

УДК 624.138.24

Збицкая В. В.
(ЛГУ им. В. Даля, г. Луганск, ЛНР, ki1ri1ch@mail.ru),
к.т.н. Псюк В. В.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БУРОИНЪЕКЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ УПРОЧНЕНИИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

В данной работе выполнен анализ изменения свойств грунтов при эксплуатации строительных объектов, обоснована возможность упрочнения таких грунтов с помощью буроинъекционной технологии.

Ключевые слова: буроинъекционная технология, упрочнение, грунт, напряженно-деформированное состояние, глубина сжимаемой толщи, влажность грунта, уровень грунтовых вод, разуплотнение грунта.

Анализ способов упрочнения неустойчивых оснований позволяет сделать вывод, что к настоящему времени разработано и внедрено большое количество способов, позволяющих решать различные инженерные задачи, а именно: уплотнение вибрационными механизмами; трамбовка; укатка; устройство песчаных, грунтовых и известковых свай; виброуплотнение; понижение уровня подземных вод; внешняя пригрузка; цементация; термическое закрепление; глинизация; силикатизация; закрепление электроосмосом; известкование; электросиликатизация; закрепление синтетическими смолами; замораживание. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки, рекомендуется для определенных грунтовых условий и производственных возможностей его выполнения, т. е. имеет ограниченное применение.

Сегодня одними из наиболее перспективных способов усиления грунтов основания фундаментов зданий и сооружений, в том числе реконструируемых и восстанавливаемых, являются способы, которые базируются на использовании буроинъекционных свай. Накоплен большой практический опыт их использования, разработаны многочисленные рекомендации.

В последние годы в практике усиления грунтов оснований все шире используют

буроинъекционные сваи, как вертикальные, так и наклонные. К настоящему времени такими сваями, сооруженными с применением напорной инъекции раствора в режиме гидроразрыва, усилены более тысячи оснований значимых памятников архитектуры, промышленных и гражданских сооружений.

Инъекция раствора в режиме гидроразрыва, в отличие от режима пропитки, может применяться в различных грунтовых условиях, в том числе в песчаных, просадочных и пылевато-глинистых грунтах, с целью армирования массивов для повышения несущей способности, улучшения свойств грунта, а также для прекращения осадков и деформаций объектов, вблизи которых ведутся геотехнические работы (проходка тоннелей, устройство котлованов, строительство новых заглубленных сооружений) [1].

Инъекционное упрочнение грунтов в режиме гидроразрыва впервые было предложено в середине 50-х годов XX века французской фирмой Soletanche. Гидроразрыв — это процесс, при котором при достижении определенного давления в зоне нагнетания формируются полости разрывных нарушений, которые при заполнении их связующей композицией создают разветвленный армирующий каркас, при

правильном производстве инъекционных работ значительно повышающий устойчивость грунта [2].

Целью работы является обоснование применения буроинъекционной технологии при упрочнении грунтов оснований эксплуатируемых строительных объектов.

Цель достигалась решением следующих **задач**:

– анализ изменения свойств грунтов при эксплуатации строительных объектов;

– обоснование возможности упрочнения грунтов оснований эксплуатируемых строительных объектов с помощью буроинъекционной технологии.

Объект исследования — грунты оснований эксплуатируемых строительных объектов.

Предмет исследований — буроинъекционная технология упрочнения грунтов основания.

Методика исследований — анализ литературных и нормативных источников; аналитическое исследование изменения свойств грунтов при эксплуатации строительных объектов.

Суть способа закрепления грунтов инъекцией растворов в режиме гидроразрыва заключается в управляемой поинтервальной по высоте инъекции раствора в грунт под высоким давлением через установленную в скважину перфорированную клапанную трубу или манжетную колонну. Труба по длине с определенным интервалом имеет отверстия, перекрытые с внешней стороны манжетами. Устройство трубы позволяет проводить инъекцию раствора на строго определенном уровне скважины. Манжетные колонны устанавливаются после забуривания скважин на проектную глубину. Пространство между трубой и стенами скважины заполняют цементной или глиноцементной суспензией. После схватывания суспензии образуется обойма, надежно связывающая трубу с грунтом и препятствующая выходу инжецируемых растворов по контуру между трубой и грунтом. Инъекция раствора производится

путем разрыва обоймы на заданном уровне скважины [3].

