

УДК 624.138.24

Шакиров И.Ф. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: fsrshakirov@mail.ru

Гайфуллина В.А. – студент

E-mail: gaifullina-v@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Применение метода напорной цементации при усилении фундаментов в вытрамбованных котлованах

Аннотация

В статье освещены мероприятия и технические решения по усилению фундаментов в вытрамбованных котлованах пятиэтажного жилого дома по улице Татарстан г. Набережные Челны. Инженерно-геологические условия площадки жилого дома характеризуются неоднородностью и невыдержанностью по простираанию слоев грунта, а также негативным влиянием верховодки, образующейся за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из подземных коммуникаций, на свойства глинистых грунтов. Из-за длительного замачивание грунтов основания, фундаменты получили значительные осадки и часть здания находится в аварийном состоянии. В связи с этим возникла необходимость в разработке мероприятий, исключающих дальнейшие деформации здания. В результате проведенных исследований был принят вариант укрепления грунтов основания фундаментов методом напорной цементации, определена схема укрепления, длина, шаг и количество цементационных скважин, была проведена оценка изменения характеристик грунтового основания после укрепления.

Ключевые слова: основание, фундамент в вытрамбованном котловане, напорная цементация, несущая способность, сжимаемость, осадки, грунтовые условия.

В семидесятые годы прошлого столетия в строительстве начали широко применять метод устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах. Сущность этого метода состоит в том, что котлованы под отдельные фундаменты не отрываются, а вытрамбовываются на необходимую глубину с последующим заполнением бетоном. В результате вытрамбовывания под котлованом и вокруг него образуется уплотненная зона, в пределах которой повышается прочностные характеристики грунта, снижается сжимаемость, ликвидируются просадочные свойства грунтов.

Фундаменты в вытрамбованных котлованах достаточно часто применялись при возведении жилых домов в г. Набережные Челны, в том числе были использованы при строительстве пятиэтажного крупнопанельного жилого дома № 18/99 по ул. Татарстан. Вышеуказанный жилой дом был построен в начале 80-х годов прошлого столетия по проекту ЦНИИЭП жилища (г. Москва) [4]. В плане здание жилого дома имеет П-образное очертание, состоит из 38 типовых блок-секций серии 1-468 БНЧ. Конструктивная схема здания – перекрестно-стенная с поперечными несущими стенами и продольными диафрагмами жесткости. Стеновые панели свободно опираются на верхний обрез отдельно стоящих фундаментов в вытрамбованных котлованах, которые представляют собой сваи пирамидальной формы с уширением в нижней части. Горизонтальное сечение свай шестигранное, с шириной грани в верхней части 50 см, длина свай составляет 2,6 м, глубина заложения в грунт – 2,0 м (от пола подвала), расчетная несущая способность – 120 тонн.

В соответствие с [4], вытрамбовывание котлована для устройства фундаментов производилось трамбовкой весом 5 т, падающей по направляющей штанге с высоты 5-6 м. После создания полости в грунте, в нижней части устраивалась уширение путем втрамбовывания щебня фракции 20-30 мм в два приема по 0,6 м³. Вытрамбованный котлован заполнялся бетоном марки М200, в верхней части фундамента устанавливались арматурные сетки. Согласно проекту, диаметр уширения под нижним концом сваи составляет 1200 мм.

Уже во время строительства начались деформации здания в зоне блок-секций 6А и 7А (подъезды 38 и 39 в осях 27-29), связанные со значительными просадками фундаментов. Было установлено, что причиной просадки фундаментов явилась прокладка ливневой канализации, проходящей через проезд дома в блок секции 6А. Глубина траншеи, откопанной для прокладки канализации, оказалась ниже подошвы фундаментов в вытрамбованных котлованах на 1,6 м, при этом канализация проходила на расстоянии 1,1 м от ближайшего ряда фундаментов. Поэтому часть фундаментов (свай) попала в откос этой траншеи и потеряла несущую способность из-за разуплотнения окружающего грунта. В связи с этим во время строительства было выполнено усиление просевших фундаментов монолитной плитой (балкой) шириной 1,0 м на дополнительных сваях.

