

## ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЗДАНИЙ НА РАЗВИТИЕ НЕРАВНОМЕРНЫХ ОСАДОК

П. С. Пойта<sup>1</sup>, Н. Н. Шалобыта<sup>2</sup>, Т. П. Шалобыта<sup>3</sup><sup>1</sup> Д. т. н., профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: ppsbrest@mail.ru<sup>2</sup> К. т. н., доцент, доцент кафедры строительных конструкций, проректор по научной работе УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: nnshalobyta@mail.ru<sup>3</sup> К. т. н., доцент, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: t\_shalobyta@mail.ru

## Реферат

Проблема учета жесткости системы «основание – фундамент – здание» является одной из наиболее актуальных, так как от ее решения зависит разработка практических методов расчета за осадками оснований зданий, предназначенных для надежной оценки их развития в процессе строительства зданий и сооружений. В статье изложены результаты геодезических наблюдений за осадками зданий в процессе их возведения, а также выполнен численный анализ деформирования основания плитных фундаментов многоэтажных крупнопанельных зданий. Показано, что основным определяющим фактором, влияющим на развитие и величину неравномерных осадок оснований зданий, являются инженерно-геологические условия строительной площадки, а не жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – здание».

**Ключевые слова:** основание фундаментов, несущая способность грунта, напряженно-деформированное состояние, плитный фундамент, неравномерная осадка, жесткость, прогиб.

## INFLUENCE OF CONSTRUCTION RIGIDITY ON THE DEVELOPMENTS OF UNEVEN SETTLEMENTS

P. S. Poyta, N. N. Shalobyta, T. P. Shalobyta

## Abstract

The problem of taking into account the rigidity of the «the ground of the foundation – foundation – building» system is one of the most urgent, because the solution depends on the development of practical methods for calculating the precipitation of the foundations of buildings designed to reliably assess their development during the construction of buildings and structures. The article presents the results of geodetic observations of precipitation of buildings during their construction, as well as numerical analysis of the deformation of the base of slab foundations of multi-storey large-panel buildings has been performed. It is shown that the main determining factor influencing the development and the amount of uneven precipitation of the foundations of buildings are the engineering and geological conditions of the construction site, and not the rigidity of the upper structure of the «the ground of the foundation – foundation – building» system.

**Keywords:** the ground of the foundation, bearing capacity of the soil, stress-strain state, slab foundation, uneven sediment, stiffness, deflection.

## Введение

Одной из наиболее актуальных проблем при проектировании и устройстве фундаментов зданий и сооружений являются значительные неравномерные осадки, влияющие на напряженное состояние проектируемых объектов. Величина неравномерных осадок зависит от многих причин:

- инженерно-геологических условий строительной площадки, в частности, от условий залегания слоев грунтов и их деформируемости;
- величины и характера действующих нагрузок, особенностей их изменения (роста) во времени (например, на стадии возведения здания);
- неравномерности распределения напряжений в основании фундаментов;
- жесткости сооружения и др.

Из изложенных выше факторов важную роль в расчетах системы «основание – фундамент – здание» имеет жесткость сооружения. Фундамент здания взаимодействует с грунтовым основанием совместно с каркасом конечной жесткости, а нагрузки на фундаментную плиту передаются через вертикальные элементы – стены и колонны каркаса, поэтому величина усилий, действующих на фундамент, зависит от совместной работы здания с грунтовым основанием. Учитывая это, в работах [1, 2] рассмотрено влияние жесткости надземной части здания на напряженно-деформированное состояние системы «основание – фундамент – здание». Влияние жесткости каркаса оценивают на примере совместного расчета четырехпролетной рамы с фундаментной балкой на грунтовом основании, либо рассматривались два типа здания – каркасное и стеновое. Решение данных задач показало, что жесткость надземной части оказывает значительное влияние на напряженно-деформированное состояние основания и фундаментной плиты. При этом установлено, что с уве-

личением жесткости конструкций разность осадок здания уменьшается. При относительной разности осадок, стремящейся к нулю, роста дополнительных усилий в конструкциях зданий при увеличении жесткости практически не происходит.

С другой стороны исследования чувствительности фундамента к деформированию основания в составе системы «основание – фундамент – сооружение» с помощью «эталонов», представляющего собой точное численное решение задачи в условиях плоской деформации для упрощенной схемы сооружения, в качестве фундаментной плиты конечной жесткости, покоящейся на основании, предоставленном трехпараметрической контактной моделью с верхним слоем Винклера, толщиной, равной глубине «прорезки»  $H_p$ , т. е. с коэффициентом жесткости грунта [3]:

$$C_3 = \frac{E}{H_p \cdot (1 - \nu^2)}, \quad (1)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль деформации основания, МПа.

Глубину «прорезки» или глубину сдвигового разрыва с пластической зоной в виде точки на нижнем конце, определяли по формуле [3]

$$H_p = \frac{P - \gamma_d}{\pi \cdot \gamma} \cdot \left( \cot \varphi + \varphi - \frac{\pi}{2} \right) - \frac{c \cdot \cot \varphi}{\gamma} - d, \quad (2)$$

где  $P$  – контактное давление под краем равномерно-распределенной нагрузки;  $\gamma$  – удельный вес грунта;  $\gamma_d$  – пригрузка от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента;  $d$  – глубина заложения подошвы фундамента;  $c$ ,  $\varphi$  – параметры прочности грунта.

