

*О.А. Маковецкий, к.т.н., доцент  
К.А. Миллер, В.В. Галимова, магистранты*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДЕНИЙ КОТЛОВАНОВ ИЗ БУРОСЕКУЩИХ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Рассмотрены основные положения проектирования ограждений котлованов с применением технологии струйной цементации грунта.*

**Ключевые слова:** струйная цементация, грунтобетонные анкеры.

*О.О. Маковецкий, к.т.н., доцент*

*К.А. Миллер, В.В. Галимова, магистранты*

*Пермський національний дослідницький політехнічний університет*

## **ПРОЕКТУВАННЯ ОГОРОДЖЕНЬ КОТЛОВАНІВ З БУРОСІЧНИХ ГРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

*Розглянуто основні положення проектування огороджень котлованів із застосуванням технології струминної цементації ґрунту.*

**Ключові слова:** струминна цементація, грунтобетонні анкери.

*O.A. Makovetskiy, Dr. Sn.(Tech), Ass. Prof.*

*K.A. Miller, V.V. Galimova, undergraduates*

*Perm State Technical University*

## **DESIGN OF PIT FENCING CONSTRUCTED FROM SECANT GROUTING ELEMENTS**

*The basic principles of design of pit fencing made with the use of soil jet grouting technology.*

**Keywords:** jet grouting, soil-concrete anchors.

**Введение.** Для временного и постоянного крепления вертикальных бортов котлованов, как правило, выполняются заанкеренные гибкие ограждающие конструкции [1 – 4], устроенные из одного или нескольких рядов секущих грунтобетонных элементов (рис. 1).

**Обзор последних источников исследований и публикаций.** Элементы выполняются по технологии струйной цементации грунта (Jet-1) [1 – 4], средний диаметр в пылевато-глинистых грунтах составляет 550...650 мм, объединенные по оголовкам железобетонной обвязочной балкой. Шаг элементов в осях принимается 0,8...0,85 проектного диаметра. Армирование элементов выполняется установкой в центр металлической трубы сечением (76...82 мм).

Ограждающие конструкции проектируются на восприятие давления грунта, давления подземной воды и внешние нагрузки, приложенные на поверхности земли [2 – 5].

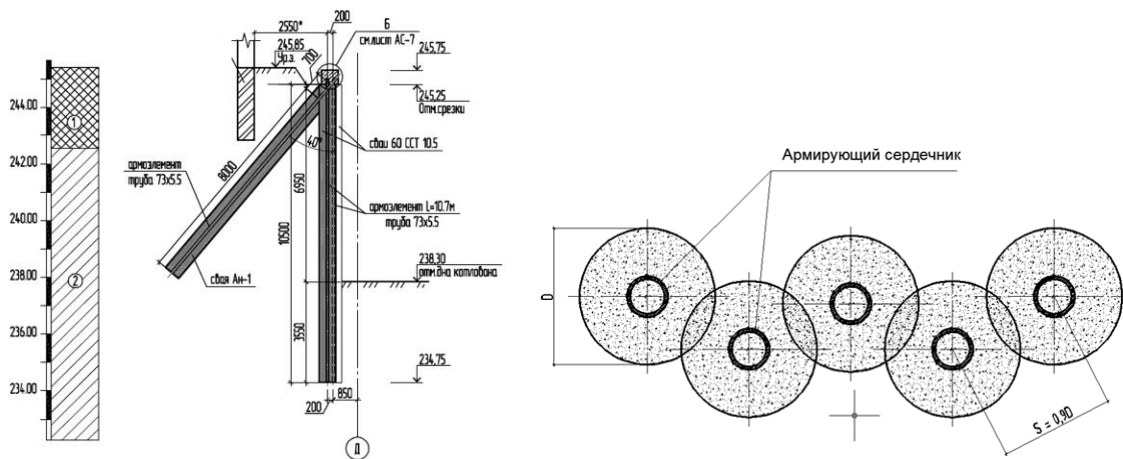


Рис. 1. Конструкция и сечение ограждения котлована из грунтобетонных элементов

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** Основным параметром проектирования ограждающей конструкции является ограничение горизонтальных перемещений в пределах  $0,01 \dots 0,02$  глубины котлована. В этом случае достигается общая устойчивость борта котлована и сооружений, расположенных от него в непосредственной близости.

