

**К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА УРОВЕНЬ НАДЕЖНОСТИ
СИСТЕМЫ «ОБЪЕКТ-ФУНДАМЕНТ-ОСНОВАНИЕ»**

Шведовский П.В., Пойта П.С., Клебанюк Д.Н.

Выбор оптимальных конструктивно-технологических решений (КТР), при проектировании фундаментных конструкций под многоэтажные и высотные здания, является сложной технической задачей, требующей реализации принципов комплексности и системности подходов к оценке возможных конкурентоспособных вариантов [1, 2].

Традиционные методы решения однокритериальных задач, реализующие оптимизацию отдельных параметров, при введении ограничений на все другие, а также принятие альтернативных КТР только по экономическим показателям не всегда правомерно, так как стоимостная оценка нелинейна с точки зрения уровня надежности технического решения в системе «объект-фундамент-основание».

Используемая на практике многофакторная модель [3] –

$$k_{ki} = f_{ki}(k_{a1}, k_{a2}, \dots, k_{aj}, \dots, k_{an}), \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где k_{aj}, k_{ki} – показатели, характеризующие свойства (особенности) КТР и взаимосвязи между ними; позволяет в полной мере учесть неопределенность множества объективных и субъективных факторов и условий и особенно неоднородность и неопределенность инженерно-геологических условий строительной площадки.

В соответствии со сложившейся практикой уровень надежности системы «объект-фундамент-основание» определяется взаимосвязью меры надежности (H) и вероятностью наступления ни одного из возможных предельных состояний, в заданных условиях в течение всего срока эксплуатации (P_n), т.е. $H = P_n$ [4].

Отсюда, расчет уровня надежности этой системы можно свести к неравенствам:

$$\left. \begin{aligned} Y &\geq Y_2; \\ Y &= Y_1 - Y_2 \geq 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где Y_1 и Y_2 – соответственно факторы системы – внутренний, определяющий несущую способность (предельно допустимые деформации) и внешний – характеризующий действующие нагрузки при их наиболее невыгодном сочетании; Y – совокупный фактор являющийся функцией случайных аргументов численных характеристик Y_1 и Y_2 . Это позволяет определение уровня надежности (H) осуществлять через плотность $f_y(y)$ и функцию распределения $F_y(y)$ случайной величины Y при $Y = y = 0$.

При известности интегральной функции распределения $F_y(y)$ совокупного случайного фактора Y , с учётом соответствующих преобразований [5], уровень надежности системы может быть описан уравнением:

$$H = 1 - \int_0^{y=0} f_y(y) \cdot dy. \quad (3)$$

Используя для распределения функций $f_y(y)$ и $F_y(y)$ ряды Шарлье имеем:

$$H = \frac{1}{2} \left\{ \left[1 + \Phi_z \cdot \left(\frac{m_y}{\sigma_y} \right) \right] + \frac{1}{6!} \cdot \frac{\mu_{3y}}{\sigma_y^3} \cdot \varphi^{(2)} \cdot \left(\frac{m_y}{\sigma_y} \right) + \frac{1}{24} \left(\frac{\mu_{4y}}{\sigma_y^4} - 3 \right) \cdot \varphi_0^{(3)} \cdot \left(\frac{1}{y} \right) \right\}, \quad (4)$$

$$\left[m_y = m_{y1} - m_{y2}; \quad \mu_{3y} = \mu_{y1} - \mu_{y2}; \quad \mu_{4y} = \mu_{y1} + \mu_{y2} + 6D_{y1} \cdot D_{y2} \right]$$

где $m_{y1}, m_{y2}, \sigma_{y1}, \sigma_{y2}, D_{y1}, D_{y2}, \mu_{3y1}, \mu_{3y2}, \mu_{4y1}, \mu_{4y2}$ – соответственно математические ожидания, среднеквадратические отклонение дисперсии и центральные моменты третьего и четвертого

порядка факторов V_1 и V_2 как случайных величин; Φ_Z – функция Лапласа (интеграл вероятностей); $\varphi_0^{(2)}$, $\varphi_0^{(3)}$ – вторая и третья производные для нормированной случайной величины $Z = \frac{y - m_y}{\sigma_y}$, соответствующей случайной величине Y .

