

УДК 624.15

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-368-375

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ АРМИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ ШПАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ

А. И. Корпач

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Аннотация. В статье обобщаются результаты работы автора по исследованию работы горизонтального армирования основания протяженными элементами балочного типа – шпального распределителя. Описываются основные конструктивные и технологические параметры данного вида искусственного основания. Приводится пример выполнения в практике фундаментостроения шпального распределителя в основании ленточных фундаментов многоэтажного жилого дома. Основное внимание уделяется данным численного моделирования горизонтального армирования сжимаемой зоны грунтового основания балочными элементами – шпалами. Сделаны выводы о возможном эффективном применении предлагаемого метода армирования оснований.

Ключевые слова: горизонтальное армирование грунта, искусственное основание фундамента, шпальный распределитель, шпала, распределительный слой

HORIZONTAL REINFORCING OF FOUNDATION BASEMENTS BY SLEEPER DISTRIBUTOR

A. I. Korpach

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Annotation. This article summarizes the author's research findings on horizontal foundation reinforcement using beam-type elements – sleeper distributor. The article presents the key design and technological parameters of this type of artificial foundation. A practical example of sleeper distributor implementation in geotechnical construction in the basement of strip foundation of a multi-story residential building is provided. The main focus is on numerical modeling data for horizontal reinforcement of the compressible soil base zone using beam elements – sleepers. Conclusions are drawn regarding the potential effective application of the proposed foundation reinforcement method.

Keywords: horizontal soil reinforcement, artificial foundation basement, sleeper distributor, sleeper, distribution layer

В практике геотехнического строительства армирование грунтовых оснований приобрело широкую популярность. Если в практике вертикального армирования непосредственно армирующие элементы имеют значительную жесткость (как правило, бетонные или железобетонные конструкции), то для горизонтального армирования в основном применяются различные гибкие геосинтетические материалы (текстиль, сетки и решетки, реже маты).

Например, в основании дорожных насыпей горизонтальное армирование под достаточно равномерно распределенную нагрузку не требует от

армирующего материала значительной жесткости, однако расположение горизонтального армирования в активной сжимаемой зоне фундаментов мелкого заложения предъявляет уже иные требования к прочностным и деформационным характеристикам армирующих элементов. Попытка распределения нагрузки от столбчатого или ленточного фундамента на большую площадь неизменно приводит к необходимости увеличения изгибной жесткости горизонтального армирования, к нормированию его длительной прочности, к вопросу учета ползучести и относительной деформации при разрушении в случае гибкого материала.

Введение

Шпальный распределитель (ШР) — представляет собой искусственное основание как правило ленточных и столбчатых, реже плитных фундаментов [1, 2], устраиваемое путем горизонтального армирования сжимаемой зоны грунтового основания протяженными жесткими армирующими балочного типа – шпалами. Следует отметить, что армирующие элементы не имеют непосредственной связи с конструкцией фундамента и отделены от его подошвы распределительным / буферным слоем (рис. 1).

