

УДК 692.115

**В.З. Адыев, Т.М. Бочкарева****V.Z. Adyev, T.M. Bockkareva**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ  
СТУПЕНЧАТОЙ СИСТЕМЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО  
МАССИВА И ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ****A STUDY OF THE OPERATION SPEED  
OF THE SEPARATION WALL**

Проведен анализ характера работы ступенчатой системы (разделительной стенки), предназначенной для закрепления грунтового массива в зоне работы фундамента. Предложено новое конструктивное решение разделительной стенки методом струйной цементации грунтов. Проведено экспериментальное исследование характера работы модели разделительной стенки на стенде в лабораторных условиях. Дано описание конструктивного решения разделительной стенки с обоснованием принятых размеров и формы. Изложено поэтапное описание хода экспериментального исследования с указанием допущений. Показаны результаты эксперимента, и на основании результатов построен график зависимости величин. Целью данной работы является проверка эффективности работы предлагаемого решения ступенчатой системы закрепления грунтового массива на основании эксперимента. Всего было проведено четыре серии экспериментов, в каждой серии выполнено по три эксперимента с целью получения достоверности результатов. Анализ результатов экспериментов, проводимых с различными входными данными, указывает на эффективность работы предлагаемого конструктивного решения разделительной стенки, которое может иметь практическое применение при строительстве в стесненных городских условиях или на участке со сложным рельефом.

**Ключевые слова:** основания, фундаменты, разделительная стенка, струйная цементация, эксперимент.

In the article the analysis of the nature of the work speed of the system (separating wall), designed to consolidate the soil mass in the zone of operation of the Foundation. The authors of the article propose a new constructive solution of the separation wall, arranged by the method of jet cementation of soils. An experimental study of the nature of the model of the separation wall on the stand in the laboratory. The description of the design solution of the separation wall with the justification of the size and shape. A step-by-step description of the progress of the pilot study with an indication of assumptions is presented. The results of the experiment are shown and a graph of the dependence of the values is constructed on the basis of the results. The purpose of this work is to check the effectiveness of the proposed solution of the step system of fixing the soil mass on the basis of the experiment. In total, four series of experiments were carried out, in each series three experiments were performed in order to obtain the reliability of the results. Analysis of the results of experiments conducted with different input data, the results were obtained, which indicate the effectiveness of the proposed design solution of the separation wall. The proposed design solution can have practical application in the construction of cramped urban conditions or in the construction of a site with difficult terrain.

**Keywords:** bases, foundations, separation wall, jet cementation, experiment.

Строительство зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки осложнено многими факторами. Одной из главных проблем строительства в стесненных условиях является влияние вновь возводимых зданий на характер работы фундаментов существующих зданий. Для снижения осадки фундаментов этих зданий при строительстве новых зданий существуют различные решения [1–5].

Одним из методов снижения дополнительных осадок фундаментов зданий является устройство разделительных стенок. Авторами статьи предлагается новое конструктивное решение разделительной стенки, устраиваемой по технологии струйной цементации (Jet Grouting).

В разрезе (рис. 1) стенка 1 имеет ступенчатый вид. Высота стенки ( $H$ ) зависит от конкретных условий применения. Данными условиями могут быть глубина разрабатываемого котлована, высота откоса, расположенного рядом со строящимся зданием. Высота одной ступени ( $h$ ) зависит от общей высоты стенки ( $H$ ) и кратно количеству ступеней ( $n$ ). Ширина разделительной стенки ( $D$ ) равна диаметру грунтоцементных элементов, устраиваемые по технологии струйной цементации грунтов и зависит от типа грунта 2 и технологии (Jet-1, Jet-2, Jet-3).

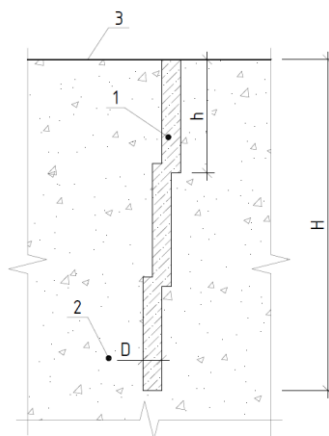


Рис. 1. Конструкция предлагаемой разделительной стенки:

1 – разделительная стенка; 2 – грунт; 3 – поверхность грунта;

$H$  – высота разделительной стенки;  $h$  – высота ступени;  $D$  – ширина стенки

Для исследования характера работы ступенчатой разделительной стенки авторами статьи были проведены серии экспериментов на стенде для испытания моделей фундаментов. Стенд (ГТ 0.7.1) имеет следующие внутренние габаритные размеры: ширина 156 мм; длина 1072 мм; высота 1136 мм.