**Результаты исследований**

Верхнее строение было представлено в виде плиты конечной жесткости, передающее нагрузку на фундамент через сжимаемые опоры.

Результаты расчетов при абсолютно жестком верхнем строении (изгибная жесткость  $D_S = \infty$ ) и верхнем строении с обобщенной жесткостью  $D_{S1} = 5 D_S$  показывают, что распределение контактных давлений по подошве фундамента практически нечувствительно к величине реальной жесткости верхнего строения, причем давление под краями фундамента во всех рассмотренных случаях в 1,5 раза больше, чем в центре [3]. Более того, величины изгибающих моментов в фундаменте наиболее чувствительны к глубине «прорезки», которая влияет на величину осадки. Установлено, что изгибающие элементы в фундаментной плите более чувствительны к глубине «прорезки», а следовательно в большей степени зависят от параметров прочности грунта, чем от жесткости верхнего строения и основания [4]. Таким образом, очевидны две противоположные точки зрения: с одной стороны жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – сооружение» оказывает существенное влияние на величину и характер контактных давлений, а также и на величину относительной разности осадок; с другой стороны – жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – сооружение» практически не влияет на величину и характер контактных давлений, при этом данные параметры, а также величины осадок фундаментов, в основном, зависят от прочностных характеристик грунта основания. Очевидно, что критерий правильности предлагаемых решений, а следовательно, и принятых в качестве их основы теоретических положений, является близость результатов расчета к данным наблюдений за осадками строящихся зданий и сооружений.

С учетом этого, нами выполнены расчеты системы «основание – фундамент – сооружение» с учетом и без учета жесткости верхнего строения, а также проведен комплекс работ по наблюдению за осадками зданий в процессе их возведения в Юго-Западном микрорайоне г. Бреста. Схема установки геодезических марок показана на рисунке 1.

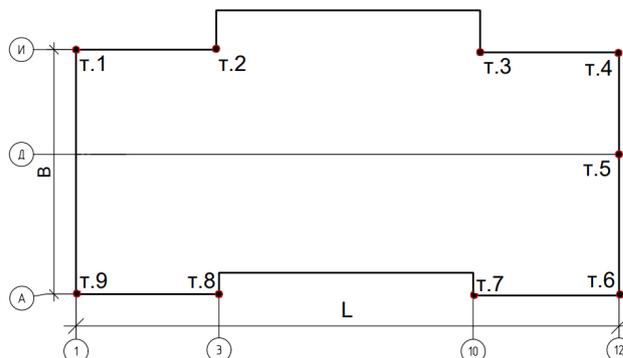


Рисунок 1 – Схема установки геодезических марок

Основанием плитного фундамента является искусственный слой мощностью 3,4 м, отсыпанный из песчано-гравийной смеси, уплотненной катками [5]. Ниже расположены грунты, основные характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики грунтов оснований

№ п/п	Наименование грунтов	Удельный вес грунта, кН/м³	Параметры прочности		Модуль деформации E, МПа
			φ, град.	C, кПа	
1	2	3	4	5	6
1	Песчано-гравийная смесь	16,0	37,0	2,0	20,0
2	Песок пылеватый, средней прочности	10,2	30,0	4,0	13,0
3	Песок пылеватый, прочный	10,7	34,0	5,5	26,0
4	Песок средней крупности, средней прочности	10,0	37,0	2,0	43,0

Залегание отдельных слоев грунта несогласное, имеющее различный наклон к поверхности.

Наблюдения за осадками зданий выполнялись в процессе возведения надземной части зданий в три этапа:

- а) после окончания монтажа первых трех этажей;
- б) после завершения монтажа конструкций всего здания;
- в) после ввода зданий в эксплуатацию.

Расчеты деформаций оснований выполнены с применением программного комплекса «LIRA – SAPR» с полной равномерно-распределенной нагрузкой на плиту; с нагрузкой равной 40 % от полной. При этом жесткость верхнего строения системы «основание – фундамент – сооружение» по одному варианту не учитывалась, по второму – учитывалась.

Расчет основания выполнен с использованием метода Пастернака с учетом коэффициентов постели:  $C_1$  – коэффициента сжатия, связывающего интенсивность вертикального отпора грунта с его осадкой и  $C_2$  – коэффициента сдвига, характеризующего вертикальные силы сдвига, возникающие в сыпучих и малосвязных грунтах вследствие зацепления и внутреннего трения между частицами.

Коэффициенты постели определяли по следующим зависимостям:

$$C_1 = \frac{E_{zp}}{H_c \cdot (1 - 2 \cdot \nu_{zp}^2)}, \quad C_2 = \frac{C_1 \cdot H_c \cdot (1 - 2 \cdot \nu_{zp}^2)}{6 \cdot (1 + \nu)} \quad (3)$$

где  $E_{zp}$  – усредненный модуль деформаций грунта;  $\nu_{zp}$  – усредненный коэффициент Пуассона в пределах сжимаемой толщи;  $H_c$  – мощность сжимаемой толщи грунта под подошвой фундамента;  $\nu$  – коэффициент Пуассона грунта.

