

УДК 624.15

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД  
К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ ОСНОВАНИЯ  
РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЗДАНИЙ**

**Кичаева О.В.**

*Харьковский национальный университет строительства  
и архитектуры, г. Харьков, Украина*

В статье рассмотрены результаты вероятностной оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) основания реконструируемого здания.

The article considers the results of probabilistic estimation of stress-strain state (SSS) of the basis of the reconstructed building.

Согласно ДБН В.1.2-14-2009 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій і основ», надежностью строительного объекта называется его свойство выполнять заданные функции на протяжении заданного промежутка времени. В связи с современными представлениями, понятие «строительный объект» включает в себя всю систему «основание – фундамент – сооружение» (ОФС) и надежность всей этой системы обусловлена надежностью каждого составляющего её элемента. Согласно Н.Н. Ермолаеву и Михееву В.В. [1], надежность основания является определяющим фактором для всей системы ОФС, это согласуется и с мнением Далматова Б.И., что более 80% всех аварий зданий и сооружений связаны с недостатками

при проектировании, строительстве и эксплуатации именно оснований и фундаментов [2].

Отказом называется событие, заключающееся в переходе через одно из предельных состояний, т.е. под отказом системы ОФС следует понимать существенное уменьшение (исчерпание) несущей способности хотя бы одного из составляющих этой системы, что может привести к отказу всей системы в целом, результатом чего станет обрушение конструкций или аварийное состояние здания (сооружения).

В настоящее время, согласно требованиям нормативных документов, действующим в Украине, расчет строительных конструкций и оснований выполняются по методу предельных состояний. В соответствии с ними, воздействие на здание представляется в виде неких усредненных (зачастую максимальных) детерминированных значений. Влияние возможной изменчивости этих значений учитывается опосредованно – введением различных коэффициентов. На самом же деле, факторы, влияющие на НДС системы ОФС, являются случайными величинами: нагрузки и воздействия, прочность и деформативность строительных конструкций и оснований. Что касается зданий и сооружений, имеющих возраст в несколько десятков лет, разброс значений факторов прочности и деформативности конструкций и оснований значительно больше. Таким образом, для решения задач надежности реконструируемых зданий может быть применен вероятностный (стохастический) подход.

В рамках данного исследования был применен вероятностный подход к оценке НДС здания районной библиотеки в г. Дергачи, построенного 40 лет назад (рис. 1). Двухэтажное здание в плане имеет прямоугольную форму с размерами 25,2 x 11,2 м и высотой  $\approx$  8,0 м, высота этажа – 3,3 м. Конструктивная схема – несущие продольные кирпичные стены с опирающимися на них ж.б. плитами перекрытия. Стены выполнены в основном из силикатного кирпича, карниз и доколь – из глиняного, толщина наружных стен – 510 мм, внутренней продольной стены и стен лестничной клетки – 380 мм. Фундаменты ленточные, из бутовой кладки. Глубина заложения подошвы фундаментов – от -2,6 м до -3,6 м (рис. 2).



Рис. 1. Главный фасад здания библиотеки

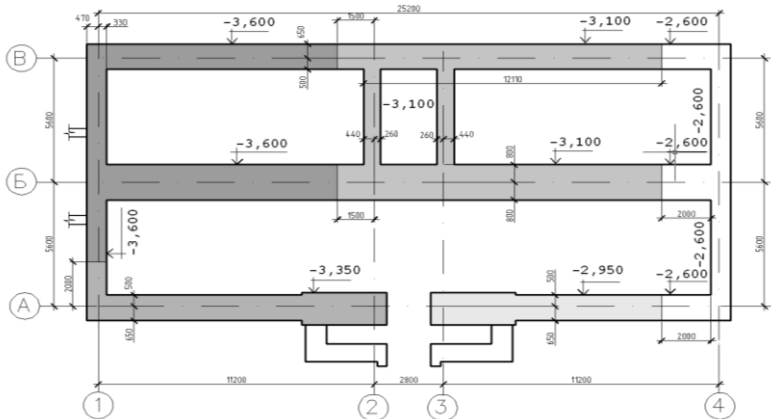


Рис. 2. Схема расположения фундаментов  
(более темным цветом показаны участки с большим заглублением фундамента)