Всего было проведено четыре серии экспериментов. Каждая серия экспериментов состояла из трёх испытаний. Первая серия экспериментов проводилась без модели разделительной стенки. Данная серия условно названа базовой. Схема проведения базового эксперимента приведена на рис. 2. Вторая, третья и четвертая серии экспериментов проводились с условной моделью ступенчатой разделительной стенки с различным расстоянием ее размещения относительно штампа (рис. 3).

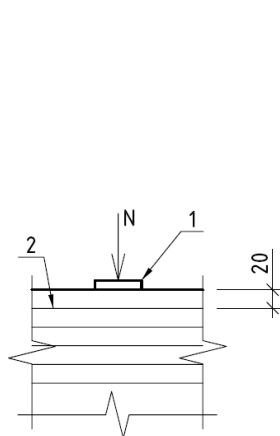


Рис. 2. Схема проведение базового эксперимента (без модели разделительной стенки): 1 – штамп; 2 – граница слоя уплотнения грунта

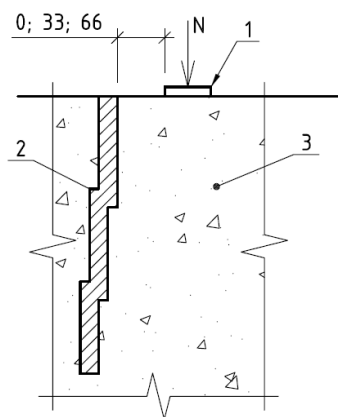


Рис. 3. Схема проведения испытаний с моделью разделительной стенки: 1 – штамп; 2 – модель разделительной стенки; 3 – уплотненный грунта (песок)

При проведении экспериментов приняты несколько допущений.

**Допущение №1.** Габаритные размеры модели и стенда для испытаний приняты в масштабе 1:30. Размеры штампа 50x156 мм соответствуют размеру фундамента шириной 1500 мм и длиной 4680 мм.

**Допущение №2.** В качестве грунта используется песок, полное название которого в соответствии с ГОСТ 25100-2011 «песок мелкий». Физико-механические характеристики грунта приведены в табл. 1

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунта (песка)

№ п/п	Характеристика грунта	Обозначение, ед. изм.	Значение
1	Плотность грунта	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,63
2	Плотность частиц грунта	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	2,65
3	Удельный вес грунта	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	15,974

Окончание табл. 1

№ п/п	Характеристика грунта	Обозначение, ед. изм.	Значение
4	Коэффициент пористости	$e$ , кПа	0,63
5	Удельное сцепление	$c$ , кПа	2,4
6	Угол внутреннего трения	$\varphi$ , град	32,8
7	Модуль общей деформации	$E_0$ , МПа	32,67

**Допущение №3.** Габаритные размеры модели ступенчатой разделительной стенки условно принимаются шириной 20 мм, длиной 150 мм и высотой 300 мм. В масштабе 1:30 размеры модели соответствуют размерам реальной разделительной стенки шириной 600 мм, длиной 4500 мм и высотой 9000 мм. Ширина стенки 600 мм соответствуют диаметру грунтоцементного элемента, устраиваемая по однокомпонентной технологии струйной цементации (Jet-1).

**Допущение №4.** Цилиндрическая форма отдельных элементов разделительной стенки, которая обусловлена технологией ее изготовления, а именно струйной цементацией, пренебрегали. Условно принята плоская модель разделительной стенки.

Грунт в стенд для испытания модели укладывается послойно по 20 мм, с уплотнением каждого слоя ручной трамбовкой. Для наглядности осадки грунта между слоями укладывается тонкий слой поваренной пищевой соды. Нагрузка на штамп загрузалась ступенями по  $\Delta p = 25$  кПа до максимального нагружения, равного  $P = 350$  кПа, или до достижения предельного значения штока штампа. Время выдержки каждой ступени равнялось 30 мин, что соответствует условной стабилизации грунта основания.