Применяемый в практике коэффициент надежности (запаса) k_i в работе любого грунтового основания, при расчётах по любому предельному состоянию, определяются из соотношения

$$k_u = \frac{m_{y1}}{m_{y2}} = \frac{m_y}{m_{y2}} - 1, \quad (5)$$

что позволяет для расчетного уровня надежности системы «объект-фундамент-основание» использовать следующую зависимость –

$$H = \frac{1}{2} [1 + \Phi(K)] + \frac{1}{6} \cdot \frac{M_{3y}}{\sigma_y^3} \cdot \varphi_0^2 \cdot K, \quad (6)$$

где

$$K = \left(\frac{k_u - 1}{\sqrt{V_{y1}^2 \cdot k_u^2 + V_{y2}^2}} \right); \quad k_u = \frac{1 - \sqrt{1 - (Z \cdot V_{y2}^2 - 1) \cdot (Z^2 \cdot V_{y1}^2 - 1)}}{1 - Z^2 \cdot V_{y1}^2}, \quad (7)$$

или

$$k_u = \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_{y2}^2}{V_y^2} - 1 \right) \cdot \left(\frac{V_{y2}^2}{V_y^2} - 1 \right)} \right] \cdot \left(1 - \frac{V_{y1}^2}{V_{y2}^2} \right)^{-1}; \quad (8)$$

V_{y1} и V_{y2} – коэффициенты вариации величин Y_1 и Y_2 и $v_{y1} = \frac{\sigma_{y1}}{m_{y1}}$; $v_{y2} = \frac{\sigma_{y2}}{m_{y2}}$.

Следует отметить, что для нормального закона распределения совокупного фактора (Y) уровень надежности (H) определяется только первым членом правой части.

На строительной площадке (микрорайон «Южный-6», г. Брест) были проведены экспериментальные исследования по влиянию неоднородности грунтовых условий на уровень эксплуатационной надежности системы «объект-фундамент-основание» для 18-этажного жилого дома.

Используя графики изменения предельного сопротивления грунтов естественного генезиса и техногенных грунтов (рисунок 1), были проведены расчеты уровня эксплуатационной надежности системы для исходных данных в диапазоне $\sigma_{y1} = 50 - 200$ кН, $m_{y2} = 700 - 900$ кН, $\sigma_{y2} = 100 - 300$ кН и построен график зависимости

$H = f\left(z - \frac{1}{v_y}\right)$ для различных вариаций v_{y1} и v_{y2} (рисунок 2).

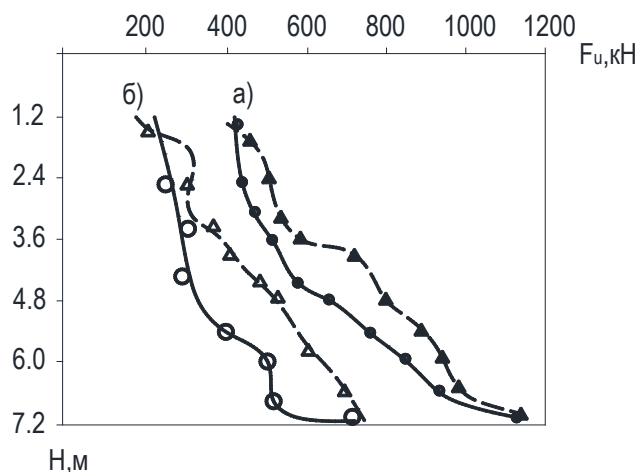


Рисунок 1– Графики изменения предельного сопротивления грунтов естественного генезиса (а) и техногенных грунтов (б)

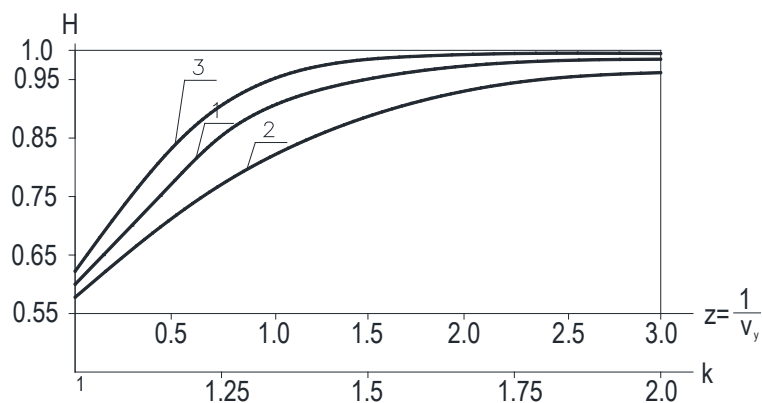


Рисунок 2– График зависимости $H = f(z, k_n)$ при $v_{y2} = 0,1$ и $v_{y1} = 0,25$ (1); $v_{y2} = 0,15$ и $v_{y1} = 0,25$ (2); $v_{y2} = 0,1$ и $v_{y1} = 0,15$ (3)

