

ЯРКИН В.В., КУХАРЬ А.В.

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры  
г. Макеевка, Украина

УДК 624.15

## ВЛИЯНИЕ РАЗУПЛОТНЕНИЯ ГРУНТА ВОКРУГ КАРСТОВОЙ ВОРОНКИ НА НДС КОНСТРУКЦИЙ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, фундаментная плита, карст, воронка, осадка.

У статті приведений метод визначення коефіцієнта жорсткості основи навколо карстової воронки. Розроблені розрахункові схеми основи, ослабленої карстовими воронками різних параметрів. Наведено метод визначення напружено-деформованого стану конструкцій плитного фундаменту, що потрапили в зону розуцільнення ґрунту навколо карстового провалу. Розглядається безкаркасна будівля на плитному фундаменті.

В статье приведен метод определения коэффициента жесткости основания вокруг карстовой воронки. Разработаны расчетные схемы основания, ослабленного карстовыми воронками различных параметров. Приведена методика определения напряженно-деформированного состояния конструкций плитного фундамента попавших в зону разуплотнения грунта вокруг карстового провала. Рассматривается бескаркасное здание на плитном фундаменте.

In the article the method of determination of coefficient of inflexibility of foundation is resulted round a karst sinkhole. The calculation charts of foundation, weak the karst sinkhole of different parameters are developed. Provides a method for determining the stress-strain state structures slab foundation in the area of loosening of the soil around the karst failure. Considered frameless building on Foundation slab.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Потеря устойчивости сводов карстовых пустот приводит к образованию на земной поверхности оседаний или провалов. При этом, грунтовый массив вокруг карстового провала получает возможность дополнительных смещений и локальной потери устойчивости в сторону образовавшегося провала, в результате чего определенную зону основания вокруг карстового провала можно считать ослабленной или разуплотненной [9, 10].

Большое внимание в данной работе уделено исследованиям зоны разуплотнения грунта вокруг карстовой воронки от влияния таких факторов как давление на основание, глубина и диаметр карстовой воронки.

Совершенствование методов расчета и проектирования фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях является одним из перспективных направлений развития фундаментостроения. Проектирование зданий и сооружений на карстоопасных территориях требует применения конструктивных, планировочных мероприятий либо улучшение свойств грунтов [1, 4, 6]. Одним из наиболее часто используемых конструктивных методов защиты от карстопроявления является фундамент в виде монолитной железобетонной плиты.

Целью статьи является определение размеров «ослабленной зоны» карстового основания в зависимости от основных влияющих факторов и исследование влияния зоны разуплотнения грунта вокруг карстовой воронки на напряженно-деформированное состояние конструктивных элементов зданий на плитном фундаменте.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования выполнялись методом конечных элементов при помощи ПК Лира [2]. При этом расчетная схема исследуемого основания представлена в виде осесимметричного массива толщиной 25 м и радиусом 50 м от оси симметрии. Параметры карстового провала задавались исключением из расчетной схемы группы конечных элементов по оси симметрии. Расчеты выполнялись с варьированием диаметра карстового провала от 3 до 9 м, глубины провала от 1 до 5 м и давления на основание в диапазоне 100...300 кПа.

Для определения коэффициента жесткости основания вокруг карстовой воронки найдены осадки основания (рис. 1, 2).

Переменный коэффициент жесткости основания  $C_z$  вычисляется как отношение давления на основание  $P$  к осадке основания  $S$  [3, 5]. Результаты расчета представлены в виде графиков (рис. 3).

Относительные коэффициенты жесткости основания определялись как соотношения переменных коэффициентов жесткости основания с учетом карстового провала  $C_z$  к коэффициенту жесткости основания ненарушенного основания  $C_{z0}$ .

