

## Усиление оснований фундаментов физически устаревших зданий

УДК 624.1

### Берлинов Михаил Васильевич

Профессор, д-р техн. наук, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры «Жилищно-коммунальный комплекс», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г.Москва, Россия; e-mail: BerlinovMV@mgsu.ru

### Берлинова Марина Николаевна

Доцент, канд. техн. наук, доцент кафедры «Жилищно-коммунальный комплекс», ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» г.Москва, Россия; e-mail: BerlinovaMN@mgsu.ru

### Король Роман Анатольевич

Доцент, канд. техн. наук., доцент кафедры «Технология, организация, экономика строительства и управления недвижимостью», ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия; e-mail: Romankorol1@mail.ru  
Творогов Александр Владимирович  
Инженер I категории отдела «Обследование строительных конструкций» АО «КТБ Железобетон», Москва, Россия; e-mail: Alextvor@yandex.ru

**Аннотация:** Изложены проблемы и перспективы существующих методов усиления фундаментов физически устаревших зданий, что актуально для сохранности зданий имеющих архитектурную и историческую ценность, а так же при проведении массовой реновации в крупных городах в стесненных условиях при высокой плотности существующей застройки. Рассмотрена методика расчета заполненных бетоном полых прямоугольных и круглых сечений при изгибе. Проанализирована зависимость радиуса уплотненной зоны от начальной характеристики плотности грунта и диаметра продавливаемого протяженного элемента. Сформирован вывод о том, что выбранный для исследования метод

устройства сталежелезобетонного горизонтального распределителя для одновременного усиления грунтов основания и фундаментов позволяет регулировать процесс выравнивания осадки здания в целом, а так же является наиболее экологически безопасным и не влияет негативно на окружающие здания и сооружения.

**Ключевые слова:** грунты основания, усиление грунтов, усиление фундаментов, осадка здания

### Введение

При реконструкции объектов жилищно-коммунального комплекса наиболее сложной задачей яв-

### STRENGTHENING THE FOUNDATIONS OF PHYSICALLY OBSOLETE BUILDINGS

Berlinov Mikhail Vasilyevich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Honored Worker of Higher Professional Education, Professor of the department «Housing and Communal Complex», Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow; e-mail: BerlinovMV@mgsu.ru

Berlinova Marina Nikolaevna

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Housing and Communal Complex» Housing and Communal Complex, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow; e-mail: BerlinovaMN@mgsu.ru

Korol Roman Anatolyevich

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the department «Technology, Organization, Economics of Construction and Real Estate Management», Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia; e-mail: Romankorol1@mail.ru  
Tvorogov Alexander Vladimirovich

Engineer of the 1st category of the department «Inspection of building structures» of JSC «KTБ Reinforced Concrete», Moscow, Russia; e-mail: Alextvor@yandex.ru

Abstract: The problems and prospects of existing methods of strengthening the foundations of physically obsolete buildings are described, which is relevant for the preservation of buildings of architectural and historical value, as well as during mass renovation in large cities in cramped conditions with high density of existing buildings. The method of calculation of hollow rectangular and round sections filled with concrete during bending is considered. The dependence of the radius of the compacted zone on the initial characteristics of the soil density and the diameter of the extended element being pressed is analyzed. The conclusion is formed that the method chosen for the study of the device of a steel-reinforced concrete horizontal distributor for simultaneous reinforcement of the foundation and foundations allows you to regulate the process of leveling the precipitation of the building as a whole, as well as is the most environmentally friendly and does not negatively affect the surrounding buildings and structures.

Keywords: foundation soils, soil reinforcement, foundation reinforcement, building sediment

ляется восстановление физически устаревших зданий, имеющих архитектурную и историческую ценность. Основной трудностью являются необходимость проведения ремонтно-восстановительных работ таких зданий без остановки функционального назначения, сохранение действующих инженерных сетей, проведение строительных работ в кратчайшие сроки. Также в ряде случаев не возможно применение традиционных способов производства восстановительных работ при решении поставленных задач по реконструкции физически устаревших зданий. Это объясняется не только высоким уровнем физического износа основных несущих и ограждающих конструкций [1 - 4], но и особенностями конструктивной схемы здания [5 - 9], инженерно-геологическими условиями [10, 11], эксплуатационными нагрузками и воздействиями.

Особое внимание требует оценка несущей способности грунта основания фундаментов здания, т.н. системы «основание – фундамент», в которой наиболее слабым элементом является именно грунтовое основание, которое имеет способность изменять свои физико-механические свойства при длительной эксплуатации [12, 13, 14].

