

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ ПО СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ НАГРУЗОК

В. Н. ПАРАМОНОВ – д-р техн. наук, профессор, технический директор НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект», Санкт-Петербург.

С. А. КУДРЯВЦЕВ – д-р техн. наук, ведущий специалист НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект», Санкт-Петербург.

С. Г. БОГОВ – ведущий специалист НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект», Санкт-Петербург.

В арсенале отечественных геотехников появляются новые геотехнологии, позволяющие выполнять работы по усилению фундаментов качественно и надежно. Одной из перспективных является струйная технология, позволяющая реализовывать различные конструкции усиления грунтов основания. В статье выполнен численный анализ работы основания фундамента с использованием косвенного усиления по струйной технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Технология струйного закрепления грунтов более 20 лет активно применяется во многих странах мира для решения сложных геотехнических задач. Лидерами в этой области являются Япония, Италия, США, страны Скандинавии. Последние годы данный метод получает все более широкое распространение в России. Основным отличием струйной технологии является использование энергии струи раствора для разрушения и одновременного перемешивания природного грунта с цементным раствором. После набора прочности цементом формируется новый композитный материал – грунтоцемент. Создание нового искусственного материала, обладающего достаточно высокими прочностными и деформационными характеристиками, является важной геотехнической задачей.

Струйная технология расширяет возможности ведения реконструкционных работ в грунте и может использоваться для создания подземных объемов в условиях плотной городской застройки. Технология позволяет обеспечить надежное закрепление грунтов стенок и днищ при отрывке глубоких котлованов открытым способом, позволяет реализо-

вать новые способы и конструкции усиления фундаментов. Для повышения нагрузки на бутовые фундаменты старых зданий от надстройки, кроме полного замещения грунта цементным раствором с использованием струйной технологии, может быть использовано косвенное укрепление основания, при котором свойства грунта не изменяются, но ограничивается возможность его деформирования. Вариантом косвенного укрепления грунтового основания является создание вертикальной или наклонной стенки из грунтоцементных столбов, выполненных струйным размывом у грани фундамента.

Этот метод может применяться для увеличения несущей способности слабого грунтового основания. Эффект достигается за счет ограничения боковых деформаций грунта и развития значительных сил трения грунта о грунт при боковых смещениях грунта. Устроенная конструкция исключает возможность развития зон сдвигов у краев фундамента. При этом форма эпюры нормальных контактных напряжений под подошвой не изменяется с повышением давления. Эффект усиления существенно зависит от геометрических размеров устроенных стенок. Кроме того, данный способ усиления позволяет понизить отметку пола подвала даже при высоком

© В. Н. Парамонов, С. А. Кудрявцев, С. Г. Богов, 2005

Internet: www.georec.spb.ru

уровне подземных вод. Отметим, что при этом скважины не бурятся через тело бутовых фундаментов, а грунт под их подошвой в напряженной зоне не размывается, что может позволить минимизировать технологическую осадку реконструируемого здания.

1. НАДСТРОЙКА ЗДАНИЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Последние годы в Санкт-Петербурге активно ведется работа по формированию нового облика исторического центра. Многие здания Санкт-Петербурга многократно реконструировались с надстройкой одного или нескольких этажей без усиления фундаментов. При этом давление по подошве фундаментов иногда в несколько раз превышает расчетное сопротивление грунта, в то время как возникает необходимость увеличить нагрузку на фундаменты за счет надстройки дополнительных этажей. Типичным примером увеличения нагрузки на существующие бутовые ленточные фундаменты является здание жилого дома по Караванной ул., д. 16/14 (рис. 1).



Рис. 1. Жилой дом (ул. Караванная, 16/14)

Здание построено в 1798 г. Конструктивная схема – смешанная, с несущими продольными и поперечными стенами, перекрытия – деревянные, фундаменты – ленточные, на естественном основании. Обследование фундаментов велось с помощью проходки шурфов и исследовательских буровых скважин сквозь тело фундаментов. В основном, фундаменты здания сложены из известнякового бута, но имеются также фундаменты из

сменяющих друг друга известняковой и гранитной, а также кирпичной и гранитной кладок. Обследованием установлено, что разнотипные фундаменты из разных материалов не имели перевязки, что привело к снижению жесткости фундаментов и здания в целом.

