УДК 725.41:624.131.253:699.8

Н. А. Березань, к. т. н.; Ю. С. Бабак

УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОТИВОКАРСТОВОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО БАЛОЧНОГО ФУНДАМЕНТА

В статье проиллюстрированы результаты инженерных расчетов и численного имитационного моделирования работы системы «основание – фундамент – здание» для исследования эффективности использования фундаментной балки в качестве конструктивных мер противокарстовой защиты.

Ключевые слова: *противокарстовый фундамент, математическое моделирование, упруго-пластический анализ.*

Введение

Тенденция к увеличению объемов современного строительства выдвинула перед проектировщиками ряд требований по рациональному использованию территорий, в частности использованию карстовых грунтов для возведения зданий. Ведь традиционные инженерные противокарстовые конструкции не позволяют учесть все особенности геологических условий, возникающих при образовании провала. Основным назначением новой конструктивной противокарстовой защитой каркасного промышленного здания является обеспечение его нормальной эксплуатации при поражении основы карстовым провалом [2].

Карстовые процессы существенно затрудняют строительство и эксплуатацию зданий и сооружений. Украинская и зарубежная практика инженерно-строительного освоения закарстовых территорий показывает, что безопасность и экономичность инженерных решений зависят, прежде всего, от адекватного учета особенностей инженерно-геологических (в том числе техногенных) условий развития карстового процесса и его проявлений в основании сооружений.

Математическое моделирование работы фундаментной конструкции

При разработке фундаментов здания возникает необходимость экспериментального обоснования проектного варианта фундамента, что значительно увеличивает его стоимость. Именно при таких условиях рационально использовать математическое моделирование процесса работы фундаментной конструкции под нагрузкой. В работе проведено моделирование процесса осадки фундаментной балки одноэтажного каркасного сооружения под действием карста.

В ходе расчетов по имитационному моделированию процесса функционирования системы «основание – фундамент – здание», было учтено напряженно-деформированное состояние грунтов в их естественном состоянии (без проявления карстовых процессов) и выполнены расчеты по имитационному моделированию появления карстово-суффозионных процессов в основании здания. Для этого смоделировано появление провалов диаметром 9 м под центральной колонной второго ряда каркаса.

Простейшими методами моделирования карстового провала под подошвой фундамента являются использование упруго-пластической модели или модели переменного коэффициента постели, что позволяет учесть неоднородность основания и его реальное разрешение. В работе использован научно-методический анализ метода моделирования грунтовых массивов с помощью упруго-пластической модели, который применяют при

проведении исследований напряженно-деформированного состояния неоднородных и анизотропных материальных сред для обеспечения их прочности и устойчивости. Для определения НДС элементов системы «основание – фундамент – здание» выполнены расчеты с использованием ПК «ЛИРА», реализующий метод конечных элементов (КЭ). Общий вид компьютерной модели каркаса приведен на рис. 1, 2.