Существует множество различных методов упрочнения грунтов основания и усиления фундаментов, но не всегда имеется возможность их применения в современных условиях в программах реновации городской застройки. В основном это связано со стесненными построечными условиями ведения работ при реконструкции физически устаревших зданий.

Увеличение несущей способности грунтов основания и фундаментов возможно различными технологическими приемами с целью включения в совместную работу дополнительных элементов. Вид и степень физического износа существующего фундамента определяет выбор метода усиления с учетом следующих факторов: данных инженерно-геологических изысканий, наличия и уровня грунтовых вод, характера и величины действующих нагрузок.

Усиление фундаментов достигается различными технологическими методами: укреплением кладки фундамента; уширением подошвы; монтированием монолитной плиты; увеличением глубины фундамента; применением различных видов свай; укреплением грунтов основания; устройством промежуточных опор. Все эти способы имеют свои преимущества и недостатки.

При необходимости усиления оснований и фундаментов зданий наиболее технологичным и экологически

безопасным, что особенно важно в условиях тесной городской застройки, является метод горизонтального продавливания протяженных сталежелезобетонных элементов, представляющих собой заполненные бетоном полые прямоугольные и круглые элементы.

Использование различных сталежелезобетонных элементов в мировой практике основано на ценных механических свойствах стальной оболочки и бетонного ядра, их совместной работы. Наилучшие результаты получены при проектировании сжатых сталежелезобетонных элементов [15]. Важным условием является обеспечение совместной работы элементов такой конструкции: бетона, арматуры и металлоконструкции.

## Постановка задачи

Возможность применения горизонтального продавливания сталежелезобетонных конструкций с целью распределения нагрузки под фундаментами зданий была рассмотрена Академиком РААСН профессором С.Н. Булгаковым, который предлагал при реконструкции микрорайонов типовой застройки пятиэтажными жилыми зданиями не сносимых серий в г. Москве использовать этот метод для укрепления грунтов основания и усиления фундаментов при надстройке этажей и методе вторичной застройки таких районов [16].

Представленные в [17] уравнения могут быть использованы для расчета прочности сталежелезобетонных сечений прямоугольной и круглой формы работающие с изгибом относительно продольной оси у (рис. 1) путем замены  $h = b = d$  и  $r = d/2 - t$  на основании модуля пластического сечения такой конструкции:

$$W_{pc} = \frac{(b-2t)(h-2t)^2}{4} - \frac{2}{3}r^3 - r^2(4-\pi)(0,5h-t-r) - W_{ps} \quad (1)$$

где величина пластического момента всей арматуры равна:

$$W_{ps} = \sum_{i=1}^n |A_{s,i} e_i|, \quad (2)$$

где  $e_i$  – расстояние стержней арматуры участка  $A_{s,i}$  к рассматриваемой средней линии (ось у или z, рис. 1)

Соппротивление сжатию всей площади металлоконструкции, бетонного сечения, арматуры равна:

$$N_{pm,Rd} = A_c F_{cc}. \quad (3)$$

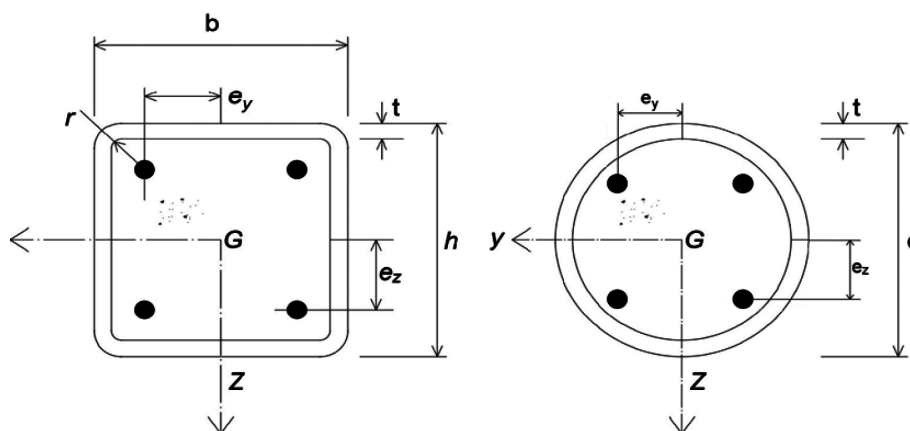


Рис. 1. Заполненные железобетоном прямоугольные (а) и круглые (б) полые сечения, заполненные бетоном

Здесь  $F_{cc}$  — расчетные сопротивления металлоконструкции, бетонного сечения, арматуры.