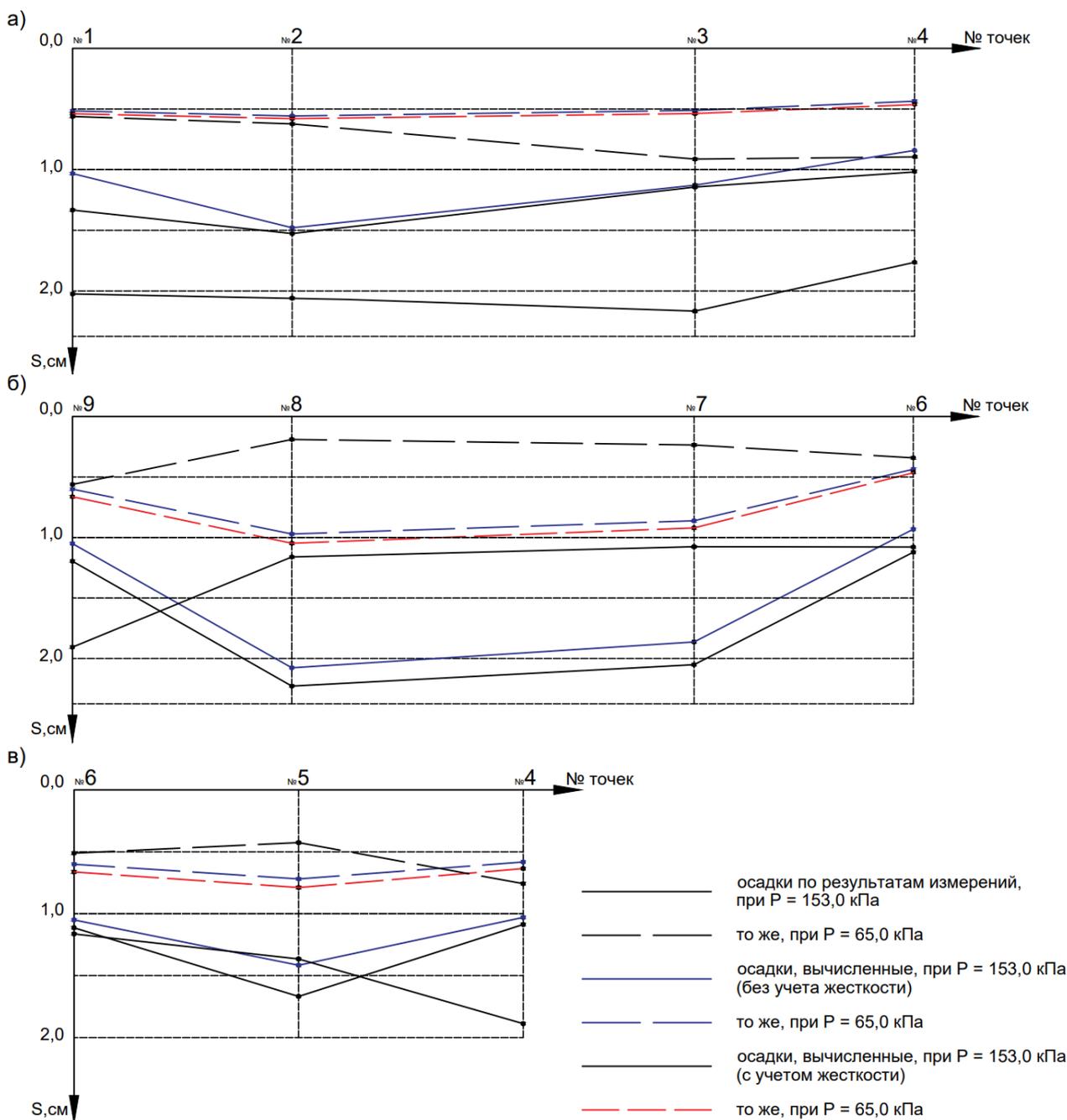
Оценка инженерно-геологических условий строительной площадки выполнена с использованием модуля «Грунт» ПК «LIRA – SAPR».

Фундаменты всех строящихся зданий (от 5 до 11 этажей) запроектированы в виде железобетонной плиты, толщиной 500 мм. В соответствии с [6], плитный фундамент относится к категории гибких, тонких, прямоугольных, плоских. Здание крупнопанельное, прямоугольной формы в плане с размерами 27,6×12,3 м.

На рисунке 2а показаны результаты измерения осадок крупнопанельного семиэтажного дома в процессе его строительства и после его завершения. Номера точек, указанные на продольных и торцевых стенах, соответствуют точкам установки марок для измерения осадок фундамента. При давлении на грунт  $P = 65,0$  кПа осадки фундамента дальней длинной стороны формируют прогиб плиты, достигая максимального значения (0,87 см) в точке 3, которая находится на расстоянии 7,2 м от правого торца здания. У торцевой стены (точка 4) осадка уменьшается до 0,67 см, что меньше в 1,3 раза. Относительный прогиб по данной стороне составляет  $K = 0,000076$ .

