

УДК 624.131.542:624.153.525.6

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОЗВОДИМЫХ ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ОСАДКУ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ

Рассматриваются закономерности возникновения дополнительных осадок зданий, построенных в 1960...1970-х годах на ленточных малозаглубленных фундаментах, при нагружении основания весом вновь возводимого объекта в условиях плотной городской застройки.



**ПОНОМАРЕВ
АНДРЕЙ БУДИМИРОВИЧ**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Строительное производство и геотехника" Пермского национального исследовательского политехнического университета (Пермь, Россия).

Основные направления научной деятельности – исследование взаимодействия свайных фундаментов с грунтовым массивом, проектирование и устройство фундаментов глубокого заложения; обследование технического состояния оснований, фундаментов и подземных сооружений; применение геосинтетических материалов в геотехническом строительстве.

Автор более 200 опубликованных работ.



**КАЛОШИНА
СВЕТЛАНА ВАЛЕНТИНОВНА**

Кандидат технических наук, доцент кафедры "Строительное производство и геотехника" Пермского национального исследовательского политехнического университета (Пермь, Россия).

Основные направления научной деятельности – исследование влияния нового строительства на существующую застройку, строительство в сложных инженерно-геологических условиях.

Автор более 40 опубликованных работ.

В настоящее время проблема строительства в условиях плотной городской застройки становится все более актуальной. Развитие крупных городов происходит не только вширь, но и вглубь. Подобная градостроительная политика позволяет существенно снизить затраты на развитие инженерно-транспортной инфраструктуры и повысить престижность комплексов зданий. Однако при этом возникают проблемы, связанные с сохранностью существующих зданий и сооружений.

В результате нового строительства существующие здания могут получить недопустимые деформации, что делает непригодными их к дальнейшей эксплуатации. Проблемой возникновения и оценки дополнительных осадок зданий и сооружений в разное время занимались В.Н. Бронин, В.П. Вершинин, Б.И. Далматов, Н.А. Ибадильдин, В.А. Ильичев, П.А. Коновалов, Р.А. Мангушев, Н.С. Никифорова, В.В. Семенюк-Ситников, В.Г. Симагин, Г.М. Скибин, С.Н. Сотников, В.М. Улицкий, А.Л. Четвериков, А.Г. Шашкин, R. Katzenbach, E. Schultze и др. Основываясь на их исследованиях, можно сделать вывод, что безопасность ведения работ в стесненных условиях обусловлена рядом факторов. Одной из причин, приводящих к деформациям существующей застройки, является передача дополнительных нагрузок на грунтовое основание от веса вновь возводимого объекта, в результате чего существующее здание может получить сверхнормативную осадку и крен. Как правило, таким деформациям подвержены здания высотой до пяти этажей при строительстве рядом с ними высотных объектов. Если рассматривать застройку Перми, то значительную ее часть составляют пятиэтажные дома, построенные в 1950...1970 гг. (до 70% общего объема жилого фонда) на ленточных фундаментах мелкого заложения. Новые высотные здания в центральных районах все ча-

Таблица 1

Параметры	ИГЭ-1 (песок)			ИГЭ-2	ИГЭ-3
	средней крупности	мелкий	пылеватый		
ρ , г/см ³	1,7	1,7	1,7	21	2,3
E , МПа	30	28	18	28	55
c , кПа	1	1	4	1	50
φ , град.	35	31	30	37	22

Таблица 2

Параметры	ИГЭ-1 (суглинок)			ИГЭ-2	ИГЭ-3
	полутвердый	тугопластичный	мягкопластичный		
ρ , г/см ³	1,8	1,8	1,8	21	2,3
E , МПа	14	11	8	28	55
c , кПа	22	18	16	1	50
φ , град.	22	19	16	37	22

ще возводятся на плитных фундаментах, что связано со значительными проектными нагрузками и требованиями по недопустимости неравномерных осадок. В связи с этим разработана методика прогноза дополнительной осадки ленточного фундамента существующего здания от воздействий на основание фундамента вновь возводимого является актуальной.