В геоморфологическом отношении участок расположен в пределах пойменной террасы р. Лопань. Местоположение участка является неблагоприятным, т.к. в паводковые периоды УГВ может достигать поверхности земли в пойме и она затопливается. На данном участке выделены шесть инженерно-геологических элементов (табл. 1): 1. ИГЭ-1 – насыпной слой мощностью 0,6 – 1,2 м; 2. ИГЭ-2 – суглинок гумусированный, тугопластичный, залегает под ИГЭ-1 на глубине 0,6–1,8 м; 3. ИГЭ-3 – супесь твердая, вскрыта в интервале глубин 1,2–2,2 м; 4. ИГЭ-4 – супесь пластичная, вскрыта на глубинах 1,8–2,7 м; 5. ИГЭ-5 – супесь пестрая пластичная, встречена на глубине 2,2 м и залегает до разведанной глубины

2,7 м; 6. ИГЭ-6 – супесь пластичная, залегает под супесью ИГЭ-4 от глубины 2,7 м до разведанной глубины 3,7 м. Грунтовые воды встречены на глубине 2,7 м. Инженерно-геологический разрез с отметкой подошвы фундаментов показан на рис. 3.

Таблица 1

Характеристики свойств грунтов

Наименование характеристик, обозначение, единицы измерения	Инженерно-геологический элемент, мощность					
	ИГЭ-1	ИГЭ-2	ИГЭ-3	ИГЭ-4	ИГЭ-5	ИГЭ-6
Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,53	1,65	1,72	1,77	1,80	1,82
Удельное сцепление $c$ , кПа				11	12	10
Угол внутр. трения $\phi$ , град				21	22	20
Влажность природ. $w$ , д.ед.				0,14	0,12	0,16
Коэфф. пористости $e$ , д.ед.				0,75	0,82	0,69
Показ. текучести $I_L$ , д.ед.				0,29		0,43
Модуль деформации, МПа				10	8	13

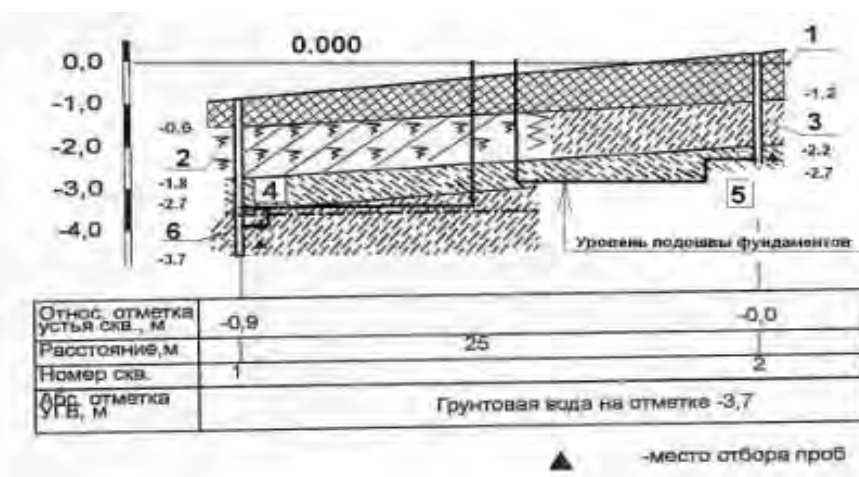


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез вдоль ряда А (оси 1-4):  
 1 – насыпные грунты; 2 – суглинок тугопластичный, гумусированный; 3 – супесь твердая, гумусированная; 4 – супесь пластичная; 5 – супесь пестрая пластичная;  
 6 – супесь зеленоватая пластичная