При давлении  $P = 153,0$  кПа осадки возрастают по всей длине данной стороны фундамента в среднем в 2,74 раза, сохраняя в целом общую тенденцию развития при увеличении  $P$ . Вместе с тем осадка в точке 1 возросла в 3,15 раза, а в точке 3 – в 2,53 раза и в 2,63 раза в точке 4. Относительный прогиб равен 0,00013, т. е. при увеличении давления на грунт в 2,35 раза,  $K$  увеличилась в 1,7 раза.

По ближней стороне (рисунок 2б) картина развития осадки при увеличении нагрузки совсем иная. При давлении на грунт  $P = 65,0$  кПа четко сформирован выгиб плиты. При этом осадки фундамента меньше по всей его длине в сравнении с противоположной стороной. Среднее значение  $S_{cp} = 0,38$  см, что в 1,95 раза меньше  $S_{cp} = 0,74$  см удаленной стороны. Величина  $S_{cp}$  определяется, как правило, для отдельно стоящих фундаментов, но может быть найдена и для плитного фундамента согласно рекомендаций [7].



а) и б) – вдоль продольных наружных стен здания; в) – вдоль поперечной (торцевой) стены здания  
**Рисунок 2** – Изменение осадок плитного фундамента крупнопанельного дома в процессе строительства

На участке между шестой и восьмой точками имеет место уменьшение осадки с 0,43 см до 0,36 см, т. е. в 1,19 раза. В точке, расположенной по левому торцу здания осадка возрастает и составляет 0,43 см, что больше осадки в соседней точке восемь (8) в 1,59 раза. Относительный выгиб равен  $K = 0,000025$ . При увеличении нагрузки на фундамент тенденция развития осадки, сформированная на начальных периодах строительства здания, в общем, сохраняется. На участке между шестой (6) и восьмой (8) точками осадка фундамента выравнивается и меняется от 1,12 см до 1,15 см. При этом осадка угла здания (точка 9) увеличивается до 1,87 см, что в 1,64 раза больше средней на предыдущем участке (точки 6 и 8). Рост осадки в данной угловой точке при давлении  $P = 153$  кПа составил 4,35 раза. Относительный выгиб фундамента по ближней стороне составил 0,00027. Таким образом, в полностью возведенном здании относительный выгиб по данным наблюдений вырос в 10,8 раз.

Очевидно, что в процессе строительства здания идет сложный процесс деформирования основания плитного фундамента. Во-первых, очевиден наклон плиты в сторону удаленной стороны с преобладающей осадкой удаленного левого угла. Для ближней стороны в целом осадка меньше противоположной стороны, но имеет место преобладающая осадка левого ближнего угла до величины в 1,11 раза меньше левого дальнего угла. Во-вторых, наличие прогибов и выгибов по противоположным сторонам фундаментной плиты свидетельствует о сложном напряженном состоянии материала фундамента, так как в плите фундамента растягивающие напряжения, в зависимости от ее участка, будут иметь место как в нижней, так и верхней зонах. Это подтверждается и характером развития осадок по торцам здания (рисунок 2в). Результаты расчетов, показанные на рисунке 2 (а...в), свидетельствуют о совершенно другой картине развития осадок в процессе строительства здания, и они полностью соответствуют положениям классической механики грун-

тов, показывающим, что при приложении нагрузки к гибкой плите, ее центр даст осадку в 1,24...1,57 раз большую, чем ее края [8]. Во всех случаях получена осадка значительно большая в центре плиты, чем по ее краям. При давлении на грунт  $P = 65,0$  кПа осадки, полученные по двум схемам, полностью совпадают (рисунок 2а). При давлении  $P = 153,0$  кПа учет жесткости верхнего строения несколько увеличивает осадку по углам здания, т. е. имеет место ее выравнивание, что положительно влияет на распределение внутренних усилий в фундаментной плите. Однако, очевиден тот факт, что расчетная осадка, незначительно отличающаяся от измеренной при  $P = 65,0$  кПа, имеет существенное различие при давлении  $P = 153,0$  кПа. Измеренные осадки в угловых точках в 1,59...2,03 раза (точка 1) и 1,73...1,85 раза (точка 4) больше расчетных.

Различие в осадках в точке 3 достигает уровня 1,83...1,86 раз. Для ближней стороны (рисунок 2б) наоборот, расчетные осадки больше измеренных. Здесь также расчетные осадки с учетом и без учета жесткости верхнего строения отличаются незначительно. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что расчет фундаментной плиты, работающей совместно с грунтовым основанием с учетом и без учета жесткости верхнего строения, не оказывает существенного влияния на характер развития и величину осадки. Относительный прогиб при  $P = 65,0$  кПа составляет в среднем 0,00022 по удаленной стороне и 0,00034 по ближней стороне. При давлении  $P = 153,0$  кПа –  $K = 0,00037$ . Сопоставление графиков осадок показывает, что изменение жесткости здания практически не влияет на их величину.

