

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		
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,7	1,7	1,7	21	2,3
$E$ , МПа	30	28	18	28	55
$c$ , кПа	1	1	4	1	50
$\varphi$ , град.	35	31	30	37	22

Таблица 2

Параметры	ИГЭ-1 (суглинок)			ИГЭ-2	ИГЭ-3
	полутвердый	тугопластичный	мягкопластичный		
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,8	1,8	1,8	21	2,3
$E$ , МПа	14	11	8	28	55
$c$ , кПа	22	18	16	1	50
$\varphi$ , 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.

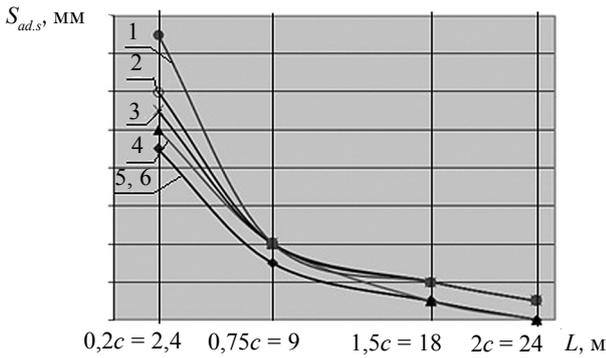
Было проведено пять серий опытов.

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.

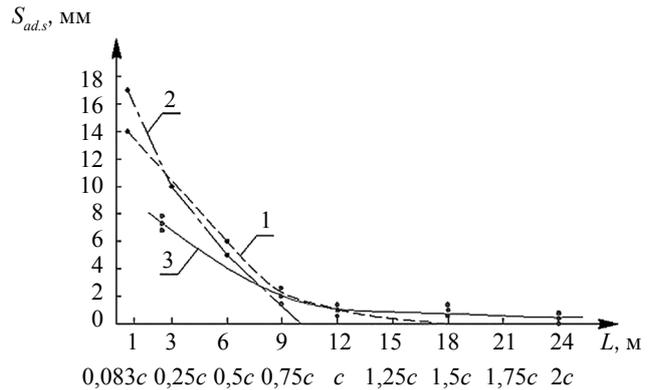
Пятая серия была проведена для песка плотного мощностью  $H_2 = 48$  см и  $p_1 = 4$  кПа.

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



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

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  $c, \varphi, E$  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  $\Delta H$  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

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  $\Delta H$ . 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:

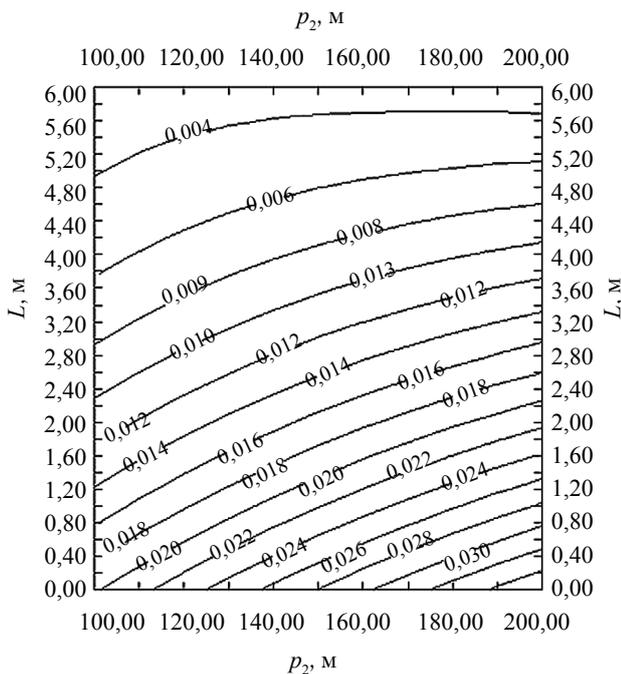


Рис. 3. Фрагмент номограммы зависимости  $S_{ad.s1}$  от  $L$  и  $p_2$

1. В зависимости от  $\Delta H$ ,  $L$ ,  $p_2$  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,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $\Delta H$ ,  $L$ , 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  $\Delta H$  уменьшается  $S_{ad.s}$  (с повышением  $\Delta H$  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.