Заполнение бетоном сталежелезобетонных элементов возможно как до продавливания протяженных элементов, так и после. В случае наращивания такой сталежелезобетонной конструкции необходимо обеспечить жесткое соединение всех элементов усиления между собой.

Преимущества метода усиления оснований и фундаментов сталежелезобетонными конструктивными элементами в виде горизонтальных протяженных элементов:

- возможность усиления основания и фундаментов здания в целом;
- ведение строительно-монтажных работ с наружной стороны здания, что дает возможность сократить сроки, снизить затраты ручного труда, применять механизмы с высокой производительностью работ;
- усиление и повышение несущей способности оснований и фундаментов сразу, по мере продавливания;
- отсутствие негативного влияния на соседние здания и сооружения;
- возможность проведения работ без остановки функционального процесса.

Технология усиления основания фундаментов аварийных и реконструируемых зданий методом горизонтального продавливания трубобетонной конструкции представлена в [18] и включает разработку котлована, подведение под подошву фундаментов элементов усиления продавливанием их специальной продавливающей установкой в заданном горизонтальном направлении с одновременным образова-

нием защитного слоя грунта между подошвой фундамента и верхней поверхностью элемента усиления.

При проектировании метода горизонтального продавливания протяженных сталежелезобетонных элементов необходимо предварительно провести отбор проб грунта методом режущего кольца под подошвой фундамента [19]. Во время предварительного обследования здания необходимо: уточнить фактическое расположение подземных, наземных и надземных инженерных сетей; определить фактические отметки глубины заложения существующего фундамента; выявить наличие приямков и др. конструктивных элементов, которые могут вызвать отклонение в проектном решении по усилению. В процессе ведения строительно-монтажных работ по продавливанию протяженных элементов проводится наблюдение за поведением грунта и возможным отклонением от заданного направления в смотровых колодцах [20].

## Результаты численного исследования

Для достижения требуемой плотности грунта ( $\rho_{ds}$ ) методом продавливания протяженных сталежелезобетонных элементов необходимо определить необходимое расстояние между соседними элементами усиления с учетом наложения уплотненных зон [20]. Определение радиуса уплотненной зоны ( $r_s$ ):

$$r_s = \left(1 - \frac{\rho_{ds}}{\rho_s}\right) \cdot d \cdot \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_{ds}}{\rho_{ds} - \rho_d}}, \quad (4)$$

толщина защитного слоя определяется из зависимости:

$$h = 2 \cdot k_s \cdot d \cdot \lg \left( \frac{\rho_s \rho_{ds}}{\rho_{ds} \rho_d} \right), \quad (5)$$

Таблица 1

где  $\rho_{ds}$  – начальная плотность грунта в сухом состоянии, г/см<sup>3</sup>;

$\rho_s$  – опытная плотность частиц грунта, г/см<sup>3</sup>;

$d$  – диаметр сталежелезобетонной конструкции усиления, см;

$\rho_d$  – плотность грунта до продавливания, г/см<sup>3</sup>;

2 – коэффициент изменения плотности грунта под подошвой;

$k_s$  – коэффициент изменения плотности грунта в уплотненной зоне, равный  $\rho_d / \rho_{ds}$ .

Расстояние между трубобетонными горизонтальными распределителями (b) определяем по формуле (6)

$$b = 2h \quad (6)$$

Здесь  $h$  – глубина захваток котлована.

Для численного исследования метода горизонтального продавливания протяженных элементов приняты трубобетонные устройства из стальных труб с диаметром 150 мм и длиной одной секции 2 метра. Соединение элементов выполняется электросваркой с усилением стальными накладками. Грунт в начальном состоянии имеет начальную плотность  $\rho_{ds} = \rho_d + 0,01$  г/см<sup>3</sup>, плотность частиц грунта  $\rho_s = 2,65$  г/см<sup>3</sup>.

Значения уровня изменения радиуса уплотнения грунтового основания ( $r_s$ ) при проталкивании эле-

Значения  $r_s$  в зависимости от  $\rho_d$

$\rho_d$ г/см <sup>3</sup>	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75
$r_s$ г/см <sup>3</sup>	1,41	1,46	1,51	1,56	1,61	1,66	1,71	1,76
$r_s$	7,81	7,35	6,89	6,44	6,00	5,58	5,16	4,75

Таблица 2

Значения плотности грунта ( $\rho_{ds}$ ) в зависимости от расстояния до оси шпалы (r)

$\rho_{ds}$ , г/см <sup>3</sup>	1,4	1,45	1,50	1,55	1,6	1,65	1,7
r, см	45,7	26,3	19,4	15,4	12,7	10,7	9,1

мента усиления в зависимости от плотности грунта до продавливания ( $\rho_d$ ), определенные по (4), представлены в таблице 1.

