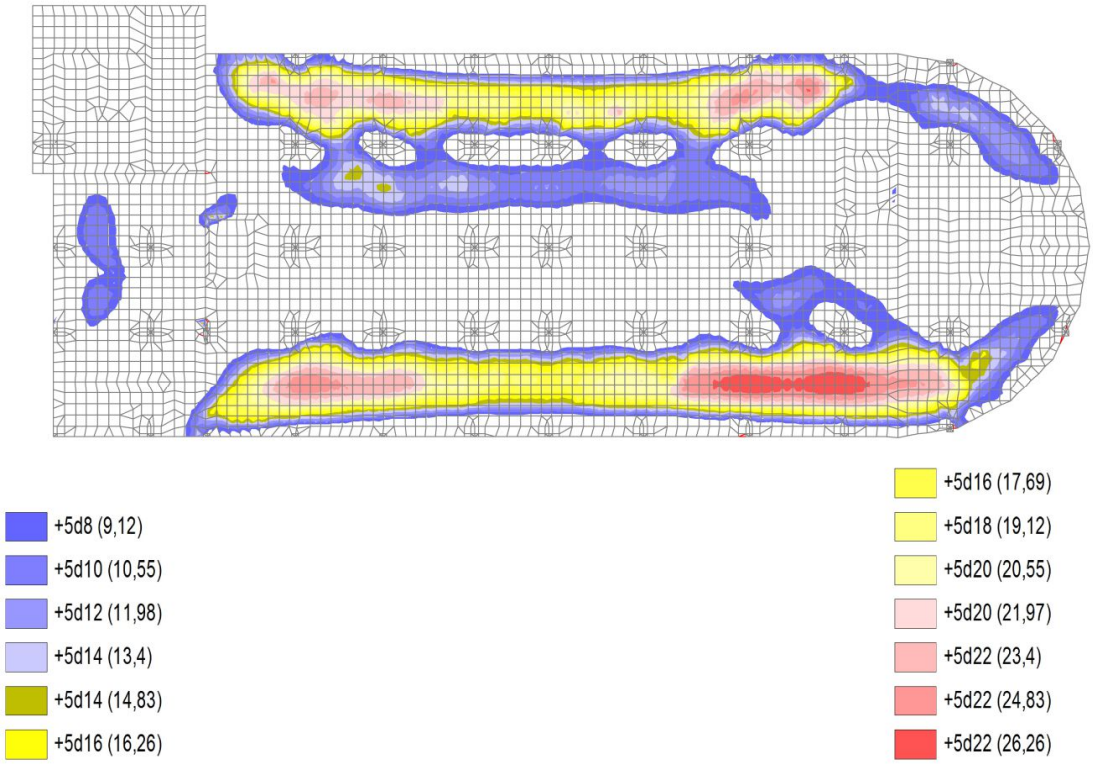

Рисунок 9. Карта армирования верхней сетки фундаментной плиты по оси У с учетом карстовых процессов