Анализ графиков показывает, что повышения Z , а следовательно и уровня эксплуатационной надежности (H) системы, наиболее эффективно достигать за счёт снижения коэффициента вариации v_{y1} , «внутреннего» фактора, т.е. обеспечения однородности основания. При этом следует отметить, что даже незначительное повышение уровня эксплуатационной надёжности системы требует существенного увеличения коэффициента надёжности здания и соответственно, некоторого ухудшения технико-экономических показателей принимаемых КТР.

В действующих нормативных документах по проектированию нулевых циклов высотных и многоэтажных зданий не содержится конкретных рекомендаций по оценке и учету как локальной неоднородности инженерно-геологических условий строительных площадок и деформационно-прочностных характеристик грунтов, так и динамики их изменений в процессе строительства и в период стабилизации.

Учитывая, что локальная изменчивость подчиняется нормальному или логнормальному распределению, т.е. является случайной стохастической величиной, то оценку отклонения характеристик строительных свойств грунтов от нормативных (средних) можно выразить через дисперсию значений, рассматривая их как функцию положения и времени комплекса факторов для стохастических стационарных в широком смысле процессов в любой точке строительной площадки [6, 7].

Расчет уровня эксплуатационной надежности анализируемой системы по экспериментальным данным, показал, что он не превышает $H_p=0,682$ $sk_n=1,25$. Для обеспечения уровня $H_p=0,9$, при всех равных прочих условиях, $\frac{1}{v_y}$ должно быть не менее 1,5 (рисунок 2).

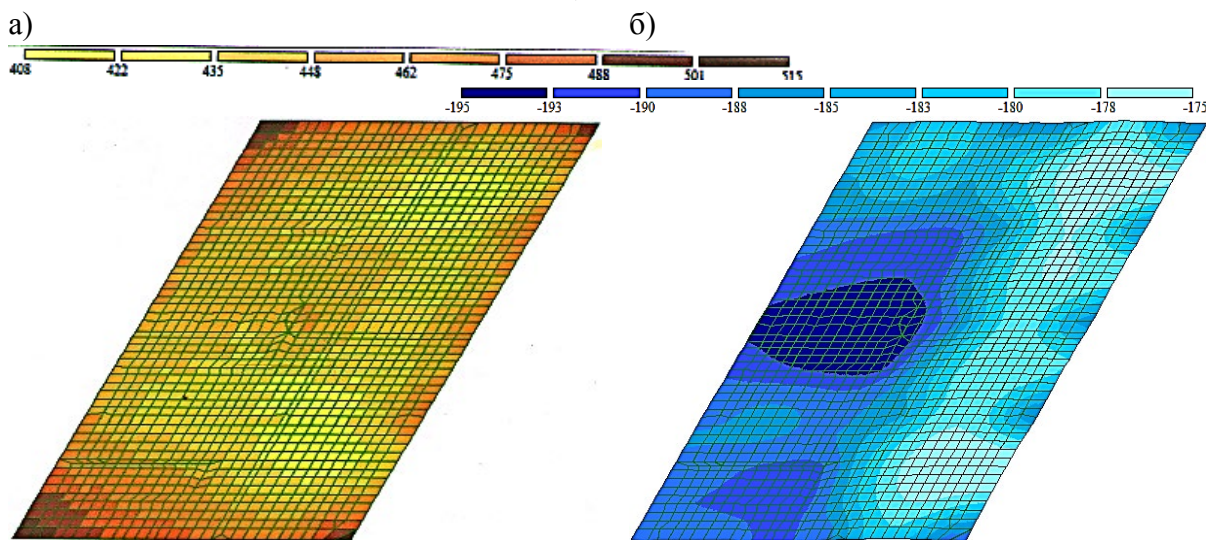


Рисунок 3 – Мозаика давлений по подошве фундаментной плиты (а) и изополя осадок (б) для 18- ти этажного здания на естественном основании

Все это позволяет отметить, что повышение уровня эксплуатационной надежности системы «объект-фундамент-основание» наиболее эффективно обеспечиваем за счет снижения коэффициента вариации внутреннего фактора системы, определяющего несущую способность (предельно допустимую деформацию), т.е. упрочнением грунтового основания, обеспечивая однородность инженерно-геологических условий.

