

Старишинов А.А., Фурсов А.А.

А.Д. Кузнецов

Опыт разработки системы мониторинга на основе прогноза влияния подземного строительства на окружающую застройку в условиях г. Москвы.

В процессе строительства зданий в условиях плотной городской застройки возникают проблемы влияния строящегося здания на состояние конструкций существующих и примыкающих к строительству зданий, тем более, если эти здания имеют историческую и архитектурную ценность. Необходимо на ранних этапах начала строительства оценить степень его влияния на окружающие здания и дать возможный прогноз осадок. В случае, если эти осадки окажутся больше предельно допустимых, в рамках проектно-конструктивных решений разрабатываются превентивные мероприятия, позволяющие снизить дополнительные осадки. Правильный подход к оценке ситуации, которая возникает при строительстве, позволяет не только своевременно принять необходимые меры по защите зданий, но и сэкономить средства, избежав необоснованных трат по защите зданий. Прогноз влияния подземного строительства, как правило, входит в систему геомониторинга за окружающими зданиями. Он заключается, прежде всего, в аналитических методах оценки влияния с применением математического моделирования изменения напряженно-деформированного состояния грунтов в основании зданий и массива, прилегающего к сооружению.

В качестве мероприятий по защите здания могут быть рекомендованы различные конструктивные решения: устройство разделительной «стены в грунте», отсечной стенки из свай, химическое закрепление грунтов под фундаментами, пересадка фундамента на естественном основании на буроинъекционные сваи.

В качестве примера правильного учета результатов математического моделирования можно привести работы по мониторингу при строительстве 17-ти этажного

индивидуального жилого дома с 2-х этажной подземной автостоянкой в г.Москве на углу Ермолаевского переуллка и ул. Малая Бронная.

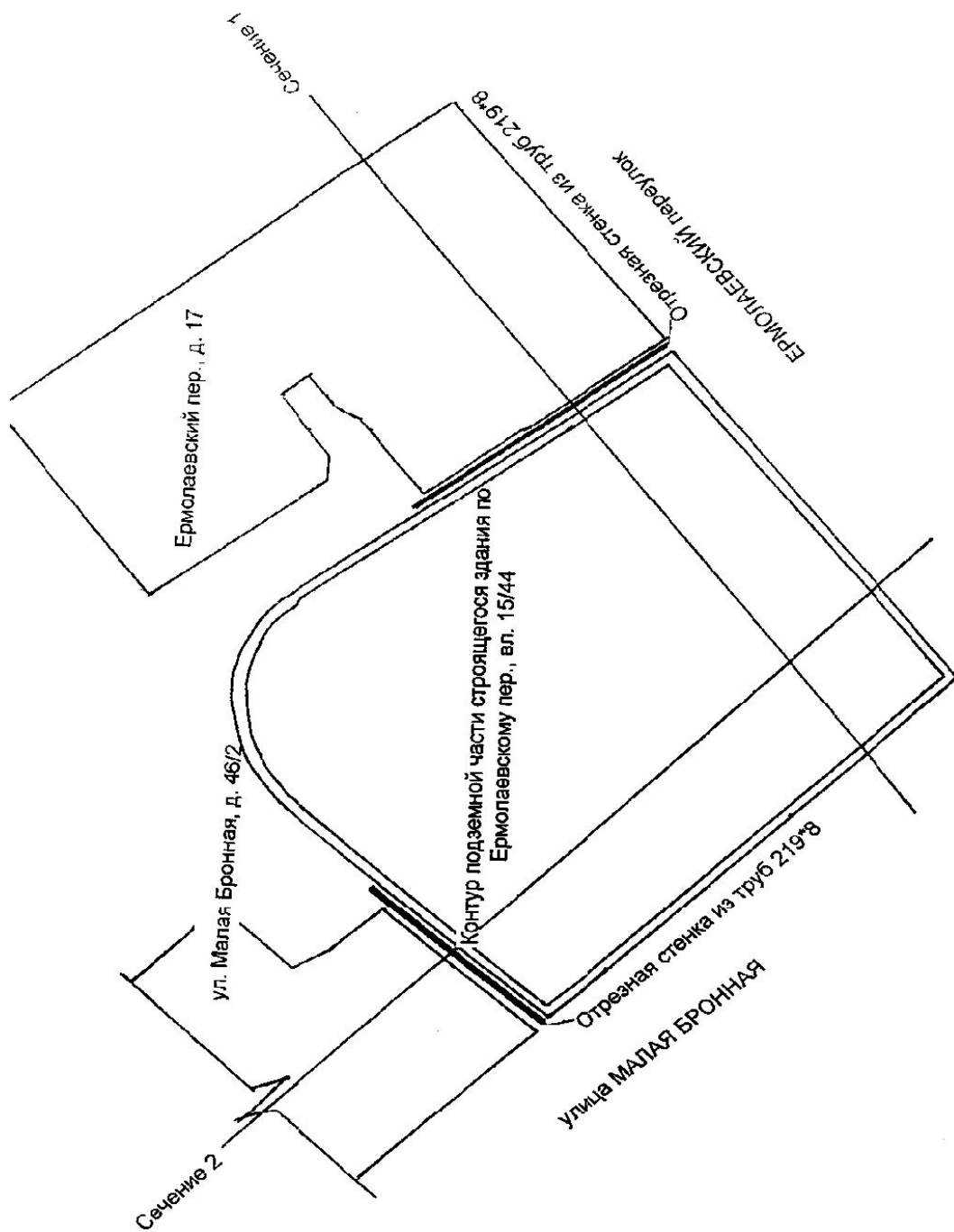


Рис. 1 Схема котлована «нулевого» цикла с нанесением на нее контуров существующих зданий и расчетных сечений.