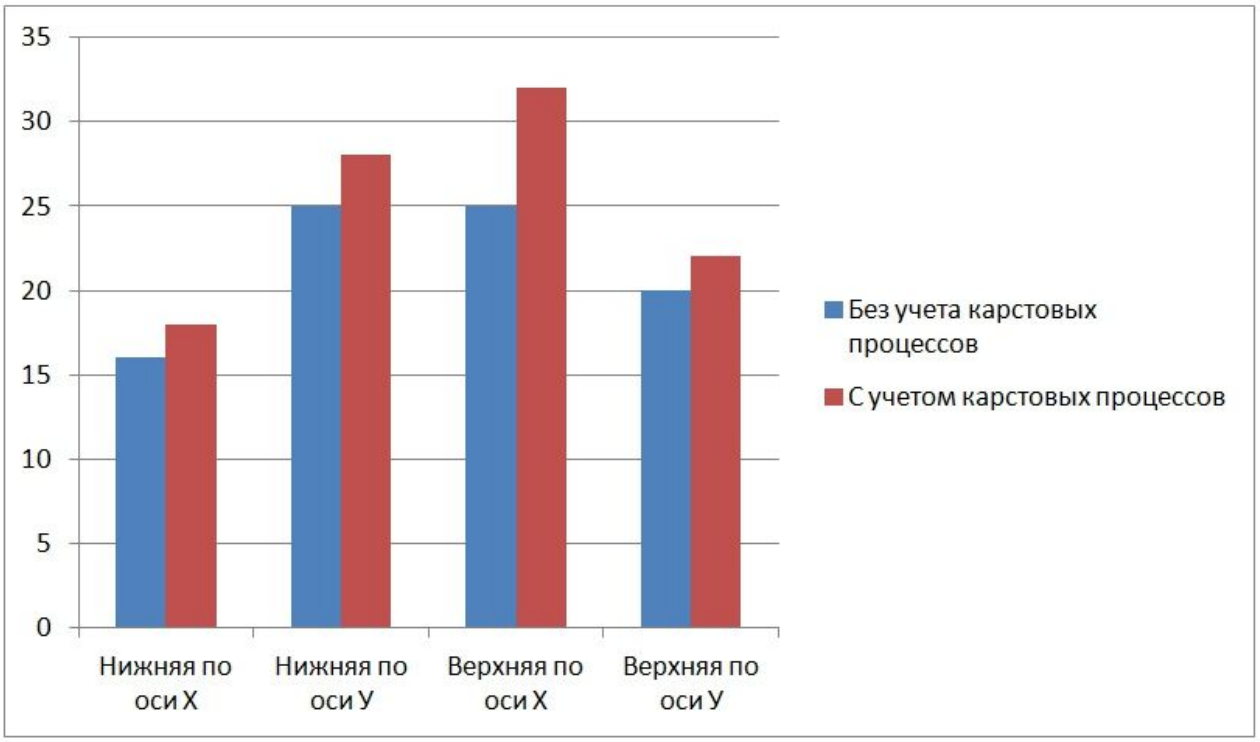

Рисунок 10. Гистограмма сравнительного анализа

Взятый критерий сравнения по максимальному диаметру арматуры является абстрагированным, так как эти зоны незначительны. Но данный критерии позволяет сделать вывод о необходимости правильного

расчета на карсты, так как для данного случая неправильно посчитанная расчетная схема приведет к неправильному подбору арматуры. В случае недостаточного армирования возникает риск аварии, а в случае переизбытка теряется экономический эффект.

5. Заключение

На основании анализа результатов расчета можно сделать следующие выводы:

1. Расчет первого коэффициента постели через осадки позволяет рассчитать напряженно-деформированное состояние фундаментной плиты без учета второго коэффициента постели, так как распределительные свойства грунта учтены в первом коэффициенте постели.
2. В России наиболее целесообразно осуществлять многовариантный расчет фундаментной плиты с учетом различного расположения карстовых провалов с помощью модуля «Вариация моделей», входящий в ПК SCAD Office из-за специфики норм и правил [38,40].
3. Для территорий, относящихся к IV категории по карстоопасности, наличие карстов приводит к изменению напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты в сторону увеличения усилий.

Литература

[1]. Мельник В.В. Разработка методики определения остаточных сварочных напряжений на основе метода пенетрации в сочетании с электронной спекл-интерферометрией. Дисс. на соиск. учен. степ. к.т.н.: спец. 25.00.15. Екатеринбург, 2010. 189 с

[2]. Готман А.Л., Магзумов Р.Н. Исследование НДС свай на границе карстового провала // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 4(39). С. 125-132.

[3]. Готман А. Л., Готман Н. З., Каюмов М. З. Методика расчета фундаментов заглубленных сооружений на закарстованных территориях // Жилищное строительство. 2011. № 9. С. 13-15.

[4]. Готман А.Л., Магзумов Р.Н. Учет горизонтальных перемещений грунта в расчете свайных фундаментов на закарстованных территориях // Вестник гражданских инженеров.2013.№ 4(40). С. 120-125.

[5]. Готман А.Л., Магзумов Р.Н. К вопросу проектирования свайных фундаментов на карстоопасных основаниях // Труды российской конференции с международным участие. Уфа. 2012. С. 30-35.