Зона разуплотнения грунта вокруг карстового провала зависит от диаметра карстового провала [9, 10] и может быть условно принята равной  $0.5d$ , где  $d$  – диаметр карстовой воронки. Осадки в указанной зоне зависят от глубины провала и давления действующего на поверхности. Аппроксимацию осадок в пределах зоны разуплотнения можно выполнить параболической зависимостью.

Предлагается коэффициент жесткости основания в зоне разуплотнения карстовой воронки вычислять по формуле:

$$C_z = k \cdot C_{z0}, \quad (1)$$

где  $C_{z0}$  – коэффициент жесткости ненарушенного основания

$k$  – коэффициент разуплотнения, определяемый по формуле:

$$k = [1 - 0.1(d - 3)] + 0.1(d - 3) \frac{2r - d}{d}, \quad (2)$$

где  $d \geq 3$  м – диаметр карстовой воронки;  
 $d \geq r \geq 0.5 \cdot d$  – расстояние от центра воронки до точки в зоне разуплотнения грунта, в которой определяется коэффициент жесткости. При этом: при  $r < 0.5 \cdot d$ ,  $k = 0$ , а при  $r > d$ ,  $k = 1.0$ .

Влияние разуплотнения грунта вокруг карстового провала на НДС конструкций фундамента рассматривалось на примере здания православного храма. Цокольная часть здания храма запроектирована в виде коробчатой монолитной железобетонной плиты с мощными ребрами в виде балок стенок на всю высоту цокольного этажа. Жесткость надземных конструкций храма существенно ниже цокольной части, поэтому надземная часть храма в расчетной схеме учтена только в виде нагрузок (рис. 4).

Определение НДС фундаментных конструкций выполнялось без учета возникновения карстовой воронки, с учетом карстового провала различного диаметра и глубины, с учетом и без учета ослабленной зоны [7, 8]. Расположение карстовой воронки под фун-

Смотри рис. 1,2,3,5,7 на 4 стр. обложки

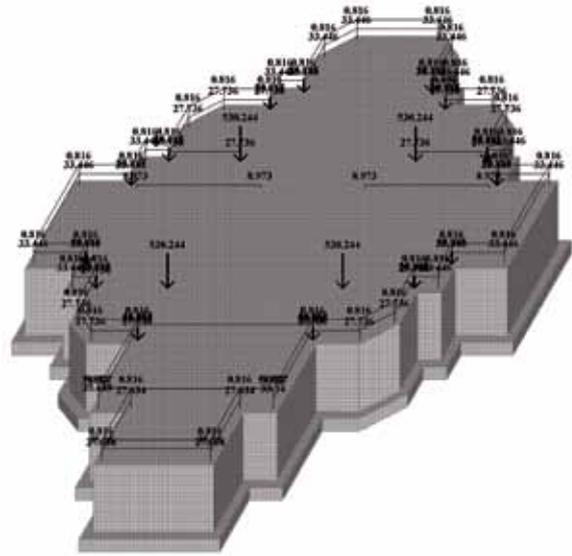


Рис.4. Расчетная схема цокольной части здания на плитном фундаменте

даментами рассматривалось в центральной части здания.

Для фундаментной плиты предварительно вычислялись коэффициенты жесткости основания  $C_z$ . Карстовый провал учитывался в расчетной схеме обнулением коэффициента жесткости основания в месте самого провала и понижением коэффициента жесткости в зоне разуплотнения вокруг провала по формуле 1 (рис. 5).

Полученные результаты осадок основания, ослабленного карстовой воронкой, представлены на рис.6. Изополю изгибающих моментов  $M_y$  в фундаментной плите без карстового провала, с карстовым провалом и с учетом разуплотнения грунта вокруг провала представлены на рис. 7.