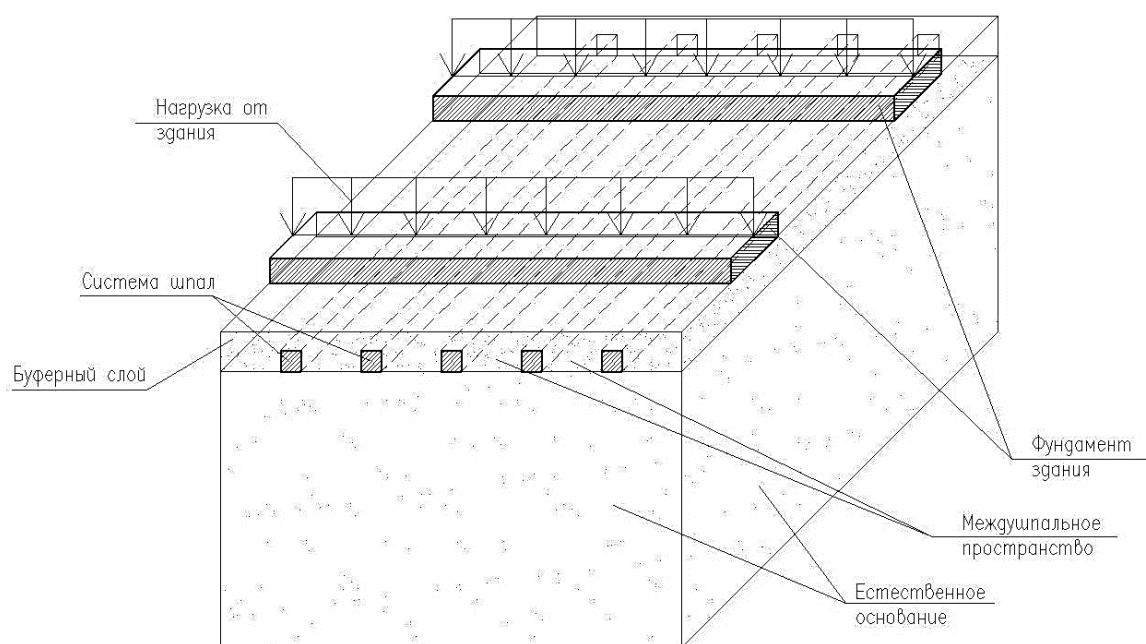


Рис. 1. Принципиальная схема устройства ШР

Идея устройства шпального распределителя основана как на историческом опыте применения лежневых конструкций в основании зданий, так и на классических задачах механики грунтов по взаимодействию системы балок на грунтовом основании. Различными авторами предлагались шпальные фундаменты (Тугаенко, Кушак) прерывистые и щелевые фундаменты (Сорочан, Фидаров и др.). Традиционно значительное внимание уделяли эффективным фундаментам в Новочеркасске и Волгограде [2, 3].

Принцип работы ШР заключается не только в увеличении эффективной площади передачи нагрузки на грунтовое основание, но также в укреплении сжимаемой зоны по глубине, в том числе в несколько рядов (рис. 2) и вовлечении в совместную работу различных фундаментов. Распределительный или буферный слой не только способствует более равномерной передаче нагрузки, но и перераспределяет ее.

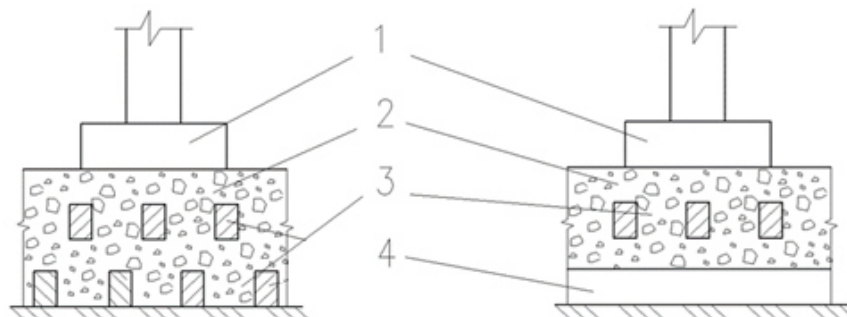


Рис. 2. Варианты возможного применения ШР под отдельными фундаментами в одном или двух уровнях:

1 – столбчатый фундамент; 2 – буферный слой; 3 – шпалы; 4 – грунтовое основание

Первое практическое использование сборного варианта шпального распределителя под фундаменты многоэтажного здания выполнено [4] в г. Воронеж в 2008–2009 гг (рис. 3).