Проектирование гибких ограждающих конструкций следует выполнять по двум группам предельных состояний [6]. Первая группа предельных состояний должна предусматривать выполнение расчетов: общей устойчивости основания; прочности элементов конструкций и узлов соединения; несущей способности и прочности анкерных элементов. Вторая группа предельных состояний должна предусматривать проведение расчета деформаций основания, подпорных стен и их конструктивных элементов. Выполнение статических расчетов ограждающей конструкции возможно на основе классической аналитической зависимости (схема заделанной стены «Блюма – Ломейера»).

Поэтому поставлена **цель работы** – усовершенствовать инженерную методику проектирования ограждений котлованов с применением технологии струйной цементации грунта.

**Основной материал и результаты.** Наиболее предпочтительными являются методы, рассматривающие допредельное состояние грунта, когда перемещения ограждения незначительны. К ним относятся численные методы с использованием нелинейных моделей сплошных сред или нелинейной контактной модели метода упругих деформаций (Wall-3, Plaxis) (рис. 2).

Исходные данные задачи – геологические условия площадки строительства, геометрические характеристики котлована. Варьируемыми параметрами проектирования являются жесткость ограждающей конструкции и условия ее закрепления (глубина заделки ниже дна котлована, количество и положение наклонных анкеров или распоров).

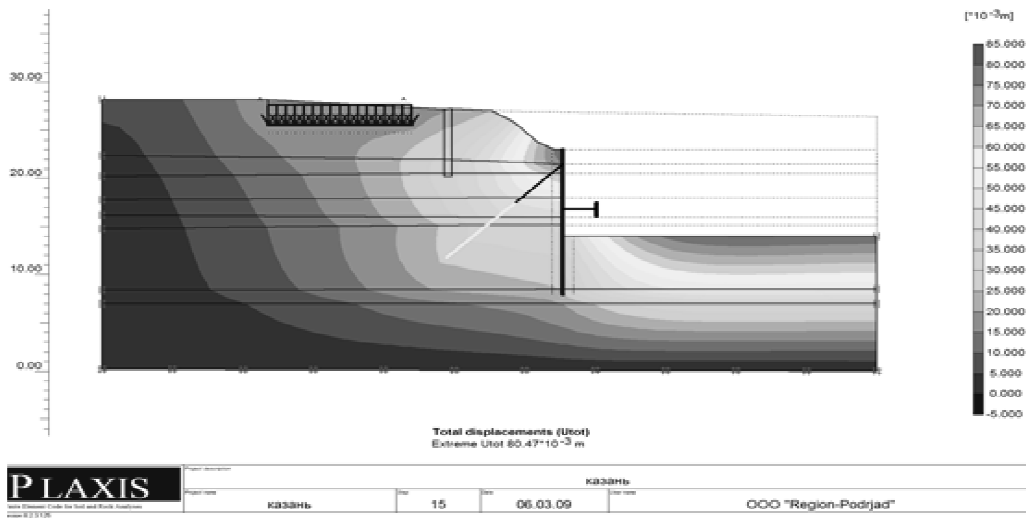


Рис. 2. Расчетная схема ограждения котлована в программе Plaxis

Конструктивный расчет включает определение требуемой прочности грунтобетона, требуемого армирования сечения ограждения котлована и грунтовых анкеров. Определение предельной несущей способности сечения ограждающей конструкции определяется из условия

$$\sigma_s = E_s \frac{M z_s^{\max}}{D_y^{\text{прив}}} \leq R_s, \quad (1)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение в арматуре;  $E_s$  – модуль упругости арматуры;  $D_y^{\text{прив}}$  – приведенная изгибная жесткость сечения;  $z_s^{\max}$  – расстояние от оси арматуры до нейтральной оси (рис. 3);  $M$  – максимальный действующий момент;  $R_s$  – прочность арматуры на растяжение.

$$\sigma_{gb} = E_{gb} \frac{M z_{gb}^{\max}}{D_y^{\text{прив}}} \leq R_{gb}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{gb}$  – напряжение в грунтобетоне;  $E_{gb}$  – его модуль упругости;  $D_y^{\text{прив}}$  – приведенная изгибная жесткость сечения;  $z_{gb}^{\max}$  – расстояние от нейтральной оси до границы сечения элемента;  $M$  – максимальный действующий момент;  $R_{gb}$  – прочность грунтобетона на сжатие.