[6]. Готман А.Л., Магзумов Р.Н. Метод расчета свайных ленточных фундаментов при образовании карстового провала // Вестник МГСУ.2014. №2.С. 74-83

[7]. Готман А.Л., Магзумов Р.Н. Усовершенствование расчета карстозащитных свайных фундаментов // Материалы научно-технической конференции с международным участием «Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике». Липецк, Изд.: М.: «Палеотип», 2013. С. 138-142.

[8]. Мулюков Э.И Разработка предложений по устройству сигнализации и наблюдениям за поведением закарстованных оснований. : отчет о научно-исследовательской работе (промежуточ.) : // НИИпромстрой; рук. Мулюков Э.И. ; исполн.: Незамутдинов Ш.Р. [и др.]. Уфа, 1984. 102 с.

[9]. Мулюков Э.И. Классификация причин отказов оснований и фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1992. № 3. С. 28-30.

[10]. Мулюков Э.И. О строительном карстоведении // Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях. 2006. № 2. С. 92-97.

[11]. Сорочан Е.А. Толмачев В.В. Анализ аварий сооружений на закарстованных территориях // Российская геотехника - шаг в XXI век 2007. №2. С. 154-162.

[12]. Сорочан Е.А., Троицкий Г.М., Толмачев В.В. Комплексные защитные мероприятия при строительстве на закарстованных территориях // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1982. № 4. С. 133-135.

[13]. Сорочан Е.А., Троицкий Г.М. Строительство сооружений на закарстованных территориях // Ускорение научно-технического прогресса в фундаментостроении .Москва: НИИСОП, 1987. Т.2. С. 181-183.

[14]. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. М. : Недра, 1990. 151 с.

[15]. Толмачев В.В., Троицкий Г.М. Определение расчетного размера карстовых провалов при проектировании фундаментов на закарстованных территориях // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1983. №2. С. 22-24

[16]. Толмачев В.В., Троицкий Г.М., Хоменко В.П. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий. М.: Стройиздат, 1986. 176 с.

[17]. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. М. : ГЕОС, 2003. 216 с.

[18]. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перульмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD. М.: СКАД СОФТ, 2009. 647 с.

[19]. Механизм деформации горных пород над подземными карстовыми формами / Толмачев В. В., Карпов Е. Г., Хоменко В. П., Мартин В. И., Давыдько Р. Б. // Инженерная геология. 1982. №4. С.52-58

[20]. Хоменко В.П. Карстово-обвальные провалы «простого» типа: полевые исследования / / Инженерная геология. 2009. №4. С.34-39

[21]. Расчет фундаментов мелкого заложения на закарстованных основаниях/Незамутдинов Ш. Р., Рыжков А. И., Хызыров Р. С., Горбунов О. С. // Механика грунтов и фундаментостроение. 1997. №1. С.42-48

[22]. Магзумов Р.Н. Определение дополнительных нагрузок на ленточные свайные фундаменты при образовании карстового провала // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2014. № 1 (19). С. 125-130

[23]. Метелюк Н.С. Инженерный метод расчета фундаментов жилых бескаркасных зданий на воздействие карстового провала // Строительные конструкции. 1989. № 42. С. 6- 11

[24]. Снитко А.Н. Расчет гибких опор в грунтовой среде с изменяющимся коэффициентом постели // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1968. №3. С. 6-8

[25]. Гарбер В.А., Меркин В.Е., Маковский Л.В. Проектирование и строительство тоннелей в закарстованных грунтах // Подземное пространство мира.1994, №3. С. 12-18

[26]. Sowers G.F. Building on Sinkholes: Design and Construction of Foundations in Karst Terrain. - New York: ASCE Publications, 1996. p. 202

[27]. Beck B. F. A generalized genetic framework for the development of sinkholes and karst in Florida. Environmental Geology Water Science.1986.No 8. Pp. 5-18

[28]. Milanović P.T. Geological engineering in karst. Dams, reservoirs, grouting, groundwater protection, water trapping, tunneling. Zebra, 2000. 347 p.

[29]. Bell F. G. and Coulthard J. M. Stabilization of clay soils with lime. Municipal Engineer.1990.No 1. pp. 125-140

[30]. Waltham T., Bell F., Culshaw M. Sinkholes and subsidence. Karst and cavernous rocks in engineering and construction. Chichester.2005. 375 p.