Ю. В. Россирин [9] показал, что для любой точки сооружения, обладающего какой угодно жесткостью, отношение осадки  $S_{nt}$  к средней осадке сооружения  $S_{cp,t}$  в любой момент времени  $t$  будет величиной постоянной равной:

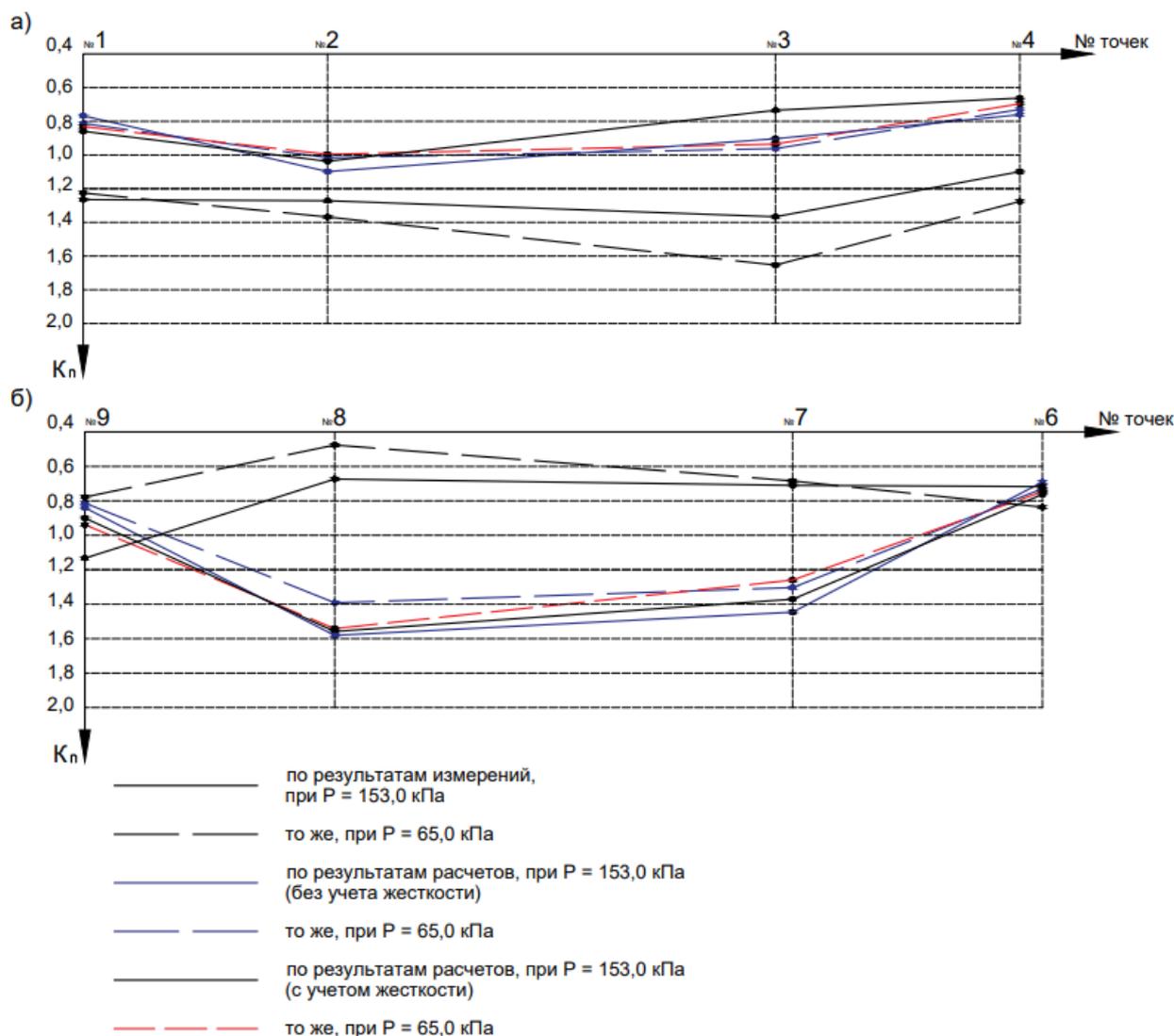
$$K_n = \frac{S_{nt}}{S_{cp,t}} \quad (4)$$

Следовательно, коэффициент  $K_n$  во всех случаях, можно принять не зависящим от времени ( $\frac{\partial K_n}{\partial t} = 0$ ) ползучести системы

«сооружение – основание». Это означает, что сформированная в начальный период нагружения фундамента форма контактной поверхности будет сохраняться полностью, не претерпевая никаких изменений в процессе роста нагрузки до максимального значения. Учитывая это, нами выполнен анализ изменения  $K_n$  для различных точек при различных величинах нагрузки на фундамент.

На рисунке 3 построены графики изменения коэффициента осадки  $K_n$  для точек, в которых проводили геодезические наблюдения за осадками строящихся зданий в различные периоды их строительства, а также полученные по результатам расчетов с использованием программного комплекса «LIRA – SAPR».

Сравнение опытных значений  $K_n$  с расчетными показывает на их существенное различие.