Такая разнородность материала фундаментов связана с тем, что здание не раз перестраивалось и достраивалось. Первоначально оно было двухэтажным. В 1858 г. была выполнена реконструкция надземной части здания с надстройкой трех дополнительных этажей. В конце двадцатого столетия здание дополнительно было надстроено мансардным этажом.

В результате увеличения нагрузки на существующие фундаменты и основание (пески пылеватые) в капитальных стенах здания образовались трещины, вызванные неравномерными осадками. Раскрытие трещин достигало 5...40 мм. По совокупности выявленных дефектов и повреждений техническое состояние стен и перекрытий в пределах отдельных квартир стало ограничено работоспособным, а в ряде мест – предаварийным.

При проектировании реконструкции здания с увеличением нагрузок на фундаменты в грунтовых условиях Санкт-Петербурга геотехнические фирмы традиционно применяют способы передачи нагрузки на более прочные грунты с помощью длинных буроинъекционных свай. К недостаткам такого способа относятся «технологические» осадки, проблематичность контроля качества изготовленных свай, низкая антикоррозионная стойкость, проблематичность заделки голов свай в тело слабого фундамента, который при развитии деформаций в последующий период будет работать как неармированный ростверк.

Для усиления перегруженного грунтового основания иногда инъецируют цемент в грунты, например с помощью манжетной технологии. Однако такая технология практически не применима при наличии под подошвами фундаментов водонасыщенных пылеватых песков средней плотности.

Применительно к грунтовым условиям Санкт-Петербурга технология струйной цементации позволяет эффективно решать не только традиционные проблемы укрепления

слабых пылевато-глинистых грунтов, но и реализовывать новые оптимальные решения сложных задач в области геотехнического строительства.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ

Для оценки эффективности косвенного способа усиления основания бутовых фундаментов при увеличении нагрузки было проведено численное моделирование с использованием программного комплекса FEM models. Расчетная схема задачи приведена на рис. 2, а. При моделировании рассмотрена работа ленточного фундамента глубиной заложения $d = 1,6$ м шириной подошвы $b = 1,7$ м в инженерно-геологических условиях, характерных для исторического центра Санкт-Петербурга. Физико-механические свойства грунтов приведены в таблице.

К фундаменту шагами прикладывалась вертикальная полосовая нагрузка. На рис. 2, б приведена эпюра дополнительных осадок фундамента при увеличении нагрузки на 50 кН/пог. м за счет надстройки одного этажа. Расчетная дополнительная осадка фундамента составила 14 мм, области предельного состояния под фундаментом распространяются на глубину до 5 м.

В рассмотренном случае для улучшения свойств грунтов основания была рекомендована технология струйного закрепления грунтов. По сравнению с традиционными технологиями инъекционного закрепления грунтов струйная цементация позволяет закреплять практически все грунты – от гравийных отложений до глин.

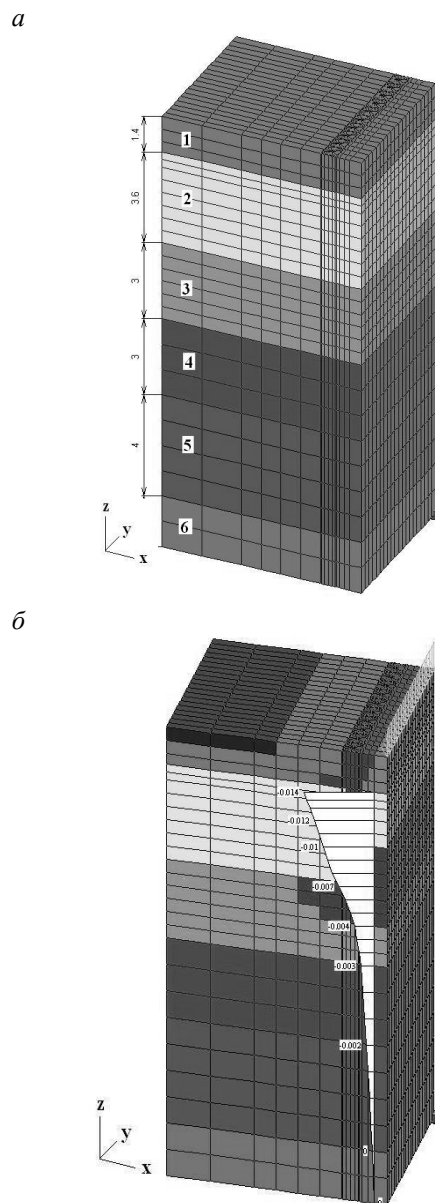


Рис. 2. Расчетная схема (а) и эпюра вертикальных осадок (м) основания от надстройки одного этажа (б): 1, 2, 3, 4, 5, 6 – инженерно-геологические элементы