В дальнейшем на этом же участке здания из-за неисправности инженерных сетей, расположенных в подвале, в течении длительного времени шло замачивание грунтов основания. При обследовании вышеуказанных блок-секций жилого дома в 2004 году было установлено, что супеси, залегающие в основании фундаментов, перешли из твердого в пластичное состояние с показателем текучести $I_L = 0,75$. Просадка свай к этому времени составила от 5 до 11 см [3].

Несущая способность фундамента в вытрамбованном котловане с уширенным основанием определяется как наименьшее из значений несущей способности:

- по жесткому материалу (щебню), втрамбованному в дно котлована;
- по грунту уплотненной зоны;
- по грунту, подстилающему уплотненную зону.

В рассматриваемом случае определяющим является несущая способность грунта подстилающего слоя, которая определяется по формуле СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений»:

$$F_{f3} = g_c [g_g^l R A_s + d_p u_m (g_{c1} f_w + g_{c2} x_r i E)]. \quad (1)$$

Результаты расчетов по формуле (1) с учетом фактического состояния грунтов показывают, что несущая способность фундамента в вытрамбованном котловане на рассматриваемом участке здания составляет 89 т, что на 26 % ниже проектной. Осадка фундамента в вытрамбованном котловане, рассчитанная для фактического водонасыщенного состояния глинистых грунтов (без учета сжатия втрамбованного в дно котлована жесткого материала) составляет 13,2 см, что превышает допустимое значение осадки для зданий с несущими стенами из крупных панелей.

В связи с аварийным состоянием рассматриваемого участка жилого дома, в 2004 году было принято решение о выселении жильцов и выполнении реконструкции подъездов 38 и 39. Однако работы по реконструкции до 2016 года так и не были начаты. В 2015 году было проведено повторное обследование технического состояния здания, которое указало на продолжение осадки фундаментов и как следствие – деформаций здания. Согласно [3], разность осадок фундаментов на момент обследования здания на участке длиной 12 м составляет до 16 см. В рамках выполненного обследования рассматривались несколько вариантов по устранению аварийного состояния здания. По одному из вариантов было предложено полный демонтаж конструкций аварийной части здания, устройство дополнительных фундаментов и монтаж ранее демонтированных конструкций с заменой поврежденных элементов. Другой вариант предполагал усиление аварийных конструкций без демонтажа и укрепление грунтов основания.

Площадка, где расположен рассматриваемый жилой дом, находится в 51 микрорайоне г. Набережные Челны, на пересечении проспекта Сююмбике и улицы Татарстан. В геоморфологическом отношении участок расположен в пределах IV надпойменной аккумулятивной террасы левобережья реки Кама. Абсолютные отметки поверхности земли в пределах рассматриваемого участка составляют 97,5-98,0 м. Инженерно-геологические условия площадки характеризуются неоднородностью и невыдержанностью по простираанию слоев грунта.

Согласно инженерно-геологическим заключениям [1] и [2], на рассматриваемом участке в геолого-литологическом строении разреза принимают участие аллювиально-делювиальные отложения четвертичного возраста, представленные частым и

пространственно сложным чередованием суглинков, супесей и песков, перекрытые сверху современным техногенным слоем. В активной зоне основания здания залегают:

- техногенные насыпные грунты, состоящие из суглинков с прослойками супеси, с редким включением строительного мусора;
- супеси, от твердой до пластичной консистенции, в верхней части (до глубины 4,0 м) просадочные, мощностью до 3,3 м;
- суглинки от твердой до мягкопластичной консистенции;
- пески мелкие и пылеватые, средней плотности, маловлажные.