а) и б) – вдоль соответствующих продольных наружных стен здания

Рисунок 3 – Изменение коэффициента осадки плитного фундамента крупнопанельного дома в процессе строительства

Значения коэффициента осадки по результатам наблюдений, выполненных в различные временные сроки от начала строительства зданий (при  $P = 65,0$  кПа и  $P = 153,0$  кПа) различаются от 0,96 до 1,2 раза. По результатам расчетов это различие составляет от 0,93 до 1,02 раз. Это означает, что коэффициент осадки при росте нагрузки на фундамент для одних и тех же точек меняется и по результатам наблюдений пределы изменений больше, чем по результатам вычислений.

Для участков по длине стены, где значения  $K_n > 1,0$  – характерен прогиб, а если  $K_n < 1,0$  – выгиб.

Несмотря на то, что графики изменения коэффициента осадки по длине здания в какой-то степени повторяют графики изменения осадки, они на наш взгляд являются более информативными с точки зрения деформирования фундаментной плиты при росте нагрузок. Как видно из рисунка 3 при осадке фундамента идет не строго его вертикальное перемещение, а имеет место движение его точек по сложной траектории, сопровождающееся изменением формы контактной поверхности и величин внутренних усилий в сечениях фундамента. И чем больше различие в значениях  $K_n$  при разных уровнях нагрузки, тем процессы формоизменения фундаментной плиты более значительны.

Деформация фундаментной плиты, работающей совместно с грунтовым основанием, имеет сложный характер. На начальном этапе нагружения наблюдается прогиб по удаленной стороне и выгиб по ближней. Рост нагрузки (рисунок 2) приводит к дальнейшему уплотнению основания под всей плитой, но в значительно большей степени это характерно для участка плиты от ее длинной стороны до середины по ширине. Различие в осадке по длинной стороне и по линии, проходящей через середину ширины плиты, колеблется от 1,64 раза (при  $P = 65,0$  кПа) до 1,50 раза ( $P = 153$  кПа). Для второй половины это различие составляет соответственно 0,84 и 0,97. Неравномерность осадки плиты очевидна. Максимальная осадка характерна для точки три (3), в точке четыре (4) она уменьшается. Для противоположной стороны наоборот, максимальное значение осадки характерно для угловой точки девять (9), а точка восемь (8) является граничной с точки зрения величины развития осадки. Такой сложный характер деформирования плиты может быть объяснен рядом причин: возникновением и развитием сдвиговых (пластических) деформаций под краями плиты, неравномерностью уплотнения, искусственного основания, выбранной схемой приложения нагрузки и др.

