

## УСИЛЕНИЕ МЕТОДОМ ЦЕМЕНТАЦИИ ОСНОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА ЗДАНИЯ ТОРГОВОГО КОМПЛЕКСА В г. ЧЕЛЯБИНСКЕ

*А.Х. Байбурун, Е.Н. Серебренникова, Д.В. Куличкин, Д.А. Байбурун*

В данной работе были выяснены причины деформаций конструкций при эксплуатации существующего здания в результате технологических нарушений при возведении примыкающей подземной парковки. Были исследованы физико-механические характеристики измененного грунта для преобразования его строительных свойств. Определены возможные методы усиления, обеспечивающие дальнейшую безопасную эксплуатацию здания. Рассчитаны необходимые технологические и конструктивные параметры инъектирования. Разработан проект усиления кирпичных стен, фундаментов и грунтового основания в зоне максимального развития трещин в несущих конструкциях данного объекта. Выполнена укрепительная цементация грунтового основания здания под непосредственным контролем авторов рабочего проекта и данной статьи. При производстве работ и в течение последующего года эксплуатации здания осуществлен геотехнический мониторинг. В результате выполненных работ была достигнута стабилизация осадок грунтового основания здания и перемещений фундаментных конструкций.

*Ключевые слова:* обследование здания, усиление основания фундамента, инъекционное закрепление грунтов, укрепительная цементация, геотехнический мониторинг.

### Введение

Исследуемое здание торгового комплекса по пр. Победы в г. Челябинске двухэтажное, с подвалом, сложной конфигурации в плане. Размеры здания 30×29,5 м. Конструктивная схема смешанная: с несущими кирпичными колоннами и стенами. Здание в первоначальном одноэтажном виде построено в 1990-е годы. В 2005–2006 гг. была проведена реконструкция здания с надстроем второго этажа и пристроем. В 2008–2009 гг. с восточной стороны здания было осуществлено строительство 16-этажного жилого дома с торговым комплексом и подземной парковкой, которые непосредственно примыкают к данному комплексу. В процессе строительства указанного объекта в обследуемом здании появились повреждения в виде трещин в наружных стенах около парковки и примыкающих поперечных стенах. Расстояние от конструкций парковки до стены обследуемого комплекса менее метра.

Фундаменты здания до реконструкции ленточные из сборных блоков и плит. Фундаменты пристроя ленточные и свайные на буронабивных сваях диаметром 0,5 м и длиной 6 и 3 м. Несущие стены кирпичные толщиной 640 и 380 мм. Несущие столбы кирпичные, сечением 640×640 и 770×770 мм. Ригели железобетонные и металлические пролетом 6 м. Перекрытия и покрытие из сборных железобетонных плит с монолитными участками. Кровля плоская рулонная с наружным организованным водостоком.

### 1. Результаты технического обследования здания и выявление причин деформаций конструкций и грунтового основания

В процессе обследования были выполнены следующие работы: вскрытие и освидетельствова-

ние шурфов, отбор проб для исследования грунтов основания, составление ведомости и картограмм дефектов, определение прочности материалов конструкций, оценка технического состояния и разработка проекта усиления грунтового основания и несущих конструкций. Методика обследования соответствовала руководящим документам [1–3].

Техническим осмотром вскрытого шурфа установлено: фундамент выполнен из сборных блоков ФБС и железобетонных плит ФЛ; отметка заложения фундамента –3,700 м; отметка пола подвала –2,400 м; ширина подошвы фундамента – 1,0 м. В результате испытаний неразрушающим методом определен класс бетона на сжатие сборных элементов – В26...В36. Раствор швов соответствует марке по прочности на сжатие М50.

По результатам исследований свойств грунтов основания установлено, что под подошвой фундаментов залегает глина тугопластичной консистенции, насыщенная водой, ненабухающая, но просадочная при замачивании. Определены следующие расчетные характеристики грунта: плотность  $\rho_{II} = 1,95 \text{ т/м}^3$ , удельный вес  $\gamma_{II} = 19,1 \text{ кН/м}^3$ ; угол внутреннего трения  $\varphi_{II} = 19^\circ$ ; удельное сцепление  $c_{II} = 30 \text{ кПа}$ ; модуль деформации  $E = 10 \text{ МПа}$ .