На характер и развитие дополнительных деформаций влияют также инженерно-геологические условия площадок строительства. На основе архивных данных изыскательских организаций выделено девять основных литолого-генетических групп грунтов и два наиболее характерных для центральных районов типа грунтового основания. Первый тип (табл. 1) представлен песком средней плотности ($e = 0,65$, мощностью слоя $h_1 = 10$ м) (ИГЭ-1), ниже которого залегает гравийный грунт с песчаным заполнителем мощностью слоя $h_2 = 2$ м (I-III надпойменная терраса) (ИГЭ-2) и далее аргиллит трещиноватый (ИГЭ-3); второй тип (табл. 2) – суглинком ($e = 0,85$, $h_1 = 10$ м) от полутвердой до мягкопластичной консистенции (ИГЭ-1) и гравийным грунтом с песчаным заполнителем мощностью слоя $h_2 = 2$ м (IV надпойменная терраса) (ИГЭ-2), ниже аргиллит трещиноватый (ИГЭ-3). По каждому типу определены осредненные физико-механические характеристики инженерно-геологических элементов.

Согласно анализу инженерно-геологических условий Перми и классификации по [1] принято, что средняя толща сжимаемых грунтов основания, представленных аллювиально-делювиальными отложениями, составила 12 м.

С целью изучения основных закономерностей развития дополнительной осадки основания существующего ленточного фундамента при возведении здания на плитном фундаменте для двух типов оснований были выполнены: экспериментальные исследования влияния нового строительства на существующую застройку; расчеты по [2] методом послойного суммирования; численное моделирование методом конечных элементов в рамках программного комплекса PLAXIS-8.0 [3].

Эксперименты проведены на маломасштабных (1:50) моделях плитного и ленточного фундамента. При этом использовались лоток размерами $1000 \times 1000 \times 900(h)$ мм и рамы для крепления гибких штанг.

Модели фундамента представляли собой шесть последовательно укладываемых металлических пластин размерами соответственно $24 \times 24 \times 0,8$ и $4 \times 24 \times 0,8$ см. Масса одной пластины модели плитного фундамента в среднем составляла 3,8 кг, ленточного – 0,65 кг. Грунты в основании моделей уплотнялись собственным весом (каждая пластина модели фундамента передавала на грунт давление 0,67 кПа). В качестве грунтового основания использовался песок мелкий в воздушно сухом состоянии. В ходе экспериментальных работ три различные степени уплотнения песчаного основания соответствовали песку плотному, средней плотности и рыхлому по [1]. Прежде всего устанавливалась модель ленточного фундамента, а после стабилизации ее собственной осадки отдельными ступенями передавалась нагрузка от модели плитного фундамента.

Было проведено пять серий опытов.

В первых трех сериях варьировались различные степени уплотнения песчаного основания мощностью $H_1 = 24$ см при давлении по подошве ленточного фундамента $p_1 = 4$ кПа, в четвертой было принято $p_1 = 2$ кПа.

Пятая серия была проведена для песка плотного мощностью $H_2 = 48$ см и $p_1 = 4$ кПа.

Максимальное давление по подошве плитного фундамента во всех сериях составляло $p_2 = 4$ кПа. В каждой серии расстояние в свету между моделями фундамента принималось $L = 0,2; 0,75; 1,5$ и $2c$ (где c – сторона плитного фундамента). При каждом расстоянии опыты повторялись 3 раза.

Вертикальные перемещения модели ленточного фундамента фиксировались с помощью двух индикаторов с точностью 0,01 мм. С учетом масштабного коэффициента 50 были определены предполагаемые смасштабированные осадки ленточного фундамента шириной подошвы $b = 2$ м при нагружении ос-

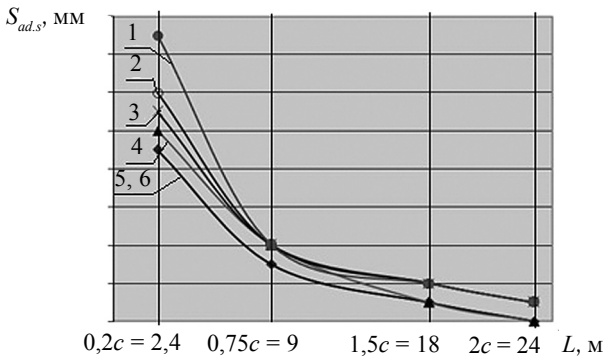


Рис. 1. Смасштабированные графики зависимости $S_{ad.s}$ от L :
1...6 - $p_2 = 200, 167, 133, 100, 67$ и 33 кПа соответственно

нования плитным фундаментом со стороны $c = 12$ м. По результатам модельного эксперимента для каждой серии опытов были построены графики зависимости дополнительной осадки основания ленточного фундамента $S_{ad.s}$ от расстояния между ленточным и плитным фундаментом L . В качестве примера на рис. 1 представлены графики для песка средней плотности.