При изготовлении буроинъекционной сваи вокруг нее в грунте образуются разнонаправленные каналы гидроразрыва. В результате чего в грунте формируется система из инъекционной трубы и цементных уширений. Основными преимуществами таких свай являются: высокая скорость и низкая трудоемкость их выполнения; применение буроинъекционных свай исключает большой объем земляных работ, обеспечивает твердение бетона даже при отрицательных температурах.

Буроинъекционные сваи успешно используются не только при армировании грунта для улучшения его свойств и повышения несущей способности массива, но и при усилении оснований и фундаментов при необходимости стабилизации незатухающих осадок; изменении конструктивной схемы здания с перераспределением нагрузок на грунты либо догружением фундаментов; устройстве отдельностоящих фундаментов в зоне примыкания к существующему зданию в случаях, когда, например, опасна динамика от погружения готовых свай; анкеровке подпорных стен; превентивном усилении грунтов оснований существующих зданий и сооружений и др.

Столь широкая применяемость способа буроинъекционного усиления и успешная его реализация в условиях слабых и других грунтов доказывает перспективность данной технологии.

Технология сооружения таких свай известна и хорошо отработана. Однако постоянно растущие нагрузки, увеличение темпов строительства, снижение стоимости СМР вызывают необходимость совершенствования и дальнейшего развития технологии сооружения, методики проектирования параметров и нормативных документов для расчета несущей способности буроинъекционных свай. Многочисленные научные исследования и практический опыт эксплуатации промышленных и гражданских объектов показали, что грунты оснований

претерпевают сложные процессы во времени и подвержены изменениям свойств под влиянием различных геологических и техногенных факторов [4–7].

Установлено, что в процессе длительной эксплуатации строительных объектов в основаниях:

- происходят изменения напряженно-деформированного состояния;
- проявляются изменения глубины сжимаемой толщи грунта;
- происходит повышение влажности грунтов и подъем уровня грунтовых вод;
- наблюдается ухудшение водно-физических свойств и разуплотнение грунтов основания.

Наряду с уплотнением грунта в основании происходят и более сложные процессы, приводящие к изменению прочностных свойств грунта, что резко выражается в зависимости от времени действия нагрузки. Исследование природы деформаций песчано-глинистых грунтов показывает, что их прочность определяется прочностью межчастичных связей частиц грунта. Эти связи рассматриваются как сцепление, которое разделяется на две части. Часть сцепления, которая отображает способность частиц грунта вступать во взаимодействие между собой вследствие проявления молекулярных сил, называют первичным сцеплением. Вторая часть сцепления показывает суммарное влияние на прочность грунта многообразных процессов изменения физического состояния, минералогического и химического состава грунта, протекающих на стадии диагенеза и называется сцеплением упрочнения. Именно эту часть сцепления следует рассматривать на стадии формирования искусственного основания.

Обычно в практике проектирования новых сооружений грунты оснований рассматриваются в статическом состоянии и выявленные при изысканиях свойства грунтов считаются неизменными.

Однако известно, что после возведения зданий и сооружений состояние грунтов

значительно изменяется во времени эксплуатации объектов. Это указывает на необходимость строгого соблюдения правил эксплуатационного поддержания или реконструкции оснований.

Устройство фундаментов и прокладка коммуникаций нарушают гидрогеологические условия площадки застройки, происходит обжатие грунтов оснований нагрузкой от сооружения, что изменяет их физико-механические свойства.

Следовательно, в основании сооружений происходят изменения: естественного напряженного состояния грунта под влиянием дополнительного давления; природного сложения грунтов; гидрогеологического режима участка. В отличие от естественных, эти изменения в грунтах оснований следует относить к техногенным и осуществлять их прогнозирование на стадии проектирования и сооружения основания объекта.

Наряду с этим глубина сжимаемого массива грунта под фундаментом также претерпевает изменения. В настоящее время давление грунтов основания и деформацию его слоев определяют по теории линейно-деформируемого пространства. Однако существует целый ряд новых методов расчета сжимаемой толщи грунта с учетом временного фактора. [6]. Самое широкое распространение получил метод, согласно которому граница сжимаемой толщи находится на глубине, где выполняется условие

$$p_z \leq 0,1p_0, \quad (1)$$

где p_z — дополнительное давление на глубине от подошвы фундамента;

p_0 — дополнительное давление на уровне подошвы фундамента.