После проведения первой серии (серия №1 – без ступенчатой модели разделительной стенки) экспериментов были получены данные, представленные в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты первой серии испытаний

Вертикальное давление, кПа	Значения осадок штампа, мм			
	Испытание №1	Испытание №2	Испытание №3	Среднее значение
25	-0,242	-0,235	-0,236	-0,238
50	-0,755	-0,756	-0,750	-0,754
75	-1,348	-1,350	-1,344	-1,347
100	-1,938	-1,940	-1,946	-1,941
125	-2,579	-2,577	-2,581	-2,579
150	-3,163	-3,165	-3,169	-3,166
175	-3,432	-3,441	-3,434	-3,436

Окончание табл. 2

Вертикальное давление, кПа	Значения осадок штампа, мм			
	Испытание №1	Испытание №2	Испытание №3	Среднее значение
200	-3,872	-3,876	-3,882	-3,877
225	-4,407	-4,445	-4,415	-4,422
250	-4,869	-4,843	-4,811	-4,841
275	-5,094	-5,179	-5,192	-5,155
300	-5,461	-5,547	-5,501	-5,503

Вторая серия экспериментов была проведена с моделью разделительной стенки без отступа от штампа (серия № 2). Результаты второй серии экспериментов приведены в табл. 3.

Как видно из результатов второй серии испытаний значения осадок штампа с моделью ступенчатой системы примерно в 2,5 раза меньше по сравнению с базовой серией испытаний (серия № 1).

При проведении третьей серии испытаний модель была смещена от штампа на 33 мм, что в масштабе 1:30 соответствует расстоянию 1000 мм от реального фундамента (серия № 3). Результаты третьей серии экспериментов приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты второй серии испытаний

Вертикальное давление, кПа	Значения осадок штампа, мм			
	Испытание №1	Испытание №2	Испытание №3	Среднее значение
0	0,000	0,000	0,000	0,000
25	-0,189	-0,209	-0,135	-0,178
50	-0,379	-0,329	-0,405	-0,371
75	-0,548	-0,605	-0,518	-0,557
100	-0,796	-0,689	-0,746	-0,744
125	-0,903	-0,969	-0,924	-0,932
150	-1,098	-1,153	-1,106	-1,119
175	-1,291	-1,334	-1,300	-1,308
200	-1,549	-1,479	-1,453	-1,494
225	-1,693	-1,719	-1,631	-1,681
250	-1,814	-1,906	-1,884	-1,868
275	-2,009	-2,066	-2,098	-2,058
300	-2,210	-2,287	-2,248	-2,248
325	-2,401	-2,469	-2,426	-2,432
350	-2,591	-2,656	-2,611	-2,619

Таблица 4

## Результаты третьей серии испытаний

Вертикальное давление, кПа	Значения осадок штампа, мм			
	Испытание №1	Испытание №2	Испытание №3	Среднее значение
25	-0,203	-0,167	-0,224	-0,198
50	-0,352	-0,436	-0,419	-0,402
75	-0,652	-0,568	-0,586	-0,602
100	-0,743	-0,835	-0,817	-0,798
125	-0,967	-1,028	-0,971	-0,989
150	-1,112	-1,197	-1,168	-1,159
175	-1,359	-1,304	-1,394	-1,352
200	-1,503	-1,587	-1,570	-1,553
225	-1,710	-1,769	-1,729	-1,736
250	-1,886	-1,917	-1,951	-1,918
275	-2,163	-2,073	-2,101	-2,112
300	-2,323	-2,316	-2,276	-2,305
325	-2,527	-2,462	-2,509	-2,499
350	-2,643	-2,686	-2,728	-2,686

По результатам третьей серии экспериментов (при смещении модели на 33 мм от штампа) значения осадок штампа примерно равно результатам второй серии экспериментов, предусматривающих расположение модели вплотную к штампу.

При увеличении расстояния между штампом и моделью до 66 мм (2000 мм в масштабе 1:30) значения осадок штампа приблизилось к базовым значениям. Данные результатов четвертой серии испытания представлены в табл. 5.