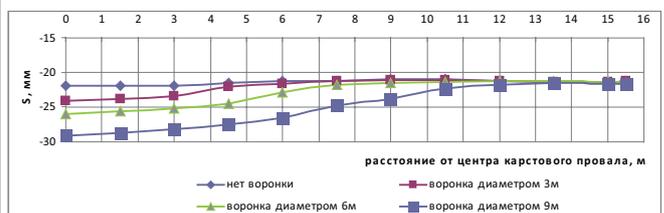
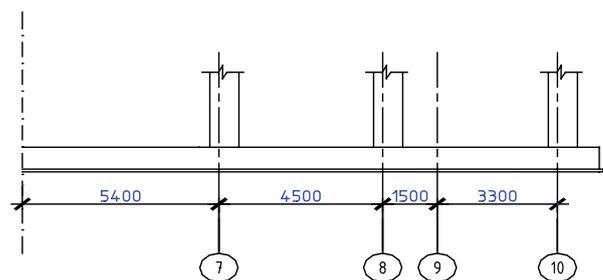


Рис.6. Осадки основания под фундаментной плитой здания с учетом образования карстовой воронки.

## ВЫВОДЫ

Численными исследованиями установлено, что при проектировании зданий на карстоопасных территориях необходимо учитывать зоны разуплотнения грунта на границах карстовой воронки. Размер этих зон с достаточным приближением можно принимать как половину диаметра карстовой воронки. Существенное влияние на изменение относительного коэффициента жесткости основания в зоне провала имеют: диаметр, глубина карстовой воронки и давление на основание, так как эти факторы являются наиболее влияющими на устойчивость грунта в окрестностях провала.

Для воронки цилиндрической формы изменение глубины карстовой воронки в диапазоне от 1 до 5 м приводит к уменьшению относительного коэффициента жесткости основания до 90%.

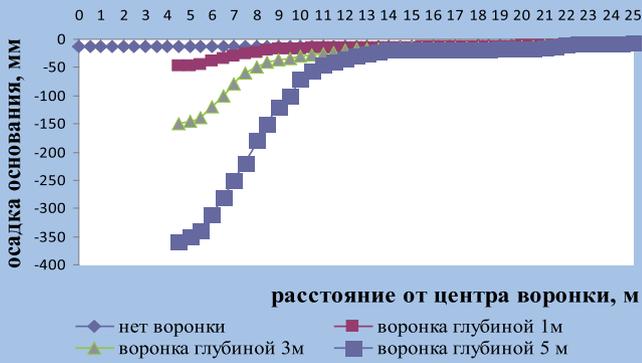
Увеличение давления на основание, ослабленное карстовой воронкой, от 100 до 300 кПа приводит к уменьшению относительного коэффициента жесткости основания на краю воронки примерно в 2 раза.

Учет влияния зоны разуплотнения основания вокруг карстовой воронки на НДС здания на плитном фундаменте показал, что изгибающие моменты в фундаментной плите увеличиваются до 12,5%.