Однако исследования фактической глубины сжимаемой толщи в основании фундаментов показали следующее:

- для полутвердых и тугопластичных суглинков сжимаемая толщина не превышает $2,2b$. Ее фактическая глубина возрастает пропорционально увеличению ширины подошвы фундаментов b ;

– чем больше глубина заложения подошвы фундамента, тем меньше глубина фактически сжимаемой толщи;

– фактическая глубина деформируемой толщи пропорциональна давлению; для жилых и общественных зданий (давление до 0.3 МПа) эта зависимость линейная.

Влажность грунтов основания жилых и особенно промышленных районов по истечении некоторого времени после строительства повышается. Это явление связано с уплотнением застройки, покрытием больших площадей асфальтом, озеленением, нарушением естественного сложения грунтов при устройстве фундаментов, техногенными утечками и т. д. Нарушения сложившегося динамического равновесия в водном балансе в связи с застройкой территории, как правило, приводит к подъему уровня грунтовых вод, что отрицательно сказывается на свойствах грунтов [5, 6, 8].

Отметим, что, когда напластования грунтов не обладают хорошей водопроницаемостью, происходит подтопление территории, сопровождающееся деформациями зданий и сооружений. Важную роль здесь играют не только утечки из водонесущих коммуникаций, но и устройство водоёмов, каналов, накопителей и другие ирригационные мероприятия.

Повышение уровня грунтовых вод ведет к разуплотнению грунтов, что вызывает изменения коэффициента пористости и коэффициента фильтрации.

Модуль деформации, например, суглинков при обводнении снижается в 1,5–2 раза, а их сцепление снижается в 2–3 раза, угол внутреннего трения изменяется на 10–15°. Поэтому грунты основания, обладавшие достаточно высокой несущей способностью и низкой деформативностью при естественной влажности, после подтопления превращаются в слабые разуплотненные грунты. Естественно, что в этих условиях фундаменты зданий проявляют повышенные деформации вплоть до разрушения [4, 9].

Под действием геологических или техногенных процессов грунты оснований

могут разуплотняться. К таким процессам относятся, например, суффозия, карстообразование, подъем уровня грунтовых вод. Этот факт подтверждается на практике при реконструкции оснований.

Разуплотнение грунта представляет собой физический процесс уменьшения его скелетной части. Причем процесс разуплотнения грунта имеет нарастающий характер, вплоть до полного разрушения минерального скелета грунта. При этом в зоне разуплотнения наблюдается дефицит объемного веса скелета грунта:

$$\Delta\gamma_d = \Delta\gamma_{d_0} - \Delta\gamma_{d_1}, \quad (2)$$

где $\Delta\gamma_{d_0}, \Delta\gamma_{d_1}$ — объемный вес скелета грунта до и после разуплотнения соответственно.

Поэтому разуплотненный (или деконсолидированный) грунт характеризуется коэффициентом деконсолидации

$$k_d = \frac{\Delta\gamma_{d_0}}{\Delta\gamma_{d_1}}. \quad (3)$$

Коэффициент деконсолидации характеризует степень разуплотнения грунта, т. е. при $k_d > 1$ свойства грунта не удовлетворяют нормальной эксплуатации инженерного объекта и приводят к аварийным ситуациям. Очевидно, что коэффициент деконсолидации грунта имеет непосредственную связь со всеми его свойствами. Например, изменение пористости грунта может быть выражено через коэффициент пористости

$$e_2 = \frac{\gamma_s \cdot k_d}{\gamma_{d_0}} - 1, \quad (4)$$

где γ_s — удельный вес частиц грунта.

Таким образом, за счет разуплотнения в грунте происходит образование дополнительной пустотности, а межчастичные связи ослабевают. Это позволяет выполнить инъекцию цементующего раствора в режиме гидрорасчленения и восстановить начальную плотность грунта, т. е. обеспечить условие

$$k_{d_0} = k_{d_1}. \quad (5)$$

Если принять грунт изотропным, то процесс инъекции характеризуется радиусом и мощностью заходки h_1 . Поэтому суммарная мощность полости, заполненной раствором,

$$h_3 = h_1 \left(\frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \right). \quad (6)$$

Следовательно, условие достижения начальной плотности грунта за счет инъекционной консолидации имеет вид

$$h_3 = h_1 \left(1 - \frac{k_{d1}}{k_{d0}} \right), \quad (7)$$

где k_{d1} — коэффициент деконсолидации, соответственно, консолидированного и разуплотненного грунтов.