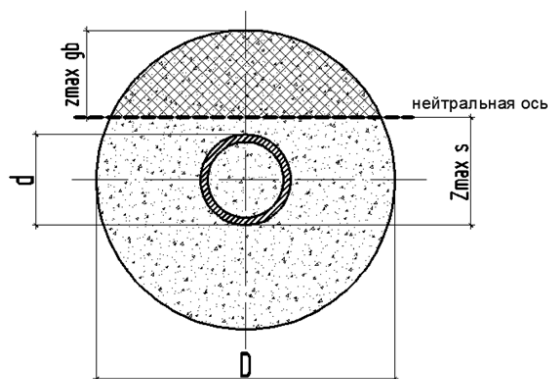


Рис. 3. Расчетное сечение ограждающей конструкции

Грунтовые анкеры выполняют по технологии, аналогичной устройству грунтобетонных свай (рис. 4). Якорь анкера выполнен из грунтобетона класса прочности В3,5 с введением суперпластификатора «Полипласт» СП-1 в количестве 3% по весу от сухого цемента.

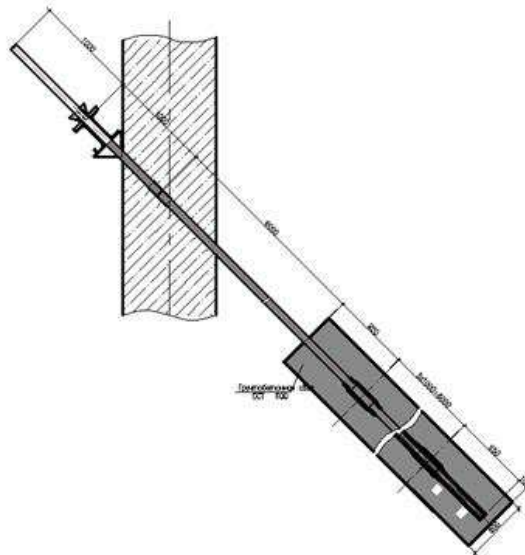


Рис. 4. Грунтовый анкер

Диаметр якоря – 600 мм, длина – 7000...8000 мм. Тяга анкера – стальная труба Тр76х8. Для устройства предварительного натяжения анкера в замковой части выполняется упорная резьба, устанавливается передаточная шайба и натяжная центрирующая гайка.

Величина предварительного напряжения анкера контролируется по моменту затяжки гайки динамометрическим ключом. Предварительное натяжение анкеров создается для выбора перемещений в конструкции стены и предварительного обжатия грунта.

Грунтоцементный анкер рассчитывают по несущей способности по грунту основания, по прочности сцепления тяги (трубы) с грунтобетоном, по прочности тяги (трубы). Несущая способность анкера по грунту равна

$$F_d = \gamma_c u \sum (\gamma_{cf} f_i \cdot h_i / \cos 45^\circ), \quad (3)$$

где  $\gamma_c = 1,0$  – коэффициент условия работы анкера;  $\gamma_{cf} = 1,3$  – коэффициент условия работы грунта по боковой поверхности анкера (определен на основании полевых испытаний анкеров);  $u$  – периметр боковой поверхности;  $f_i$  – расчетное сопротивление по боковой поверхности анкера, принимаемое по таблице;  $h_i$  – мощность слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью анкера.

Допускаемая нагрузка на анкер составляет

$$N_p = (\gamma_0 \cdot F_d) / (\gamma_n \cdot \gamma_k), \quad (4)$$

где  $\gamma_0 = 1,0$  – коэффициент условий работы (при односвайном расположении  $\gamma_n = 1,15$  – коэффициент надежности по назначению

сооружения, равный 1,2; 1,15 и 1,1 соответственно для сооружений I, II, III уровней ответственности;  $\gamma_k = 1,4$  – коэффициент надежности по грунту.

