

УДК 624.1

*В.А. ИЛЬИЧЕВ, д-р техн. наук, академик РААСН; Н.С. НИКИФОРОВА, д-р техн. наук, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН; Ю.А. ГОТМАН, М.М. ТУПИКОВ, кандидаты техн. наук, ООО «Подземпроект»; Е.Ю. ТРОФИМОВ, инженер, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (Москва)*

## Анализ применения активных и пассивных методов защиты существующей застройки при подземном строительстве

*Освоение подземного пространства городов, включающее строительство подземных комплексов, требует разработки мер защиты зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства. Приведен обзор методов освоения подземного пространства, среди которых можно выделить активные (распорки с домкратами, преднапрягаемые анкеры, технология Jet-grouting, модернизация технологии щитовой проходки и др.) и пассивные (укрепление основания и усиление фундаментов окружающей застройки, устройство отсечных экранов между подземной выработкой и существующим зданием) меры защиты.*

**Ключевые слова:** подземное строительство, влияние, защита зданий, буроинъекционные сваи.

Защитные мероприятия для зданий назначаются в случае, если прогнозируемые деформации основания превышают дополнительную предельную величину, регламентируемую нормативными документами. Применение пассивных защитных мероприятий не гарантирует полного отсутствия деформаций основания окружающей застройки и не всегда эффективно.

Один из наиболее распространенных видов защиты существующих зданий, находящихся в зоне влияния строительства подземных объектов, – усиление фундаментов буроинъекционными сваями.

Исследования последних лет, проведенные на московских и Санкт-Петербургских объектах [1–3] показали, что устройство буроинъекционных свай в качестве защитных мероприятий для зданий в зоне влияния котлованов глуби-

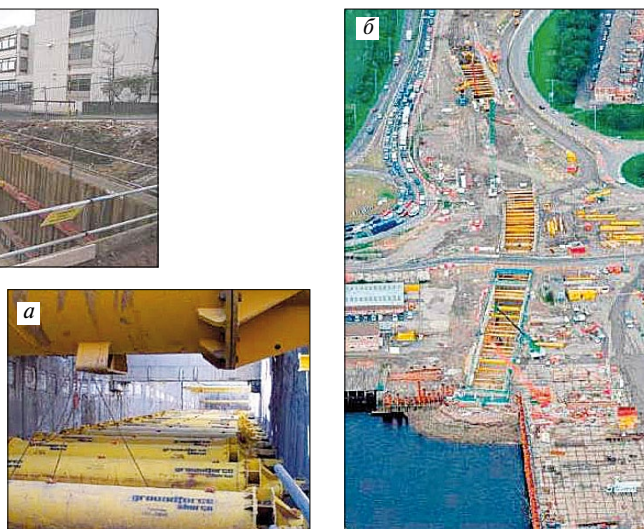
ной 10–20 м не всегда обеспечивает нормативные деформации оснований вследствие существенных перемещений грунтового массива, прилегающего к глубокому котловану.

Проведенные численные и натурные эксперименты [3, 4] и др. свидетельствуют, что применение вертикальных геотехнических отсечных экранов не снижает осадки фундаментов зданий в зоне влияния глубоких котлованов до нормативной величины в грунтовых условиях, характерных для Москвы. Снижение деформаций зданий от устройства котлована может быть достигнуто путем устройства геотехнического отсечного экрана в комбинации с другим видом защитных мероприятий, например сваями, либо путем изменения его наклона к вертикали.