В численных и аналитических расчетах принималось $b = 2$ м, $c = 12$ м. Первоначально все расчеты выполнялись для песка мелкого (см. табл. 1). Результаты расчетов сравнивались с смасштабированной дополнительной осадкой для песка мелкого средней плотности с наиболее близкими значениями c, φ, E к принятым расчетным характеристикам. Сравнение $S_{ad.s}$ песчаного грунта при $p_1 = p_2 = 200$ кПа, $c = H = 12$ м с результатами модельного эксперимента показало (рис. 2), что расчеты в PLAXIS-8.0 дают хорошую сходимость с данными модельного эксперимента при $L \leq 0,5c$ (расхождение около 30%), а расчет методом послойного суммирования [2] – при $L \leq c$ (расхождение около 25%).

Дальнейшие расчеты в PLAXIS-8.0 выполнялись для расстояний между фундаментами $L \leq 0,5c$, а по методике [2] – $0,5c \leq L \leq c$. Для расчетов принято следующее.

Толща сжимаемых грунтов основания $H = 12$ м; $p_1 = 200$ кПа; $0 < p_2 < 200$; расстояние L в PLAXIS-8.0 составляло 0...6 м, по [2] – 6...12 м; глубина заложения плитного фундамента относительно подошвы ленточного ΔH в PLAXIS 0, 3, 6 м, по [2] – 0 (первый тип основания – песок мелкий $h_1 = 10$ м, гравийный грунт $h_2 = 2$ м, второй тип – суглинок тугопластичный $h_1 = 10$ м, гравийный грунт $h_2 = 2$ м).

После анализа и обработки данных численного моделирования и аналитических расчетов

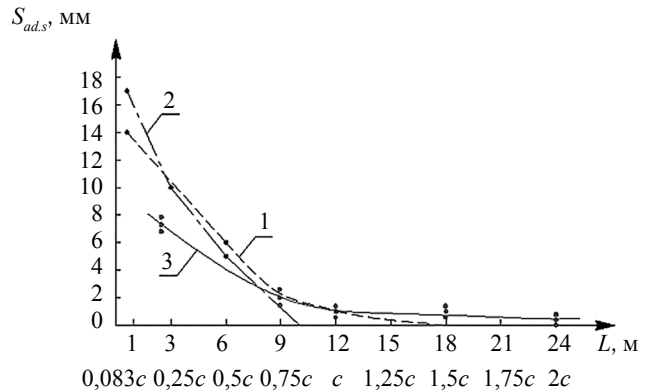


Рис. 2. Зависимости $S_{ad.s}$ от L :
1 - по данным [2]; 2 - в PLAXIS-8.0; 3 - модельного эксперимента

авторами были получены экспериментальные зависимости, $S_{ad.s}$ от расстояния L и давления p_2 , передаваемого по подошве плитного фундамента для двух наиболее характерных для Перми типов грунтового основания и глубины ΔH . В качестве примера представлены уравнения (1) и (2) для песчаного грунта, (3) и (4) – глинистого при $\Delta H = 0$ и 16 м:

$$S_{ad.s1} = 1414,6 \times 10^{-6} + 1965,2 \times 10^{-10} p_2 - 2561,6 \times 10^{-6} L - 1241,8 \times 10^{-16} p_2^2 + 4175,8 \times 10^{-7} L^2 - 2666,7 \times 10^{-11} p_2 L ; \quad (1)$$

$$S_{ad.s2} = 4758 \times 10^{-7} + 1428,3 \times 10^{-10} p_2 - 1239,9 \times 10^{-6} L - 1057,2 \times 10^{-16} p_2^2 + 2158,7 \times 10^{-7} L^2 - 1166,7 \times 10^{-11} p_2 L ; \quad (2)$$

$$S_{ad.s3} = 4766,6 \times 10^{-6} + 4417,5 \times 10^{-10} p_2 - 9277,8 \times 10^{-6} L - 2168,7 \times 10^{-16} p_2^2 + 1536,8 \times 10^{-6} L^2 - 6833,3 \times 10^{-11} p_2 L ; \quad (3)$$

$$S_{ad.s4} = 1195 \times 10^{-6} + 3003,3 \times 10^{-10} p_2 - 2546,4 \times 10^{-6} L - 2139,8 \times 10^{-16} p_2^2 + 4289,1 \times 10^{-7} L^2 - 3416,7 \times 10^{-11} p_2 L . \quad (4)$$

На рис. 3 приведен фрагмент номограммы зависимости $S_{ad.s}$ (см) от L и p_2 при расположении фундаментов в одном уровне в песчаном грунте. Первый тип основания - песок мелкий $h_1 = 10$ м, гравийный грунт $h_2 = 2$ м; фундаменты в одном уровне, $\Delta H = 0$ м; $p_1 = 200$ кПа; $H = 12$ м; $c = 12$ м.

