УДК 622.1

**М.Г.МУСТАФИН**, *д-р техн. наук, профессор, mustafin_m@mail.ru*
**А.С.НАУМОВ**, *аспирант, goltyikot@yandex.ru*
*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург*

**M.G.MUSTAFIN**, *Dr. in eng. sc., professor, mustafin_m@mail.ru*
**A.S.NAUMOV**, *post-graduate student, goltyikot@yandex.ru*
*National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg*

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Статья посвящена оценке и контролю опасных деформаций при возведении котлованов в условиях плотной застройки. Приведены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния вмещающего грунта. Показана организация систематических наблюдений за деформированием котлована.

***Ключевые слова***: массив горных пород, напряженное состояние пород, мониторинг, сдвижение пород, прочность пород, модель объекта.

# DEFINITION OF AREA HARMFUL INTERFERENCE IN COMMUNICATIONS CONSTRUCTION UNDERGROUND

Article is devoted to assessing and controlling the risk of deformation during the construction of pits in a densely built-up. Results of modeling the stress-strain state of the enclosing soil. Shows the organization of systematic observations of the deformation of the pit.

***Key words***: rock mass, the stress state of rocks, monitoring, displacement of rocks, rock strength, the object model.

Интенсивное строительство зданий и сооружений, которое ведется в последние годы в Санкт-Петербурге, все более обостряет вопрос о контроле этого процесса. В ряде случаев строительство нового объекта представляет опасность для уже существующих строений. Вредное влияние подземных горных разработок при освоении месторождений полезных ископаемых хорошо известно и регламентировано нормативными документами. Что касается городского строительства, то проблема в настоящее время становится все более актуальной в связи с возведением крупных объектов и бурным освоением подземного пространства города. Регламентация ведения подземного строительства связана с исследованиями поведения земной поверхности и с оценкой воздействия деформационных процессов на здания и сооружения. При этом по аналогии с подземной разработкой месторождений полезных ископаемых следует определить степень влияния конкретного вида подземного строительства (коллекторы, стволы, бункеры и т.д.), а также допустимые деформации объектов, которые подвергаются указанному воздействию.

При проектировании строительства в условиях уплотнительной застройки необходимо предвидеть степень воздействия строящегося объекта на существующие. Для этого следует выполнить специальные расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород (МГП), грунта, по результатам которых