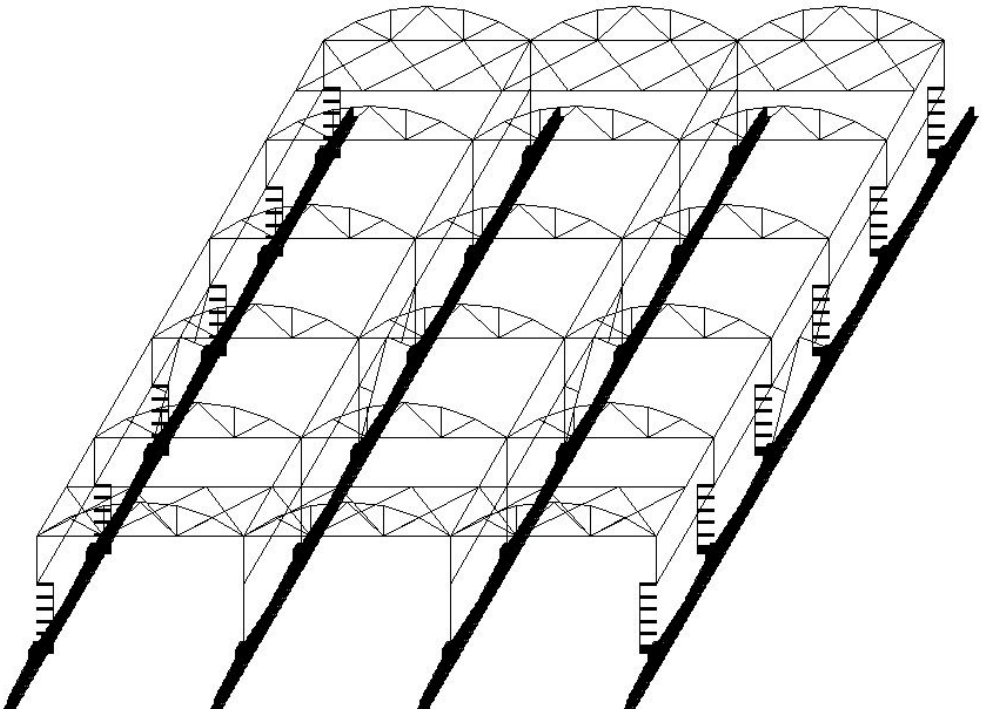

Рис. 1. Общий вид компьютерной модели каркаса здания

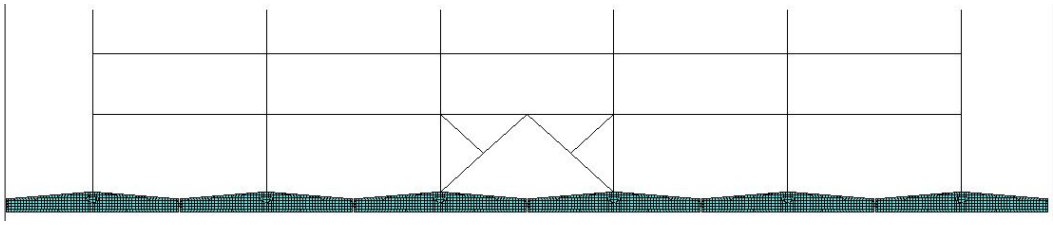

Рис. 2. Общий вид компьютерной модели каркаса здания в разрезе вдоль цифровых осей

При формировании расчетной схемы использовали следующие КЭ:

– плоские (оболочка с 6 степенями свободы в узле) с коэффициентами жесткости в вертикальном направлении – для моделирования фундаментных подушек и основы;

– стержневые (стержень с 6 степенями свободы в узле) – для моделирования конструктивных элементов каркаса;

– объемные – для моделирования фундаментных балок.

Трехмерная компьютерная модель отражает конструктивное решение объекта и содержит плоские, стержневые и объемные элементы, основные геометрические и физико-механические характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1

Жесткости элементов в расчетной схеме

№ п.п.	Название элемента	Физико-механические и геометрические параметры	Положение (назначение) в конструктивной схеме
1	Пластина	E=2.3e+006, V=0.2, H=20, Ro=2.4	Фундаментные подушки
2	Пластина	E=2.0 e+007, V=0.35, H=10, Ro=7.8	Пластины соединения балок
3	Труба-квадрат	Профиль «Молодечно» 80×80×3	Горизонтальные и вертикальные вязи
4	Брус	E=2.3e+006, Ro=2.5, B=50, H=80	Колонны
5	Брус	E=2.3e+006, Ro=2.5, B=15, H=15	Раскосы ферм
6	Брус	E=2.3e+006, Ro=2.5, B=25, H=30	Пояса ферм
7	Двутавр	E=2.3e+006, Ro=2.5, H=140	Подкрановая балка
8	Объемные КЭ	E=2.3e+006, V=0.2, Ro=2.5	Фундаментная балка

Расчетная модель основы – линейно-деформированное полупространство. В ПК «ЛИРА» расчетная модель основы представлена коэффициентами жесткости основания по плоским КЭ (конструктивным элементам), размещенным в плоскости XOY, которыми смоделированы фундаментные подушки.

Расчетные параметры грунтов основания фундаментов приняты в соответствии с инженерно-геологическими условиями реального участка строительства, находящегося в г. Кузнецовске Ровенской области.

Расчетная схема основы представлена системой взаимовлияющих расчетных участков фундаментов, что позволяет выполнить расчеты основы по двум группам предельных состояний. Коэффициенты жесткости основания в расчетных схемах определены из решения контактной задачи. Расчет выполнен итерационным способом. В нулевой итерации определяли напряженно-деформированное состояние сооружения на одинаковых коэффициентах жесткости основ для всех расчетных участков фундаментов. Далее выполняли расчет осадок и коэффициентов жесткости основания. В первой и последующих итерациях последовательно производили расчеты сооружения с учетом перечисленных коэффициентов жесткости оснований и определения коэффициентов для следующей итерации.

Полученная в результате решения контактной задачи расчетная схема была использована для моделирования появления карстовых провалов. Отказ основы в области воронки смоделирован путем исключения из расчетной модели элементов фундаментных подушек, которые попадают в пределы воронки расчетного диаметра.

Расчеты по определению коэффициентов жесткости основания выполнены для основного сообщения и сочетания нагрузок при образовании карстового провала. При моделировании карстового провала под колонной выполняли дополнительные итерации до достижения равновесного состояния системы «основание – фундамент» на участках фундаментов вблизи провала. Расчетные значения коэффициентов жесткости основания фундаментов находятся в пределах от 2450 до 4400 т/м³ при отсутствии провалов (рис. 3), от 2300 до 4400 т/м³ при моделировании провала диаметром 9 м (рис. 4).

