

Секция 3

МЕХАНИКА АРМИРОВАННЫХ ГРУНТОВ

УДК 624.159.4

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-333-342

КОРРЕКТИРОВКА ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЗДАНИЙ НА ПЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТАХ ВЫСОКОНАПОРНЫМ ИНЪЕЦИРОВАНИЕМ

М. Л. Нуждин¹, Л. В. Нуждин²

¹ООО «ГРОСФ», г. Иркутск, Россия

²ООО «Научно-проектное экспертно-консультационное предприятие «ОиФ»,
г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Представлено описание способа корректировки вертикального положения зданий на плитных фундаментах. Корректировка выполняется методом группового высоконапорного инъецирования для армирования грунтового основания твердыми инъекционными телами по контуру плитного фундамента и, в случае необходимости, под его подошвой. Предусмотрено несколько вариантов расположения инъекционных тел и последовательности усиления. Выполнена оценка эффективности вариантов усиления грунтового основания в MIDAS GTS NX. Для возможности нагнетания цементно-песчаного раствора под подошву плиты, в ее теле при изготовлении, устанавливаются инъекционные кондукторы – металлические или полипропиленовые трубы промышленного производства. Корректировка может быть выполнена при возникновении случайных кренов в процессе возведения или во время эксплуатации здания.

Ключевые слова: корректировка вертикального положения, усиление грунтового основания, высоконапорное инъецирование

CORRECTION OF THE VERTICAL POSITION OF BUILDINGS ON SLAB FOUNDATIONS BY HIGH-PRESSURE INJECTION

M. L. Nuzhdin¹, L. V. Nuzhdin²

¹LLC «GROSF», Irkutsk, Russia

²LLC «Research and design expert consulting enterprise «O&F», Novosibirsk, Russia

Annotation. A description of a method for correcting the vertical position of buildings on slab foundations is presented. The correction is performed by the method of group high-pressure injection – reinforcement of the soil base with solid injection bodies along the contour of the slab foundation, and, if necessary, under its sole. There are several options for the location of injection bodies and the sequence of reinforcement. The effectiveness of the options for strengthening the soil base in MIDAS GTS NX has been evaluated. For the possibility of injecting cement-sand mortar under the sole of the slab, injection conductors are installed in its body during manufacture – metal or polypropylene pipes of industrial production. Adjustments can be made if accidental rolls occur during the construction process or during the operation of the building.

Keywords: correction of the vertical position, reinforcement of the soil base, high-pressure injection

Способ корректировки вертикального положения зданий на плитных фундаментах

При возведении зданий на плитных фундаментах существует риск возникновения случайных кренов, вызванных неравномерными деформациями грунтового основания. Развитие неравномерных деформаций может быть обусловлено наличием неустановленной неоднородности грунтового массива, включений техногенных, слабых или просадочных грунтов, локальным изменением уровня подземных вод, промораживанием или замачиванием вскрытого котлована, проведением работ, влияющих на напряженно-деформируемое состояние основания и прочими факторами, нередко имеющими место на строительной площадке в черте городской застройки.

Метод высоконапорного инъецирования подвижного цементно-песчаного раствора дает возможность своевременной корректировки вертикального положения зданий за счет выправления неравномерных деформаций основания, а также адаптации плитного фундамента к изменению физико-механических характеристик грунтов, как в процессе строительства, так и при последующей эксплуатации [1–4].

Для удобства оперативного производства инъекционных работ в теле плиты при ее изготовлении устанавливают инъекционные кондукторы, через которые в последующем, при необходимости, возможно погружение инъекторов для нагнетания раствора в основание под ее подошвой.

Необходимость проведения работ определяется в ходе геодезических наблюдений за осадками и кренами сооружения в процессе строительства или эксплуатации. Проектом предусматривается обязательная установка на объекте геодезических марок, количество и частота замеров, которых зависят от темпов строительства и грунтовых условий площадки. Зарегистрированные показания сопоставляются с данными предыдущих циклов и, в случае нарастания неравномерных деформаций, рассматривается вопрос о необходимости выполнения работ по усилению основания.

Для проведения корректировки вертикального положения здания разрабатывается специальный проект. Основные параметры усиления (последовательность работ, длина участков с контурным армированием, количество горизонтов и объемы инъецирования) назначаются по результатам расчетов с учетом уточняющих полевых исследований деформационных свойств основания. Особое значение в расчетах играет точность данных о фактическом строении грунтового массива на момент сложившейся неблагоприятной ситуации [5].