Обследованием обнаружены признаки значительных деформаций грунтов основания здания в виде трещин в наружных и внутренних стенах. Наибольшее повреждение в виде вертикальной сквозной трещины шириной до 22–30 мм обнаружено в наружной стене, примыкающей к подземной парковке (рис. 1). Геодезическая съемка пространственного положения стены показала в этом месте отклонение от вертикали наружу на 32 мм.

Указанные повреждения в совокупности с вертикальной трещиной шириной 10,8 мм западной наружной стены и горизонтальным зазором толщиной 6,5 мм между блоками ФБС и кирпичной кладкой наружной стены в подвале свидетельствуют о неравномерной осадке основания здания в этом месте. В примыкающих внутренних стенах также обнаружены характерные трещины шириной раскрытия до 10 мм. Вероятными причинами осадки основания послужили: сдвигка призмы грунта в сторону подземной парковки в связи с отсутствием в этом месте шпунтовой стены в виде вдавливаемых свай; систематическое замачивание грунтов в результате протечек коммуникаций, дефектов отмостки и плохо организованного водоотвода с кровли. При замачивании изменилась консистенция глинистого грунта основания от полутвердой с  $I_L=0,05$  до тугопластичной с  $I_L=0,43$ , увеличилась естественная влажность грунта от  $W=0,18$  до  $W=0,24$ , степень водонасыщения от  $Sr=0,82$  до  $Sr=0,91$  и коэффициент фильтрации пылеватого песка, встреченного в виде прослоев и линз, от  $k_f=0,05$  м/сут до  $k_f=0,1$  м/сут. На основании положений теории фильтрационной консолидации [4] объемные фильтрационные силы действуют вдоль потока воды в порах и направлены к дренирующим поверхностям. Так, в результате механической суффозии при фильтрации подземных вод в направлении от ленточного фундамента к пластовому дренажу подземной парковки снизилась плотность грунта от  $\rho_{II}=2,02$  т/м<sup>3</sup> до  $\rho_{II}=1,95$  т/м<sup>3</sup>, плотность частиц грунта от  $\rho_S=2,74$  т/м<sup>3</sup> до  $\rho_S=2,66$  т/м<sup>3</sup>, при этом увеличился коэффициент пористости грунта от  $e=0,6$  до  $e=0,7$ . В итоге значительно ухудшились деформационные характеристики основания: так, модуль общей деформации грунта уменьшился от  $E=24$  МПа до  $E=10$  МПа (при сопоставлении с данными предыдущих инженерно-геологических изысканий).

В соответствии с рабочим проектом у наружной стены здания, примыкающей к возводи-

мой парковке, было предусмотрено устройство шпунтовой стены из вдавливаемых свай С10-30 на длине 37 м с шагом 450 мм. Шпунтовая стена в натуре не была заведена за контур существующего здания, как того требовал проект. Установленные отклонения от проекта существенно повлияли на стабильность грунтового массива и появление дополнительных осадок  $S_{ад}$  существующего здания.

В результате обследования было рекомендовано выполнить закрепление грунтов основания, ремонт и усиление поврежденных несущих конструкций.

## 2. Основные этапы выполненных работ по усилению конструкций и грунтового основания

### 2.1. Определение основных расчетных параметров и разработка рабочего проекта

На основании [5, 6] были определены основные технологические параметры инъекционного закрепления: радиус распространения раствора, расстояние между скважинами, длина инъекционной заходки, количество инъектируемого раствора, давление нагнетания.

Радиус распространения укрепляющего раствора вокруг одиночной скважины (инъектора) определялся по формуле:

$$R = 0,8 \sqrt{\frac{k \cdot v \cdot P_u \cdot t_n}{\beta \cdot v_p \cdot e}}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус распространения, м;  $k$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $v$ ,  $v_p$  – вязкость воды и раствора, Па·с;  $P_u$  – давление инъекции, м вод. ст.;  $t_n$  – время нагнетания, с;  $\beta$  – коэффициент заполнения пор,  $\beta=0,9$ ;  $e$  – коэффициент пористости грунта, д. ед.