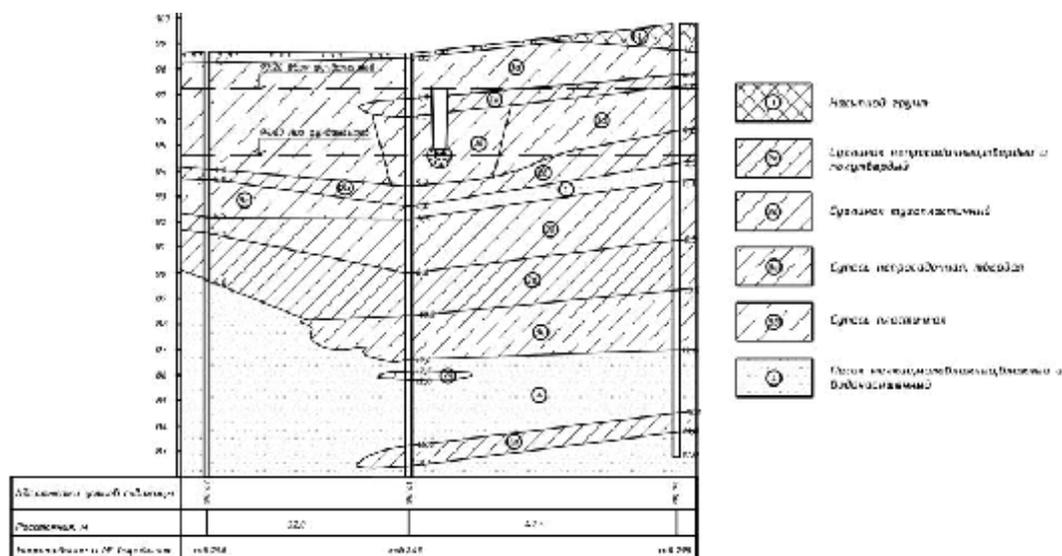


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез

Гидрогеологические условия площадки характеризуются постоянным водоносным горизонтом на абсолютных отметках 82,00-84,00 м, т.е. на глубине 14-16 м от поверхности земли. В [1] указывается на неизбежность образования верховодки природно-техногенного происхождения верхней части разреза с последующим гравитационным отходом вниз, что является основным негативным фактором, ухудшающим состояние и свойства грунтов. Также к негативным факторам можно отнести очень быструю размокаемость супесей и суглинков и резкое ухудшение свойств глинистых грунтов активной зоны основания при водонасыщении верховодкой.

После анализа грунтовых условий площадки, состояния строительных конструкций и фундаментов в вытрамбованных котлованах, было принято решение об усилении фундаментов без демонтажа надземных конструкций здания. Для увеличения несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах и уменьшения сжимаемости грунтов был предложен метод напорной цементации. Метод основан на управляемом инъецировании под давлением твердеющего раствора расчетного объема по определенной технологической схеме. Цементный раствор, нагнетаемый под давлением до 2 МПа, улучшает характеристики вмещающих грунтов, как за счет уплотнения, так и за счет образования в грунте армирующих элементов из затвердевшего цементного раствора. При этом цементный раствор при инъеции под давлением в первую очередь усиливает наиболее слабые зоны массива.

По предложенным техническим решениям, укрепление грунтов основания выполняется по манжетной технологии путем нагнетания цементного раствора через специальные инъекторы, изготовленные из стальных труб диаметром 57 мм. Инъекторы устанавливаются в пробуренные вплотную к фундаменту в вытрамбованном котловане наклонные скважины диаметром 80 мм, пространство между инъектором и стенкой скважины заполняется обойменным раствором. В качестве инъекционного раствора используется цементный раствор с водоцементным отношением 0,5 с добавлением суперпластификатора С-3. В зависимости от места расположения, вокруг каждого усиливаемого фундамента запроектированы четыре или шесть инъекционных скважин,

отличающиеся друг от друга глубиной и углом наклона. Длина инъектируемой части скважин составляет от 5,0 до 7,0 м, угол наклона – от 7° до 30° . Инъекция раствора в грунт производится отдельными зонами высотой не более 1 м восходящим способом, нагнетание проектного количества раствора в каждый иньектор выполняется не менее трех раз с перерывами на 24 часа.

