

*к.т.н. Емец Е.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ
НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПК “ЛИРА”**

Наведені результати статичних розрахунків безкаркасної багатоповерхової будівлі на деформованій основі в нелінійній постановці з урахуванням перемінної жорсткості основ та нерівномірних переміщень основи, не пов'язаних з впливом будівлі.

***Ключові слова:** будівля на деформованій основі, перемінна жорсткість основ, нерівномірні переміщення основи, коефіцієнт жорсткості основи.*

Приведены результаты статических расчетов бескаркасного многоэтажного здания на деформируемом основании в нелинейной постановке с учетом переменной жесткости основания и неравномерных перемещений основания, не связанных с влиянием сооружения.

***Ключевые слова:** здание на деформируемом основании, переменная жесткость основания, неравномерные перемещения основания, коэффициент жесткости основания.*

Постановка проблемы. Строительство зданий и сооружений на деформируемом основании имеет очень широкое распространение. Эксплуатационная пригодность сооружений на таком основании в большей степени зависит от достоверности расчетов и учета реальных свойств грунтов и конструкционных материалов.

Следует отметить, что геологическое строение грунтов строительной площадки должно рассматриваться совместно с протекающими в данных природных условиях физико-геологическими процессами, которые могут оказать влияние на прочность и устойчивость возводимых сооружений. Например, основание может иметь простое строение, но слагающие его грунты при изменении своего физического состояния (замачивание) дают дополнительные деформации, опасные для прочности и устойчивости сооружения. Поэтому для обеспечения надежности

и экономичности строительства необходимо серьезное внимание уделять рассмотрению совместной работы основания и сооружения.

В сложных инженерно-геологических условиях изменение жесткости и смещения основания проявляются в период эксплуатации сооружения, что приводит к перераспределению контактных напряжений вплоть до отрыва грунта от подошвы фундаментов. При этом внешняя нагрузка остается неизменной и эпюры контактных напряжений на любой стадии деформирования основания не меняются.

Вопросами расчета зданий в сложных инженерно-геологических условиях занимались многие отечественные и зарубежные исследователи. Принципиальные положения существующих методов расчета приведены в работах В.И. Далматова, В.К. Егупова, С.Н. Клепикова, А.А. Козачевского, А.А. Петракова, П.П. Шагина и др.

Традиционные линейно-упругие методы расчета сооружений создают представление о резко преуменьшенном допустимом значении неравномерных деформаций сооружения и основания, не согласующемся с фактическими данными. Поэтому, применяя теоретический подход, следует правильно выбрать расчетные схемы сооружений и основания, а также метод расчета.

Такие задачи расчета сооружений на прочность и деформативность заставляют искать пути теоретического описания взаимодействия сооружений с основанием с целью оценки напряженно-деформированного состояния системы “основание – фундамент – верхнее строение” во всем диапазоне нагрузок воздействий, что дает возможность более полно использовать свойства грунтов и конструкций и достоверно выполнить инженерные расчеты.

Цели исследования сводятся к выбору расчетной модели основания; расчетной модели многоэтажного бескаркасного здания, взаимодействующего с основанием; метода решения контактных задач, в результате которого определяются усилия взаимодействия здания с деформируемым основанием.

Задачи:

- определение напряженно-деформированного состояния конструкций здания при различных высоте (h_y), и длине (l_y) уступов;
- определение предельных размеров уступов, которые может выдержать здание до момента исчерпания несущей способности конструкций или появления недопустимых по условиям эксплуатации деформаций.

Исходные данные. Объект исследования – 9-этажное бескаркасное здание серии 179 имеет прямоугольную в плане форму с симметричным расположением стен (рисунок 1). Ленточные фундаменты (ФЛ 20-16, ФЛ 14-16) выполнены прерывистыми.