Физико-механические показатели грунтов основания

ИГЭ	Наименование слоя	W	ρ , кН/м ³	e	I_L	ϕ , град	c , кПа	E , МПа
1	Насыпные грунты		1,6					
2	Пески пылеватые	0,2	19,4	0,75	–	25	1	10
3	Суглинки пылеватые	0,44	17,7	1,232	1,24	7	5	4
4	Суглинки пылеватые	0,32	19,1	0,886	0,9	12	10	7
5	Супеси пылеватые	0,14	22,4	0,382	0,45	28	13	9
6	Суглинки пылеватые	0,12	21,7	0,482	0,35	23	22	14,3

Internet: www.georec.spb.ru

Вариант расчета усиления основания стенкой из цементогрунтовых вертикальных столбов диаметром 0,6 м, выполненных у фундамента, приведен на рис. 4, с разрежением до одного диаметра – на рис. 5. Глубина закрепления принята равной 5 м (глубине развития областей предельного состояния от предельной нагрузки). Результаты расчета дополнительной осадки фундамента, усиленного вертикальными столбами, при увеличении нагрузки на 50 кН/м за счет надстройки приведены на рис. 4, б и 5, б. Дополнительная расчетная осадка фундамента при сплошной стенке составила 11 мм, при разреженной – 12 мм. Глубина распространения областей предельного состояния не изменилась.

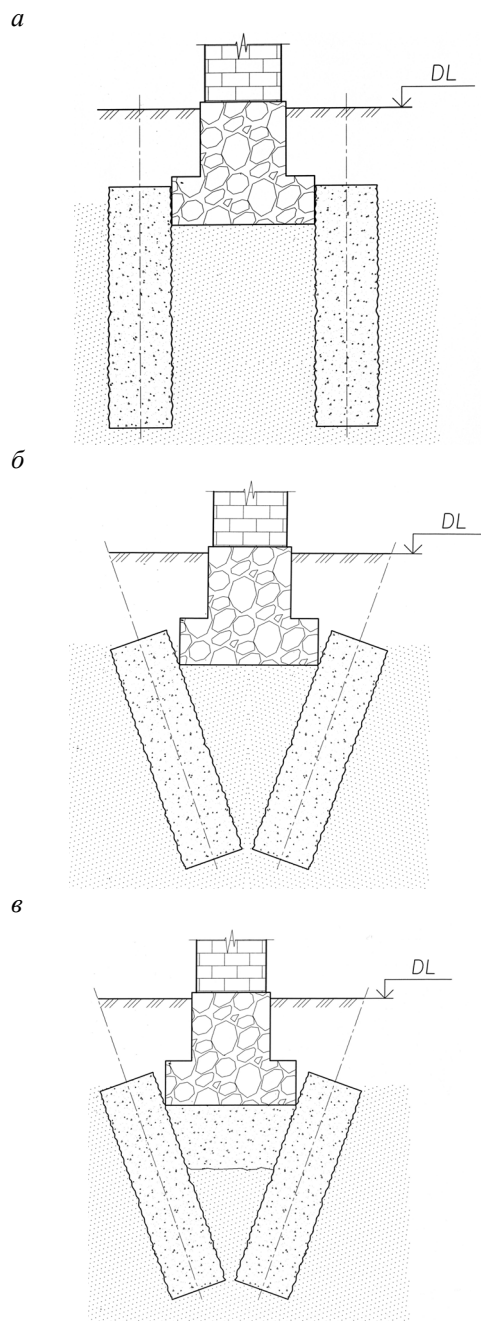


Рис. 3. Варианты усиления основания существующих фундаментов по технологии струйной цементации: *а* – вертикальными столбами; *б* – наклонными столбами; *в* – наклонными столбами с усилением контактного слоя