Целью выполненных работ являлось проведение математического моделирования деформаций ограждающих конструкций котлована подземной части строящегося здания по Ермолаевскому переулку, владение 15/44, а также изменений напряженно-деформированного состояния грунтового массива и фундаментных конструкций близрасположенных зданий по ул. Малая Бронная, дом 46/2 и Ермолаевскому переулку, дом 17, связанных с проведением вышеупомянутого нового строительства.

Моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива и его изменений в процессе строительства было выполнено с использованием программы PLAXIS .

Программа позволяет определять напряженно-деформированное состояние как в грунтовом массиве, так и в конструкциях, взаимодействующих с грунтом на любой стадии возведения сооружения .

Геотехническая модель основания строилась на основе анализа и обобщения материалов инженерно-геологических изысканий, выполненных на объекте строительства.

В связи с тем, что в материалах выполненных на площадке изысканий отсутствовали данные трехосных испытаний грунтов, при моделировании работы грунтового массива использовалась усовершенствованная упруго-пластическая модель Кулона-Мора. В принятой модели использовались различные значения деформационных характеристик грунтов для описания процессов нагружения и разгрузки основания.

Контакт отрезной стенки с массивом грунта со стороны котлована моделировался конечными элементами малой толщины, обладающих пониженным сцеплением.

Модель Кулона-Мора требует ввода 5 основных расчетных параметров, получаемых путем лабораторных или полевых испытаний грунтов:

Обозначение	Наименование
G	Модуль сдвига
ν	Коэффициент Пуассона
φ	Угол внутреннего трения
c	Сцепление
ψ	Угол дилатансии

Примечание: $G = E / 2(1 + \nu)$

Используя вышеперечисленные зависимости механики сплошных сред, в ходе численного моделирования была получена картина напряженно-деформированного состояния массива за всю историю его нагружения.

Схемы приложение нагрузок в уровне верха фундаментной плиты строящегося объекта приведены на рисунках 2 и 3.

Нагрузки на стены в грунте при условии нулевой осадки этих стен
 Учет вес всего здания включая вес стен в грунте расположенных выше фундаментов
 Развертки и среднее значение по стене