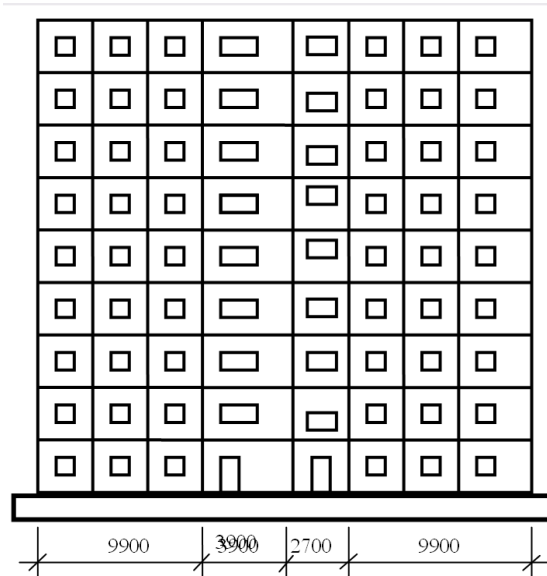


Рисунок 1 – Конструктивное решение продольной стены здания

Результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния объекта приняты по данным натурных испытаний, проводимых НИИСК, ЗНИИЭП (г. Киев).

Грунтовое основание – суглинок; число пластичности $I_p = 0,17$; удельный вес $\gamma = 18,7 \text{ кН/м}^3$; степень влажности $S_r = 0,72$; коэффициент пористости $e = 0,75$; удельное сцепление $c = 43 \text{ кПа}$; модуль деформации $E = 19 \text{ МПа}$.

Исходные данные для расчетов, характеризующих нелинейно-неупругую деформируемость поверхности основания: коэффициент жесткости $K = 350/0,024 = 14580 \text{ кН/м}^2$; $p = 350 \text{ кПа}$; $s = 0,024 \text{ м}$; предельное давление под фундаментными плитами $p_u = 1100 \text{ кН/м}^2$; упругая часть осадки ($s_y = 0,008 \text{ м}$).

График зависимости “ $p - s$ ” для суглинка принят по результатам натурных испытаний [1] (рисунок 2).

Основная часть. Моделирование системы “основание – фундамент – верхнее строение” и решение контактной задачи выполнялось с использованием ПК “ЛИРА”, в основу которого положен МКЭ.

Плоская расчетная модель многоэтажного бескаркасного здания моделируется плоскими системами, состоящими из пластинок, соединенных между собой связями.

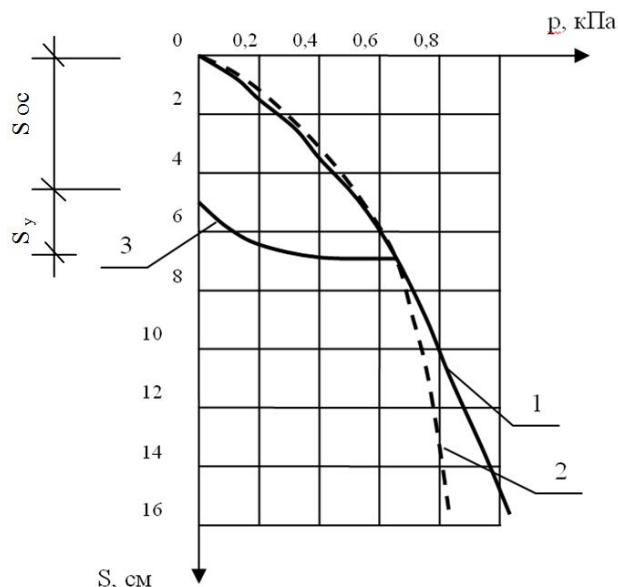


Рисунок 2 - График зависимости “ $p - s$ ” для суглинка
 1- по результатам натуральных испытаний [1]; 2 – расчетная кривая по [2];
 3 – кривая разгрузки; s_y - упругая осадка; s_{oc} – остаточная осадка.

Для основания могут применяться расчетные схемы в виде линейно и нелинейно деформируемого полупространства, слоя, коэффициента жесткости. В данной задаче при оценке напряженно-деформированного состояния конструкций здания от деформационных воздействий основания целесообразно использовать расчетную схему переменного коэффициента жесткости как наиболее простую и дающую вполне достаточную сходимость [1].

При решении контактной задачи коэффициент (функции) жесткости основания (K) для заданной нагрузки в рассматриваемый момент времени (рисунок 2) определяется исходя из действительных механических свойств грунтов и может быть представлен зависимостью

$$K = \frac{P}{s}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, приложенная к поверхности основания;
 s – перемещение поверхности основания (осадка основания).