[31]. Sogge R. Laterally loaded pile design. J.Proc.Amer.Soc.Civil Engrs. 1981, vol. 107, pp. 1179-1199.

[32]. Broms B.B. Pile Foundations Pile Groups. 6th Eur.Conf.Soil Mech. and Found. 1976. vol. 2.1., pp.103-132

[33]. Reuter F. Untersuchungen in Salz und Gipskarstgebieten, eine wichtige Aufgabe der Ingenieurgeologie in der DDR. Geology of soluble rocks, 1973. vol. 1 .pp.83-89

[34]. Matlock H., Reese L. Generalized Solutions for Laterally loaded Piles. J.Soil Mech. and Found. Engin. Div. 1960. vol.86. pp.63-91.

[35]. Davisson M.T., Gill H.L. Laterally Loaded Piles in a Layered Soil System. J.Soil Mech. and Found. Div.1963. vol.89. pp. 63-90

[36]. Huang W., Deng C.B., Day M.J. Differentiating tower karst (fenglin) and cockpit karst (fengcong) using DEM contour, slope, and centroid. Environ. Earth Sci.2014. No 72 pp. 407–416

[37]. СП 26.13330.2012 Фундаменты машин с динамическими нагрузками.

[38]. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений

[39]. ТСН 302-50-95 РБ Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях.

[40]. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.

[41]. Федоровский В.Г., Безволев С.Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. №4. С. 276-284

[42]. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. К.Факт, 2004. 104 С.

[43]. Ватин Н.И., Мойся А.А. Совместный расчет здания и фундамента мелкого заложения в SCAD // Методические указания. Санкт-Петербург. 2007. 7 С.

[44]. Maskaleva V., Rybakov V. The Analysis of Convergence of Finite Element Method for a Foundation Slab on the Bilinear Subgrade. Applied Mechanics and Materials, Vols. 725-726.2015. pp. 842-847

[45]. Повзун А. О., Колосов Е. С. Критерии выбора типа фундамента в зависимости от условий строительства и типа объекта// Строительство уникальных зданий и сооружений.2014.№10 (15).с.2-14

[46]. Ватин Н.И., Колосова Н.Б., Бердюгин И.А. Исследование методик оценки эффективности производства земляных работ // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 7 (12). С. 64-70

[47]. Уткин В.С. Расчет надежности грунтового основания на стадии эксплуатации при внецентренно нагруженном фундаменте // Инженерно-строительный журнал. 2013. №5. С. 69-75

[48]. Ватин Н.И., Мойся А.А. Теплоизолированный малозаглубленный фундамент на пучинистых грунтах // Инженерно-строительный журнал. 2009. №3. С. 7-10

Evaluation of stress-deformed state of the foundation slab to karst sinkholes in SCAD Office

R.A. Gilemkhanov [1*], A. Akhatuly [2]

[1-2] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO	Articlehistory	Keywords
scientific article **doi:**	Received 29 November 2015	karst; karst processes; bilinear model; the estimated diameter of the karst; deflected mode; foundation slab; numerical simulation; SCAD

ABSTRACT

The article deals with the influence of karst processes on the deflected mode of the base plate. The urgency is because of frequent cases of accidents on the facilities constructed in the karst areas due to incorrect calculation of the effect of karsts on the bearing capacity of the building. The basic models of calculation of the soil bases and structures on stress and precipitation are described. The problems of determining the location of karst dips are discussed as well as the method of determining the estimated diameter of karst, depending on the category of it. The process of entering the boundary conditions for the Foundation slab on the bilinear basis model using satellite "Cross" is shown. The article also shows how module "Variation patterns" in SCAD Office for the multivariate location of karst dips can be used. The calculation of deflected mode of the Foundation slab without and with the account of karst is processed. Based on the obtained data, a comparative analysis of deflected mode according to the criterion of the required diameter of the karst is held. The conclusion is about effects of karst processes on the deflected mode of the base slab and the demand for their proper tasks.