При этом не все вопросы исследованы достаточно глубоко. При применении пассивных методов защиты могут



**Рис. 1.** Распорки с домкратами фирмы MGF: а – тоннель в г. Уэст-Бромидже; б – торговый комплекс в г. Виган (Великобритания)



**Рис. 2.** Использование распорок с домкратами фирмы Gruondforce: а – установка распорок для крепления стен тоннеля; б – тоннель Тайн в Великобритании

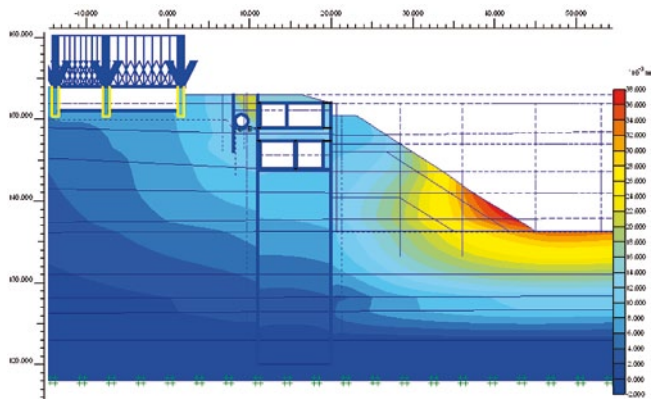


Рис. 3. Геотехническое моделирование активной защиты здания по адресу: 1-я Брестская, 66 при строительстве подземной автостоянки с перекладкой коммуникаций на площади Тверской заставы

возникать деформации основания существующей застройки, превышающие дополнительные предельные величины, в особенности это актуально для исторических зданий и зданий – памятников истории и культуры. Иногда по каким-либо причинам невозможно их выполнить. В этом случае рекомендуются активные методы защиты.

Активные методы защиты можно разделить на две группы: первая группа связана с применением механизмов, создающих усилие в конструкциях (распорки с домкратами и преднапрягаемые анкеры); вторая группа – с закачиванием в грунт цементного раствора (компенсационное нагнетание, создание грунтоцементных массивов методом jet-grouting за ограждением котлована и ниже его дна, закачивание смесей в заобделочное пространство тоннелей при щитовой проходке).

Распорные системы с домкратами нашли применение за рубежом.

Для крепления стенок траншей и котлованов фирма MGF производит модульные распорки MGF UC Brace при ширине пролета до 15 м, от 15 до 45 м – распорные системы BracingStrutSystems с распорным усилием в гидравлических домкратах 400–500 бар соответственно.

Данные распорные системы применялись на объектах в Великобритании, например при строительстве тоннеля в г. Уэст-Бромидж (рис. 1, а) и торгового комплекса в г. Виган (рис. 1, б).



Рис. 4. Геотехнический барьер на пл. Тверской Заставы в Москве у дома № 1 по ул. Лесной

Фирма Gruondforce выпускает гидравлические распорные системы для пролетов шириной от 2,4 до 45,1 м, которые используются на объектах в Великобритании, например при строительстве отеля «Хилтон» в Лондоне двухуровневой подземной частью и тоннеля Тайн – крупнейшего объекта автодорожной системы Великобритании, а также в Дании и Германии.

В России применение распорок с домкратами было предложено В.А. Ильичевым и Ю.А. Готманом для защиты зданий при строительстве многоуровневой подземной автостоянки на площади Тверской Заставы и перекладке коммуникаций в глубоких траншеях.

Численные исследования применения распорок выполнены авторами для здания по адресу: Москва, ул. 1-я Брестская, 66, находящемуся в предаварийном состоянии. Для такого здания предельные дополнительные деформации составляют: осадка 5 мм, допустимая разность осадок 0,0004. Расчеты по программе PLAXIS (в плоской постановке) показали, что осадка ближайшего к котловану фундамента здания без защитных мероприятий составила 25 мм. Для предотвращения сноса здания было произведено моделирование с введением системы активного противодействия воздействия домкрата в уровне ниже круглого коллектора (рис. 3).