Расчет передаточной несущей способности металлического сердечника диаметра  $d$  (мм) при глубине погружения трубы на  $L$  (м)

$$F_{core} = k_r \cdot \gamma_b \cdot R_{bt} \cdot A_{sh}, \quad (5)$$

где  $k_r = 1,0$  – коэффициент размягчения грунтобетона;  $\gamma_b = 0,5$  – коэффициент сцепления грунтобетона с сердечником;  $R_{bt}$  – расчетное сопротивление грунтобетона осевому растяжению;  $A_{sh} = 0,25\pi d^2 L$  – эффективная площадь поверхности контакта сердечника с грунтобетоном.

Статические испытания грунтовых анкеров производятся в соответствии с нормами [7]. Испытания анкеров включают три этапа: опытные, контрольные и приемочные. Опытным испытаниям подлежат не менее трех опытных анкеров. Опытные анкеры располагают на тех же расстояниях друг от друга и под теми же углами, что и по проекту, в тех же инженерно-геологических условиях. На основании пробных испытаний определяют предельное сопротивление анкера  $F_u$  и расчетом несущую способность анкера по грунту  $F_d$ , а также суммарное перемещение анкера  $s$ .

Испытательные растягивающие усилия при пробных испытаниях передают ступенями по  $0,15 F_u$  до значения  $0,9F_u$ ; после каждой ступени нагрузки, начиная с  $0,3F_u$ , производят разгрузку до начального усилия  $F_0 = 0,1F_u$ . Наблюдения за перемещениями анкера на каждой ступени ведут до условного затухания. Затем нагрузку увеличивают до  $F_u$  – состояния, при котором перемещения анкера во времени не затухают. По результатам испытаний строят диаграмму «усилия – перемещения».

При строительстве каждый анкер испытывают. Максимальное растягивающее усилие принимается  $1,2 N$  ( $N$  – расчетное усилие в анкере с учетом предварительного его натяжения). Натяжение анкера определяют из расчета сооружения, закрепленного анкерами, выполняют ступенями по  $0,15 N$  до нагрузки  $1,2 N$ . Затем производят выдержку на последней ступени в течение 15 мин с полной разгрузкой анкера. После замера полных, остаточных и других деформаций анкер вновь натягивают до расчетной величины нагрузки и закрепляют на конструкции. Он считается пригодным, если полная деформация при нагрузке  $1,2 N$  находится в пределах допустимой и не превышает полной деформации при нагрузке  $1,2 N$  во время пробных испытаний.

Для контроля качества первые шесть анкеров и затем каждый двадцатый анкер испытывают по программе пробных испытаний анкеров, доводя нагрузку до  $1,4 N$ . Если несущая способность первых шести анкеров по грунту не обеспечена, то вносят изменения в проект.

**Вывод.** Таким образом, предложена достаточно простая и наглядная инженерная методика проектирования ограждений котлованов с применением технологии струйной цементации грунта.

### Литература

1. *Современные технологии комплексного освоения подземного пространства мегаполисов: научное издание / В.И. Теличенко, М.Г. Зерцалов, Д.С. Конюхов, К.Ю. Королевская, А.А. Король. – М.: Изд-во «АСВ», 2010. – 322 с.*
2. *Мангушев, Р.А. Геотехника Санкт-Петербурга: монография / Р.А. Мангушев, А.И. Осокин. – М.: Изд-во «АСВ», 2010. – 264 с.*
3. *Улицкий, В.М. Геотехническое сопровождение развития городов / В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин. – СПб.: Стройиздат Северо-Запад, 2010. – 552 с.*
4. *Бройд, И.И. Струйная геотехнология: учебное пособие / И.И. Бройд. – М.: Изд. «АСВ», 2004. – 448 с.*
5. *James, W. An Account of Deep Excavations using Steelworks in Hong Kong / W. James, L. Ho // Proc. of the 17<sup>th</sup> Internat. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Olexandria, 2009. – P. 2507–2515.*
6. *Основания, фундаменты и подземные сооружения / М.И. Горбунов-Посадовидр.; подред. Е.А. Сорочана. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.*
7. *ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. – М., 1994.*

Надійшла до редакції 21.10.2013

© О.О. Маковецький, К.А. Міллер, В.В. Галімова