Также был рассчитан радиус распространения при установленном давлении в процессе опытно-



а)



б)



в)

Рис. 1. Повреждения несущих стен здания

# Технология и организация строительного производства

го нагнетания по формуле, рекомендованной НИИОСП:

$$r = \sqrt{\frac{q \cdot \tau \cdot 100}{\pi \cdot l \cdot n}}, \quad (2)$$

где  $q$  – расход раствора, м<sup>3</sup>/мин;  $\tau$  – продолжительность инъекции, мин;  $\pi = 3,14$ ;  $l$  – величина заходки, м;  $n$  – пористость, д. ед.

Продолжительность нагнетания определялась по формуле:

$$\tau = t \cdot a, \quad (3)$$

где  $t$  – время гелеобразования раствора;  $a$  – коэффициент запаса, равный 0,8.

Расстояние между инъекционными скважинами было определено из выражения:

$$L = \sqrt{3,39 \cdot R^2 - a^2} - 0,02 \cdot b \cdot A, \quad (4)$$

где  $L$  – расстояние между скважинами (инъекторами) на их проектной глубине, м;  $R$  – радиус распространения, м;  $a$  – необходимая ширина зоны смыкания, м;  $b$  – нормативное отклонение скважин,  $b=1\%$ ;  $A$  – глубина скважин, м.

Требуемое количество инъектируемого раствора рассчитывалось по формуле:

$$Q = V \cdot e \cdot \beta, \quad (5)$$

где  $V$  – объем закрепляемого грунта, м<sup>3</sup>;  $e$  – коэффициент пористости грунта, д.ед;  $\beta$  – коэффициент заполнения пор,  $\beta=0,9$ .

Давление подачи раствора определялось из следующего условия:

$$P_{инн} < P_{кр} = \gamma \cdot h \cdot \frac{\mu}{1 - \mu}, \quad (6)$$

где  $P_{инн}$  – давление инъекции, кПа;  $P_{кр}$  – критическое давление (давление гидравлического разрыва), кПа;  $\gamma$  – удельный вес грунта, кН/м<sup>3</sup>;  $h$  – глубина установки перфорированной части инъектора, м;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

В соответствии с этим был разработан проект усиления грунтового основания (рис. 2).

## 2.2. Основные виды работ и технологические параметры цементации

Перед началом работ по укрепительной цементации на основании разработанного проекта