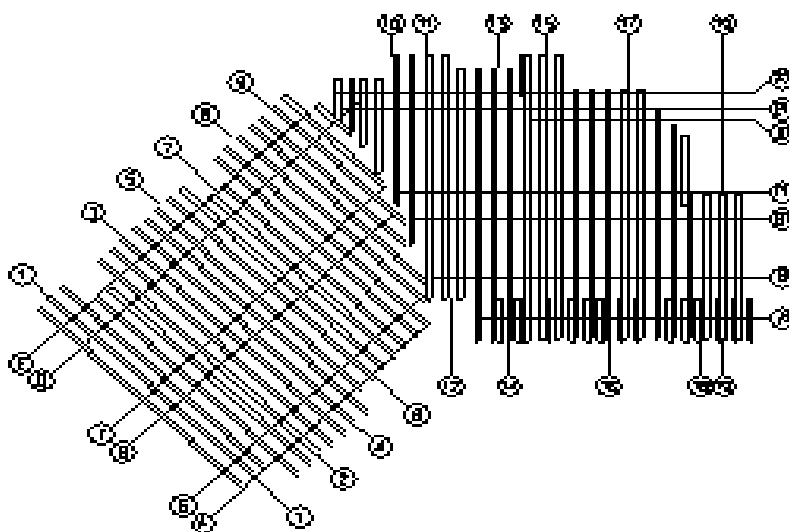


Рис. 3. Расположение шпал в плане осей 17-этажного дома на ШР

Тогда за счет устройства искусственного основания из уложенных горизонтально призматических свай удалось оптимизировать выполнение фундаментов здания:

- обеспечить надежность системы основание-фундамент;
- применить ленточные фундаменты взамен монолитной фундаментной плиты;
- сократить затраты труда и общую стоимость геотехнических работ примерно на 20 % по сравнению с плитным фундаментом.

Основная часть

С целью определения оптимальных конструктивных параметров шпального распределителя применительно к горизонтальному армированию оснований ленточных фундаментов было проведено численное моделирование [5] работы искусственного основания.

Вся система взаимодействия различных ленточных фундаментов на ШР в плане здания была разбита на две характерные расчетные модели: фундамент с выступом шпал по бокам на половину его ширины (рис. 4) и плиту со шпалами под ней.

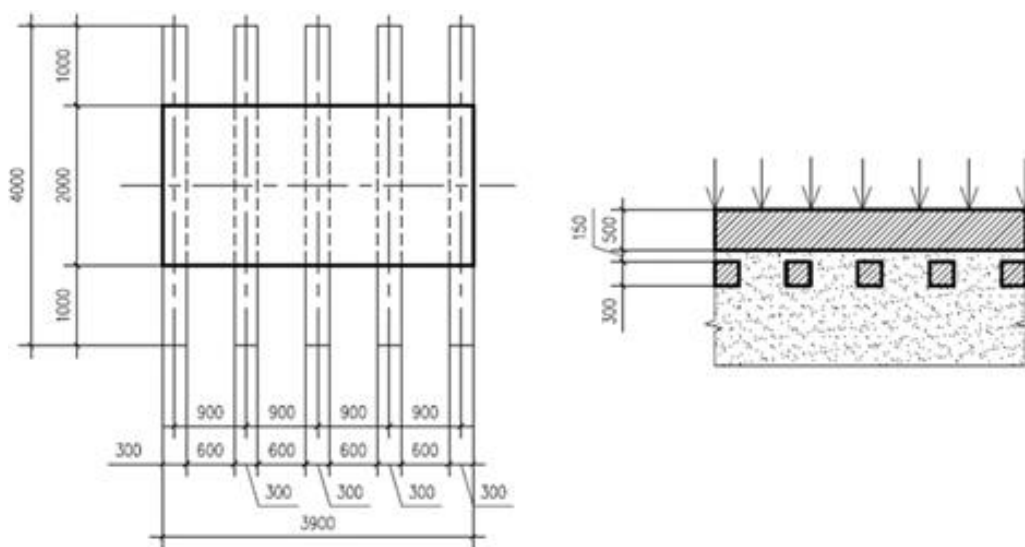


Рис. 4. Модель фундаментной плиты на ШР при шаге шпал 0,9 м и толщине буферного слоя 0,15 м

В дополнение к расчетным моделям фундаментов на искусственном основании были использованы сравнительные модели 2-х плит толщиной 0,5 м на грунте естественного сложения, что позволило сопоставить деформации различных схем и оценить эффект от устройства горизонтального армирования. Итоговые базовые 4 модели расположились в следующем порядке:

- 1) фундамент на естественном основании шириной 2 м, длиной 3,9 м;
- 2) фундамент на естественном основании шириной 4 м, длиной 3,9 м;
- 3) фундамент шириной 2 м, длиной 3,9 м на искусственном основании из системы шпал длиной 4 м сечением $0,3 \times 0,3$ м, отделенных от плиты буферным слоем.
- 4) фундамент длиной 3,9 м и толщиной 0,5 м на искусственном основании из системы шпал длиной 4 м сечением $0,3 \times 0,3$ м, отделенных от плиты буферным слоем.