Кирпичная кладка стен имеет многочисленные трещины с наружной и внутренней стороны стен шириной раскрытия от 0,5 до 15 мм, в том числе и сквозные. Особенно неудовлетворительное состояние кирпичной кладки стен фасадов 1 – 4 и 4 – 1. Также были зафиксированы трещины и во внутренней несущей стене и стенах лестничной клетки, большинство из которых приурочено ко второму этажу; расстояние между плитами покрытия достигает 15 мм. Разрушение кирпичной кладки зафиксировано в местах расположения водосточных труб, а также в кладке цоколя и карниза здания.

Для выполнения численного эксперимента была рассмотрена конечно-элементная модель поперечника здания. Модель была представлена плоскими четырехугольными конечными элементами, работающими в условиях плоской деформации. При этом учитывалась работа всей системы «основание – фундамент – здание» в единой расчетной схеме. Разбивка на конечные элементы расчетной схемы показаны на рис. 4, на котором представлены также напряжения  $N_z$  всей системы (т/м<sup>2</sup>).

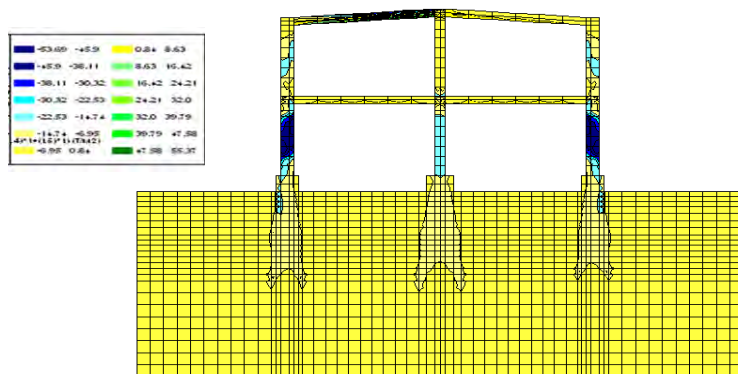


Рис. 4. Расчетная схема поперечника здания и уровень напряжений в элементах

Жесткостные параметры и нагрузки были заданы в соответствии с результатами обследования и нормами проектирования, при этом изменялись два параметра: 1) модуль деформации грунта  $E = 8$  МПа, коэффициент вариации  $\nu = 15$  % и составил 5,2...10,8 МПа; 2) модуль упругости кладки для силикатного кирпича стен здания. Значения снеговой, ветровой и временной нагру-

зок приняты детерминированными, в соответствии с нормами. Для построения гистограммы случайной величины (СВ) модуля деформации грунта основания (Е) использовался метод статистических испытаний Монте-Карло. По [1], любой закон распределения может быть разложен в ряд по функции нормального распределения и ее производных, если для разлагаемого закона найдены математическое ожидание, дисперсия и др. характеристики распределения. В связи с этим принято, что значения величины Е распределены по нормальному закону, определено значение математического ожидания  $m_E$  и и стандарта  $\sigma_E$ , выполнено 2500 статистических испытаний (рис. 5, 6).

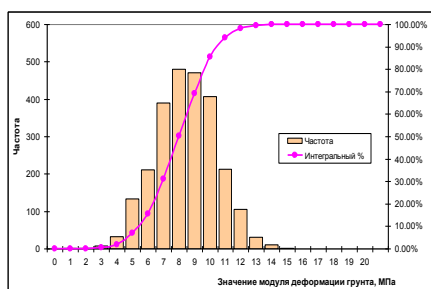


Рис. 5. Гистограмма распределения СВ модуля деформации грунта основания

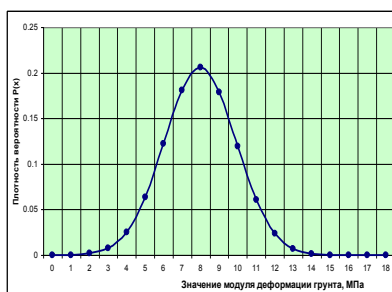


Рис. 6. Кривая функции плотности вероятности нормального распределения для Е

Для определения уровня надежности Н.Н. Ермолаевым и В.В. Михеевым [1] предложено следующее выражение:

$$H = \frac{1}{2} \left[ 1 + \Phi_z \left( \frac{m_Y}{\sigma_Y} \right) \right]; \quad (1)$$

здесь  $\Phi_z(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{1}{2}x^2} dx$  – интеграл вероятностей (функция

Лапласа), определяемый по специальным таблицам;

$z$  – характеристика безопасности, равная

$$z = \frac{m_Y}{\sigma_Y} = \frac{m_{Y_1} - m_{Y_2}}{\sqrt{\sigma_{Y_1}^2 + \sigma_{Y_2}^2}}, \quad (2)$$

где  $Y_1$  – «внутренний» фактор системы ОФС, характеризующий в данном случае относительной разности осадок ( $\Delta S/L$ ), которая для

данного вида зданий была принята 0,002;  $Y_2$  – «внешний» фактор условий работы системы, характеризующий в данном случае уровень неравномерной осадки здания, полученной путем численного расчета по МКЭ (рис. 7).

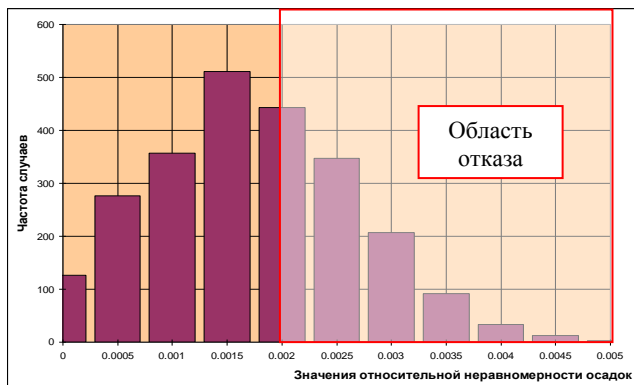


Рис. 7. Распределение СВ неравномерной осадки фундаментов здания библиотеки по результатам численного расчета МКЭ

Здесь сравнивались значения осадок в поперечных сечениях здания, отстоящих друг от друга на 11,4 м; как было сказано выше, две части здания (в осях 1 – 2 и 3 – 4) отличаются и по условиям заложения фундаментов, и по свойствам грунтов основания. По результатам моделирования статистических данных определены по формулам (1) и (2) надежность –  $H = 0,5735$  и вероятность отказа по критерию неравномерных осадок  $H = 1 - 0,5735 = 0,4265$ . В данном случае надежность является низкой, а вероятность отказа – высокой, т.е. необходимы конструктивные мероприятия, уменьшающие гибкость здания: устройство монолитного пояса, увеличение жесткости здания путем устройства обойм в простенках. После усиления и надстройки был выполнен расчет уже 3-этажного здания (рис. 8) и определена его надежность –  $H = 0,7224$  и вероятность отказа по критерию неравномерных осадок  $H = 1 - 0,7224 = 0,2776$ , т.е. после усиления и надстройки надежность увеличилась, однако ее показатель еще недостаточен для нормируемого уровня. На рис. 9 видно, что площадь области отказа в гистограмме рис. 9 меньше, чем в гистограмме на рис. 7.