Таблица 5

## Результаты четвертой серии испытаний

Вертикальное давление, кПа	Значения осадок штампа, мм			
	Испытание №1	Испытание №2	Испытание №3	Среднее значение
25	-0,196	-0,203	-0,267	-0,222
50	-0,583	-0,634	-0,593	-0,603
75	-1,168	-1,199	-1,243	-1,203
100	-1,634	-1,697	-1,724	-1,685
125	-2,338	-2,399	-2,417	-2,385
150	-2,904	-2,955	-2,997	-2,952
175	-3,206	-3,137	-3,124	-3,156

Окончание табл. 5

Вертикальное давление, кПа	Значения осадок штампа, мм			
	Испытание №1	Испытание №2	Испытание №3	Среднее значение
200	-3,587	-3,523	-3,598	-3,569
225	-3,867	-3,919	-3,896	-3,894
250	-4,199	-4,281	-4,287	-4,256
275	-4,681	-4,606	-4,619	-4,635
300	-4,997	-4,973	-4,964	-4,978
325	-5,208	-5,111	-5,182	-5,167
350	-5,473	-5,531	-5,487	-5,497

На рис. 4 показан график зависимости осадок грунта от величин нагрузок во всех сериях испытаний. Очевидно, что при расположении модели в непосредственной близости у штампа и с отступом от него на 33 мм значения осадок на 60 % меньше осадок (базовой) серии испытаний № 1. При увеличении расстояния между штампом и моделью наблюдается резкое увеличение осадок штампа, что подтверждено результатами испытаний в серии № 4.

Анализируя полученные данные, авторами получены следующие выводы.

1. Предлагаемое конструктивное решение эффективно работает при расположении разделительной стенки от фундамента здания на расстоянии до 2 м.
2. Требуется дополнительное исследование характера изменения напряженного состояния массива грунта с применением методов математического моделирования.

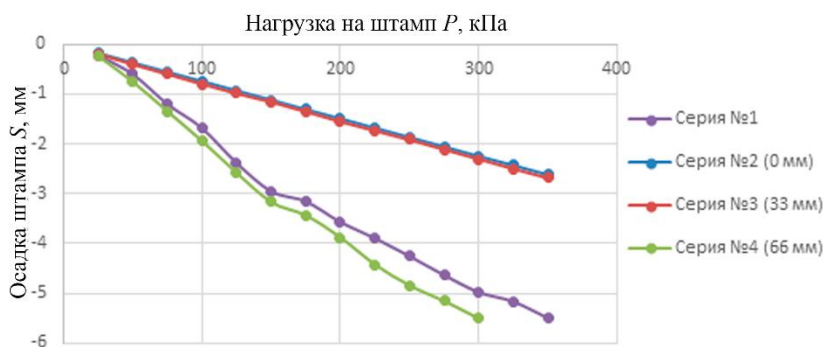


Рис. 4. Графическое представление результатов экспериментов

### Список литературы

1. Межаков А.С. Влияние разделительного шпунтового ряда, устраиваемого между фундаментами эксплуатируемых зданий на их осадки // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2016. – №2. – С. 124–129.

2. Yonggui Xie, Ben Leshchinsky. MSE walls as bridge abutments: Optimal reinforcement density // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2015. – Vol. 43, iss. 2. – P. 128–138. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.01.002>

3. Liyan Wang, Guoxing Chen, Su Chen. Experimental study on seismic response of geogrid reinforced rigid retaining walls with saturated backfill sand // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2015. – Vol. 43, iss. 1. – P. 35–34. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.11.006>

4. Пузырев А.С. Исследование влияния размеров разделительной стенки на уменьшение осадки существующего здания // *Наука, техника и образование*. – 2015. – №5 (11). – С. 38–40.

5. Чиж И.Н., Скибин Г.М. Разработка методики расчета оптимальной глубины заложения разделительного шпунтового ряда в стесненных условиях строительства // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2014. – №3. – С. 60–72.

Получено: 07.02.2020

**Бочкарева Татьяна Михайловна** – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [tsp-btm@mail.ru](mailto:tsp-btm@mail.ru).

**Адыев Вадим Загитович** – студент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет e-mail: [Vadim-adyev@yandex.ru](mailto:Vadim-adyev@yandex.ru).