Основные результаты расчета осадки фундамента без защитных мероприятий 25 мм; при введении активной си-

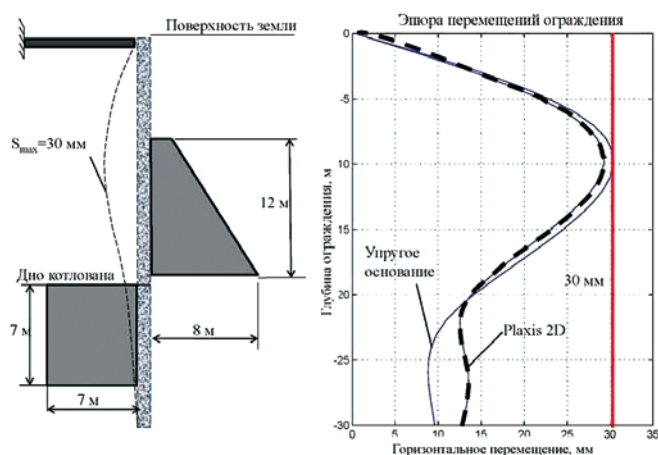
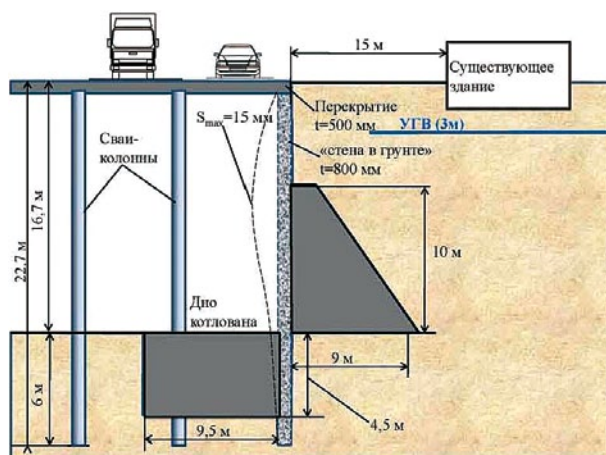


Рис. 5. Техническое решение устройства котлована для подземной автостоянки на пл. Тверской Заставы в Москве: а – определение оптимальных размеров грунтоцементных массивов; б – предложенное решение по устройству конструкций подземной автостоянки



стемы противодействия с величиной усилия на 1 п.м: 0 кН – осадка фундамента составляет 8 мм; 100 кН – 6 мм; 150 кН – 5 мм. Усилие в домкрате в 150 кН позволяет снизить осадку до 5 мм, т. е. до нормативного значения.

Преднапрягаемые многопрядевые анкеры, сделанные по технологии SBMA, обеспечили сохранность соседних зданий при строительстве многофункционального комплекса с подземной 6-этажной автостоянкой на ул. Ярцевской, вл. 19 в Москве.

Устройство вертикального и наклонного геотехнических барьеров методом компенсационного нагнетания [5], относящегося ко второй группе активных методов защиты, позволяет существенно снизить осадки зданий в зоне влияния глубоких котлованов и коллекторов. На рис. 4. показан геотехнический барьер для защиты дома № 1 по ул. Лесной, попадающего в зону влияния подземной автостоянки, и камеры на площади Тверской Заставы в Москве, выполненный НПО «Космос».

К группе активных методов защиты, основанной на нагнетании в грунт цементного раствора, относится создание грунтоцементных массивов за ограждением котлована и под его дном.

В.А. Ильичевым и Ю.А. Готманом [6] разработан алгоритм расчета оптимальных размеров грунтоцементных массивов, основанный на использовании универсального критерия разрешенного перемещения ограждения котлована, и предложено расчетно-обоснованное техническое решение (рис. 5), позволяющее производить откопку котлована для подземной автостоянки на площади Тверской Заставы в Москве без защитных мероприятий для существующих зданий.

Влияние устройства грунтоцементных массивов за ограждающей конструкцией котлована второй сцены Мариинского театра в Санкт-Петербурге для снижения перемещений прилегающего грунтового массива изучали Р.А. Мангушев и С.В. Ланько [7].

Вышеупомянутая группа активных защитных мероприятий включает в себя закачивание цементного раствора в заобделочное пространство при прокладке коммуникационных и метротоннелей щитовым способом.