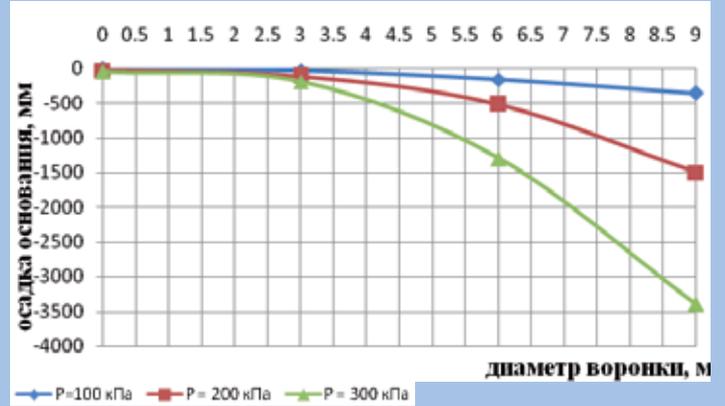
## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временные указания по проектированию зданий в районах г. Москвы с проявлением карстово-суффозионных процессов. – М.: Моспроект – 1 и др., 1979. – 20 с.
2. ЛИРА 9.4. Примеры расчета и проектирования. Приложение к пособию ЛИРА 9.2 / [Гензерский Ю.В., Куценко А.Н., Марченко Д.В. и др.]. – К.: НИИАСС, 2006. – 124 с.
3. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова, В.И. Соломин. – М.: Стройиздат, 1984. – 680 с.
4. Дыховичный Ю.А. Проектирование и строительство на территориях, подверженных карстово-суффозионным процессам в Москве / Ю.А. Дыховичный, В.А. Максименко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1979. – №3. – С. 20 – 23.
5. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти. Видання друге, перероблене і доповнене / [М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев та ін.; під ред. М.Л. Зоценко]. – Полтава, 2004. – 523 с.
6. Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий / [В.В. Толмачев, М.Г. Троицкий, В.П. Хоменко; ред. Е.А. Сорочана]. – М.: Стройиздат, 1986 – 176 с.
7. Метелюк Н.С. Методические рекомендации по проектированию фундаментов зданий и сооружений в карстовых районах / Н.С. Метелюк, А.Б. Соловьева, Л.В. Горбатова / НИИСК Горсстроя СССР.– К.: 1997.– 76 с.
8. Метелюк Н.С. Методические рекомендации по проектированию бескаркасных жилых зданий в карстовых районах / Н.С. Метелюк, А.Б. Соловьева, Л.В. Горбатова / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1986. – 51 с.
9. Рекомендации по проектированию зданий и сооружений в карстовых районах СССР / ЦНИИИС Госстроя СССР и др. – М., 1967. – 74 с.
10. Рекомендации к проектированию фундаментов на закарстованных территориях. НИИОСП им. Н.М. Герсевича (рекомендации), 1985. – 263 с.

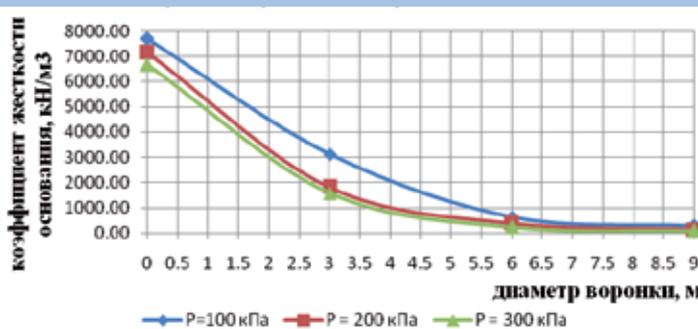
**Осадка основания у воронки  
диаметром 9 м, P=100 кПа**



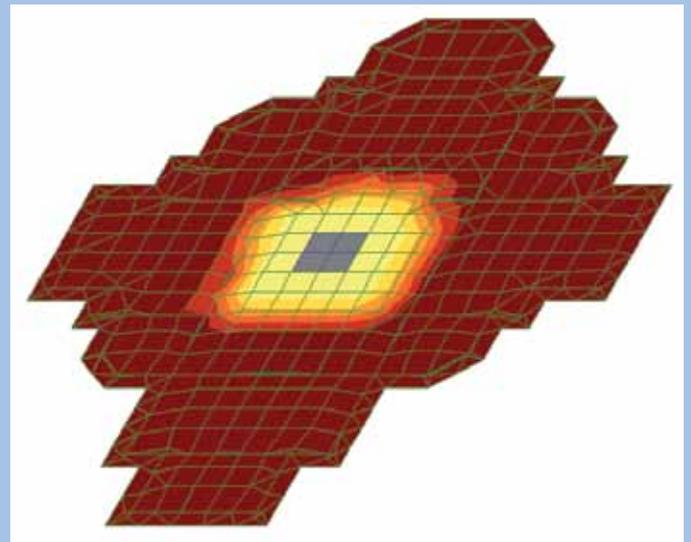
**Рис. 1.** Осадка основания, ослабленного воронкой диаметром 9 м при давлении на основание 100 кПа.