1* *Corresponding author:*
+7 (981) 708 9299, asf-rust@ya.ru (Rustam Aidarovich Gilemkhanov, Student)
2 +7 (981) 818 0891, akhatuly_alisher@mail.ru (Alisher Akhatuly, Master Student)

References

[1]. Melnik V.V. Razrabotka metodiki opredelenija ostatochnyh cvarochnyh naprjazhenij na osnove metoda penetracii v sochetanii s jelektronnoj spekl-interferometriej [The development of methods of determination of residual welding stresses based on the method of penetration in combination with electronic spekl-interferometry]. Diss. na soisk. uchen. step. k.t.n.: spec. 25.00.15. Ekaterinburg, 2010. 189 p.

[2]. Gotman A.L., Magzumov R.N. Issledovanie NDS svaj na granice karstovogo provala [Study on deflected mode piles on the border of karst failure]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2013. № 4(39).pp. 125-132. (rus)

[3]. Gotman A. L., Gotman N. Z., Kayumov M. Z. Metodika rascheta fundamentov zaglublennyh cooruzhenij na zakarstovannyh territoriyah [Study on deflected mode piles on the border of karst failure]. Zhilishchnoe stroitelstvo. 2011. № 9. pp. 13-15. (rus)

[4]. Gotman A.L., Magzumov R.N Uchet gorizontalnyih peremescheniy grunta v raschete svaynyih fundamentov na zakarstovannyih territoriya [A record of lateral displacements of soil in the calculation of pile foundations in karst areas]. Vestnik grazhdanskih inzhenerov.2013.№ 4(39). pp. 120-125. (rus)

[5]. Gotman A.L., Magzumov R.N. K voprosu proektirovaniya svajnyh fundamentov na karstoopasnyh osnovaniyah [To the question of design of pile foundations in karst hazardous grounds]. Trudy rossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastie. Ufa. 2012. pp. 30-35. (rus)

[6]. Gotman A.L., Magzumov R.N. Metod rascheta svajnyh lentochnyh fundamentov pri obrazovanii karstovogo provala [Calculation method of pile strip foundations in the formation of karst failure]. Vestnik MGSU.2014. №2.pp. 74-83. (rus)

[7]. Gotman A.L., Magzumov R.N. Usovershenstvovanie rascheta karstozashchitnyh svajnyh fundamentov [Improve the calculation of cartosemiotic pile foundations].Materialy nauchno-tekhnicheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Innovacionnye konstrukcii i tekhnologii v fundamentostroenii i geotekhnike». Lipeck, Izd.: M.: «Paleotip», 2013. pp. 138-142. (rus)

[8]. Mulyukov E.I Razrabotka predlozhenij po ustrojstvu signalizacii i nablyudeniyam za povedeniem zakarstovannyh osnovanij [The development of proposals for the device alarm and the observation of the behavior of karst grounds]: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote (promezhutoch.): NIIpromstroj; ruk. Mulyukov E.I. ; ispoln.: Nezamutdinov SH.R. [i dr.]. Ufa, 1984. 102 p. (rus)

[9]. Mulyukov E.I. Klassifikaciya prichin otkazov osnovanij i fundamentov [Classification of causes of failures of foundations and bases]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1992. № 3. pp. 28-30. (rus)

[10]. Mulyukov E.I. O stroitelnom karstovedenii [About building karts]. Problemy mekhaniki gruntov i fundamentostroeniya v slozhnyh gruntovyh usloviyah. 2006. № 2. pp. 92-97. (rus)

[11]. Sorochan E.A. Tolmachev V.V. Analiz avarij sooruzhenij na zakarstovannyh territoriyah [Accident analysis of structures in karst areas]. Rossijskaya geotekhnika - shag v XXI vek 2007. №2. pp. 154-162. (rus)

[12]. Sorochan E.A., Troickij G.M., Tolmachev V.V. Kompleksnye zashchitnye meropriyatiya pri stroitel'stve na zakarstovannyh territoriyah [Integrated control measures during construction in karst areas]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1982. № 4. pp. 133-135. (rus)

[13]. Sorochan E.A., Troickij G.M. Stroitelstvo sooruzhenij na zakarstovannyh territoriyah [[Construction of structures in karst areas]. Uskorenie nauchno-tekhnicheskogo progressa v fundamentostroenii .Moscow: NIISOP, 1987. v.2. pp. 181-183. (rus)