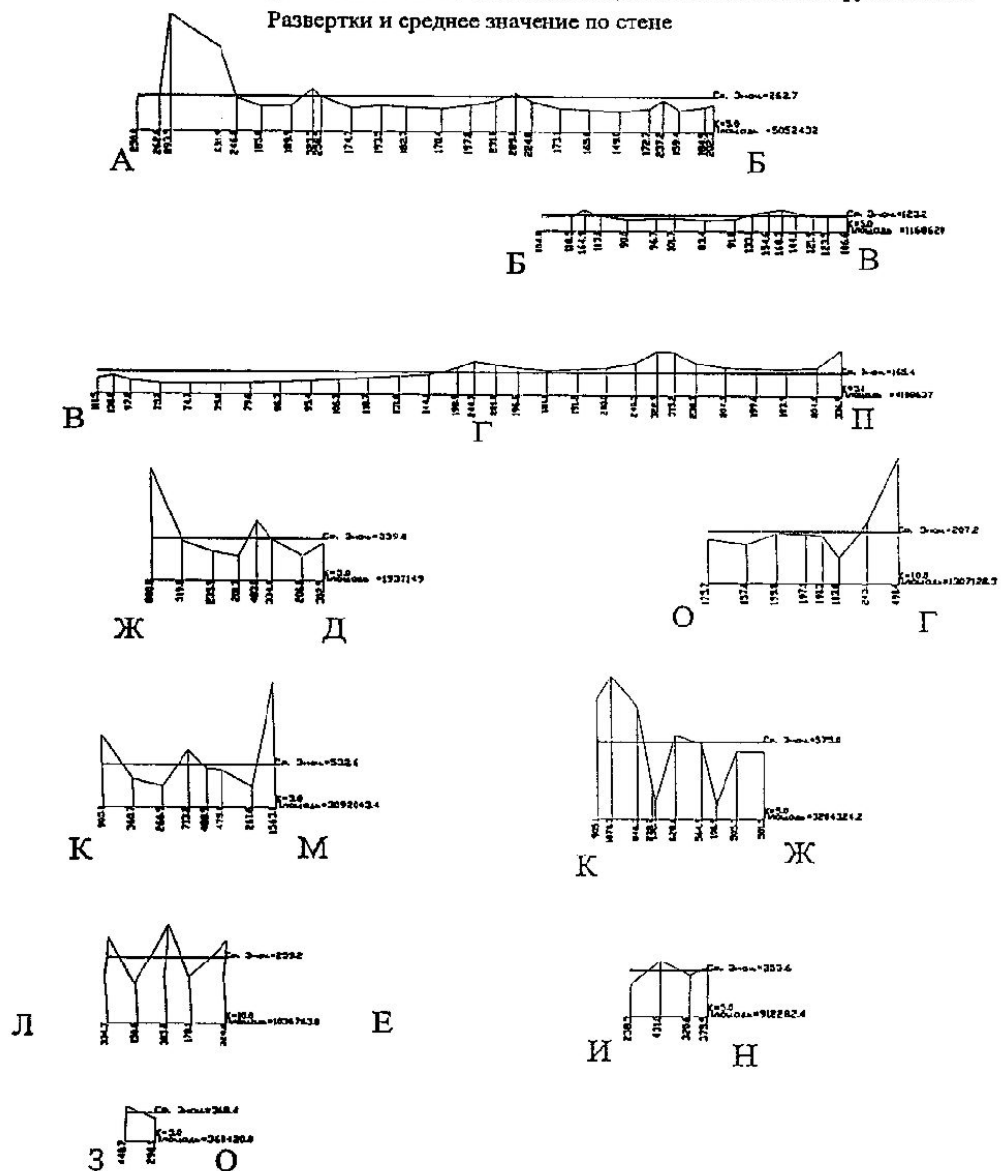


Рис. 2. Нагрузки в уровне верха фундаментной плиты здания по Ермолаевскому пер., 15/44.

В зону влияния производства работ при устройстве котлована «нулевого» цикла, возведении здания и загрузке эксплуатационными нагрузками попадают, как было отмечено здание по Ермолаевскому переулку, 17 и здание по ул. Малая Бронная, 46/2. Планы фундаментов этих зданий с нанесением осей показаны, соответственно, на рисунках 4 и 6. Дом №17 по Ермолаевскому пер. является памятником архитектуры. Расположение фундаментных конструкций этого здания, попадающих в рассматриваемые сечения, было учтено при разработке расчетных схем.