Для оперативной достоверной оценки напряженного состояния сжимаемой области и деформационных свойств грунтов используется расклинивающий дилатометр, реализующий метод контролируемых перемещений

— грунт деформируется внедрением клиновидного индентора, а напряженное состояние оценивается измерением возникающих при этом контактных напряжений [6]. Дилатометр РД-100, разработанный в Новосибирске, успешно используется на базе любой установки статического зондирования, помимо высокой точности определения модуля деформации, доказанной многочисленными натурными сопоставительными исследованиями, достоинством РД-100 является возможность быстрого получения практически «непрерывной» информации о модуле деформации грунтов по глубине и в плане оцениваемого массива.

Сведения о проектных параметрах усиления (геометрических размерах и прочностных характеристиках твердых инъекционных тел, изменении деформационных свойств и НДС основания в ходе инъектирования) уточняются экспериментально на опытном полигоне и контролируются в ходе проведения инъекционных работ на объекте.

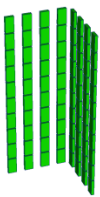
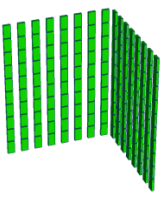
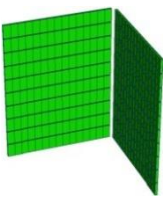
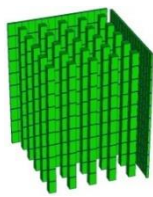
Варианты корректировки групповым высоконапорным инъектированием

Метод группового высоконапорного инъектирования подвижных цементно-песчаных растворов позволяет создавать в дисперсных грунтах вертикальные и горизонтальные инъекционные тела определенной формы. Усиление грунтового основания армированием может выполняться по разным схемам расположения инъекционных тел и последовательности их выполнения [7].

Первый вариант усиления основания плитных фундаментов включает следующую последовательность (табл. 1):

- прерывистое контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты в направлении зафиксированного крена на участках длиной $\sim 0,25b$ (где b – ширина плитного фундамента);
- прерывистое контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,5b$;
- сплошное контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,5b$;
- армирование грунтового основания под подошвой угловой части плиты, около которой выполнено контурное армирование.

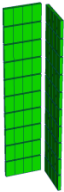
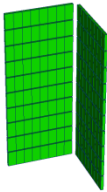
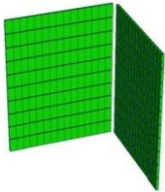
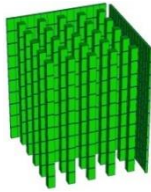
Таблица 1. Последовательность усиления армированием плитного фундамента (1-й вариант)

1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
			

Второй вариант усиления (табл. 2):

- сплошное контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,125b$;
- сплошное контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,25b$;
- сплошное контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,5b$;
- армирование грунтового основания под подошвой угловой части плиты, около которой выполнено контурное армирование.

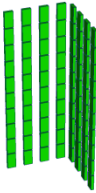
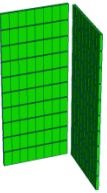
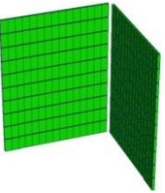
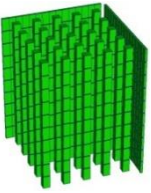
Таблица 2. Последовательность усиления армированием плитного фундамента (2-й вариант)

1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
			

Третий вариант усиления (табл. 3):

- прерывистое контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,25b$;
- сплошное контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,25b$;
- сплошное контурное армирование вдоль смежных сторон от угла фундаментной плиты на участках длиной $\sim 0,5b$;
- армирование грунтового основания под подошвой угловой части плиты, около которой выполнено контурное армирование.

Таблица 3. Последовательность усиления армированием плитного фундамента (3-й вариант)

1-й этап	2-й этап	3-й этап	4-й этап
			

Армозлементы под подошвой плиты также выполняются поэтапно – от угла к центру, их количество зависит от динамики развития неравномерных деформаций, выявленной в ходе работ по усилению.

Алгоритм поэтапного усиления плитных фундаментов групповым высоконапорным инъецированием цементно-песчаного раствора представлен в табл. 4.