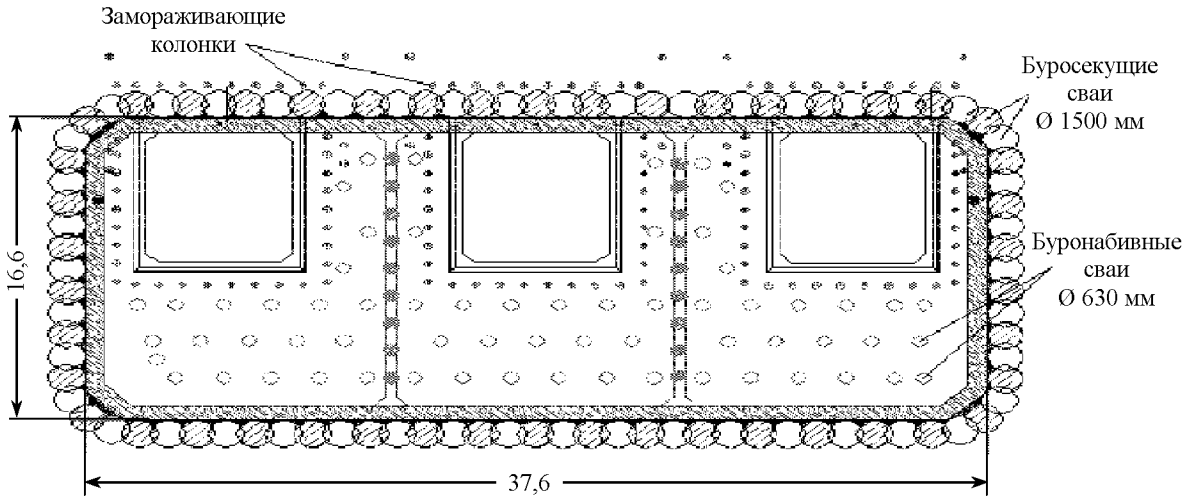



Рис.1. Схема строительства котлована

определить меры охраны с целью недопущения развития опасных деформаций и меры контроля за развитием этого процесса. Комплексный подход к наблюдению за деформациями при строительстве подземных сооружений включает следующие операции: пространственное моделирование наблюдаемого объекта, натурные наблюдения, обработка данных и прогнозирование деформаций при дальнейшем строительстве.

Такой подход описывается в статье в связи со строительством тоннелей-водоводов на водозаборной станции Санкт-Петербурга. Данный объект представляет собой котлован 37,6 × 16,6 м и глубиной 8 м, по периметру которого на глубину 22 м забурены буросекущие сваи диаметром 1500 мм. В дальнейшем планируется бурение свай внутри котлована, а также замораживающих колонок по контуру и внутри котлована (рис.1).

Геология данного места сложная – пески и супеси средней плотности, насыщенные водой, что говорит о неустойчивости массива. Средние значения сцепления пород колеблются от 0,01 до 0,001 МПа. Угол внутреннего трения около 30°. Модули упругости пород также варьируют в широких пределах: от 0,01 до 0,05 МПа.

Сначала было выполнено моделирование НДС грунта при возведении котлована без его укрепления. Моделирование осуществлялось с помощью программного комплекса «НЕДРА»*. При этом моделировалась нелинейная задача о перемещениях в упругопластическом массиве методом конечных элементов (рис.2). На рис.2, *а* приведены зоны разрушения у котлована (разрез по середине котлована). Соответственно в этих зонах деформации пород превышают допустимые. Если следовать по аналогии с оценкой влияния подземной разработки, то критические горизонтальные деформации для сооружений различного типа составляют $2 \cdot 10^{-3}$. В нашем случае такие значения приурочены к зоне неупругих деформаций (зоне разрушений). Распределение горизонтальных деформаций показано на рис.2, *б*.

---

* 1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / ВНИМИ. СПб, 1998. 291 с.

Rules of protection of constructions and natural objects from harmful influence of underground mountain workings out on coal deposits / VNIMI. Saint Petersburg, 1998. 291 p.

2. *Мустафин М.Г.* Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на изменение динамики нагружения краевых частей выработки и характер сдвижения подработанного массива горных пород // Современные проблемы безопасной разработки угольных месторождений / ВНИМИ. СПб, 2006. С.172-177.

*Mustafin M.G.* Estimation of having an effect of advance rate of mining face on variation of dynamics of stress of working selvedge and character of underworked solid mass movement // Modern problems of safe coal mining / VNIMI. Saint Petersburg, 2006. P.172-177.