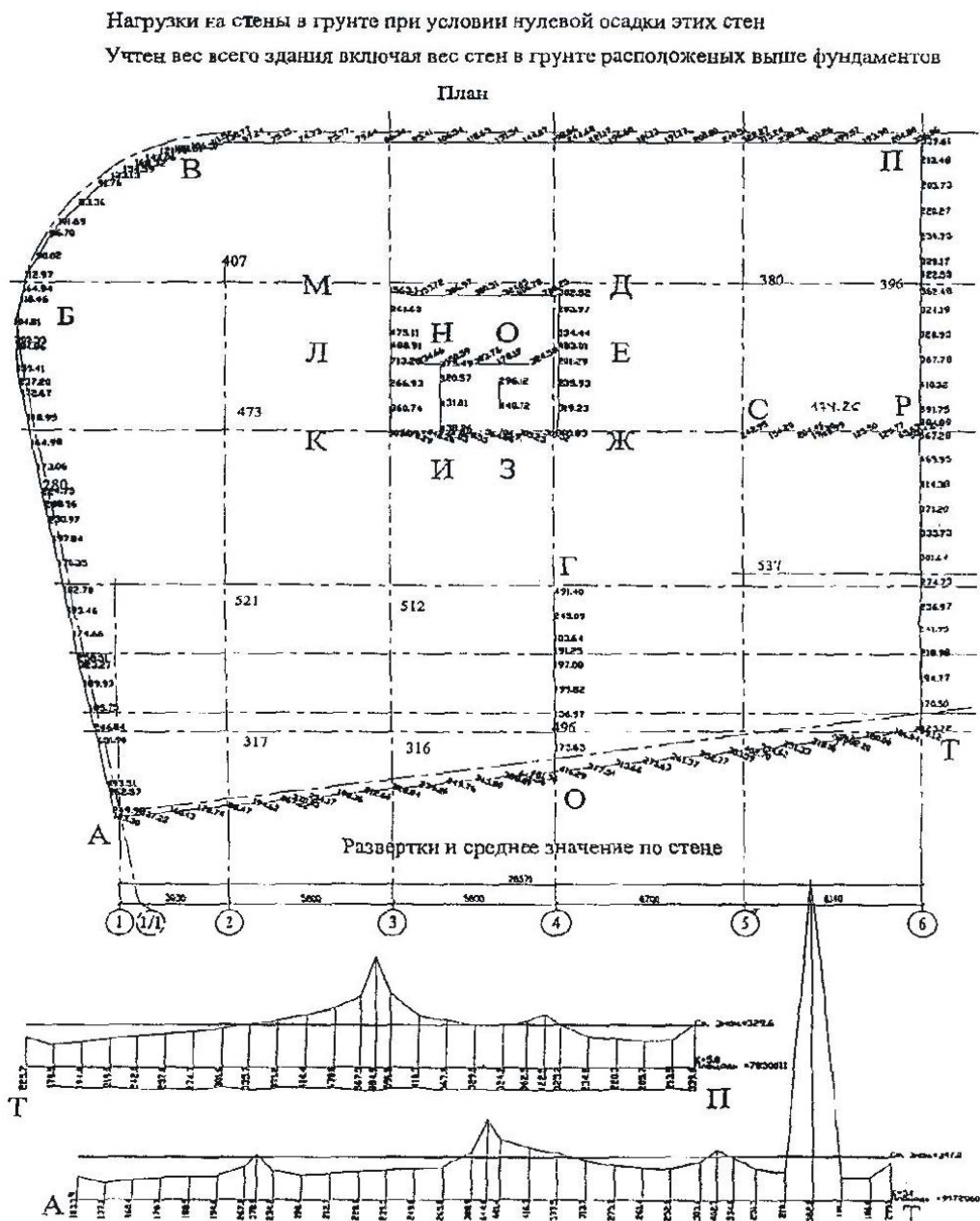


Рис. 3. Нагрузки в уровне верха фундаментной плиты здания по Ермолаевскому пер., 15/44.

СЕЧЕНИЕ 1

Расчетное сечение № 1 проходит через весь котлован строящегося здания параллельно его оси «5» и фундаментные конструкции существующего дома по Ермолаевскому пер., 17 (см. рис. 1).

Кромка котлована расположена на расстоянии около 1,0 м от ближайшего к нему фундамента по оси «А» здания по Ермолаевскому переулку, 17.

Для крепления стенок котлована «нулевого» цикла в расчете предусматривалось устройство «стены в грунте» толщиной 0,6 м с временным раскреплением на период разработки котлована тремя рядами раскосов (по углам котлована) из труб 426*8 по обвязочному поясу из сдвоенного двутавра 45. Раскосы предполагается монтировать на относительной отметке $-0,7$ м от дневной поверхности.

Кроме того, на расстоянии около 0,5 м от фундамента по оси «А» существующего здания по Ермолаевскому пер., д. 17, предусматривалось устройство отрезной стенки из труб 219*8 длиной 9 м с шагом 0,3 м, для защиты фундаментов дома № 17 от выноса грунта во время экскавации котлована и устройства стены в грунте.

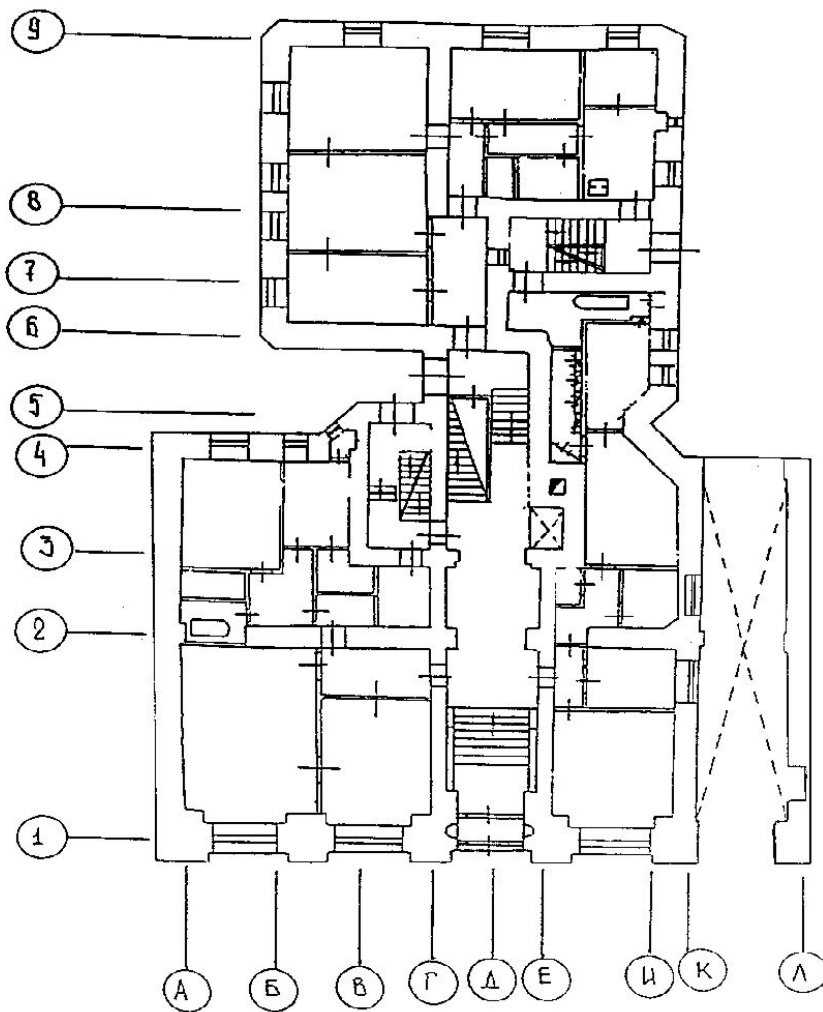
Следует отметить, что проектом предусматривалась передача постоянных и временных нагрузок от здания не только на внутренние несущие конструкции (стены и колонны), но и на «стену в грунте». В процессе монтажа конструкций подземной части строящегося здания временная распорная система демонтируется и как распорки начинают работать постоянные перекрытия здания. Узел примыкания перекрытий и фундаментной плиты здания к «стене в грунте» является жестким.