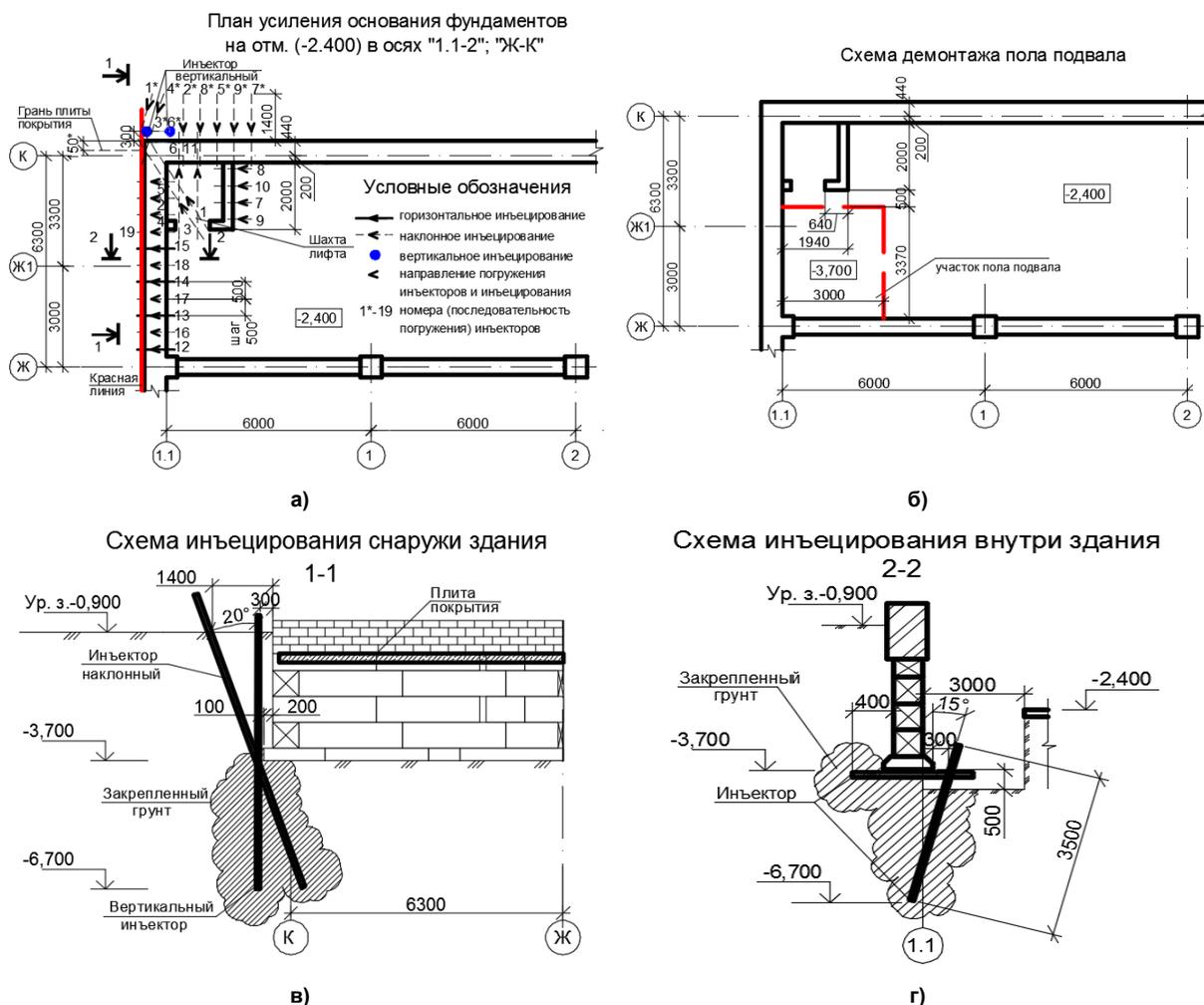


Рис. 2. План и схемы инъектирования цементного раствора

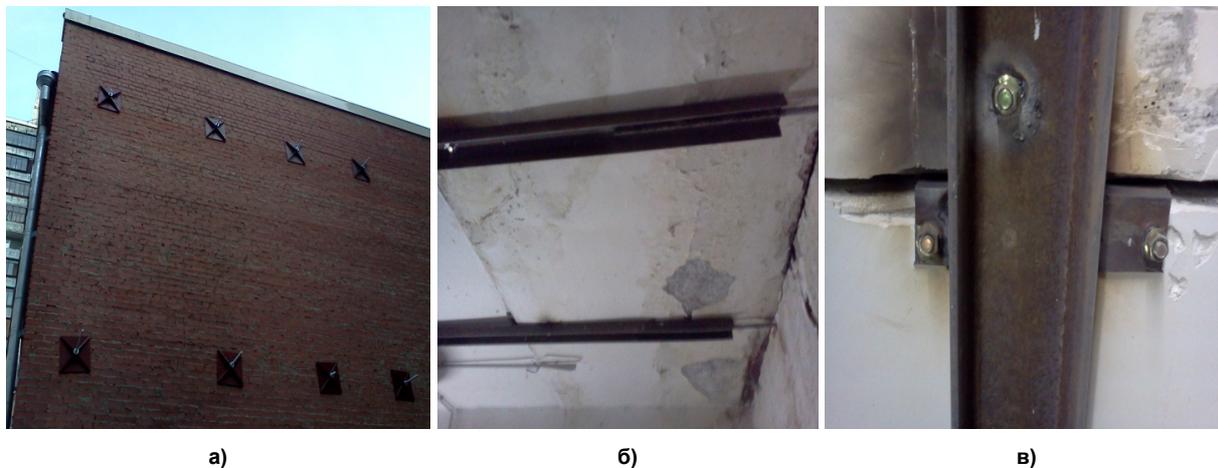
было выполнено крепление кирпичной кладки стен к плитам покрытия и перекрытий надземной части здания в осях К-Ж/1.1-1 (рис. 3).