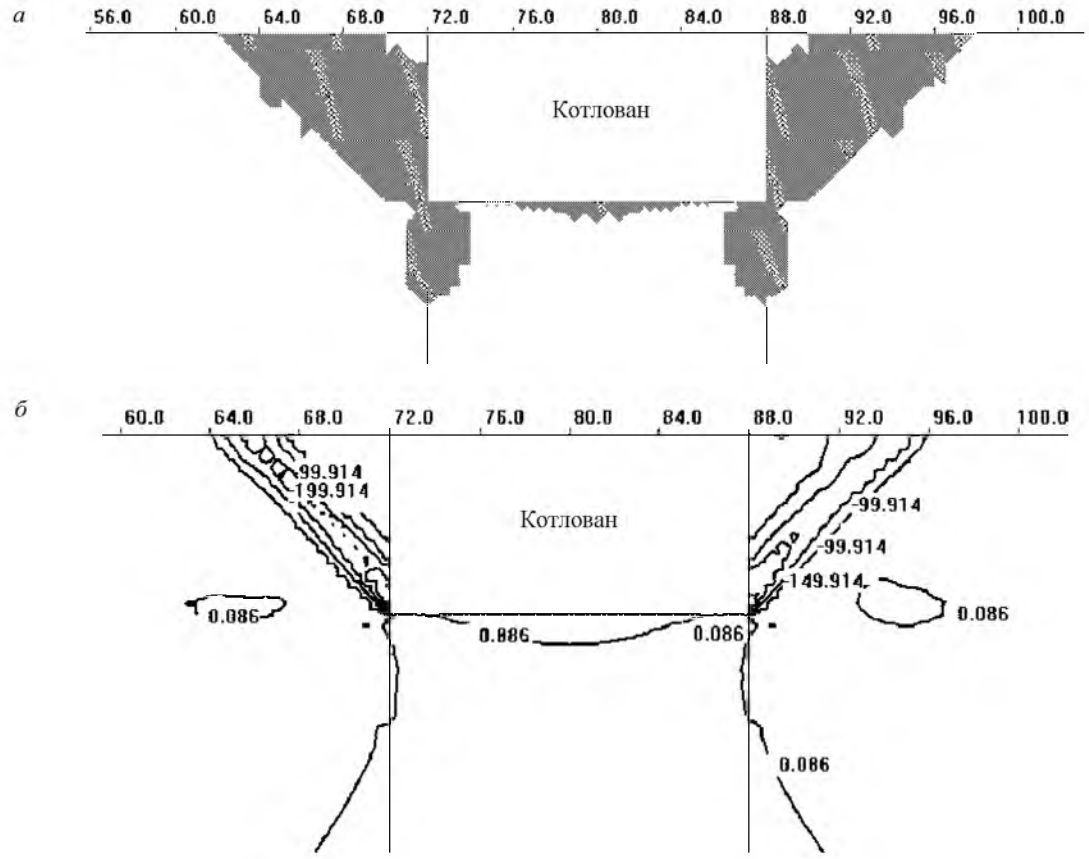



Рис.2. Результат моделирования НДС грунта: *а* – зоны разрушения; *б* – распределение горизонтальных деформаций