[14]. Tolmachev V.V., Rojter F. Inzhenernoe karstovedenie [Engineering Karstology]. Moscow: Nedra, 1990. 151 p. (rus)

[15]. Tolmachev V.V., Troickij G.M. Opredelenie raschetnogo razmera karstovyh provalov pri proektirovanii fundamentov na zakarstovannyh territoriyah [Determination of the estimated size of the karst sinkholes in the design of foundations in karst areas]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1983. №2. pp. 22-24. (rus)

[16]. Tolmachev V.V., Troickij G.M., Homenko V.P. Inzhenerno-stroitelnoe osvoenie zakarstovannyh territorij [Engineering development of karst territories]. Moscow: Strojizdat, 1986. 176 p. (rus)

[17]. Homenko V.P. Zakonomernosti i prognoz suffozionnyh processov [Regularities and prediction of suffusion processes]. Moscow: GEOS, 2003. 216 p. (rus)

[18]. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Mikitarenko M.A., Perelmuter A.V., Perelmuter M.A. Vychislitelnyy kompleks SCAD [Computer complex SCAD]. Moscow: SKAD SOFT, 2009. 647 p. (rus)

[19]. Tolmachev V. V., Karpov E. G., Homenko V. P., Martin V. I., Davyd'ko R. B. Mekhanizm deformacii gornyh porod nad podzemnymi karstovymi formami [The mechanism of deformation of rocks above underground karstic forms]. Inzhenernaya geologiya. 1982. №4. pp.52-58. (rus)

[20]. Homenko V.P. Karstovo-obval'nye provaly «prostogo» tipa: polevye issledovaniya [Karst-collapse sinkholes "simple" type: field of research]. Inzhenernaya geologiya. 2009. №4. pp.34-39. (rus)

[21]. Nezamutdinov SH. R., Ryzhkov A. I., Hyzyrov R. S., Gorbunov O. S. Raschet fundamentov melkogo zalozheniya na zakarstovannyh osnovaniyah [Calculation of shallow foundations on karst grounds]. Mekhanika gruntov i fundamentostroenie. 1997. №1. pp.42-48. (rus)

[22]. Magzumov R.N. Opredelenie dopolnitelnyh nagruzok na lentochnye svajnye fundamenty pri obrazovanii karstovogo provala // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitelnogo universiteta, 2014. № 1 (19). pp. 125-130. (rus)

[23]. Metelyuk N.S. Inzhenernyj metod rascheta fundamentov zhilyh beskarkasnyh zdanij na vozdejstvie karstovogo provala [Engineering method of calculation of foundations frameless residential buildings on the impacts of karstic sinkhole].Stroitelnye konstrukcii. 1989. № 42. pp. 6- 11. (rus)

[24]. Snitko A.N. Raschet gibkih opor v gruntovoj srede s izmenyayushchimsya koehfficientom posteli [Calculation of flexible supports in a soil medium with variable coefficient] . Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1968. №3. pp. 6-8. (rus)

[25]. Garber V.A., Merkin V.E., Makovskij L.V. Proektirovanie i stroite'stvo tonnelej v zakarstovannyh gruntah [The design and construction of tunnels in karst soils]. Podzemnoe prostranstvo mira.1994, №3. pp. 12-18. (rus)

[26]. Sowers G.F. Building on Sinkholes: Design and Construction of Foundations in Karst Terrain. New York: ASCE Publications, 1996. p. 202

[27]. Beck B. F. A generalized genetic framework for the development of sinkholes and karst in Florida. Environmental Geology Water Science.1986.No 8. Pp. 5-18.

[28]. Milanović P.T. Geological engineering in karst. Dams, reservoirs, grouting, groundwater protection, water trapping, tunneling. Zebra, 2000. 347 p.

[29]. Bell F. G. and Coulthard J. M. Stabilization of clay soils with lime. Municipal Engineer.1990.No 1. pp. 125-140

[30]. Waltham T., Bell F., Culshaw M. Sinkholes and subsidence. Karst and cavernous rocks in engineering and construction. Chichester.2005. 375 p.