Инъектирование проводилось с применением инъекционного комплекса, включающего переносной буровой агрегат и миксерную гидростанцию с компрессором и манометром (рис. 4, а-в), через горизонтальные, наклонные и вертикальные инъекторы из металлических труб  $\varnothing 57$  мм с просверленными отверстиями  $\varnothing 8-10$  мм для подачи цементного раствора (рис. 4, г), погружаемые в пробуренные скважины  $\varnothing 89$  мм. Длина перфорированной части составляла от 1,5 м для горизонтальных до 3,0-4,0 м для вертикальных и наклонных инъекторов.

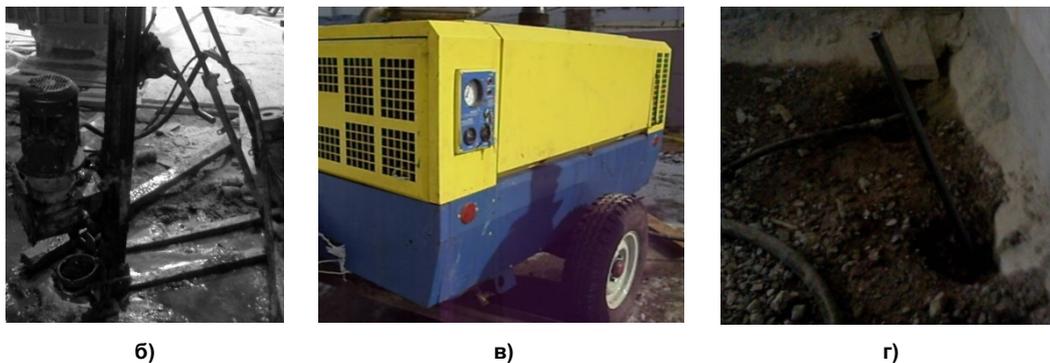
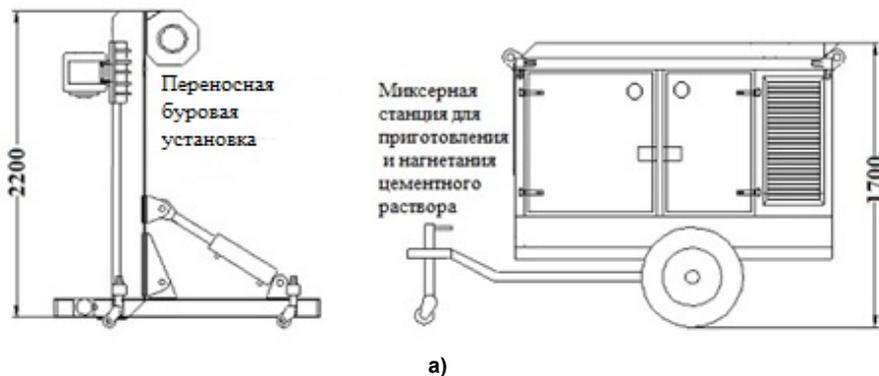
Для цементации применялся раствор порт-

ландцемента ЦЕМ-II/A-Ш-32,5Б по [7], с водоцементным отношением (В/Ц) 1:1, при давлении 0,3 МПа (3 атм.), контролируемом с помощью манометра миксерной гидростанции. Радиус действия раствора составлял  $0,2 \div 0,3$  м, при его необходимом количестве  $0,3 \text{ м}^3$  для объема закрепляемого грунта  $0,5 \text{ м}^3$  вокруг каждого инъектора, что обусловило проектный шаг инъектирования 0,5 м. Глубина погружения инъекторов была определена из условия достижения нижней границы сжимаемой толщи основания и составляла в среднем 3,0 м от подошвы фундаментов.

Упрочнение грунта наступало после схватывания цемента, предел прочности на сжатие грунтоцементных образцов, отобранных из контроль-



а) б) в)  
Рис. 3. Крепление кирпичной кладки стен к плитам перекрытий и покрытия



б) в) г)  
Рис. 4. Оборудование для выполнения цементации грунтового основания

## Технология и организация строительного производства

ных скважин и шурфа, составлял 0,7–1,1 МПа на 28-е сутки после выполнения инъекции.