Таблица 4. Алгоритм усиления фундаментов пакетным высоконапорным инъецированием

Назначение глубины усиления	Глубина сжимаемой толщи H_c , м, ИГ условия площадки
Расчетное обоснование варианта усиления	Расчет осадок плитного фундамента на армированном грунтовом основании
1-й этап усиления	Прерывистое контурное армирование вдоль смежных сторон на участках длиной $\sim 0,25b$
Геодезический контроль осадок фундаментов	$(\Delta S/L)_n < (\Delta S/L)_u$ – прекращение работ; $(\Delta S/L)_n > (\Delta S/L)_u$ – выполнение следующего этапа
2-й этап усиления	Прерывистое контурное армирование вдоль смежных сторон на участках длиной $\sim 0,5b$
Геодезический контроль осадок фундаментов	$(\Delta S/L)_n < (\Delta S/L)_u$ – прекращение работ; $(\Delta S/L)_n > (\Delta S/L)_u$ – выполнение следующего этапа
3-й этап усиления	Сплошное контурное армирование вдоль смежных сторон на участках длиной $\sim 0,5b$
Геодезический контроль осадок фундаментов	$(\Delta S/L)_n < (\Delta S/L)_u$ – прекращение работ; $(\Delta S/L)_n > (\Delta S/L)_u$ – выполнение следующего этапа
4-й этап усиления	Выполнение армоэлементов под подошвой в углу фундаментной плиты (9 столбцов)
Геодезический контроль осадок фундаментов	$(\Delta S/L)_n < (\Delta S/L)_u$ – прекращение работ; $(\Delta S/L)_n > (\Delta S/L)_u$ – выполнение следующего этапа
5-й этап усиления	Выполнение дополнительных армоэлементов под подошвой в углу фундаментной плиты (16 столбцов)

Примечание. $(\Delta S/L)_n$ – относительная разность осадок после работ очередного этапа; $(\Delta S/L)_u$ – предельное значение относительной разности осадок.

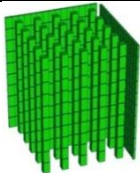
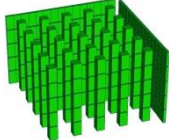
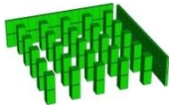
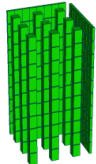
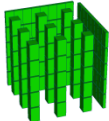
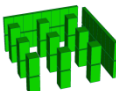
Метод расчета

Эффективность представленных вариантов (схем) усиления грунтового основания плитных фундаментов высоконапорным инъецированием для грунтовых условий, характерных для г. Новосибирска, оценивалась в MIDAS GTS NX с учетом нелинейного характера работы грунта в рамках упруго-пластической модели Мора-Кулона. Осредненные результаты расчетов приведены в табл. 5.

Табл. 5 содержит значения осадок угловой точки плитного фундамента на естественном основании и угловой точки после усиления грунта по контуру и под подошвой плиты твердыми инъекционными телами по соответствующей схеме.

Предварительно назначить вариант усиления — последовательность проведения инъекционных работ от меньшего количества инъекционных тел к большему можно ориентируясь на эти данные. При разработке проектного решения для конкретного объекта производится свой расчет на основании всех уточненных исходных данных.

Таблица 5. Осадка угловой точки плитного фундамента на основании, усиленном твердыми инъекционными телами

Схема армирования	Полидисперсная модель / «равных деформаций»	MIDAS (упругопластическая модель Мора-Кулона)
	$S = 29,0 \text{ мм}$ $\Delta S = 16,0 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 36 \%$	$S = 202 \text{ мм}$ $\Delta S = 92 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 31 \%$
	$S = 31,5 \text{ мм}$ $\Delta S = 13,5 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 30 \%$	$S = 240 \text{ мм}$ $\Delta S = 54 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 18 \%$
	$S = 39,6 \text{ мм}$ $\Delta S = 5,4 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 12 \%$	$S = 269 \text{ мм}$ $\Delta S = 25 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 9 \%$
	$S = 37,5 \text{ мм}$ $\Delta S = 7,5 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 17 \%$	$S = 235 \text{ мм}$ $\Delta S = 59 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 20 \%$
	$S = 38,7 \text{ мм}$ $\Delta S = 6,3 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 14 \%$	$S = 258 \text{ мм}$ $\Delta S = 36 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 12 \%$
	$S = 42,5 \text{ мм}$ $\Delta S = 2,5 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 6 \%$	$S = 277 \text{ мм}$ $\Delta S = 17 \text{ мм}$ $\Delta S / S_e = 6 \%$

Примечание. S – осадка угловой точки на усиленном основании; ΔS – разность осадок угловой точки на естественном основании и после усиления; $\Delta S/S_e$ – разность осадок угловой точки на естественном основании и после усиления в процентах.