При расчете сооружений непрерывное основание моделируется совокупностью несвязанных друг с другом опорных стержней (2), коэффициенты жесткости которых равны жесткостям заменяемых участков непрерывного основания (рисунок 3). Деформации основания, несвязанные с нагрузкой от сооружения и проявляющиеся в виде вертикальных и горизонтальных перемещений поверхности основания (l_y , h_y), моделировались смещениями опорных стержней (2).

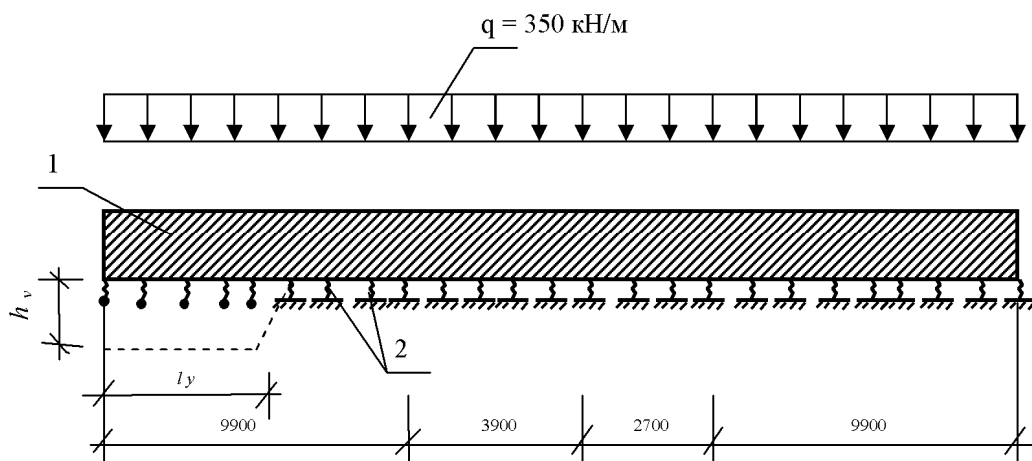


Рисунок 3 - Расчетная схема “фундамент под продольную стену здания – грунтовое основание”

1 – балка, моделирующая работу ленточного фундамента под продольной стеной здания; 2 – двухузловой конечный элемент, моделирующий работу грунтового основания.

На первом этапе расчета определяли вертикальные перемещения и реактивные давления основания с учетом собственного веса конструкций здания (простое нагружение).

Затем, при указанных исходных данных выполняли расчеты балки, моделирующей работу фундамента, на воздействие ступенчатых оседаний основания (уступов) методом суммарных нагружений с итерационным уточнением жесткостей основания согласно зависимости “ $p - s$ ” (рисунок 2) и по формуле (1) на каждом уровне нагружения. Уступы создавались последовательно (сложное нагружение).

Значения перемещений основания, полученные в результате расчета системы “фундамент - основание”, являлись исходными данными для составления расчетной схемы “фундамент – наземное строение” и для определения деформаций в конструкциях наземной части здания.

Результаты расчета. На рисунке 4 приведены эпюры осадок фундамента и реактивных давлений основания при различных значениях длины уступа (l_y) и $h_y = 0,132$ м.

Результаты расчета системы “фундамент - основание” показали, что при $l_y = 3,5$ м на левом конце балки происходит отрыв основания от балки с подъемом поверхности грунта на 0,01 м вследствие его полной разгрузки от ранее действовавшего давления. При этом на правом конце балки отсутствует нарушение контакта основания с балкой.