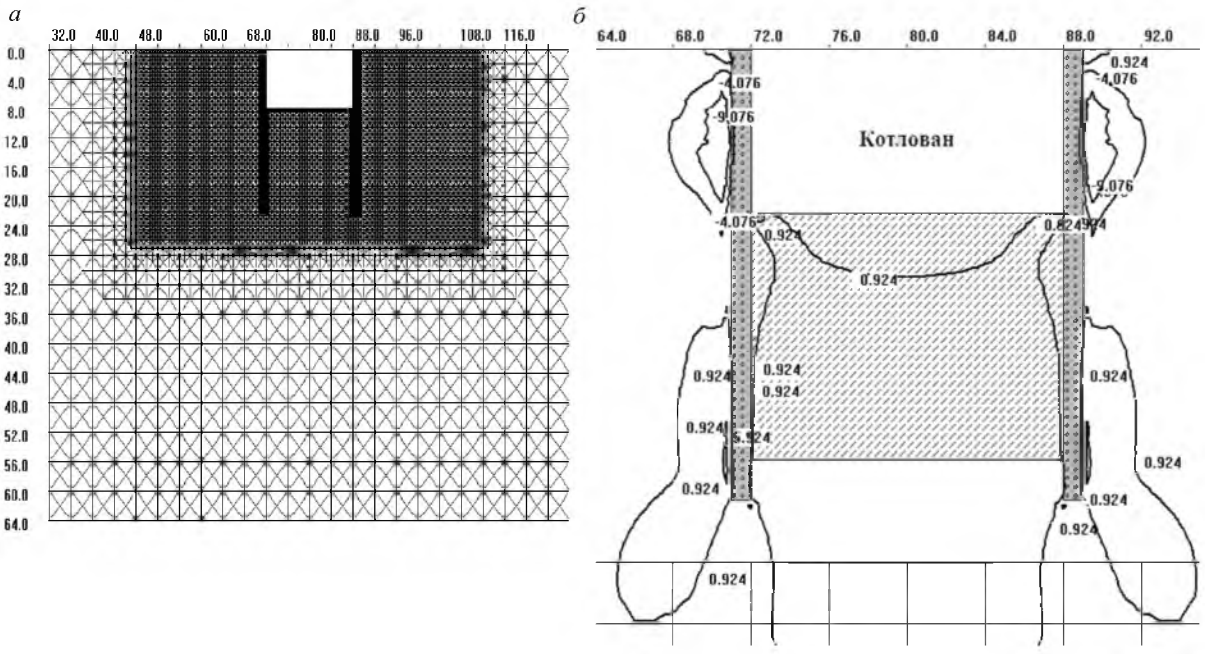



Рис.3. Моделирование НДС грунта после возведения укрепляющих свай по периметру котлована: *а* – зоны разрушения; *б* – распределение горизонтальных деформаций

Расчеты показали, что возведение котлована без укрепления стенок вызовет опасные деформации на расстоянии, превышающем глубину котлована в обе стороны. В условиях уплотнительной застройки это недопустимо.

Далее было смоделировано НДС грунта для случая укрепленных вертикальных обнажений котлована. Конечно-элементная модель представлена на рис.3. Для описания рассматриваемой задачи потребовалось около 15 тыс.треугольных элементов.

Результаты показали, что деформации, превышающие критические возникают в боках котлована. Зона опасных деформаций не превышает 4 м и заглублена. На земной поверхности опасной зоны не возникает (см. рис.2).

С целью контроля развития деформационного процесса выполнены специальные наблюдения. Полевые измерения включают:

• тахеометрические измерения деформационных реперов (установлены у контура котлована);

• инклинометрическую съемку скважин (скважины пробурены между сваями у контура котлована).

Данные измерения в комплексе позволяют проследить за состоянием массива как на поверхности земли, так и на всей глубине распространения деформаций.

Деформационные реперы представляют собой призмы, жестко закрепленные на ростверке котлована. Трубки для инклинометрической съемки были помещены внутрь буросекущих свай на глубину 24 м.

Съемка поверхностных реперов производилась тахеометром «Leica1201+» с точностью 1 мм от опорных призм, расположенных по периметру площадки. Съемка скважин выполнялась цифровым инклинометром фирмы «Interfels» с точностью ±2 мм.