В соответствии с [5, 6], к подготовительным работам относились: подвоз материалов, комплектование, подключение и опробование оборудования, приготовление инъекционного раствора, разбивка сетки скважин с указанием очередности инъекций, глубины и расхода раствора, бурение отверстий в асфальтовом покрытии, пробное нагнетание в две скважины с уточнением режима работы и радиуса распространения раствора, отбор проб закрепленного грунта для испытания на прочность.

В качестве основных работ по [5, 6] выполнялись: бурение инъекционных скважин, погружение инъекторов, фиксация инъекторов в скважинах с помощью разжимных пакеров, нагнетание цементного раствора.

Контроль качества закрепления грунтов включал три основных этапа:

1. Соответствие паспортам поступающих партий цемента, контроль установленных сроков и правил его хранения.

2. Правильность приготовления цементного раствора: подвижность, однородность, водоцементное отношение.

3. Контроль правильности производства инъекционных работ: проверка точности разбивки и глубины инъекционных скважин, соблюдение технологического регламента, который устанавливался на основании результатов инъекции опытных скважин.

### 2.3. Геотехнический мониторинг

В связи со сложностью работ был предусмотрен и осуществлен авторский надзор, а также геодезическое сопровождение с помощью элек-

тронного тахеометра Sokkia CX-106 (рис. 5, а, б), установлены двухкоординатные маяки типа ЗИ-2 для наблюдения за развитием трещин (рис. 5, в) и осадочные марки для фиксации возможных перемещений здания при производстве работ до стабилизации осадок основания здания.

В процессе геотехнического мониторинга данные наблюдений за двухкоординатными маяками и осадочными марками заносились в соответствующие ведомости, основные сведения из которых представлены в таблице.

По результатам наблюдения за маяками установлено смещение только одного из них в пределах 1,0 мм в вертикальном направлении при выполнении работ, затем отмечено прекращение развития трещин.

После выполнения инъектирования перемещения фундаментов составили от 0,1 до 0,3 мм за год, что свидетельствует о стабилизации деформаций основания.

### Заключение

Выполнено обследование технического состояния здания, установлены причины повреждения его несущих конструкций и неравномерных деформаций основания.

Осуществлен комплекс работ по усилению грунтов основания и фундаментных конструкций.

При проведении геотехнического мониторинга в процессе выполнения работ, по завершении набора прочности цементного раствора через 28 суток после окончания последней инъекции и в течение года эксплуатации объекта, зафиксирована стабилизация осадок основания фундаментов и прекращение перемещений фундаментных конструкций в зоне закрепления.



а)



б)



в)

Рис. 5. Приборы для геотехнического мониторинга

Ведомость отметок осадочных марок

Наименование осадочных марок	Отметки Н, м				Вертикальные перемещения, мм: «+» – вверх; «-» – вниз		
	При обследовании	Перед инъекцированием	После инъекцирования	Через год после инъекцирования			
Ом-1	-0,347	-0,346	-0,3450	-0,3451	+1	+1	-0,1
Ом-2	-0,297	-0,296	-0,2960	-0,2961	+1	0	-0,1
Ом-3	-0,226	-0,226	-0,2210	-0,2213	0	+5	-0,3
Ом-4	-0,248	-0,248	-0,2500	-0,2502	0	-2	-0,2
Ом-5	-0,233	-0,233	-0,2360	-0,2363	0	-3	-0,3
Ом-6	-0,451	-0,450	-0,4550	-0,4553	+1	-5	-0,3

Примечание. Осадочные марки были установлены по осям К-Ж/1.1-2 в наружных стенах здания.

#### Литература

1. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, 2004. – 26 с.

2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния.

3. ВСН 57-88(р). Положение по техническому обследованию жилых зданий / Госкомархитектуры. – М.: Стройиздат, 1991. – 64 с.

4. Тер-Мартirosян, З.Г. Механика грунтов:

моногр. / З.Г. Тер-Мартirosян. – М.: АСВ, 2009. – 552 с.

