

УДК 624.131.: 624.15

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИУСА
ИНЪЕКТИРОВАНИЯ ПРИ УСИЛЕНИИ ОСНОВАНИЯ МЕТОДОМ
ВЫСОКОНАПОРНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**

**С. И. Головки*, д.т.н., проф., А. С. Головки*, к.т.н., Н. Е. Шехоркина*,
И. П. Кучук**, зам. директора**

**ГВУЗ «Приднепровская государственная академия
строительства и архитектуры»*

**Структурное подразделение Приднепровской железной дороги "Нижеднепровский завод железобетонных конструкций"*

Актуальность проблематики и постановка задачи. Работы по усилению грунта в условиях современного городского строительства усложняются стесненными условиями строительной площадки и возможностью повреждения существующих конструкций в результате динамических воздействий. В последние годы все большее распространение получают новые более рациональные комбинированные методы улучшения строительных свойств грунтового массива, сочетающие достоинства двух и более технологий преобразования свойств грунтов. Одним из комбинированных методов усиления оснований зданий и сооружений является метод высоконапорной цементации.

Связь с научными и практическими заданиями и анализ последних исследований и публикаций. Методика определения параметров процесса цементации при высоких давлениях [2, 3] была разработана и утверждена относительно недавно. Ранее применялись эмпирические подходы [1, 4, 5], которые базируются на контроле давления и расхода раствора на определенный интервал закачки. Поэтому анализ существующей расчетно-теоретической базы и проведение исследований в области определения радиуса распространения раствора при инъектировании основания является актуальным.

Цель настоящих исследований – усовершенствование методики определения радиуса распространения раствора при усилении основания методом высоконапорной цементации.

Изложение основного материала. Наиболее точные теоретические решения для определения параметров инъекционного закрепления грунтовых массивов под действием высоких давлений были получены в сферической системе координат. Для обеспечения относительной простоты результатов и достаточной точности расчета принято, что зона инъектирования имеет форму полой сферы и находится достаточно далеко от дневной поверхности. Решение было найдено в сферической системе координат с учетом центральной симметрии задачи (рис. 1).

Если заранее известно давление инъектирования P , то расстояние, на которое распространяется раствор на глубине H от дневной поверхности следует определять по формуле:

$$r = R \left(\frac{P}{k_1} \cdot \frac{3 - \sin \varphi_1}{\gamma_1 \cdot H \cdot \sin \varphi_1 + c_1 \cdot \cos \varphi_1} \right)^{1/n} \quad (1)$$

где k_l и n – эмпирические коэффициенты; φ – угол внутреннего трения; c – удельное сцепление, кПа; R – приведенный радиус распространения раствора, м.

Значения эмпирических коэффициентов:

- для глинистого грунта: $n = (1,58 \pm 0,48) + (0,59 \pm 0,21) \cdot I_L$; $k_l = 1,01 \pm 0,12$;

- для песчаного грунта: $n = (3,61 \pm 1,08) + (1,64 \pm 0,57) \cdot e$; $k_l = 1,02 \pm 0,08$,

где I_L – показатель консистенции; e – коэффициент пористости.

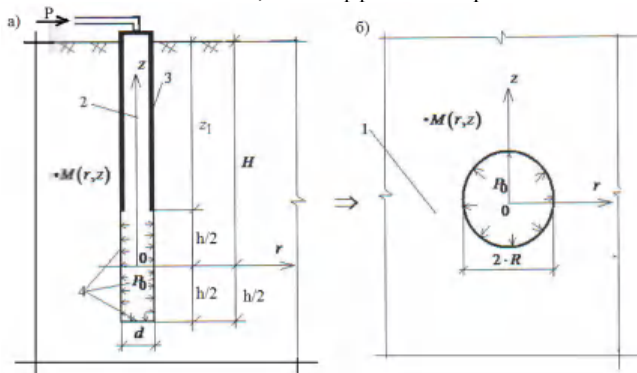


Рис. 1. Расчетная модель к определению параметров процесса инъекирования: а – фактическая расчетная схема; б – приближенная; 1 – основание; 2 – скважина; 3 – обсадная труба; 4 – зона инъекирования.