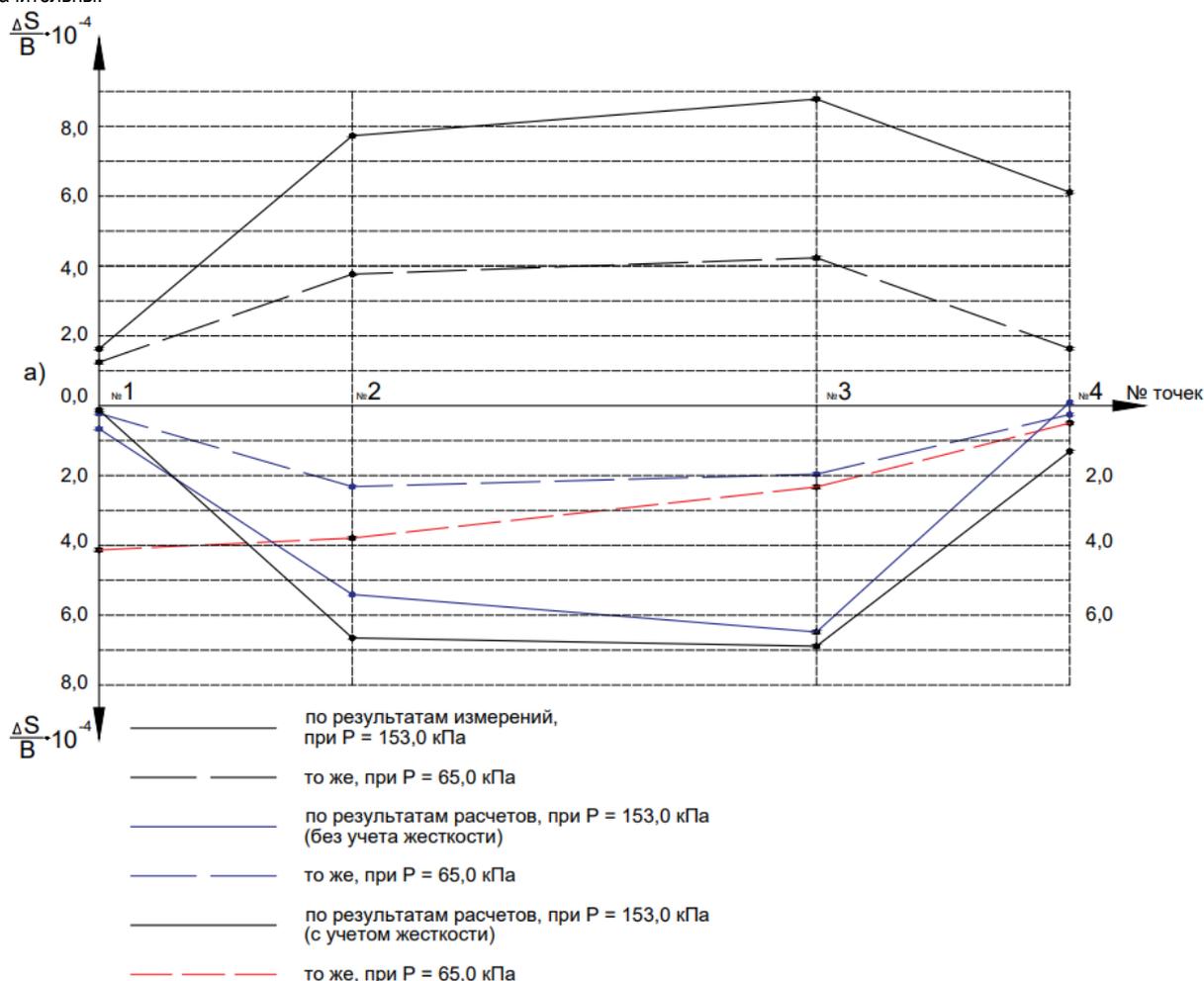


Рисунок 4 – Изменение относительного прогиба плитного фундамента крупнопанельного дома в процессе строительства вдоль продольных стен

Изменение формы контактной поверхности по мере роста нагрузки приводит к трансформации внутренних усилий.

Сравнение относительной разности осадок крайних противоположных точек здания (рисунок 4) показывает на их некоторое различие. По результатам измерений большая разница в осадках по всей длине здания характерна для промежуточных точек. С увеличением нагрузки на фундамент относительная разность осадок увеличивается. Тенденция роста сохраняется в течение всего периода строительства. Результаты расчетов относительной разности осадок показывают аналогичную картину их изменения в течение всего

периода строительства здания, однако с наклоном в противоположную сторону. Во всех случаях полученная разность осадок меньше предельной.

Имея фактические данные геодезических наблюдений за осадками строящихся зданий, возможно оценить жесткость системы «основание – фундамент – сооружение» по следующей формуле [9].

$$C_r = \frac{1 - \eta_{AB}}{\eta_{AB} \cdot (K_{nB} - 1) - (K_{nA} - 1)}, \quad (5)$$

где  $K_{nA}$  и  $K_{nB}$  – значения коэффициентов осадки  $K_n$ , определяемые по выражению (4):

$$\eta_{AB} = \frac{S_{At}}{S_{Bt}}, \quad (6)$$

где  $S_{At}$  и  $S_{Bt}$  – значения осадок каких-либо произвольных А (угловых) и В (промежуточных) точек здания в момент времени  $t$  в условиях одинаковых темпов роста нагрузки по всей площади передачи ее основанию.

Расчеты по определению коэффициента жесткости  $C_r$  по данным наблюдений и вычислений показали его изменение для различных моментов времени от 0,97 до 1,0. Следовательно, пользуясь классификацией, приведенной в [9], рассматриваемая система отвечает классу относительно гибких сооружений.

Рост нагрузки во времени на фундаменты или иначе изменение жесткости системы «основание – фундамент – сооружение» в ходе строительства влияние на развитие неравномерных осадок не влияет. Следовательно, основным фактором, влияющим на величину и характер распределения контактных напряжений, а также разности осадок, являются прочностные и деформативные характеристики грунтов оснований.

### Заключение

1. Результаты расчетов с использованием модели Пастернака не сопоставимы с данными геодезических наблюдений за осадками возводимых зданий. Вызывает сомнение целесообразность ее использования при несогласном напластовании грунтов, что в инженерной практике является преобладающим фактором.

2. Общий характер развития деформаций здания, выявленный неравномерными осадками его основания, полученными при расчетах, представлен чашеобразным прогибом плитного фундамента прямоугольного в плане здания, загружаемого нагрузкой, равномерно распределенной по поверхности однородного основания. В действительности характер развития деформаций весьма сложный, так контактная поверхность представлена участками с преобладающими осадками торцевых сторон плиты, что влечет за собой формирование выгибов.

3. Сформированная в начальный период строительства здания форма контактной поверхности, в целом сохраняется, хотя претерпевает некоторые изменения к моменту его завершения, т. е. приложения полной нагрузки. На наш взгляд, образованию такой сложной формы контактной поверхности способствует некачественная подготовка искусственного основания и принятая схема нагружения фундамента.

4. Неравномерные относительные осадки, полученные по результатам наблюдений и расчетов, не превышают допустимых. Однако, как правило, они больше по результатам наблюдений. С ростом нагрузки это различие возрастает и при увеличении  $P$  в 2,35 раза относительная разность в отдельных точках выше в 2,07 раза. Средняя осадка фундаментной плиты, полученная по результатам наблюдений в 1,21 раза больше  $S_{cp}$ , определенной расчетом без учета жесткости верхнего строения при полной нагрузке на основание. При  $P = 65,0$  кПа, наоборот, больше средняя осадка, полученная расчетом по сравнению с наблюдаемой, соответственно в 1,24 и 1,33 раза.