Изменение плотности грунта основания ( $\rho_{ds}$ ) вокруг элемента круглого сечения в зависимости от расстояния до оси симметрии (r) представлено в таблице 2.

На рис. 2 представлен сравнительный график зависимости высоты выпора грунта основания (a) от расстояния продольной оси сталежелезобетонного элемента для толщин защитного слоя: I случай –  $h = d = 15$  см; II случай –  $h = 2,5d = 37,5$  см.

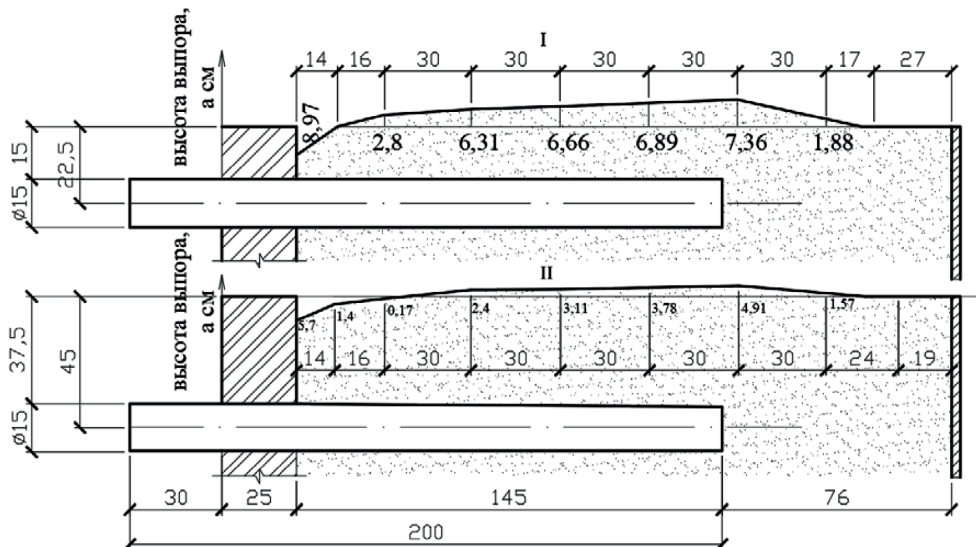


Рис. 2. График изменения высоты поверхностного выпора грунта (a) относительно продольной оси сталежелезобетонного элемента: (I – расстояние до оси трубы 22,5 см.; II – расстояние до оси трубы 45 см.)

Таблица 3

Значения  $r_s$  в зависимости от  $d$ 

d, см	10	15	20	25	30	35	40
$r_s$ , см	54,1	81,1	108,1	135,2	162,2	189,2	216,1

Радиус уплотненной зоны  $r_s$  в зависимости от диаметра элемента круглого сечения ( $d$ ) определяется по формуле (4). Результаты расчета сводим в таблицу 3.

## Вывод

По результатам расчета и графика изменения высоты поверхностного выпора грунта основания видно, что максимальное значение соответствует «острию»: при  $h=15$  см. – 73,6 см; при  $h=37,5$  см. – 45,2 см. Отсюда можно сделать вывод: чем меньше защитный слой (расстояние от оси проталкиваемого элемента до низа фундамента), тем больше выпор

грунта. С помощью расчетной характеристики, определяющей воздействие уплотненной зоны грунта основания, можно варьировать расстоянием между сталежелезобетонными элементами и толщиной защитного слоя. Выбор представленного метода усиления оснований и фундаментов основывается на требованиях Постановления Правительства Москвы «О мерах по усилению контроля за строительством и реконструкцией при производстве работ в стесненных условиях». Рассматриваемый метод даёт возможность одновременного укрепления грунтов основания и усиления существующего фундамента, выравнивать неравномерные осадки здания в целом, а также является экологически безопасным. Метод усиления не влияет на устойчивость расположенных по соседству зданий, может производиться без остановки функционального назначения здания, например, без отселения жильцов при проведении реновации застроенных территорий в соответствии с ТСН 50-304-2001 «Основания, фундаменты и подземные сооружения».