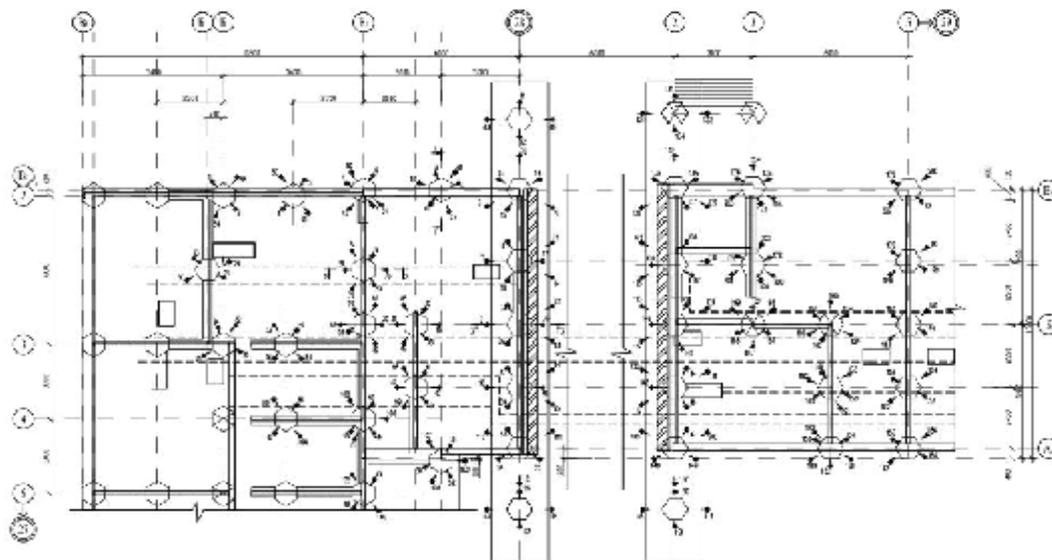


Рис. 2. Схема расположения инъекционных скважин

При разработке технических решений по укреплению грунтов основания фундаментов в вытрамбованных котлованах, а также для оценки изменения характеристик грунтов после укрепления были использованы результаты экспериментальных исследований, проведенных в лаборатории кафедры «Основания, фундаменты, динамика сооружений и инженерная геология» КГАСУ.

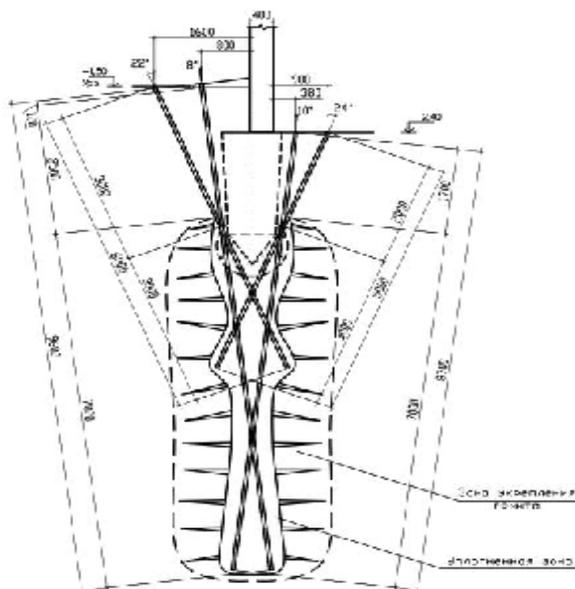


Рис. 3. Схема усиления фундамента в вытрамбованном котловане

Массив грунта после напорной инъекции цементного раствора и образования в нем грунтоцементного элемента можно рассматривать как сложную композитную систему, состоящую из жесткого армирующего элемента, области уплотненного грунта вокруг этого элемента и области неуплотненного грунта. Согласно результатам экспериментальных