При проведении расчета принималась следующая поэтапность проведения строительно-монтажных работ:

- Устройство защитной стенки из труб 219*8 вдоль оси «А» здания по Ермолаевскому пер., д. 17.
- Устройство «стены в грунте».
- Первый этап экскавации котлована с бермами (см. рис. 8).
- Монтаж обвязочного пояса и распорной системы.
- Экскавация котлована до отметки подошвы фундаментной плиты.
- Устройство фундаментной плиты.
- Монтаж конструкций нулевого цикла.
- Приложение постоянной и временной нагрузок от здания.

Согласно проведенному расчету максимальное влияние от проведения строительномонтажных работ у дома № 17 по Ермолаевскому переулку будет испытывать фундамент по оси «А», ближайший к разрабатываемому котловану (см. рис. 4).

Рис. 4. План расположения осей
(Дом №17 по Ермолаевскому переулку)



Масштаб 1:200

На этапе устройства рядом с этим фундаментом отрезной стенки и устройства «стены в грунте» его осадка составит около 0,5 см. На этапе проведения полной экскавации котлована осадка составит около 3,0 см; относительная разность осадок между фундаментами по осям «А» и «В» – 0,0015. На этапе полного возведения и ввода в

эксплуатацию строящегося здания по Ермолаевскому пер, вл. 15/44 осадка фундамента по оси «А» составит 4,7 см; относительная разность осадок между фундаментами по осям «А» и «В» – 0,0024. Изолинии деформаций массива грунта показаны на рис. 5