## Литература

1. Варламов А.А. Модели поведения бетона. Общая теория деградации. / А.А.Варламов, В.И. Римшин // Монография. Москва, 2019. 436 с.
2. Король Е.А. Развитие методов расчёта многослойных ограждающих конструкций с монолитной связью слоёв / Е.А.Король, М.Н.Берлинова // Монография. Москва, 2019. 78 с.
3. Систематизация дефектов фасадов промышленных зданий / С.И. Евтушенко, Т.А. Крахмальный, М.П. Крахмальная, В.Е. Шапка, А.Б. Александров // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XVI международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 15 ноября 2016 г. / Южно-Российский государственный технический университет (НПИ) имени М.И. Платова. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ (НПИ), 2016. — С. 132–136.
4. Typical defects and damage to the industrial buildings' facades / T A Krahmalny and S I Evtushenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 775 (2020) 012135, DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012135.
5. Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения железобетонных колонн производственных зданий // Строительство и архитектура (2020). Том 8. Выпуск 2 (27) 2020. — С.5-10. DOI: 10.29039/2308-0191-2020-8-2-5-10
6. Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения металлических колонн производственных зданий // Строительство и архитектура (2021). Том 9. Выпуск 2 (31) 2021. — С.11-15. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-2-11-15
7. Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Повреждения железобетонных панелей производственных зданий // Строительство и архитектура (2021). Том 9. Выпуск 2 (31) 2021. — С. 66-70. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-2-66-70
8. Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения металлических подкрановых балок производственных зданий // Строительство и архитектура (2021). Том 9. Выпуск 3 (32) 2021. — С. 11-15. DOI: 10.29039/2308-0191-2021-9-3-11-15
9. Damage to the Vertical Braces of Industrial Buildings / T A Krahmalny and S I Evtushenko // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1079 (2021) 052086 DOI: 10.1088/1757-899X/1079/5/052086
10. Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения грунтовых оснований промышленных зданий // Строительство и архитектура (2019). Том 7. Выпуск 3 (24) 2019. — С.45-49. DOI: 10.29039/2308-0191-2019-7-3-45-49
11. Крахмальный Т.А., Евтушенко С.И. Дефекты и повреждения столбчатых фундаментов производственных зданий // Строительство и архитектура (2019). Том 7. Выпуск 4 (25) 2019. — С.36-40. DOI: 10.29039/2308-0191-2019-7-4-36-40
12. Король Е.А., Особенности проектирования и строительства подземных сооружений неглубокого заложения в сложных грунтовых условиях / Е.А. Король, Н.С. Никифорова // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2018. № 1. С. 25-27.
13. Korol E., The long term stability of multilayer walling structures / E. Korol, M. Berlinov, M. Berlinova // В сборнике: MATEC Web of Conferences. 2017. С. 04006.
14. Берлинов, М.В. Resistance to the destruction of concrete in constructions of height buildings at dynamic loads / M. Berlinov, M. Berlinova, A.Tvorogov // В сборнике: E3S Web of Conferences 2018. — С.02042.
15. Кришан А.Л. Сжатые трубобетонные элементы. Теория и практика. / А.Л. Кришан, В.И. Римшин, М.А. Астафьева // - М.: Издательство АСВ. - 2020. -322 с.
16. Булаков С.Н. Системное решение проблем реконструкции пятиэтажной жилой застройки // Материалы научно

- практического семинара: Проблемы капитального ремонта и реконструкции жилых зданий. -2000. -С. 15-21.
17. Джонсон Р.П. Руководство для проектировщиков к Еврокоду 4: проектирование сталежелезобетонных конструкций. EN 1994-1-1. - 2012.
  18. Патент RU 2 229 562 C1. Способ усиления основания фундаментов аварийных и реконструируемых зданий. Авторы: Саурин А.Н., Багдасаров Ю.А., Жадановский Б.В., Фирсов А.Н., Каравашкин Н.Н.
  19. Багдасаров Ю.А. Повышение несущей способности грунтов основания фундаментов аварийных и реконструируемых зданий методом горизонтального продавливания жестких протяжных элементов (шпал)/ Ю.А. Багдасаров, А.Н.Саурин, Н.Н. Каравашкин // Труды НИИОСП. – 2001. - С. 222-231.
  20. Саурин А.А. Опыт усиления основания ленточных фундаментов аварийного жилого дома шпальным распределителем /А.А. Саурин, Н.Н. Каравашкин //Труды международного семинара по механике грунтов, фундаментостроению и транспортным сооружениям. М., 2000 - С. 298-300.
  21. Каравашкин Н.Н. Технология устройства шпального распределителя при реконструкции физически устаревших зданий: дис. кандидат технических наук: 05.23.08. - 2003. – 139 с.