

Сергей Владимирович ИГНАТОВ,
магистр технических наук,
ассистент кафедры
"Геотехника и экология
в строительстве"
Белорусского национального
технического университета

МЕТОДИКА РАСЧЕТА УПРОЧНЕННОГО ИНЪЕКЦИЕЙ ГРУНТА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ

DESIGN METHOD OF GROUND STRENGTHENED BY INJECTION FOR THE USAGE AS A BASEMENT OF THE PLATE FOUNDATION

В статье предложена методика расчета оснований плитных фундаментов, упрочненных инъекцией с учетом расширения скважины и опрессовки грунта вокруг инъекционного тела. Данная методика может применяться для расчета оснований как в условиях нового строительства, так и в условиях реконструкции существующих зданий и сооружений.

The design method of the plate foundation basements, strengthened by injection with the account of the borehole extension and pressed ground around the injected body is given in the article. The suggested method may be used for the basement calculations of the new buildings and present buildings reconstruction circumstances.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее часто применяемым методом улучшения характеристик грунтов плитных фундаментов является закачка в основание цементных растворов под давлением с последующей опрессовкой буровой скважины. Однако физические процессы, происходящие при буро-инъекционном упрочнении грунтов, закономерности изменения физических и механических характеристик оснований на сегодняшний день не достаточно изучены. Многими исследователями и практиками фундаментостроения [1–3] отмечается изменение плотности сложения как песчаного, так и глинистого грунтов. Можно отметить, что увеличение плотности в свою очередь приводит к изменению прочностных и деформационных характеристик. Изменение характеристик грунтового массива происходит за счет двойного эффекта опрессовки:

- происходит уплотнение грунта при расширении скважин;
- в грунте образуются армирующие элементы из затвердевшего раствора.

Однако зона влияния опрессовки, величина изменения плотности, угла внутреннего трения и сцепления не учитываются при проектировании. Это, в свою очередь, приводит к повышению расхода строительных материалов, увеличению продолжительности выполнения работ нулевого цикла и, как следствие, к повышению общей стоимости строительно-монтажных работ.

По результатам выполненных лабораторных и полевых исследований автором были определены закономерности изменения физико-механических характеристик грунтов после усиления и разработана методика учета эффекта опрессовки грунта для проектирования фундаментов мелкого заложения по второй группе предельных состояний.

Табл. 1

e_1	1,000	0,905	0,818	0,739	0,667	0,600	0,538	0,481	0,429	0,379	0,333
$n_1, \%$	50,0	47,5	45,0	42,5	40,0	37,5	35,0	32,5	30,0	27,5	25,0

ДОПУЩЕНИЯ МЕТОДИКИ

В методике предполагаются следующие основные допущения:

- за решающий фактор, который косвенно отображает прочностные и деформационные характеристики грунта, принят коэффициент пористости;
- несущая способность грунта повышается соразмерно увеличению размеров буровых скважин;
- инъекционный раствор находится в объеме усиленного массива грунта, отсутствуют разрывы и утечки раствора из скважины.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Исходными данным для проектирования являются:
- глубина заложения фундаментов, размеры подошв в плане и нагрузки;
 - характеристики массива грунта до усиления ($\gamma_0, \varphi_0, c_0, E_0, e_0, n_0$);
 - объем массива укрепляемого грунта, определяемый из выражения

$$V_y = L_y \cdot B_y \cdot H_y.$$

ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- 1) Проводится анализ существующего коэффициента пористости грунта.
 - 2) Задается необходимая величина коэффициента пористости e_1 и по табл. 1 определяется пористость массива грунта после усиления n_1 .
- При этом необходимо учитывать, что минимальный коэффициент пористости при максимальной плотности сложения грунтов, после уменьшения которого в них начинаются процессы разрывов и возникает контракция:

- для песков пылеватых — $e_{\min} = 0,29$;
- для средних песков — $e_{\min} = 0,33$;
- для супеси пылевой — $e_{\min} = 0,33$.