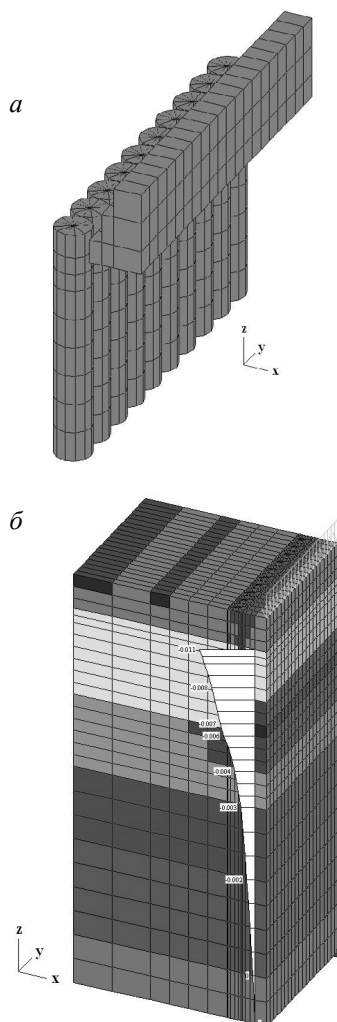


Рис. 4. Расчетная схема (а) и эпюра вертикальных осадок (м) основания, усиленного вертикальными столбами (б)

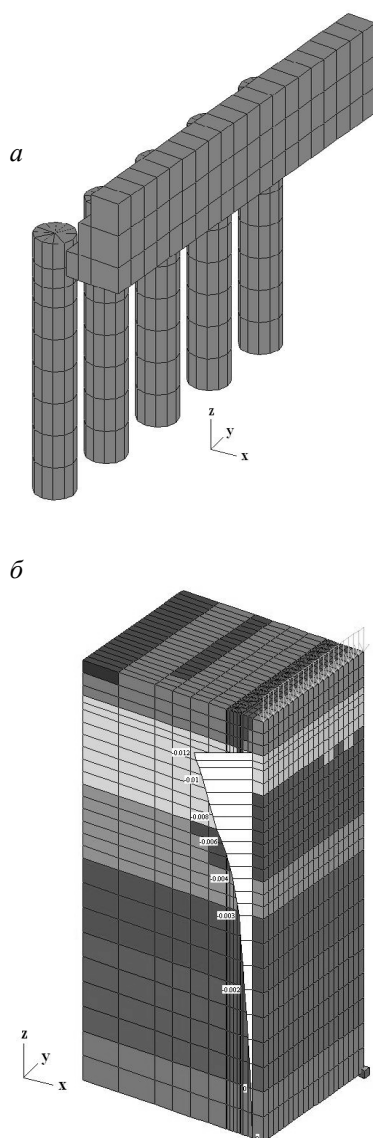


Рис. 5. Расчетная схема (а) и эпюра вертикальных осадок (м) основания усиленного вертикальными столбами в разрядку, с промежутком между сваями, равным одному диаметру (б)

Вариант расчета усиления основания стенкой из цементогрунтовых наклонных столбов диаметром 0,6 м приведен на рис. 6, с разрежением до одного диаметра – на рис. 7. Результаты расчета дополнительной осадки фундамента, усиленного вертикальными столбами при увеличении нагрузки на 50 кН/м за

счет надстройки, приведены на рис. 6, б и 7, б. Дополнительная расчетная осадка фундамента при сплошной стенке составила 11 мм, при разреженной – 12 мм. Глубина распространения областей предельного состояния не изменилась.

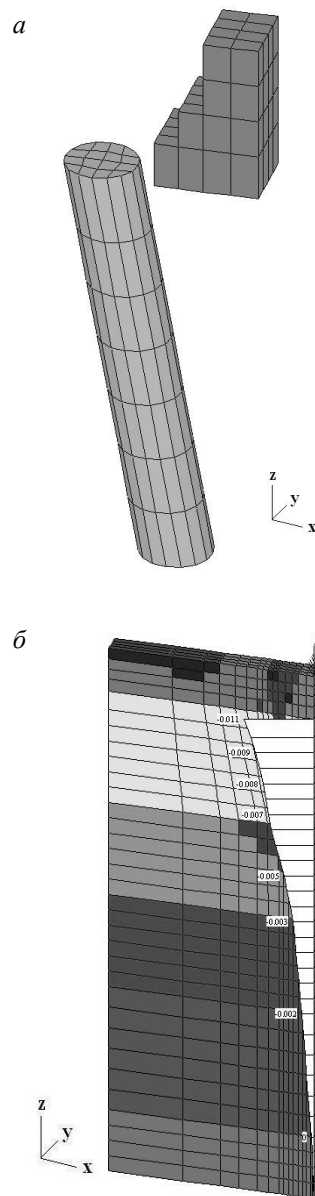


Рис. 6. Расчетная схема (а) и эпюра вертикальных осадок (м) основания, усиленного наклонными столбами (б)