Численный эксперимент включает в себя сравнительные расчеты для представленных выше моделей под действием линейно-распределенной

нагрузки величиной до 1000 кН/м, прилагаемой ступенчато по продольной оси плиты. Варьируемыми конструктивными параметрами являются шаг шпал (от 0,45 м до 1,8 м) и толщина буферного слоя (от 0 до 0,6 м). Для контроля осадок выбраны 10 точек, позволяющих оценить общую осадку плиты, ее прогибы, а также осадки и прогибы центральной и краевой шпал.

Очевидно, что при отсутствии буферного слоя представленная на рис. схема трансформируется в плиту, усиленную ребрами, т. е. шпалы будут являться частью фундамента. По мере увеличения буферного слоя шпалы будут все больше приобретать характер армирующих элементов.

Распределение вертикальных напряжений в основании естественного сложения (рис. 5) под фундаментной плитой размерами 2×3,9 м имеет классический вид. При росте нагрузки происходит формирование пластических зон под краями плиты с дальнейшим развитием выпора грунта из-под подошвы фундамента.



Рис. 5. Распределение вертикальных напряжений σ_v под фундаментной плитой 2×3,9 м вдоль ее продольной оси

Устройство системы шпал в сжимаемой зоне основания без изменения размеров фундаментной плиты приводит к закономерному перераспределению напряжений (рис. 6).

Основное давление от фундамента воспринимается буферным слоем и передается на систему шпал и междушпальное пространство. Система шпал образует своеобразную несущую балочную плиту, при этом отдельная шпала является концентратором напряжений в искусственном основании. Шпалы после обжатия буферного слоя воспринимают давление от фундамента, тогда как заполнение междушпального пространства проходит начальную стадию уплотнения и не способно воспринимать нагрузку наравне со шпалами.

Каждая шпала, по сути, представляет собой отдельный фундамент, под которым происходит распределение напряжений, аналогичное отдельному фундаменту. Однако работа шпал в общей системе ШР вносит значительные корректировки в их работу под нагрузкой, в частности в формирование пластических областей. До определенной нагрузки напряжения в основании отдельной шпалы развиваются независимо от соседних шпал, таким образом, шпальный распределитель работает как система фундаментов балочного типа. После достижения буферным слоем и междушпальным пространством максимально возможного уплотнения балочная плита шпального распределителя приближается к условному плитному фундаменту.

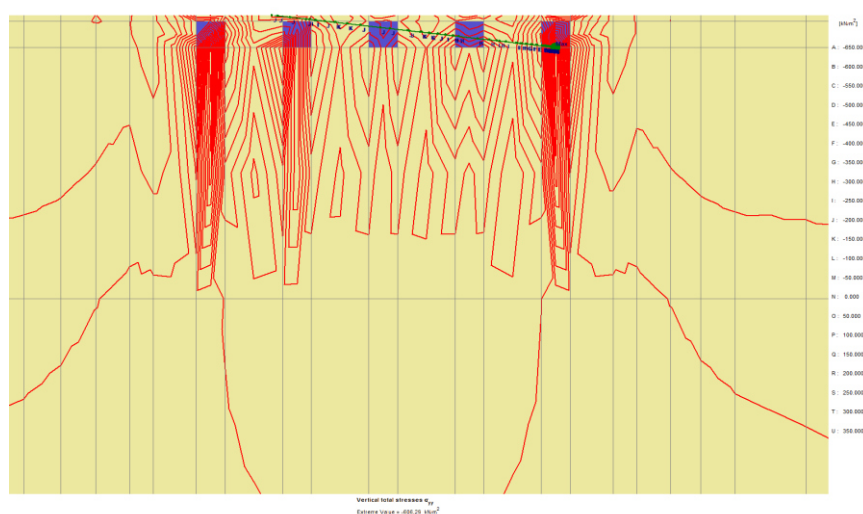


Рис. 6. Распределение вертикальных напряжений σ_v под фундаментной плитой $2 \times 3,9$ м на шпальном распределителе вдоль ее продольной оси