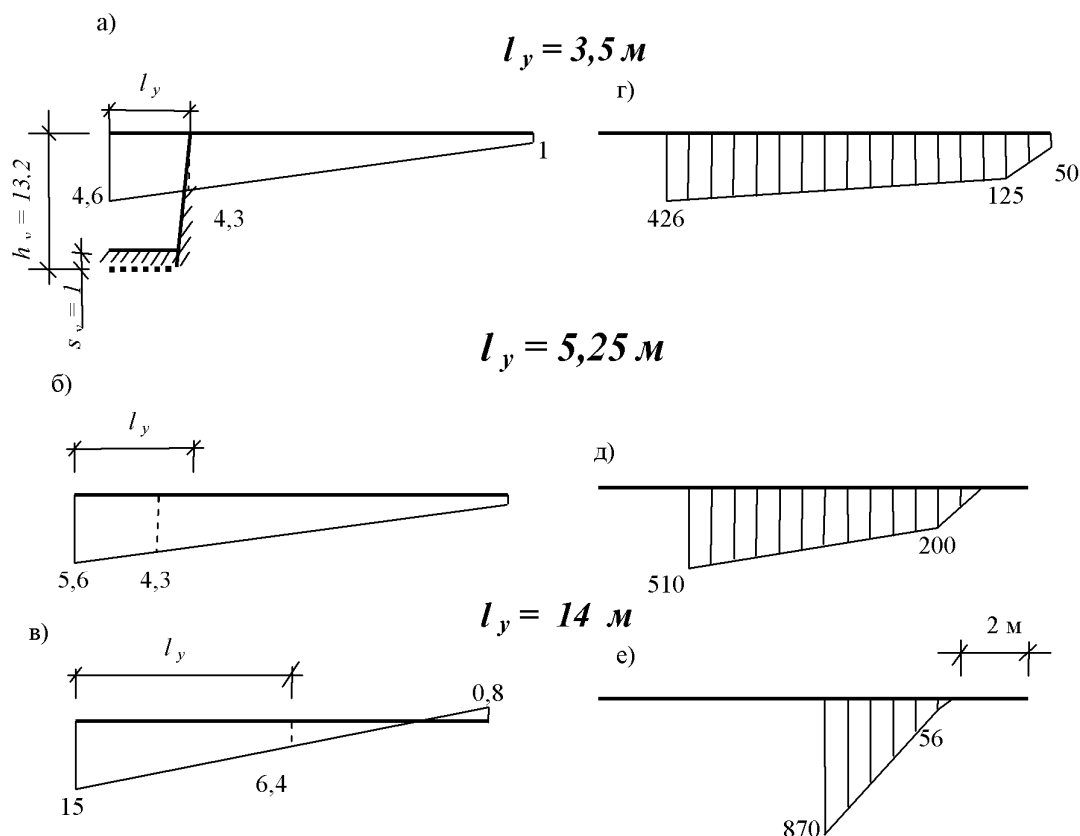


Рисунок 4 – Эпюры осадок фундамента (а – в), см и реактивных давлений (г – е), кПа ступенчато оседающего основания

Расчетная эпюра реактивных давлений основания полностью соответствует совместным деформациям основания и балки.

При $l_y = 5,25$ м на левом конце балки возникает небольшое нарушение ее контакта с основанием, т. е. происходит отрыв основания от балки с подъемом грунта. Полная разгрузка основания вызывает его подъем на 0,015 м, что нашло отражение в выполненном нелинейном расчете. При этом коэффициент жесткости основания уточнялся по кривой разгрузки (рисунок 2).

На левом конце балки происходит увеличение зоны нарушения контакта основания с балкой.

Дальнейшее увеличение длины уступа (l_y) ведет к развитию зоны нарушения контакта фундамента с основанием и, как следствие, к уменьшению несущей способности наземных конструкций здания. В результате расчета установлено, что при $l_y = 14$ м и $h_y = 0,132$ м происходит отрыв основания от балки и на правом конце на высоту 0,8 см (рисунок 4 в,е). При этом в ряде стеновых панелей 9-этажного здания возникают деформации, значительно превышающие предельно допустимые значения, т. е. $\varepsilon \leq [\varepsilon_u]$.

Вывод

Расчетная схема деформируемого основания, характеризуемого переменным коэффициентом жесткости, и результаты решения нелинейно-неупругой контактной задачи с использованием ПК “ЛИРА” достоверно отражает взаимодействие конструкций с основанием при простом и сложном нагружении.

Сопоставление расчетных значений перемещений основания под фундаментами и реактивных давлений основания с экспериментальными показывает хорошую согласованность. Расхождения между экспериментальными и расчетными значениями не превышают 7 %.

Библиографический список

Клепков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании / С.Н. Клепков - К.:НИИСК, 1996. – 204 с.

Мальшев М.В. Прочность грунтов и устойчивость оснований / М.В. Мальшев – М.: Стройиздат, 1977. – 176 с.

Гольшев А.Б. Железобетонные конструкции / А.Б. Гольшев, В.П. Полищук, В.Я. Бачинский, под ред. А.Б. Гольшева. - К.: Логос, 2001. – 420 с.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.