Анализ результатов расчетов показывает, что определить осадку плитного фундамента на усиленном основании можно методом послойного суммирования. При этом усиленный инъектированием слой грунта характеризуется приведенным модулем, который может быть вычислен, например, в рамках полидисперсной модели с цилиндрическими включениями, методом «равных деформаций». Приведенный модуль усиленного (армированного) слоя по методу «равных деформаций» определяется по простой формуле:

$$E = \frac{E_{ар}A_{ар} + E_{гр}A_{гр}}{A}$$

где $E_{ар}$, $E_{гр}$ – модуль деформации армоэлементов и грунта; $A_{ар}$, $A_{гр}$ – площадь армоэлементов и грунтового основания, не усиленного армоэлементами; A – площадь геомассива.

Инъекционные кондукторы

Для возможности усиления грунтового основания под подошвой в теле фундаментной плиты при ее изготовлении размещают вертикально ориентированные инъекционные кондукторы. В качестве кондукторов, как правило, применяются металлические, асбестоцементные или полипропиленовые трубы промышленного производства. Внутренний диаметр труб должен быть достаточным для погружения в них инъекторов с определенным зазором (как правило, используются трубы с внутренним диаметром не менее 110 мм).

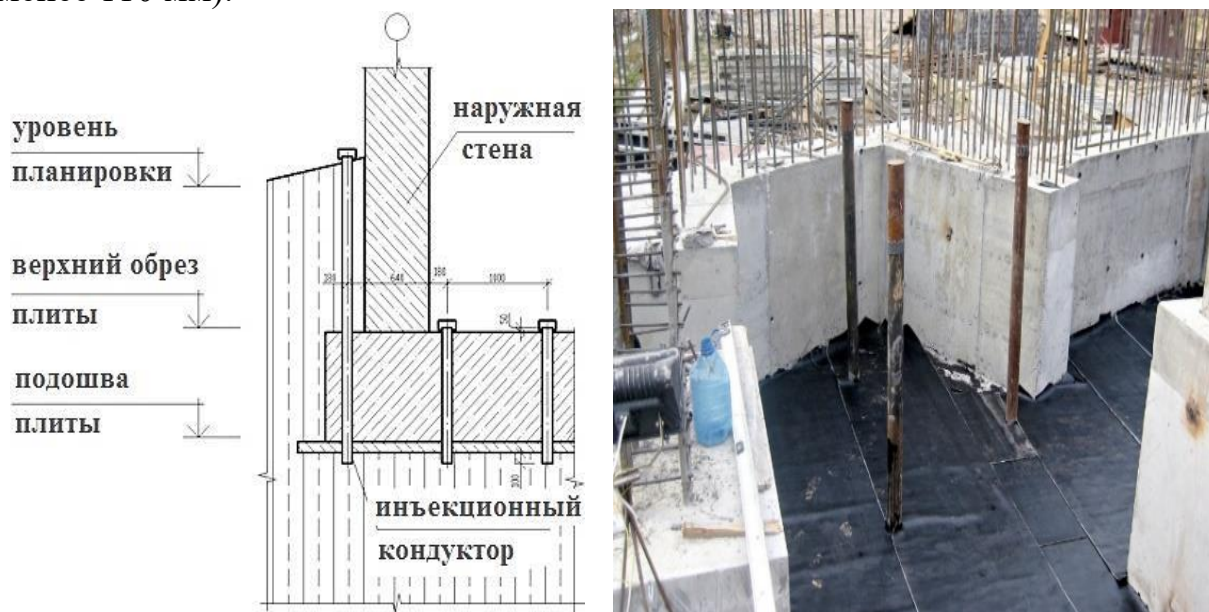


Рис. 1. Инъекционные кондукторы в теле фундаментной плиты

Инъекционные кондукторы могут быть размещены по всей плите или в ее части по сплошной сетке с шагом, не превышающим 1,2 м. В наиболее нагруженных местах фундаментной плиты, возле несущих стен здания, а также в районах предполагаемого развития деформаций целесообразно уменьшить шаг расстановки. Минимальное расстояние от кондукторов до края стен диктуется геометрическими параметрами инъекционного оборудования и составляет, как правило, 150...250 мм.

Для формирования горизонтальных инъекционных тел под подошвой в определенной зоне, методом группового высоконапорного инъецирования, кондукторы располагаются в вершинах равностороннего треугольника – группами по 3 штуки. Расстояния между группами назначаются в зависимости от грунтовых условий строительной площадки и нагрузок, передаваемых на основание.

Кондукторы устанавливаются в теле плиты в процессе укладки арматуры и раскрепляются к элементам каркаса. Верхний конец выводится на 50...100 мм над поверхностью плиты внутри здания и снаружи выше по-

верхности планировки, при этом, в случае необходимости могут использоваться доборные элементы. Головы кондукторов оборудуются съемными металлическими крышками, для предотвращения попадания в них бетона и строительного мусора. Нижняя часть кондукторов заглубляется в грунт основания под подбетонкой не менее чем на 100...150 мм.