исследований, геометрические размеры этих компонентов можно установить исходя из объема инъецируемого раствора и первоначальной пористости грунта, при этом диаметр уплотненной зоны зависит от диаметра грунтоцементного элемента. Из теории композитных систем следует, что обобщающие характеристики системы определяются в зависимости от соответствующих характеристик и соотношения площадей (объемов) отдельных элементов системы. Поэтому модуль деформации укрепленного массива грунта под фундаментом в вытрамбованном котловане можно определить по формуле:

$$E = \frac{E_g \cdot A_g + E_c \cdot A_c + E_o \cdot (A_s - A_g - A_c)}{A_s}, \quad (2)$$

где E_g , E_c , E_o – модули деформации соответственно грунтоцементного элемента, уплотненной зоны грунта и неуплотненного грунта;

A_g , A_c , A_s – площади поперечного сечения соответственно грунтоцементного элемента, уплотненной зоны грунта и уширения фундамента в вытрамбованном котловане.

В расчетах модуль деформации грунтоцементного элемента был принят равным 100 МПа. Характеристики грунта в зоне уплотнения вычисляются исходя от первоначальных характеристик грунта и объема инъецируемого цементного раствора. Раствор при инъекции под давлением сжимает грунт, пористость грунта при этом уменьшается. Непосредственно в укрепляемой зоне грунта под фундаментом остается только часть инъекционного раствора, другая часть раствора распространяется по образовавшимся трещинам и слабым прослоям грунта за пределы укрепляемой зоны. Поэтому и в сжатии грунта в рассматриваемой зоне участвует только часть раствора. Доля затвердевшего цементного раствора в массиве грунта под фундаментом определяется на основании экспериментальных данных, с учетом всех потерь.

Коэффициент пористости уплотненного при нагнетании цементного раствора грунта e_c можно вычислить исходя из доли затвердевшего раствора в массиве укрепляемого грунта k_a :

$$e_c = e_o - k_a (1 + e_o). \quad (3)$$

Принимая зависимость модуля деформации от коэффициента пористости в виде экспоненциальной кривой, модуль деформации уплотненного грунта определяется по формуле:

$$E_c = E_o \cdot \exp[k_n \cdot k_a (1 + e_o)], \quad (4)$$

где k_n – поправочный коэффициент, зависящий от деформируемости конкретного грунта.

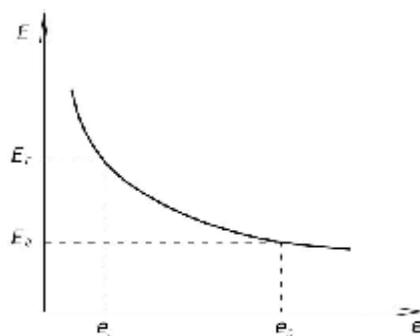


Рис. 4. График зависимости модуля деформации от коэффициента пористости грунта

На основании результатов вычислений с использованием формулы (2) можно сделать вывод, что при реализации предложенных мероприятий по укреплению грунтов модуль деформации пластичных супесей под фундаментами увеличится в два раза (с учетом армирующих элементов). Значительное уменьшение сжимаемости грунтов основания позволяет исключить дальнейшие деформации здания на аварийном участке. Качество выполняемых работ предлагается проверить путем проведения штамповых испытаний укрепленного массива грунта. При выполнении работ по укреплению грунтов необходимо вести наблюдение за деформациями конструкций здания, а после завершения работ по усилению фундаментов проводить мониторинг технического состояния здания.

Заключение

1. Разработаны технические решения по укреплению грунтов основания фундаментов в вытрамбованных котлованах с применением метода напорной цементации.

2. Выполнена оценка характеристик сжимаемости грунта, прогнозируемых после проведения работ по укреплению. Согласно проведенным расчетам, при предложенных технологических параметрах выполнения работ, укрепление грунтов позволяет увеличить модуль деформации массива грунта в два раза.

3. Для оценки эффективности принятых технических решений, после выполнения работ по укреплению грунтов и восстановления надземных конструкций необходимо установить мониторинг за состоянием здания.