5. Рубцов, И.В. Закрепление грунтов земляного полотна автомобильных и железных дорог / И.В. Рубцов, В.И. Митраков, О.И. Рубцов. – М.: АСВ, 2007. – 184 с.

6. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). – М.: Стройиздат, 1986. – 86 с.

7. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия.

**Байбурин Альберт Халитович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Технология строительного производства», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), abayburin@mail.ru.

**Серебренникова Елена Николаевна**, старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции и инженерные сооружения», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), helen.silver@mail.ru.

**Куличкин Денис Владимирович**, директор ООО «Ардис» (Челябинск), evn06@yandex.ru.

**Байбурин Денис Альбертович**, директор ООО «Конструкционная Безопасность», интернет-ресурс ssafety.ru (Челябинск), dbayburin@mail.ru.

Поступила в редакцию 11 ноября 2014 г.

*Bulletin of the South Ural State University*  
*Series "Construction Engineering and Architecture"*  
2015, vol. 15, no. 1, pp. 18–24

## REINFORCEMENT BY CEMENT GROUTING METHOD OF THE STRIP FOUNDATIONS IN THE SHOPPING CENTER OF CHELYABINSK

*A.K. Bayburin, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, abayburin@mail.ru.*

*E.N. Serebrennikova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, helen.silver@mail.ru.*

*D.V. Kulichkin, Limited liability company "Ardis", Chelyabinsk, Russian Federation, evn06@yandex.ru.*

*D.A. Bayburin, Limited liability company "Construction Safety", website: ssafety.ru, Chelyabinsk, Russian Federation, dbayburin@mail.ru.*

In this paper the reasons for structural deformations in the operation of the existing building as a result of technological errors at the construction of adjacent underground parking are clarified. Physical and mechanical characteristics of the amended soil to convert its structural properties are analyzed. We determine the possible methods of strengthening to ensure safe operation of the building. Necessary technological and design parameters of injection are calculated. We have designed the project of strengthening brick walls, foundations and soils of the basement in the zone of maximum development of cracks in the load-bearing structures of this object. Cement grouting of the building basement has been made under direct control by the authors of the project and this article as well. Geotechnical monitoring is performed during the works and within the subsequent year of the building maintenance. As a result of the performed works the stabilization of the settlements of the soil basement and displacements of the foundation structures has been achieved.

*Keywords: survey of the building, foundation strengthening, injection grouting, cement grouting, geotechnical monitoring.*

### References

1. SP 13-102-2003. *Pravila obsledovaniya nesushchikh stroitel'nykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy* [Set of Rules 13-102-2003 Survey rules for the bearing constructions of buildings and structures]. Moscow, GosstroyRos-sii Publ., 2004. 26 p.
2. GOST 31937-2011. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [National Standard of the Russian Federation 31937-11. Buildings and constructions. Rules of inspection and technical condition monitoring]. Moscow, 2011. 89 p.
3. VSN 57-88(r). *Polozhenie po tekhnicheskomu obsledovaniyu zhilykh zdaniy* [Construction Department Regulations 57-88(r). Technical inspection of residential buildings regulation]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1991. 64 p.
4. Ter-Martirosyan Z.G. *Mekhanika gruntov* [Soil Mechanics]. Moscow, ASV Publ., 2009. 552 p.
5. Rubtsov I.V., Mitrov V.I., Rubtsov O.I. *Zakrepleniye gruntov zemlyanogo polotna avtomobil'nykh i zheleznykh dorog* [Soil Stabilization of Roadbed of Roads and Railways/ Scientific publication]. Moscow, ASV Publ., 2007. 184 p.
6. *Posobie po khimicheskomu zakrepleniyu gruntov in"ektsiye v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve (k SNiP 3.02.01-83)* [Manual on Chemical Grouting Injection in Industrial and Civil Construction (to SNiP 3.02.01-83)]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 86 p.
7. GOST 31108-2003. *Tsementy obshchestroitel'nye. Tekhnicheskie usloviya* [National Standard of the Russian Federation 31108-2003. General structural Portland clinker cements. Specifications]. Moscow, 2004. 22 p.

*Received 11 November 2014*