[31]. Sogge R. Laterally loaded pile design. J.Proc.Amer.Soc.Civil Engrs. 1981, vol. 107, pp. 1179-1199.

[32]. Broms B.B. Pile Foundations Pile Groups. 6th Eur.Conf.Soil Mech. and Found. 1976. vol. 2.1., pp.103-132

[33]. Reuter F. Untersuchungen in Salz und Gipskarstgebieten, eine wichtige Aufgabe der Ingenieurgeologie in der DDR. Geology of soluble rocks, 1973. vol. 1 .pp.83-89

[34]. Matlock H., Reese L. Generalized Solutions for Laterally loaded Piles. J.Soil Mech. and Found. Engin. Div. 1960. vol.86. pp.63-91.

[35]. Davisson M.T., Gill H.L. Laterally Loaded Piles in a Layered Soil System. J.Soil Mech. and Found. Div.1963. vol.89. pp. 63-90.

[36]. Huang W., Deng C.B., Day M.J. Differentiating tower karst (fenglin) and cockpit karst (fengcong) using DEM contour, slope, and centroid. Environ. Earth Sci.2014. No 72 pp. 407–416

[37]. SP 26.13330.2012 Machine foundations with dynamic loads. (rus)

[38]. SP 22.13330.2011 Foundations of buildings and structures. (rus)

[39]. TSN 302-50-95 RB Manual for survey, design, construction and operation of buildings and structures on karst terrains. (rus)

[40]. SP 50-101-2004 Design and construction of bases and foundations of buildings and structures.(rus)

[41]. Fedorovskij V.G., Bezvolev S.G. Prognoz osadok fundamentov melkogo zalozheniya i vybor modeli osnovaniya dlya rascheta plit [Forecast the sediment of shallow foundations and the Foundation for the calculation of plates]. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2000. №4. pp. 276-284. (rus)

[42]. Gorodeckij A.S., Batrak L.G., Gorodeckij D.A., Laznyuk M.V., YUsipenko S.V. Raschet i proektirovanie konstrukcij vysotnyh zdanij iz monolitnogo zhelezobetona [Calculation and design of high-rise structures of reinforced concrete]. Kiev:Fakt, 2004. 104 p. (rus)

[43]. Vatin N.I., Mojsya A.A. Sovmestnyj raschet zdaniya i fundamenta melkogo zalozheniya v SCAD [Joint calculation of buildings and shallow foundations at SCAD].Metodicheskie ukazaniya. Sankt-Peterburg. 2007. 7 S. (rus)

[44]. Maskaleva V., Rybakov V. The Analysis of Convergence of Finite Element Method for a Foundation Slab on the Bilinear Subgrade. Applied Mechanics and Materials, Vols. 725-726.2015. pp. 842-847

[45]. Povzun, A.O., Kolosov, E.S. Criterion of choice of foundation's type depending on conditions of the building and kind of construction (2013) Construction of Unique Buildings and Structures, 10, pp. 2-14. (rus)

[46]. Vatin N. I., Kolosova N. B., Berdugin I. A. Research of assessment techniques of earthwork production's efficiency // Construction of unique buildings and structures. 2013. №7 (13). Pp. 64-70. (rus)

[47]. Utkin V.S. Raschet nadezhnosti gruntovogo osnovaniya na stadii ekspluatatsii pri vnetsentrenno nagruzhennom fundamente [Calculation of reliability subgrade during the operational phase when eccentrically loaded foundation] // Magazine of Civil Engineering. 2013. №5. Pp. 69-75. (rus)

[48]. Vatin N.I., Moysya A.A. Teploizolirovannyy malozaglublennyy fundament na puchinistykh gruntakh [Insulate weakly deepened foundation on heaving soils.]// Magazine of Civil Engineering. 2009. №3. Pp. 7-10. (rus)

Гилемханов Р.А., Ахатулы А. Оценка напряженно-деформируемого состояния фундаментной плиты с учетом карстовых провалов в среде SCAD Office // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №4 (43). С. 18-33.

Gilemkhanov R.A., Akhatuly A. Evaluation of stress-deformed state of the foundation slab to karst sinkholes in SCAD Office. Construction of Unique Buildings and Structures, 2016, 4 (43), Pp. 18-33. (rus)