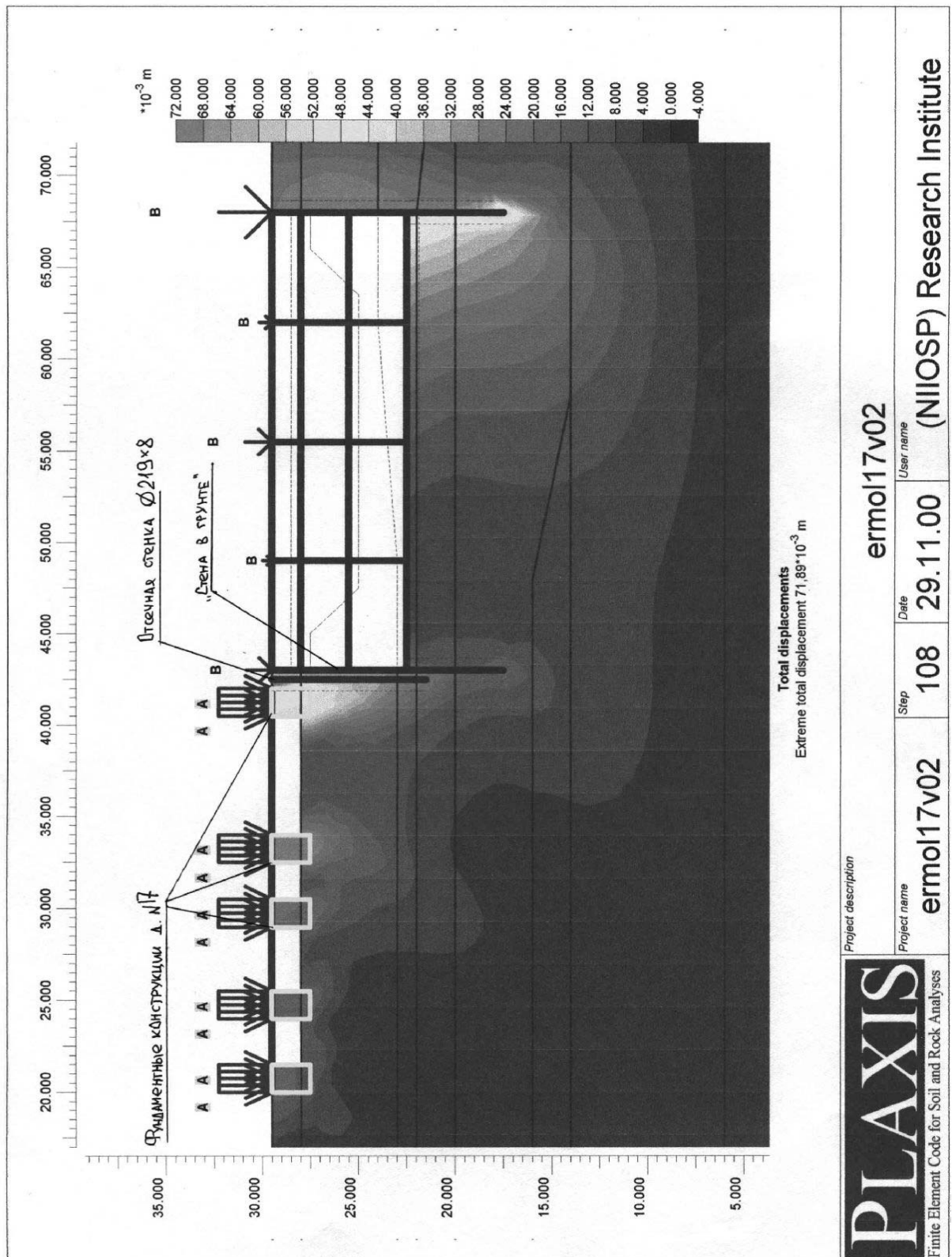
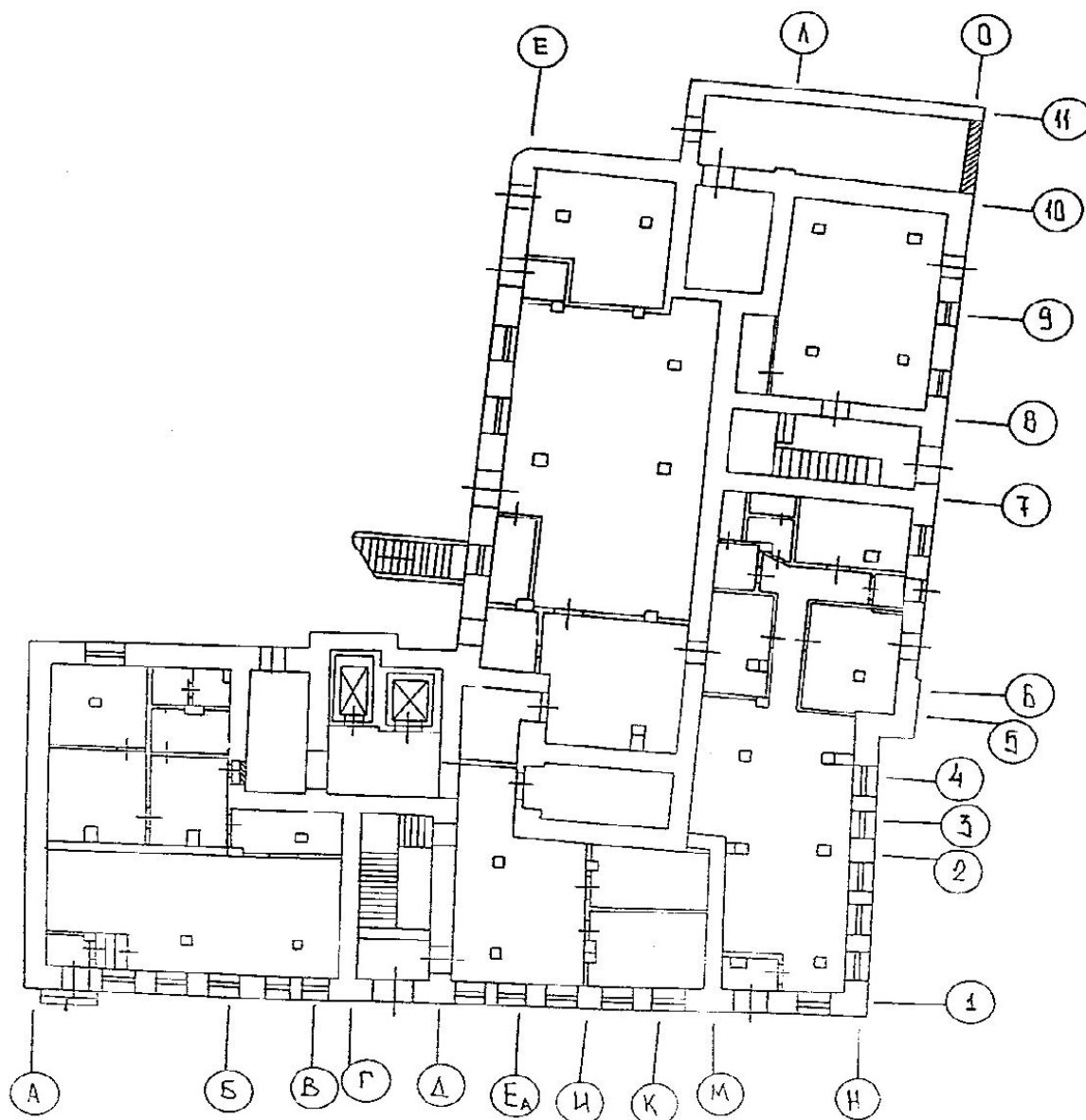


Рис.5. Эпюра общих перемещений в массиве грунта.

СЕЧЕНИЕ 2

Расчетное сечение № 2 проходит через весь котлован строящегося здания параллельно его оси «А» и фундаментные конструкции существующего дома по адресу ул. Малая Бронная, 46/2 (см. рис. 1).