В процессе нагружения происходит продавливание грунта в междушпальное пространство. Совместные деформации системы шпал с грунтом междушпального пространства начинаются после достижения им максимально возможной плотности сложения в условиях невозможности бокового расширения. При этом в зависимости от нагрузки можно наблюдать появление растягивающих напряжений как непосредственно под шпалами, так и в буферном слое.

Этим процессом, в частности, можно попытаться объяснить выявленные в результате геотехнического мониторинга подъем части геодезических марок во время строительства [4].

Горизонтальное армирование сжимаемой зоны фундаментов системой шпал позволяет также снизить величину деформаций основания. Максимальный эффект достигается при увеличении ширины условного фундамента за счет выдвижения шпал за пределы фундаментной плиты. Рассмотрим развитие осадки моделей под нагрузкой до 1000 кН/м в различных грунтовых условиях (рис. 7, 8).

Модель 3 ожидаемо занимает промежуточное положение между моделями 1 и 2, хотя более приближена к последней. Расчеты для модели 4 свидетельствовали о том, что введение в сжимаемую зону фундаментной плиты системы шпал не приводит к существенному снижению величины средней осадки, однако уменьшается разность осадок для различных точек плиты. Кроме того, наблюдается значительное увеличение несущей способности основания за счет снижения возможности выпора грунта из-под подошвы фундамента.

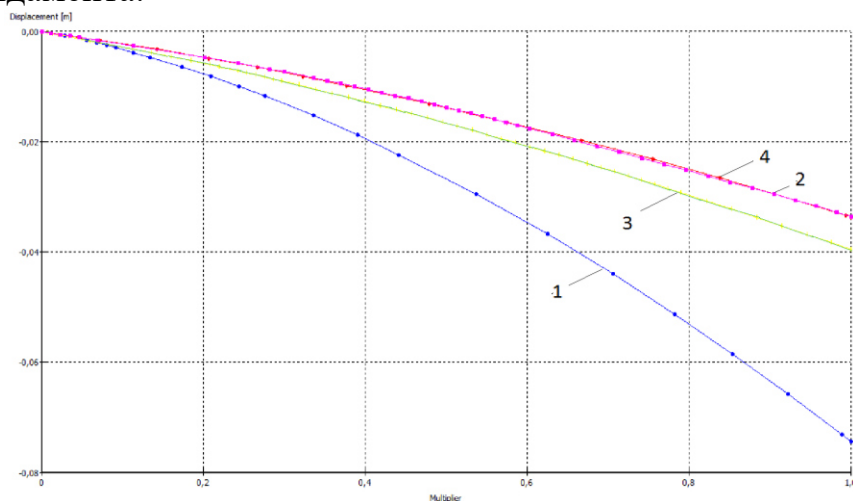


Рис. 7. Осадка центральной точки фундаментной плиты для моделей №№ 1-4 на песке средней плотности