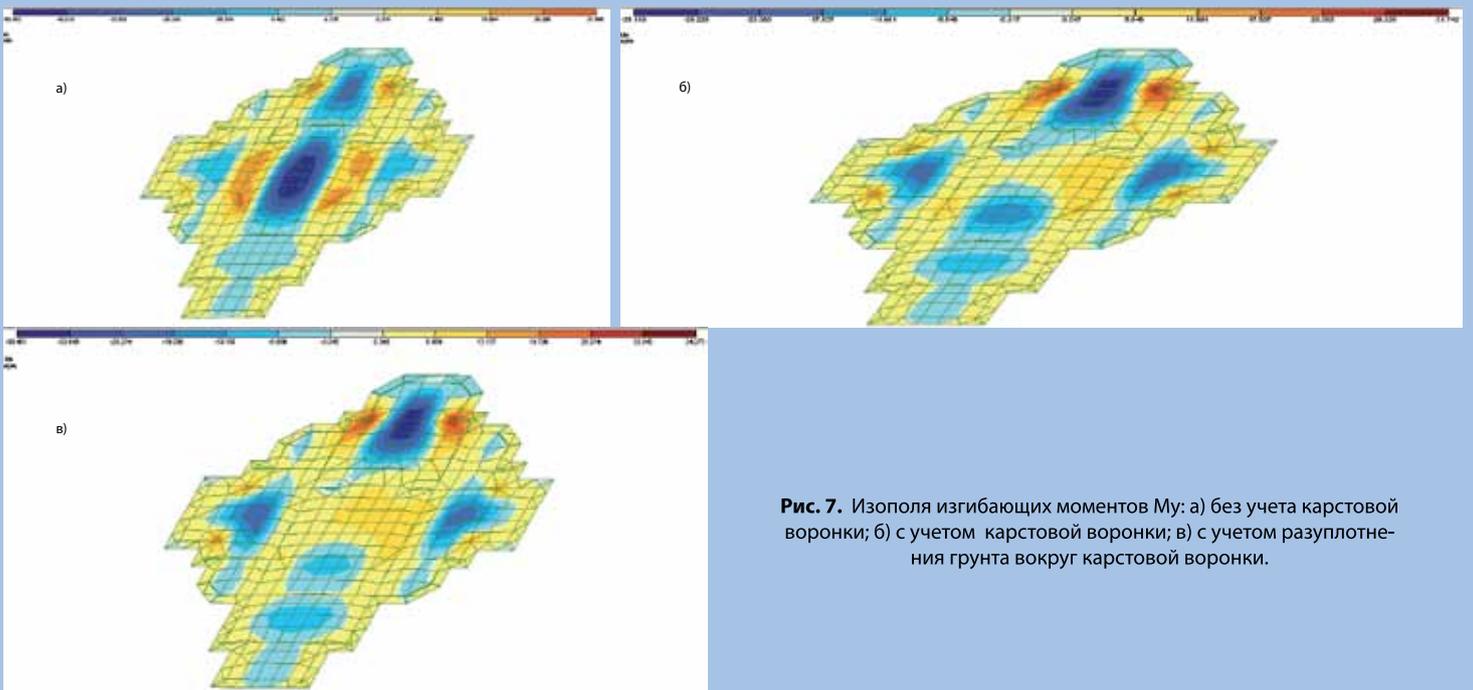
**Рис. 2.** Осадка основания у края воронки глубиной 5 м.



**Рис. 3.** Коэффициент жесткости основания у края воронки глубиной 5 м.



**Рис. 5.** Изополя переменного коэффициента жесткости основания с учетом образования карстовой воронки диаметром 3 м.



**Рис. 7.** Изополя изгибающих моментов  $M_y$ : а) без учета карстовой воронки; б) с учетом карстовой воронки; в) с учетом разуплотнения грунта вокруг карстовой воронки.