Рис 6. План расположения осей
(Дом №46/2 по Малой Бронной улице)



Масштаб 1:200

Кромка котлована расположена на расстоянии около 1,0 м от ближайшего к нему фундамента по оси «11» вышеупомянутого здания.

Кроме того, на расстоянии около 0,5 м от фундамента по оси «А» существующего здания по ул. Малая Бронная, д. 46/2, предусматривалось устройство отрезной стенки из труб 219×8 длиной 9 м с шагом 0,3 м.

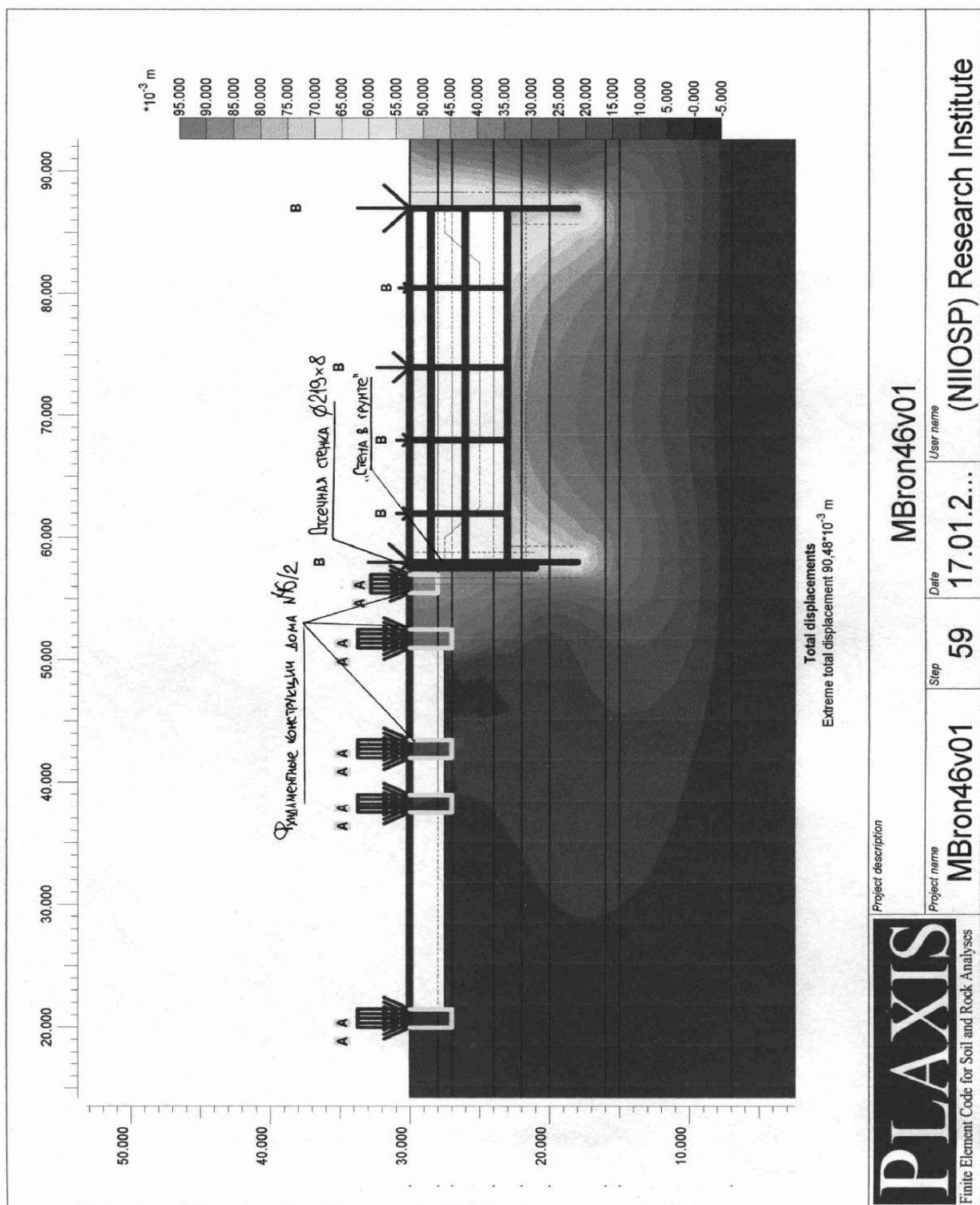


Рис.7. Эпюра общих перемещений в массиве грунта.

Поэтапность проведения строительно-монтажных работ в расчете принималась та же, что и для расчета по сечению 1.

Согласно проведенному расчету, максимальное влияние от проведения строительно-монтажных работ у дома № 46/2 по ул. Малая Бронная будет испытывать фундамент по оси «11», ближайший к разрабатываемому котловану (см. рис. 6). На этапе устройства рядом с этим фундаментом отрезной стенки и устройства «стены в грунте» его осадка составит около 0,3 см. На этапе проведения полной экскавации котлована осадка составит около 1,0 см; относительная разность осадок между фундаментами по осям «11» и «10» – 0,00044. На этапе полного возведения и ввода в эксплуатацию строящегося здания по Ермолаевскому пер, вл. 15/44 осадка фундамента по оси «11» составит 4,2 см; относительная разность осадок между фундаментами по осям «11» и «10» – 0,0024.