3) Задается водоцементное отношение закачиваемого раствора (В/Ц).

4) Определяется необходимый объем цементного раствора для достижения требуемого уплотнения по формуле

$$V_p = \frac{n_1}{n_0} \cdot V_y \cdot \frac{1}{K_n},$$

где K_n — безразмерный коэффициент уменьшения объема зоны заделки [4]. Определяется в зависимости от водоцементного отношения инъекционной смеси для фильтрующих грунтов и при использовании дренирующих оболочек и без них по табл. 2.

Табл. 2

В/Ц	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
K_n	0,70	0,66	0,62	0,59	0,55

5) Задается необходимое количество буровых инъекционных скважин $n_{\text{скв}}$, при их диаметрах $d_{0,\text{скв}}^2$ и длинах $L_{0,\text{скв}}$.

6) Определяется общий объем буровых скважин

$$V_{\text{скв}} = n_{\text{скв}} \cdot 0,785 \cdot d_{0,\text{скв}}^2 \cdot L_{0,\text{скв}}.$$

7) Выполняется проверка на эффективность применения опрессовки грунта и невозможности прорыва стенок скважины по выражению

$$1,00 < K_d = \frac{V_p}{V_{\text{скв}}} \leq 1,65,$$

где левое граничное условие введено из необходимости заполнения всего объема пробуренных скважины цементным раствором, а правое — из условия недопущения прорыва стенок скважины закачиваемым раствором.

То есть при $K_d < 1$ пробуренные скважины не заполнены цементным раствором; при $K_d = 1$ скважины полностью залиты, при $K_d > 1$ происходит опрессовка грунта.

Величину опрессовки скважины K_d следует устанавливать экспериментально, а при отсутствии опытных данных рекомендуется принимать ее не более:

- в прочных моренных глинистых грунтах — 1,10;
- в пылевато-глинистых и песчаных грунтах средней прочности — 1,40;
- то же, в слабых — 1,65.

8) Определяется диаметр опрессованной скважины

$$d_{1,\text{скв}} = K_d \cdot d_{0,\text{скв}}.$$

9) Расставляются скважины в плане. Рекомендуемый шаг расстановки скважин должен составлять $B_y = (6,0-10,0)d_{1,\text{скв}}$.

10) Определяется максимальный коэффициент пористости слоя грунта, расположенного непосредственно на границе элемента усиления:

- для супеси пылевой (при $0,4 < e_0 < 0,9$):

$$e_{1,\text{rp}} = e_0 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - d_{1,\text{скв}})^2 - 0,0015 \cdot |(30 - d_{1,\text{скв}})|;$$

- для песчаных грунтов:

$$e_{1,\text{rp}} = e_0 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot (30 - d_{1,\text{скв}})^2 - 0,00085 \cdot |(30 - d_{1,\text{скв}})|.$$

11) Определяется осредненный коэффициент пористости слоя грунта, расположенного на расстоянии до $3d_{1,\text{скв}}$, мм, в радиальном направлении от инъекционной скважины после опрессовки и затвердения инъекционного раствора из выражения

$$e_{1,3d} = e_{1,\text{rp}} + \frac{2 \cdot (e_0 + e_{1,\text{rp}})}{3}.$$

12) Находится осредненный коэффициент пористости уплотненного инъекцией грунта с учетом перераспределения плотностей в массиве

$$e_{1,\text{cp}} = \frac{2 \cdot e_{1,3d} \cdot 3 \cdot d_{1,\text{скв}} + e_0 \cdot (B_y - 6 \cdot d_{1,\text{скв}})}{B_y - d_{1,\text{скв}}}.$$

13) Отсюда среднее значение удельного веса уплотненного грунта под подошвой фундамента определяется из выражения

$$\gamma_{1,\text{cp,rp}} = (1 + 0,01 \cdot W_0) \cdot \left(\frac{\gamma_s}{e_{1,\text{cp}} + 1} \right).$$

14) По полученному значению $e_{1,\text{cp}}$ по нормативным документам находятся характеристики (φ_1, c_1) для упругоупроченного массива грунта.