Рис. 2. Высотные здания г. Новосибирска на плитных фундаментах с инъекционными кондукторами



Рис. 3. Высотные здания г. Новосибирска на плитных фундаментах и устройство плитных фундаментов с инъекционными кондукторами

Заключение

Способ корректировки вертикального положения зданий и сооружений на плитном фундаменте высоконапорным инъецированием цементно-песчаного раствора защищен патентом на изобретение РФ [8]. Способ внедрен более чем на 20 строительных объектах г. Новосибирска (рис. 2, 3). По результатам рассмотрения разработанной проектной и технической документации на устройство плитных фундаментов с учетом возможности корректировки вертикального положения высотных зданий авторам в 2025 г. были присуждены дипломы РОМГГиФ им. профессора С.Б. Ухова за оригинальное инженерное решение и научное обоснование проекта в практике устройства оснований, фундаментов и подземных сооружений (рис. 4, 5).



Рис. 4. Дипломы РОМГГиФ им. профессора Ухова С.Б. за оригинальное инженерное решение и научное обоснование проекта в практике устройства оснований, фундаментов и подземных сооружений



Рис. 5. Вручение авторам дипломов и почетных знаков РОМГГиФ им. профессора Ухова С. Б президентом РОМГГиФ, вице-президентом РААСН академиком В. А. Ильичевым

Список источников

1. Шапошников, А. В. Выравнивание фундаментов зданий методом инъекции раствора на основе цемента / А. В. Шапошников, В. В. Семкин, М. Н. Ибрагимов // Применение гидроразрывной технологии в практике строительства: Тр. VI Петрухинских чтений. – М., 2022. – С. 75-86. DOI: 10.37538/2713-1149-2022-75-86.
2. Попсуенко, И. К. Подъем фундаментов нагнетанием в их основания цементных растворов и расширяющихся геополимеров / И. К. Попсуенко, А. С. Борисов, П. П. Дегтярев // Применение гидроразрывной технологии в практике строительства: Тр. VI Петрухинских чтений. – М., 2022. – С. 87-112. DOI: 10.37538/2713-1149-2022-87-112.
3. Метод гидроразрыва для усиления грунтовых оснований под фундаментами зданий при горизонтальной проходке / Я. А. Пронозин, И. В. Сугоняев, Е. П. Брагарь, М. Д. Кайгородов // Архитектура, строительство, транспорт. – 2025. – 5(1). – С. 21–38. DOI: 10.31660/2782-232X-2025-1-21-38.
4. Власов, М. А. Корректировка неравномерной осадки фундамента шахтной вентиляционной установки / М. А. Власов, О. В. Герасимов, С. М. Простов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2025. – № 4. – С. 5-17. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-4-5-17
5. Nuzhdin, M.L., Nuzhdin, L.V. Strengthening of supporting ground of a damaged building by high-pressure injection of a moving cement-sand mixture // Proceedings of the 17th African Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 7, 8 & 9 October 2019. – Pretoria, 2019. – P. 785–788.
6. Нуждин, Л. В. Методика полевых исследований деформируемости грунтов расклинивающим дилатометром и расчета осадок фундаментов по СП 22.13330.2011 / Л. В. Нуждин, М. Л. Нуждин, К. В. Козьминых // Современные геотехнологии в строительстве и их научно-техническое сопровождение: материалы междунар. науч.-техн. конф. – СПб, 2014. – Ч. 2. – С. 122-130.
7. Нуждин М. Л. Подход к расчетному определению осадок плитного фундамента на основании, усиленном вертикальными армозементами / М. Л. Нуждин, А. Б. Пономарев // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы междунар. науч.-техн. конф. – Новочеркасск, 2022. – С. 432–439.
8. Способ корректировки вертикального положения зданий и сооружений на плитном фундаменте: пат. Рос. Федерация / Л. В. Нуждин, М. Л. Нуждин. – № 2352723; заявл. 06.08.2007; опубл. 20.04.2009. – 11 с.
9. Нуждин, Л. В. Усиление грунтового основания вертикальным армированием и высоконапорным инъецированием / Л. В. Нуждин, М. Л. Нуждин // Усиление оснований и фундаментов: Тр. VIII Петрухинских чтений. – М., 2024. – С. 47-103. DOI: 10.37538/2713-1149-2024-47-102.

© Нуждин М. Л., Нуждин Л. В., 2026