Рис. 3. Мозаика распределения расчетных значений коэффициентов жесткости основания при нормальных условиях его эксплуатации, т/м³

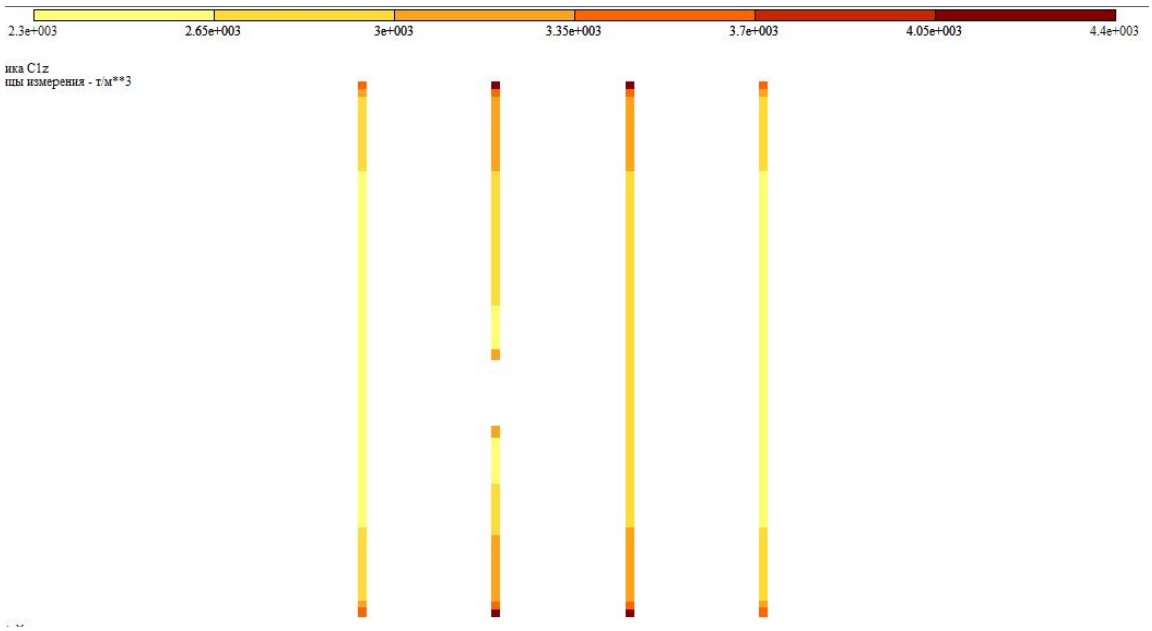

Рис. 4. Мозаика распределения расчетных значений коэффициентов жесткости основания при моделировании провала диаметром 9 м, т/м³

Расчетное сопротивление грунта основания в естественном состоянии составляет 24,5 т/м^2. Максимальное значение давления по подошве фундаментов при нормальных условиях эксплуатации основы достигает 18,3 т/м^2, не превышает расчетного сопротивления грунта основания. Согласно проведенным расчетам максимальные значения осадок достигают 6,4 мм. Максимальная относительная разность осадок фундаментов составляет 0,0003, что не превышает $(\Delta s/L)u = 0{,}002$.

При моделировании карстового провала под колонной изменяется распределение давлений по подошве фундаментных подушек на расстоянии около 12 – 13 м от края провала. Давление по подошве крайних подушек фундаментной балки, под которой смоделирован провал, увеличивается на 80% и составляет в среднем 25 т/м^2, что превышает расчетное сопротивление основания. Схема распределения значений давлений по

фундаментным подушкам до и после проявления карстового провала изображена на рис. 5.

Выводы

Максимальное значение давления по подошве фундаментов возникает на участке, где заканчивается карстовый провал, и достигает 33,2 т/м^2 (среднее значение по расчетной области фундамента – 25 т/м^2), что превышает расчетное сопротивление грунта основания.

Максимальные дополнительные значения вертикальных деформаций основания под подошвой фундаментов при проявлении карстового провала достигают 11,8 мм на том же участке, где возникает максимальное давление. Изополя значений суммарных осадок приведены на рис. 6.

Максимальная относительная разность осадок фундаментов составляет 0,003, что не превышает $(\Delta s/L)u$ = 0,002. Жесткость фундаментной плиты достаточна для обеспечения нормальной эксплуатационной работы каркаса здания при действии карстовых процессов.