15) С учетом наличия в упроченном массиве цементных армирующих элементов определяется среднее значение удельного веса уплотненного цементно-грунтового массива под подошвой фундамента из выражения

$$\gamma_{1,\text{cp}} = \frac{\gamma_{1,\text{cp,rp}} \cdot (V_y - V_p) + \gamma_{\text{p-па}} \cdot V_p}{V_y}.$$

16) Зная физические и прочностные характеристики грунта, определяют расчетное сопротивление под подошвой фундамента R_1 по [5].

17) Выполняется проверка размеров подошв плитных фундаментов в соответствии с [5]:

$$\begin{aligned} p_m &\leq R_1; \\ p_{\max} &\leq 1,2R_1; \\ p_{\max,C} &\leq 1,5R_1; \\ p_{\min} &\geq 0 \text{ (при внецентренной нагрузке),} \end{aligned}$$

где p_m — среднее давление под подошвой фундамента, кПа;

$p_{\max}, p_{\min}, p_{\max,C}$ — максимальное краевое давление вдоль каждой оси и в угловой точке С фундамента при действии на него изгибающих моментов взаимно перпендикулярных направлений (внецентренно приложенной вертикальной нагрузки), кПа.

18) Согласно [6], деформационные характеристики усиленного инъекцией массива находятся по выражению

$$E_{1,\text{cp}} = \frac{E_{1,\text{cp,rp}} \cdot (V_y - V_p) + E_{\text{p-па}} \cdot V_p}{V_y}.$$

19. Выполняется расчет осадки плитного фундамента методом послойного суммирования по формуле

$$S_{1,\text{yc}} = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{\text{zp},i} \cdot h_i}{E_{1,\text{cp}}}$$

После выполненных расчетов усиленного инъекций основания по [4] определяется необходимый состав цементного инъекционного раствора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 В результате проведенных исследований определено, что даже незначительное увеличение плотности сложения грунта при опрессовке значительно увеличивает прочностные и деформационные характеристики грунтов под подошвой. Учет армирующих элементов из затвердевшего цементного инъекционного раствора позволяет повысить модуль дефор-

мации грунта на 50 %–200 %, что приводит к снижению осадок в 2–6 раза.

2 Предложенные последовательность проектирования инъекционного усиления и методика расчета позволяют использовать эффект опрессовки грунтового массива высоконапорной инъекцией при проектировании усиления грунтов оснований для нового строительства и для реконструкции. Ее применение позволяет на стадии проектирования определить характеристики грунтового массива, деформации оснований фундаментов, а также сделать процесс буроинъекционного упрочнения грунтов оснований контролируемым и прогнозируемым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухаммад, Х. М. Буроинъекционное упрочнение оснований зданий и сооружений при реконструкции: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02 / Х. М. Мухаммад. — Минск, 1998. — 196 с.
2. Камбефор, А. Инъекция грунтов. Принципы и методы / А. Камбефор. — М.: Энергия, 1971. — 334 с.
3. Никитенко, М. И. Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений: монография / М. И. Никитенко. — Минск: БНТУ, 2007. — 580 с.
4. Проектирование и устройство буроинъекционных анкеров и свай: Пособие П18-04 к СНБ 5.01.01-99. — Минск: Минстройархитектуры, 2004. — 79 с.
5. Фундаменты плитные. Правила проектирования: ТКП 45-5.01-67-2007. — Введ. 02.04.2007. — Минск: Минстройархитектуры, 2007. — 140 с.
6. Проектирование и устройство оснований и сооружений из армированного грунта: Пособие П10-01 к СНБ 5.01.01-99. — Минск: Минстройархитектуры, 2002. — 45 с.

Статья поступила в редакцию 10.04.2012.