Это означает, что разуплотненные грунты основания могут реконструироваться инъекционным способом.

Анализ изменения свойств грунтов при эксплуатации строительных объектов по-

зволяет сделать вывод, что под влиянием различных геологических и техногенных факторов в основаниях происходят изменения напряженно-деформированного состояния, появляются изменения глубины сжимаемой толщи грунта, происходит повышение влажности грунтов и подъем уровня грунтовых вод, наблюдается ухудшение водно-физических свойств и разуплотнение грунтов основания.

Разуплотненные грунты основания могут реконструироваться инъекционным способом, который обеспечивает уплотнение грунта и повышение его прочности за счет формирования искусственных жесткокристаллических межчастичных связей.

Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование методики расчета параметров буроинъекционной технологии упрочнения грунтов оснований фундаментов.

Библиографический список

1. Пат. 22454428. Российская Федерация, МПК7 E 02 D 31/8. Способ возведения подземных сооружений в зоне городской застройки [Текст] / В. П. Петрухин, О. А. Шулятьев, О. А. Мозгачева ; заявитель и патентообладатель ГФУП «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова». — № 2002121806/03 ; заявл. 15.08.02 ; опубл. 27.01.05, Бюл. № 3. — 1 с.
2. Инъекционное упрочнение горных пород [Текст] / Ю. З. Заславский [и др.]. — М. : Недра, 1984. — 177 с.
3. Ермолаев, В. А. Закрепление оснований зданий и сооружений методом гидроразрыва при неоднократном инъектировании [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.02 / Ермолаев Вадим Александрович ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — СПб., 2013. — 166 с.
4. Диагностика технического состояния жилых зданий [Текст] : монография / Н. П. Куркин, М. С. Розенфельд, А. Г. Неверов, М. Н. Волошко ; под ред. Н. П. Куркина. — Луганск : Янтарь, 2012. — 368 с.
5. Рекомендации по ликвидации аварий жилых зданий и объектов социального назначения [Текст] / П. Н. Должиков [и др.]. — Донецк : Норд-пресс, 2014. — 52 с.
6. Коновалов, П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий [Текст] / П. А. Коновалов. — М. : Стройиздат, 1988. — 287 с.
7. Леденев, В. В. Предупреждение аварий [Текст] / В. В. Леденев, В. И. Скрылев. — Тамбов : ТГТУ, 2000. — 278 с.
8. Добромислов, А. Н. Анализ аварий промышленных зданий и инженерных сооружений [Текст] / А. Н. Добромислов // Промышленное строительство. — 1996. — № 9. — С. 9–10.

9. Должиков, П. Н. Исследование параметров и процесса тампонажа зон разуплотнений горного массива [Текст] / П. Н. Должиков, В. Д. Рябичев, Д. В. Пронский // Науковий вісник НГУ. — 2004. — № 1. — С. 35–37.

© Збицкая В. В.

© Псюк В. В.

Рекомендована к печати к.геол.н., доц., зав. каф. СИА ЛГУ им. В. Даля Горовой Н. А., к.т.н., доц. каф. ПС ДонГТИ Емец Е. В.

Статья поступила в редакцию 28.09.2022.

Zbitskaia V. V. (LSU named after V. Dahl, Lugansk, LPR, ki1ri1ch@mail.ru), **PhD in Engineering**

Psiuk V. V. (DonSTI, Alchevsk, LPR)

JUSTIFICATION OF USING THE DRILLING INJECTION TECHNOLOGY IN STRENGTHENING THE SOILS OF BASES OF THE OPERATED CONSTRUCTION FACILITIES

In this paper, the analysis of changes in the properties of soils during the operation of construction facilities is carried out, the possibility of hardening such soils using drilling injection technology is substantiated.

Key words: *drilling injection technology, hardening, soil, stress-strain state, depth of compressible thickness, soil moisture, groundwater level, soil decompression.*