На основе исследований была предложена следующая методика определения дополнительной осадки существующего здания:

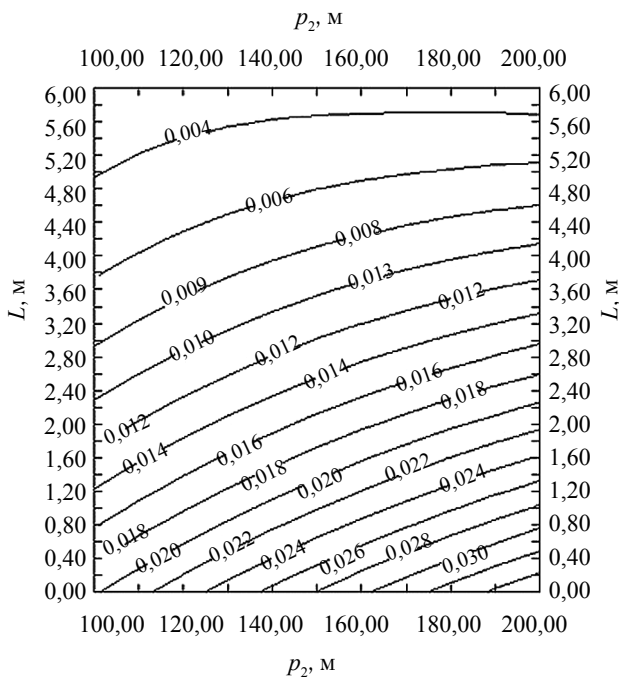


Рис. 3. Фрагмент номограммы зависимости $S_{ad.s1}$ от L и p_2

1. В зависимости от ΔH , L , p_2 и типа оснований по номограммам определяется осадка $S_{ad.s}$.
2. Если исходные данные отличаются от принятых для расчета зависимостей $S_{ad.s1} - S_{ad.s4}$, дополнительную осадку основания ленточного фундамента, полученную по номограммам, следует умножить на поправочные коэффициенты

$$S_{ad.s'} = S_{ad.s} k_1 k_2, \quad (5)$$

где $S_{ad.s'}$ (м) – дополнительная осадка основания ленточного фундамента существующего здания, определенная с учетом изменения первоначальных размеров плитного фундамента и геологических условий строительной площадки; $S_{ad.s}$ (м) – базовая (исходная) дополнительная осадка основания ленточного фундамента, определенная по номограммам; k_1 и k_2 – коэффициенты, учитывающие соответственно изменение размеров плитного фундамента (вводится при $c > 12$ м) и тип основания.

Коэффициенты определены с доверительной вероятностью 0,95.

Разработанная методика была применена на объектах со схожими инженерно-геологическими условиями: двух в Перми и двух в Новосибирске. Расхождение прогнозируемой дополнительной осадки по предложенной автором методике с осадкой, зафиксированной в натуре, составило не более 25%, что подтверждает правомерность разработанной методики.

Выводы

1. На основании модельных и численных экспериментов установлены наиболее значимые факторы, определяющие дополнительную осадку $S_{ad.s}$ существующего здания, p_1 , p_2 , ΔH , L , и геологические условия строительной площадки.
2. При $H \geq c$ максимальную дополнительную осадку ленточный фундамент существующего здания получает при малых расстояниях между фундаментами существующего и возводимого объекта $L \leq c/2$; при $L \geq 2c$ дополнительная осадка стремится к нулю.
3. Увеличение H свыше ширины плитного фундамента c не приводит к существенному росту $S_{ad.s}$ (с увеличением $H = c$ до $H = 2c$ приращение дополнительной осадки составляет около 10%).
4. При увеличении ΔH уменьшается $S_{ad.s}$ (с повышением ΔH от 0 до 6 м осадка $S_{ad.s}$ снижается до 30% в песчаном грунте и 40% в глинистом).
5. Предложенные зависимости учитывают толщину сжимаемых грунтов и геологические условия, характерные для Перми, и позволяют определить $S_{ad.s}$ с учетом нагружения грунтового массива плитным фундаментом при давлении по подошве существующего и возводимого здания не более 200 кПа, $L \leq c$ и $\Delta H \leq 6$ м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация.
2. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*.
3. Калошина С.В. Моделирование влияния нового строительства на существующую застройку в программном комплексе PLAXIS-8.0 // Вестник Волгоградского стр-го ун-та. Сер. Стр-во и archit. - 2010. - Вып. 17 (36). - С. 24-28.