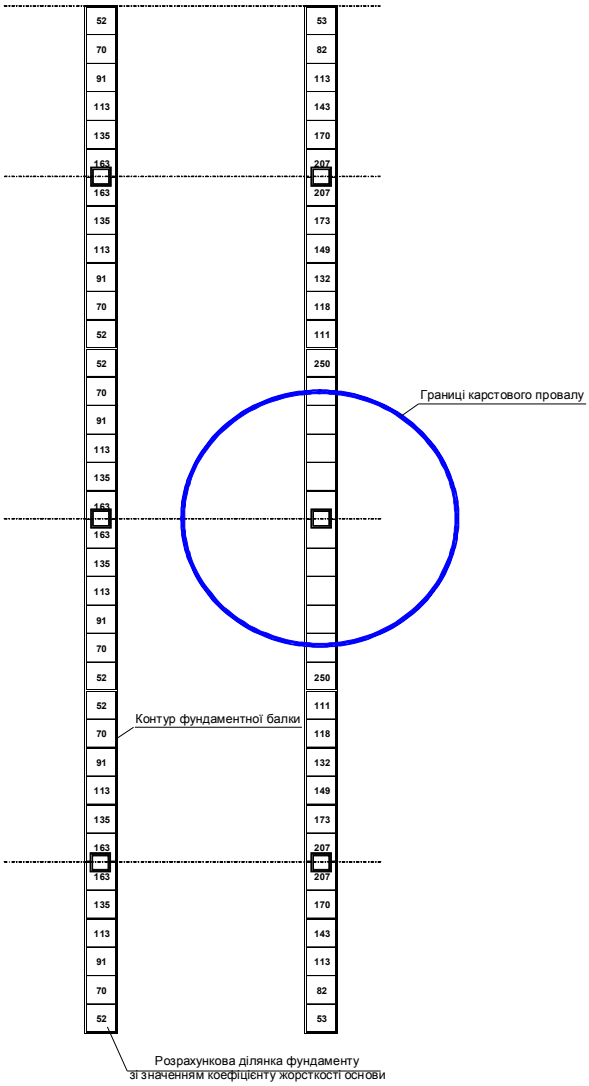

Рис. 5. Схема распределения значений давления по подошве фундаментов при нормативных нагрузках для участков фундаментов без провала (слева) и при моделировании провала (справа), т/м^3

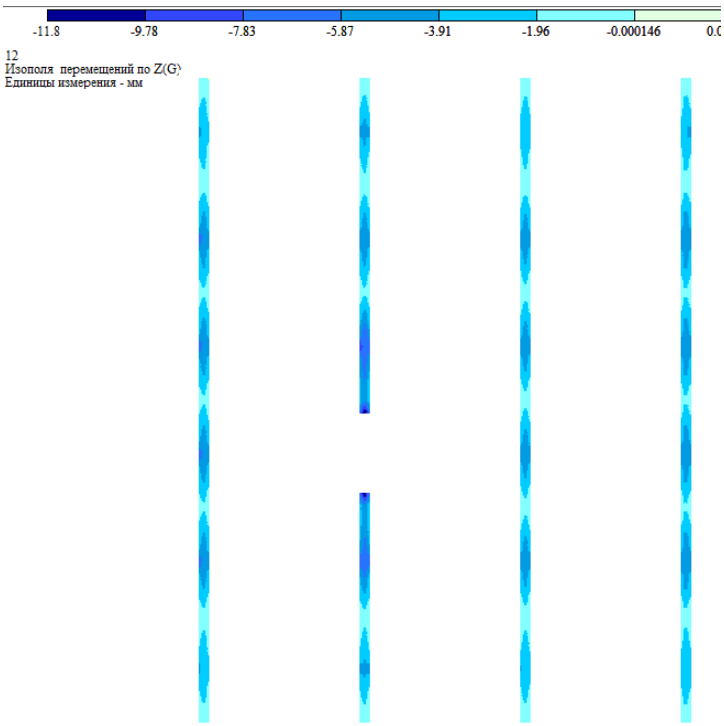

Рис. 6. Изополя распределения значений осадок основания при нормативных нагрузках при появлении карстового провала (расчет за 2-ой ГГС)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основи та фундаменти. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-2009. [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.

2. Патент України 73075 МПК[7] E 02 D 27/01. Збірний залізобетонний балочний фундамент з опорними блок-подушками / Березань М. О.; Руденко Ю. С.; заявник та патентовласник Черкаський державний технологічний університет. – № u201202369 ; заявл. 28.02.12, опубл. 10.09.12, Бюл. № 17.

3. Рекомендации по проектированию фундаментов на закарстованных территориях / НИИОСП Госстроя СССР. М., 1985. – 78 с.

4. Готман Н. З. Расчет карсто защитных фундаментов зданий / Н. З. Готман // Основания и фундаменты. – 2008. – №1. – С. 20 – 24.

Березань Николай Александрович – к. т. н., доцент кафедры промышленного и гражданского строительства.

Бабак Юлия Сергеевна – аспирант кафедры промышленного и гражданского строительства.
Черкасский государственный технологический университет.