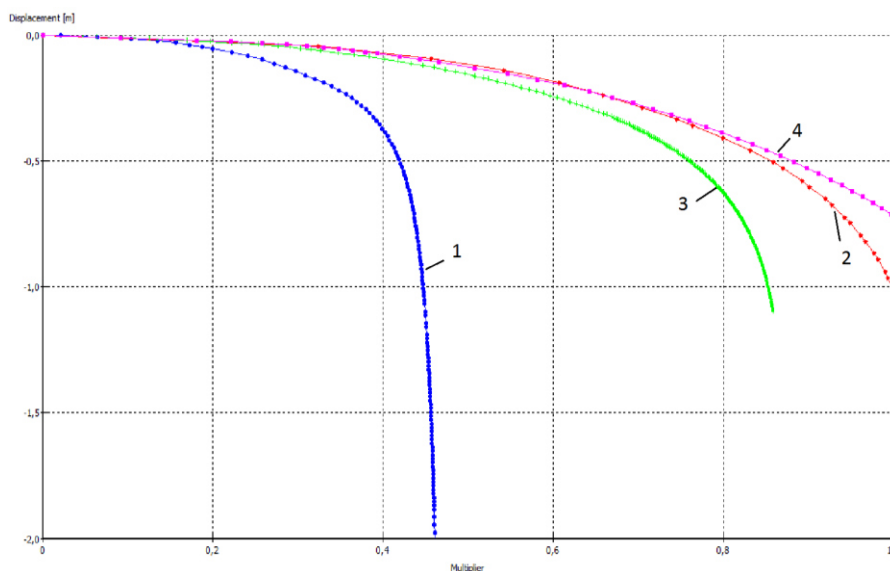


Рис. 8. Осадка центральной точки фундаментной плиты для моделей №№ 1-4 на мягкопластичном суглинке

Реализация сравнительных расчетов со всеми варьируемыми параметрами позволила сделать следующие выводы:

1. Введение в сжимаемую зону основания фундаментной плиты армирующих элементов – шпал существенно изменяет НДС грунтового массива.

2. Наибольшая концентрация деформаций грунта наблюдается в буферном слое и междушпальном пространстве при толщине буферного слоя до 1,5 размеров поперечного сечения шпалы.

3. Расположение шпал с шагом не более 3,5 размеров их поперечного сечения обеспечивает максимальный эффект на снижение осадок.

4. Уменьшение осадки с одновременным увеличением несущей способности основания достигается, главным образом, за счет увеличения площади условной балочной плиты по отношению к подошве фундамента.

5. В общем случае горизонтальное армирование сжимаемой зоны более эффективно по сравнению только с увеличением площади фундамента.

Заключение

Горизонтальное армирование оснований фундаментов шпальным распределителем показало свою технологическую и экономическую эффективность на реальных объектах строительства. Расчетное моделирование подтвердило заложенные предпосылки применения шпального распределителя в сжимаемой зоне грунтовых оснований. Выявлен диапазон наиболее эффективных параметров использования данного вида искусственных оснований. Представляется возможным распространить результаты исследования на большее количество объектов в практике фундаментостроения.

Благодарность. Автор выражает глубокую признательность научным руководителям данного исследования Алейникову С.М. и Саурину А.Н., а также проф. Шапиро Д.М. за ценные замечания и наставления.

Список источников

1. Патент RU 2344231 С1, МПК⁷ E02D 27/01. Способ устройства основания фундаментов сооружений с горизонтальным армированием сборными железобетонными элементами / Саурин А.Н. (RU); Заявка 2007144381/03, от 03.12.2007; опубл. 20.01.2009, Бюл. №2.
2. Скибин, Г. М. Экспериментальные исследования работы краевой зоны протяженных в плане фундаментов на песчаном основании: монография / Г. М. Скибин, С. И. Евтушенко. – Ростов н/Д: Изд-во журн. «Изв. вузов Сев.-Кавк. регион», 2008. – 192 с.
3. Богомолов, А. Н. Повышение несущей способности основания как следствие использования составных ленточных фундаментов / А. Н. Богомолов, О. А. Богомолова, И. В. Якименко // Вестн. ВолгГАСУ Сер.: Стр-во и архитектура. – 2010. – Вып. 19 (38). – С. 5-11.
4. О некоторых результатах наблюдений за осадками 17-ти этажного дома на шпальном распределителе / В. А. Ильичев, А. Н. Саурин, Л. Г. Мариупольский, А. И. Корпач // Труды междунар. конф. Геотехнические проблемы мегаполисов. г. Москва 7-10 июня 2010 г. – М., 2010. – Т. 5. – С. 1647-1650.
5. Саурин, А. Н. Исследование напряженно-деформированного состояния основания фундамента на шпальном распределителе / А. Н. Саурин, А. И. Корпач // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – Вып. 6(35). – С. 87–91.

© Корпач А. И., 2026