Список библиографических ссылок

1. Инженерно-геологические условия площадки реконструкции подъездов № 38 и № 39 дома 51/01 г. Набережные Челны РТ, ОАО КамТИСИЗ. – Набережные Челны, 2006.
2. Инженерно-геологическое заключение по объекту: «Жилой дом по ул. Татарстан, 18/99, г. Набережные Челны, в районе подъездов № 38, № 39», ООО «РЕАЛ». – Набережные Челны, 2015.
3. Техническое заключение по результатам обследования строительных конструкций подъездов № 38 и № 39 жилого дома 51/01, расположенного по адресу: РТ, г. Набережные Челны, ООО «Каммонтаж». – Набережные Челны, 2015.
4. Проект привязки крупнопанельного 5-этажного жилого комплекса из блок-секций серии 1-468 БНЧ для строительства в микрорайоне 51, г. Набережные Челны, ЦНИИЭН жилища. – М., 1980.
5. Шакиров И.Ф., Тюркин С.И. Исследование несущей способности висячих свай в массиве грунта, укрепленного напорной цементацией. // Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов. XIV Международный симпозиум по реологии грунтов. – Казань: КГАСУ, 2014. – С. 75-80.
6. Шакиров И.Ф., Гарифуллин Д.Р. Исследование несущей способности и деформаций песчаных грунтов, укрепленных напорной цементацией // Известия КГАСУ, 2015, № 4 (34). – С. 200-205.
7. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2011, № 4. – С. 16-23.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.

Shakirov I.F. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: fsrshakirov@mail.ru

Gaifullina V.A. – student

E-mail: gaifullina-v@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Foundations strengthening by pressure cementation method in the rammed pits

Resume

Due to the ground base property deterioration because of the long soaking, foundations in rammed pits of an apartment building on the Tatarstan street in the city of Naberezhnye Chelny received a significant settlement. Therefore, part of the building is currently in critical condition. Based on the engineering geological conditions of the site and the building condition analysis developed a technical solution for foundations strengthening. For ground base strengthening

proposes a variant of the pressure cementation method, defined technological parameters to perform injection works.

In the process of cement mortar injecting into the ground under the base pressure, the mortar enters into the weakest area of the array and creates a rigid reinforcing element from solidified mortar. Ground array after strengthening can be considered as a complex composite system, consisting of rigid reinforcing elements, compacted ground regions around these elements and uncompacted ground regions. The authors performed the evaluation of the ground compressibility characteristics, predicted after strengthening works, at the same time were used the results of experimental researches. According to calculations, the grounds strengthening can significantly increase the ground array deformation module and avoid further deformation of the building.

Keywords: ground base, foundation in the rammed pit, the pressure cementation, bearing capacity, compressibility, settlement, ground conditions.

Reference list

1. Engineering geological conditions of the reconstruction site in entrances № 38 and № 39 of house № 51/01 Naberezhnye Chelny city, Tatarstan, JSC «KamTISIZ». – Naberezhnye Chelny, 2006.
2. Engineering-geological report about the project: «Apartment building on the street Tatarstan, 18/99, Naberezhnye Chelny, in the site of entrances № 38, № 39», Ltd «REAL». – Naberezhnye Chelny, 2015.
3. Technical report by the survey results of a building structures and entrances № 38, № 39 in apartment building №51/01, located at Tatarstan, Naberezhnye Chelny city, Ltd «Kammontazh». – Naberezhnye Chelny, 2015.
4. The reference design of large 5-storey apartment complex block-sections 1-468 series BNCH for construction in the district 51, Naberezhnye Chelny, TSNIEN homes. – M., 1980.
5. Shakirov I.F., Tyurkin S.I. Researches of bearing capacity of hanging piles in the array of soil, reinforced by pressure cementation. // Perspective directions of development in theory and practice of rheology and soil mechanics. XIV International Symposium on the rheology of soils. – Kazan: KGASU, 2014. – P. 75-80.
6. Shakirov I.F., Garifullin D.R. The research of bearing capacity and deformation of sandy ground, reinforced by pressure cementation // Izvestiya KGASU, 2015, № 4 (34). – P. 200-205.
7. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil // Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov, 2011, № 4. – P. 16-23.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.