Изолинии деформаций массива грунта показаны на рис. 7.

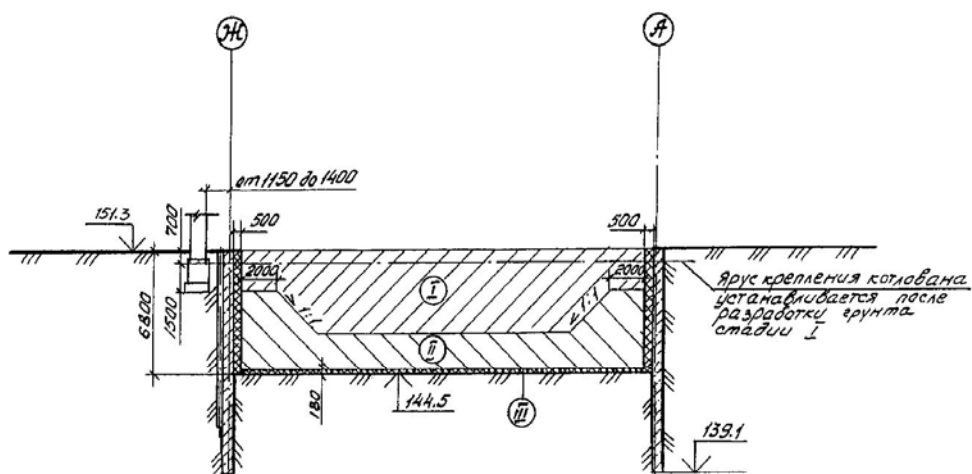


Рис. 8 Стадии разработки грунта

- Ⓘ — разработка грунта экскаватором обратной лопатой
- Ⓜ — разработка грунта экскаватором обратной лопатой с перемещением бульдозером
- Ⓝ — доработка грунта вручную

По данным деформационного мониторинга, еще до того, как были начаты работы по экскавации, осадка фундамента по оси «А» составила около 2 см. Эта осадка возникла из-за недопустимой в условиях высокого положения УПВ технологии погружения труб 219*8 отрезной стенки в лидерные скважины без крепления их стенок. Опираясь на вышеизложенное, можно было сделать вывод, что возникающие в результате проведения строительных работ дополнительные осадки фундаментов здания по Ермолаевскому переулку, д. 17 превысят допустимые регламентированные «Рекомендациями по

обследованию и мониторингу технического состояния эксплуатируемых зданий, расположенных вблизи нового строительства или реконструкции».

Дополнительные осадки фундаментов зданий по Ермолаевскому пер., д. 17 и ул. Малая Бронная, д. 46/2, вызванные влиянием проведения нового строительства, могли повлечь за собой значительные деформации их конструкций. Эти деформации могли существенным образом сказаться на эксплуатационной пригодности вышеупомянутых зданий.

Для обеспечения условий нормальной эксплуатации зданий были рекомендованы мероприятия по временному усилению их конструкций (скреплению наружных стен здания металлическими поясами и обоями).

Кроме того, отрезную стенку из труб около фундамента по оси «11» дома № 46/2 по ул. Малая Бронная было рекомендовано выполнять методом завинчивания. Это позволило избежать возникновения дополнительных осадок от устройства отрезной стенки у фундаментов по оси «11», аналогичных осадкам, возникшим у фундаментов по оси «А» дома № 17 по Ермолаевскому переулку.

В расчетах дополнительных осадок фундаментов зданий по Ермолаевскому пер., д. 17 и по ул. Малая Бронная, д. 46/2, вызванных строительством здания по Ермолаевскому переулку, владение 15/44 не учитывались технологические, вибрационные и динамические воздействия на грунтовый массив в процессе производства работ. В связи с этим, фактические величины осадок зданий несколько превысили прогнозируемые.

Замеренная осадка фундамента дома №17 по окончании работ нулевого цикла и начала возведения верхней части здания составила не более 3 см, что дает хорошую сходимость рассчитанных осадок, с учетом мероприятий направленных на её уменьшение, и натурных наблюдений.

Выводы.

1. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния массива грунта и его изменения в процессе строительства, дает возможность оценить степень влияния работ по возведению подземной части здания на окружающую застройку и выполнить прогноз осадок.

2. Своевременное проведение защитных мероприятий позволяет избежать аварийных ситуаций при развитии осадок фундаментов близлежащих домов в процессе нового строительства.

3. Прогноз влияния подземного строительства должен обязательно входить в систему геомониторинга за окружающими зданиями. Он заключается, прежде всего, в аналитических методах оценки влияния с применением математического моделирования изменения напряженно-деформированного состояния массива грунта в основании зданий и прилегающего массива.