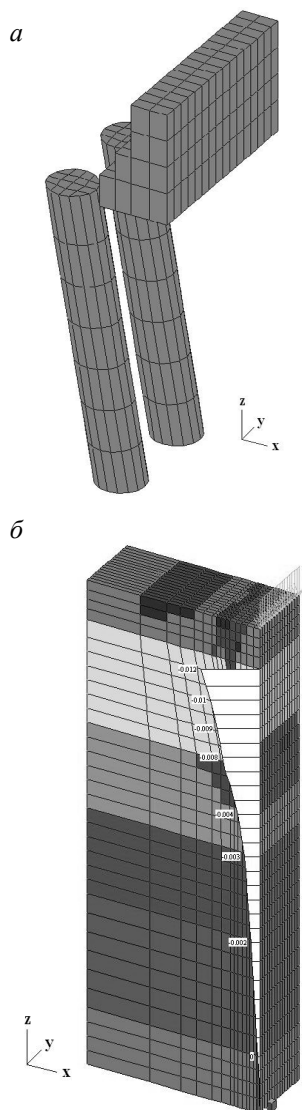


Рис. 7. Расчетная схема (а) и эпюра вертикальных осадок (м) основания, усиленного наклонными столбами в разрядку, с промежутком между сваями, равным одному диаметру (б)

Вариант усиления основания цементогрунтовыми наклонными столбами диаметром 0,6 м и устройства контактного слоя под подошвой фундамента приведен на рис. 8. Результаты расчета дополнительной осадки усиленного фундамента при увеличении нагрузки на 50 кН/м за счет надстройки приве-

дены на рис. 8, б. Дополнительная расчетная осадка фундамента при сплошной стенке составила 8 мм. Глубина распространения областей предельного состояния практически не изменилась.

Таким образом, расчеты показывают, что косвенное усиление основания может фактически локализовать области предельного состояния под фундаментом в пределах достигнутых до усиления глубин. В результате при дополнительном нагружении основания грунт от суммарной нагрузки может работать в пределах линейной стадии. Снижение же дополнительных осадок при надстройке за счет усиления в рассмотренном случае составляет до 1,5–2 раз по сравнению с вариантом дополнительного нагружения не усиленного фундамента.

Теперь рассмотрим результаты моделирования работы основания фундамента при нагружении в условиях различных вариантов усиления фундамента. Графики нагрузка–осадка фундамента для различных вариантов усиления основания по технологии струйной цементации приведены на рис. 9.

Из результатов расчета следует, что наименее эффективным является вариант устройства ограждающей стенки из вертикальных столбов с разрядкой в один диаметр (до 0,6 м). В этом случае при суммарной нагрузке на фундамент в 400 кН/м суммарная расчетная осадка фундамента составила более 18 см. Наиболее эффективным в соответствии с расчетами оказывается вариант комбинированного устройства стенки из наклонных столбов с усилением контактного слоя под подошвой фундамента. В данном случае при нагрузке в 400 кН/пог. м расчетная осадка фундамента составила до 10 см (на естественном основании она составила 22 см).

Графики зависимости осадки от нагрузки нелинейны, что характерно для развития областей пластических деформаций в основаниях. Следовательно, косвенное усиление эффективно, если давление под подошвой фундамента существенно превышает расчетное сопротивление грунта.