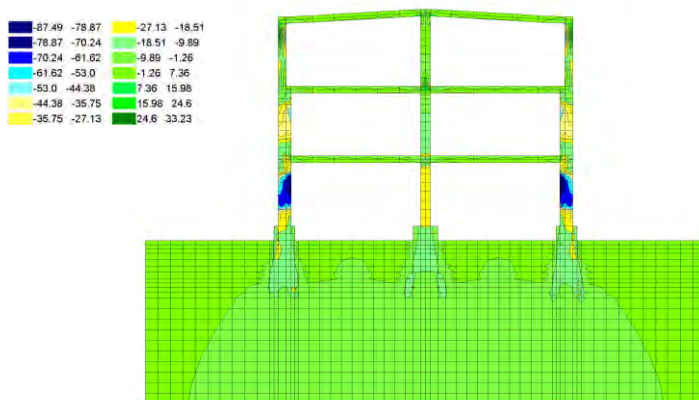


Рис. 8. Расчетная схема поперечника здания и уровень напряжений  $N_z$  ( $\text{т/м}^2$ ) в элементах здания, усиленного монолитным поясом, обоями в простенках и с надстроенным третьим этажом

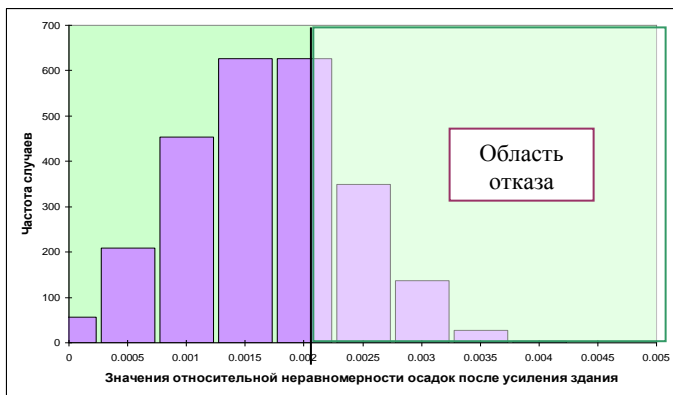


Рис. 9. Распределение СВ неравномерной осадки фундаментов здания библиотеки по результатам численного расчета МКЭ после усиления и надстройки

## Выводы

1. Для вероятностных расчетов оснований реконструируемых зданий возможно использовать статистические данные СВ свойств грунтов (в частности, модуль деформации  $E$ ).
2. При определении уровня надежности одной из частей системы можно воспользоваться методом статистических испытаний Монте-Карло.



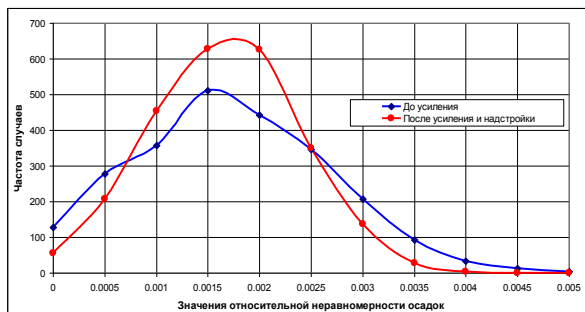


Рис. 10. Распределение СВ неравномерной осадки фундаментов здания библиотеки по результатам численного расчета МКЭ до и после усиления и надстройки

3. Вероятностный расчет более информативен и дает не такой однозначный результат, чем детерминированный, т.к. в данном случае последний показал, что условие по неравномерности осадок выполняется (значение  $\Delta S/L$  составило 0,00132, что меньше чем предельно допустимого 0,002).

4. Зная нормативный уровень надежности для конструкций и сооружений, можно выбрать такое техническое решение усиления системы ОФС, которое бы обеспечивало этот уровень надежности.

## Литература

1. Ермолаев, Н.Н. Надежность оснований сооружений / Н.Н. Ермолаев, В.В. Михеев. – Л. : Стройиздат, 1976. – 152 с.
2. Далматов, Б.И. Основания и фундаменты. Ч. 2. Основы геотехники : учеб.для вузов / Б.И. Далматов. – СПб. : АСВ, 2002. – 392 с.