Результаты экспериментальных исследований с анализом мозаики давлений по подошве фундаментной плиты (рис. 3а и 4а) и изополя осадок (рис. 3б и 4б) подтверждают эти предположения.

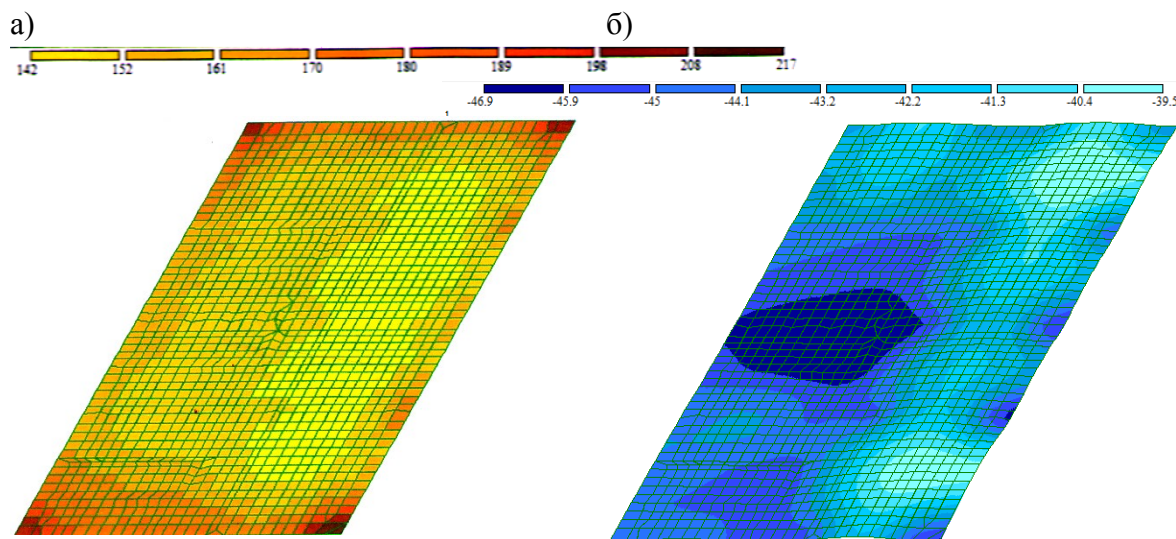


Рисунок 4 – Мозаика давлений по подошве фундаментной плиты (а) и изополя осадок (б) для 18-ти этажного здания на основании с инженерной подготовкой, обеспечивающей однородность инженерно-геологических условий

Существенная технологическая сложность или экономическая целесообразность обеспечения однородности грунтового основания определяет необходимость коррекции значения предельного сопротивления путем введения в расчеты поправочных коэффициентов, учитывающих как неоднородность грунтовых условий, так и особенности формирования напряженно-деформированного состояния грунтового массива в целом.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шведовский, П.В. Выбор оптимальных решений в строительстве / П.В. Шведовский, А.Т. Мальцев // М. - Ярославль, ЦНИИЭПсельстрой. 1990. 309 с.
2. Завадкас, Э.К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве / Э.К. Завадкас // Вильнюс, Моклас, 1987. 209 с.
3. Миркин, Б.Г. Решение проблем группового выбора / Б.Г. Миркин // М., Наука, 1998. 316 с.
4. Шейнин, В.И. Определение статистических характеристик осадок системы фундаментов на неоднородном основании / В.И. Шейнин, В.И. Тихонов, В.В. Михеев // Ж. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1987, № 4. – С. 9-16.
5. Мулюков, Э.И. Вероятностный отказ и прогноз отказов оснований и фундаментов / Э.И.Мулюков // Ж. Основания, фундаменты и механика грунтов. М; 1993, № 4. – С. 15-27.
6. Бондарик, Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород / Г.К.Бондарик // М., Недра, 1971. – 198 с.
7. Михеев, В.Б. Статистически вероятностный подход к оценке свойств грунтового массива / В.Б.Михеев, И.В.Шитова // Ж. «Основания, фундаменты и подземные сооружения», вып. 71, М., Стройиздат, 1980. – С. 16-21.