5. Расчеты жесткости системы «основание – фундамент – сооружение» по данным наблюдений и вычислений показали, что рассматриваемая система может быть отнесена к относительно гибкой, т. е. показатель  $C_r$  близок к единице. Рост нагрузки во времени не влияет на величину коэффициента жесткости  $C_r$ . Основным фактором, влияющим на величину и характер изменения относительной разности осадок, являются инженерно-геологические условия строительной площадки.

6. Прогноз неравномерных осадок фундаментов по данным геодезических наблюдений показал существенное различие с данными расчета, что свидетельствует о необходимости их проведения с целью либо адаптации, либо неприятия определенных программных продуктов, не дающих требуемой достоверности результатов.

### Список цитированных источников

1. Применение метода Б. Н. Жемочкина для совместного расчета системы «основание – фундамент – здание» [Электронный ресурс] // Н. Ю. Киселев [и др.] // Наукоеведение. – 2017. – Т. 3, № 4. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/60TVN417.pdf>. – Дата доступа: 12.07.2024.
2. Камаев, В. С. Экспериментально-теоретические исследования жесткостных параметров строительных конструкций и деформируемого основания / В. С. Камаев // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. – СПб. : ПГУПС, 2007. – № 3 (12). – С. 126–136.
3. Барвашов, В. А. Расчет осадок и кренов сооружений с учетом неопределенности свойств грунтов оснований / В. А. Барвашов, Г. Г. Болдырев, М. М. Уткин // Геотехника. – 2016. – № 1. – С. 4–21.
4. Барвашов, В. А. Мягкая математика в геотехнических расчетах / В. А. Барвашов, Г. Г. Болдырев // Инженерно-геологические задачи современности и методы их решения, Москва, 13–14 апреля 2017 г. – М. : Геомаркетинг, 2017. – С. 203–221.
5. Multi-storeved bulding slab foundation settlement / P. S. Poita [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – No. 3 (132). – P. 11–14. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-11-14>.
6. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа / НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. – М. : Стройиздат, 1984. – 263 с.
7. Болдырев, Г. Г. Сравнительная оценка результатов расчета фундаментной плиты различными методами [Электронный ресурс] / Г. Г. Болдырев, А. В. Гардеев. – Режим доступа: <https://npp-geotek.com/upload/iblock/b5a/b5aa5eef0e2855aed8711bcae96be843.pdf>. – Дата доступа: 03.07.2024.
8. Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Г. А. Маликова, В. И. Соломин. – М. : Стройиздат, 1984. – 679 с.
9. Россихин, Ю. В. Опасные осадки сооружений / Ю. В. Россихин. – Рига : Зинатна, 1974. – 84 с.

### References

1. Primenenie metoda B. N. ZHemochkina dlya sovmestnogo rascheta sistemy «osnovanie – fundament – zdanie» [Elektronnyj resurs] // N. YU. Kiselev [i dr.] // Naukovedenie. – 2017. – T. 3, № 4. – Rezhim dostupa: <http://naukovedenie.ru/PDF/60TVN417.pdf>. – Data dostupa: 12.07.2024.
2. Kamaev, V. S. Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya zhestkostnyh parametrov stroitel'nykh konstrukcij i deformiruемого osnovaniya / V. S. Kamaev // Izvestiya Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – SPb. : PGUPS, 2007. – № 3 (12). – S. 126–136.
3. Barvashov, V. A. Raschet osadok i krenov sooruzhenij s uchetom neopredelennosti svoystv gruntovykh osnovanij / V. A. Barvashov, G. G. Boldyrev, M. M. Utkin // Geotekhnika. – 2016. – № 1. – S. 4–21.
4. Barvashov, V. A. Myagkaya matematika v geotekhnicheskikh raschetah / V. A. Barvashov, G. G. Boldyrev // Inzhenerno-geologicheskie zadachi sovremennosti i metody ih resheniya, Moskva, 13–14 aprelya 2017 g. – M. : Geomarketing, 2017. – S. 203–221.
5. Multi-storeved bulding slab foundation settlement / P. S. Poita [et al.] // Vestnik of Brest State Technical University. – 2023. – No. 3 (132). – P. 11–14. – <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2023-132-3-11-14>.
6. Rukovodstvo po proektirovaniyu plitnykh fundamentov karkasnykh zdaniy i sooruzhenij bashennogo tipa / NIIOСП im. N. M. Gersevanova. – M. : Strojizdat, 1984. – 263 s.
7. Boldyrev, G. G. Sravnitel'naya ocenka rezul'tatov rascheta fundamentnoj plity razlichnymi metodami [Elektronnyj resurs] / G. G. Boldyrev, A. V. Gardeev. – Rezhim dostupa: <https://npp-geotek.com/upload/iblock/b5a/b5aa5eef0e2855aed8711bcae96be843.pdf>. – Data dostupa: 03.07.2024.
8. Gorbunov-Posadov, M. I. Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii / M. I. Gorbunov-Posadov, G. A. Malikova, V. I. Solomin. – M. : Strojizdat, 1984. – 679 s.
9. Rossihin, YU. V. Opasnye osadki sooruzhenij / YU. V. Rossihin. – Riga : Zinatna, 1974. – 84 s.

Материал поступил 22.07.2024, одобрен 23.07.2024, принят к публикации 23.07.2024