Для уменьшения влияния проходки на окружающую застройку при строительстве коммуникационных коллекторов щитовой проходкой на ул. Грузинский Вал и вдоль Ленинградского шоссе от ул. Флотской до ул. Беломорской В.А. Ильичевым и М.М. Тупиковым предложены меры по модернизации технологии производства работ, что позволило снизить осадки здания при прохождении под ним щитового комплекса (с 80 до 10 мм на Грузинском Валу) [8]. Для коллектора на Ленинградском шоссе авторы разработали технологический регламент, предусматривающий уменьшение времени нахождения грунта вокруг кольца обделки в незакрепленном состоянии и объема строительного зазора, предназначенного для нагнетания тампонажного раствора, позволяющий снизить в два раза влияние строительства на конструкции существующих подземных переходов.

На основе натурных экспериментальных исследований на строительстве участка метро ст. «Новогиреево» – ст. «Новокосино» Московского метрополитена В.С. Елгаев [9] разработал методические рекомендации по оптимизации составов и технологии инъектирования тампонажного раствора в заобделочное пространство при строительстве тоннелей метрополитена щитовой проходкой для снижения осадок поверхности грунта.

#### Выводы:

- при выборе пассивных мер защиты для окружающей застройки в зоне влияния подземного строительства необходимо учитывать, что при их применении не всегда достигается снижение осадок зданий до нормативных значений вследствие возникновения непрогнозируемой «технологической» осадки, а также малой эффективности устройства вертикальных отсечных экранов любой конструкции буроинъекционных свай в зоне влияния котлованов глубиной 10–20 м;
- активные защитные мероприятия для окружающей застройки предпочтительнее по сравнению с пассивными, особенно для зданий исторической застройки, так как позволяют обеспечить нормативное значение осадок;
- на российских подземных объектах следует шире внедрять хорошо зарекомендовавшие себя за рубежом активные защитные мероприятия в виде распорок с домкратами;
- необходимо продолжить исследования, направленные на установление закономерностей деформирования грунтовых массивов при применении активных мер защиты зданий.

#### Список литературы

1. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 2. С. 15–17.
2. Никифорова Н.С., Коновалов П.А., Зехниев Ф.Ф. Геотехнические проблемы при строительстве уникальных объектов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2010. № 5. С. 2–8.
3. Шишкин В.Я., Погорелов А.Е., Макеев В.А. Усиление существующей застройки при строительстве здания с котлованом 18–20 м // Жилищное строительство. 2011. № 1. С. 32–38.
4. Никифорова Н.С., Внуков Д.А. Защита зданий вблизи глубоких котлованов геотехническими экранами // Вестник МГСУ. 2011. № 5. С. 108–112.
5. Petrukhin V.P., Shuljatjev O.A., Mozgacheva O.A. Vertical Geotechnical Barrier Erected by Compensation Grouting // Proc. 5th Int. Symp. «Geotechnical aspects of underground construction in soft ground». Session 3. Amsterdam, the Netherlands, 15–17 June 2005. Pp. 69–73.
6. Ильичев В.А., Готман Ю.А. Расчет размеров грунтоцементного массива по контуру котлована для снижения перемещения ограждения до требуемых величин методом оптимального проектирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 4. С. 24–31.
7. Мангушев Р.А., Ланько С.В. Влияние грунтоцементных конструкций на горизонтальные перемещения ограждения глубоких котлованов // Вестник ВолгГАСУ. 2012. № 27(46). С. 24–31.
8. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Тупиков М.М. Исследование деформирования грунтовых массивов при строительстве мелкозаглубленных коммуникационных тоннелей // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 3. С. 8–15.
9. Елгаев В.С. Обеспечение безосадочной технологии проходки тоннелей на строительстве участка ст. «Новокосино» – ст. «Новогиреево» в Москве // Метро и тоннели. 2012. С. 37.