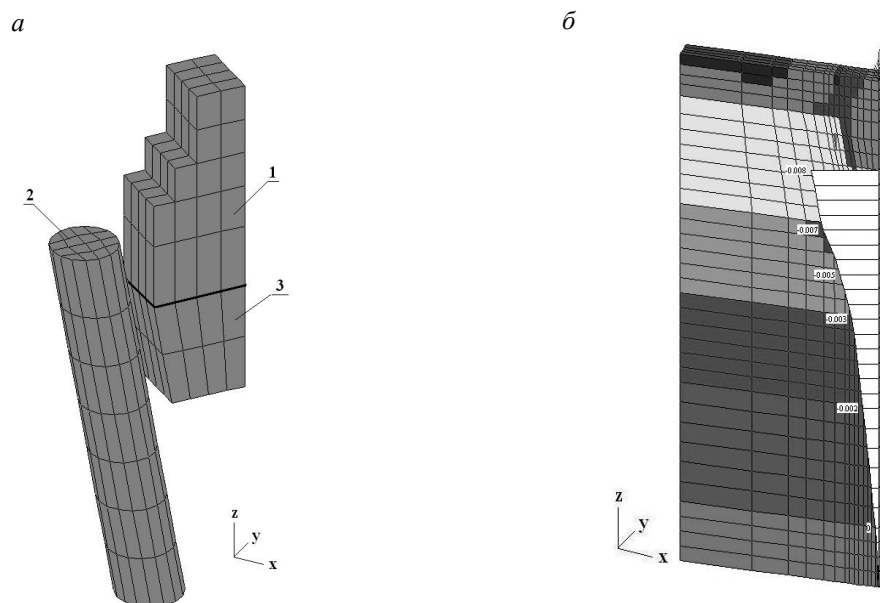


Рис. 8. Расчетная схема (а) и эпюра вертикальных осадок (б) основания фундамента 1, усиленного наклонными столбами 2, с усилением контактного слоя 3

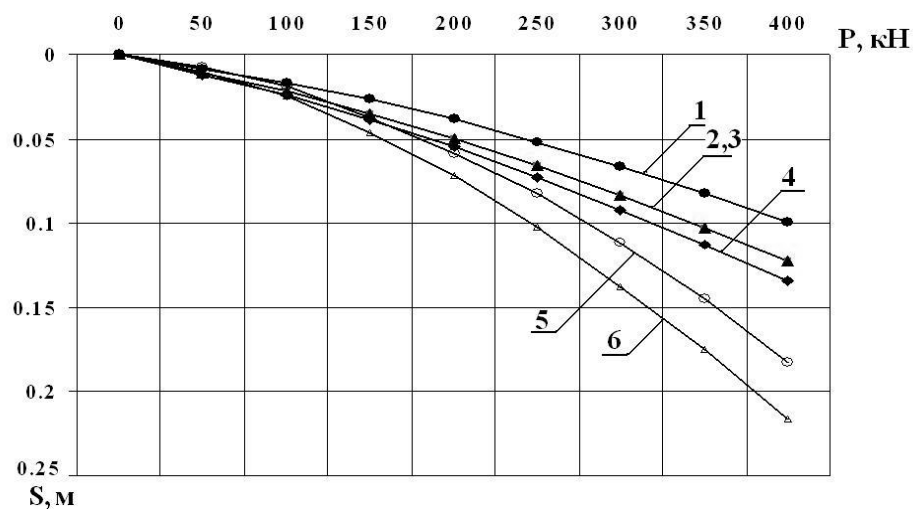


Рис. 9. Графики нагрузка–осадка фундамента при нагружении с усилением основания:
 1 – наклонные столбы с усилением контактного слоя под подошвой фундамента;
 2, 3 – вертикальные и наклонные столбы;
 4 – наклонные столбы с разрядкой в один диаметр;
 5 – вертикальные столбы с разрядкой в один диаметр;
 6 – без усиления основания

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реконструкция старых зданий в Санкт-Петербурге зачастую сопряжена с увеличением нагрузок на ленточные бутовые фундаменты. В условиях слабых грунтов это вызывает развитие дополнительных напряжений в основании, превышающих расчетное сопротивление грунта, и приводящих к развитию нелинейных деформаций основания.

В качестве варианта усиления основания фундаментов надстраиваемых зданий предлагается струйная технология закрепления грунта с косвенным укреплением основания. При этом свойства грунта остаются прежними, но изменяется схема работы основания под фундаментом.

Согласно расчетам, косвенный метод усиления оснований может быть эффективным при существенном превышении расчетного сопротивления грунта под подошвой фундамента. Эффект снижения осадки достигается за счет ограничения боковых деформаций грунта и развития значительных сил трения грунта о грунт при его боковых смещениях.

Поскольку метод усиления снижает развитие областей предельного состояния, его можно использовать и для увеличения несущей способности грунтового основания.