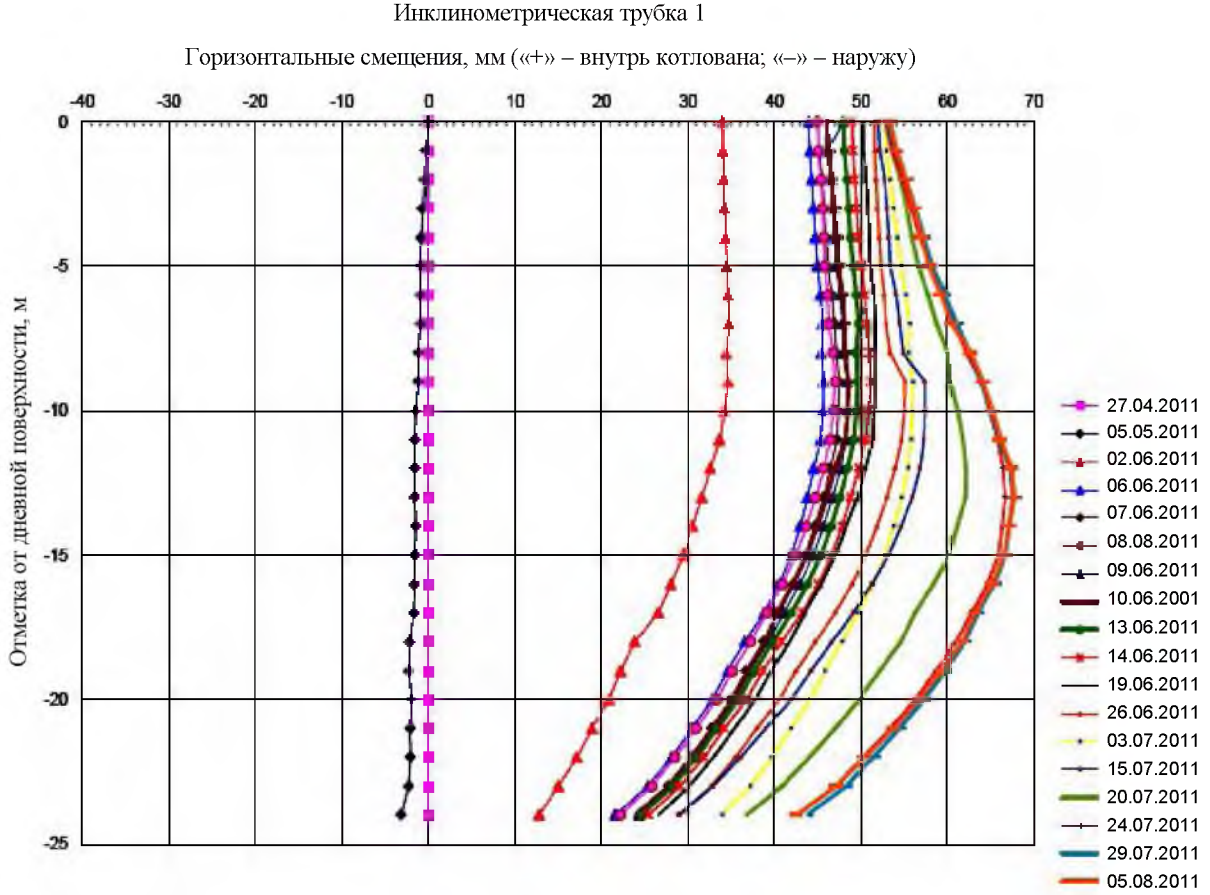



Рис.4. Результаты инклинометрических наблюдений (с учетом воздействия скважин, пробуренных внутри котлована начиная со 2.06.2011 г.)

Первичные измерения (три цикла) были произведены непосредственно перед бурением буронабивных свай внутри контура котлована. Были закоординированы устья инклинометрических трубок и деформационные призмы. Измерения с интервалами 5-7 дней показали неподвижность (с точностью ±2 мм) стенок котлована.

Измерения, которые проводились сразу после забуривания первых пяти свай, показали резкое (на 35 мм) смещение стенок внутрь котлована. На уровне днища котлована отклонение трубки составляет порядка 15 мм (рис.4).

При достижении отклонения 45 мм измерения проводились с интервалом в один день. Из графика видно, что за период со 2.06 по 19.06.2011 г. отклонение составило 17 мм, после чего по центру котлована были установлены распорки (трубы диаметром 1200 мм). Последующие измерения деформационных призм тахеометром показали, что сдвижение стенок в их верхней части практически прекратилось, но из графиков инклинометрии видно, что нижняя часть стены продолжает смещаться. После окончания бурения свай (24.07.2011 г.) было проведено три цикла измерений, графики которых идентичны, что говорит о неподвижности стен котлована. Максимальное значение скорости смещения устьев инклинометрических трубок 4 мм/сут наблюдалось при бурении первых свай. В дальнейшем скорость смещения составила около 1,5 мм/сут.

Выполненные исследования показали хорошую сопоставимость предварительных расчетов и проведенных наблюдений. Так, результаты моделирования почти совпали с наблюдениями за смещением верхней границы котлована, которое составило 30 мм (до бурения скважин внутри котлована, см. рис.4). Интересным представляется применение инклинометров, которые позволили отслеживать изменение деформирования грунта по всей глубине котлована у его границы в горизонтальном направлении. Их применение вместе с тахеометрической съемкой устьев скважин дает общую картину изменения поверхности стенок котлована.

Таким образом, приведенная методика показала свою эффективность и может быть использована при строительстве подземных сооружений.