Принятый в расчетной схеме приведенный радиус распространения раствора R найден из равенства объемов цилиндра диаметром d и высотой h и сферы радиусом R :

$$R = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot d^2 \cdot h}{16}} \quad (2)$$

В соответствии с (1) радиус распространения раствора зависит от: давления инъекирования; глубины инъекирования; диаметра скважины, в которую нагнетается водоцементная смесь; высоты участка скважины по вертикали, в которой производится инъекирование; механических и физических характеристик грунта.

Поскольку при высоконапорной цементации раствор нагнетается в грунт через поверхность инъектора, то приведенный радиус распространения раствора может быть получен из равенства площадей поверхностей цилиндра диаметром d и высотой h и сферы радиусом R :

$$R = \sqrt{\frac{2 \cdot d \cdot h + d^2}{8}} \quad (3)$$

Обозначим в (2) $R=R_{об}$, а в (3) $R=R_{нов}$.

Для исследования зависимости радиуса распространения раствора от технологических параметров процесса нагнетания раствора и физико-

механических характеристик грунта при значениях приведенного радиуса $R_{об}$ и $R_{пов}$ были приняты такие исходные данные: цементация выполнялась в диапазоне глубин 4,0...10,0 м; давление инежирования изменялось от 0,5 до 4,5 МПа; высота зоны инежирования – 1,5 м; грунт – супесь. Значения физико-механических характеристик грунта: коэффициент пористости $e = 0,96$, удельное сцепление $c = 7$ кПа, показатель консистенции $I_L = 0$, угол внутреннего трения $\varphi = 23^\circ$, удельный вес $1,59$ кН/м³. Результаты расчета приведены в виде графиков (рис. 2 – 4).

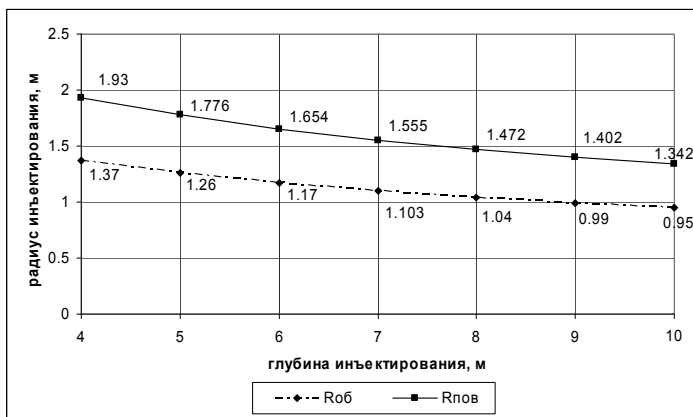


Рис. 2. Зависимость радиуса закрепления грунта от глубины, на которой производится инежирование

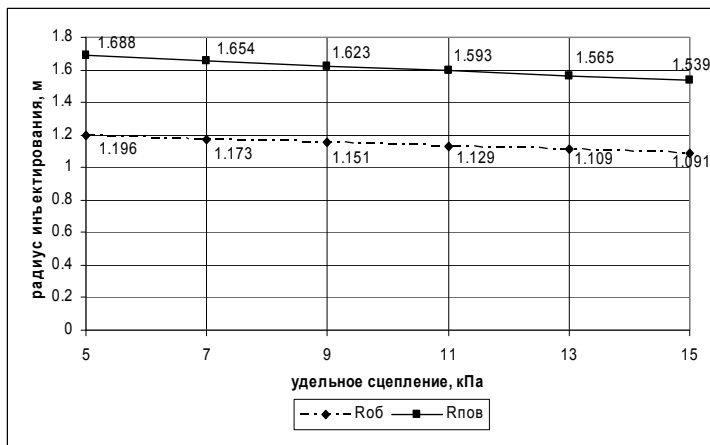


Рис. 3. Зависимость радиуса инежирования от удельного сцепления основания

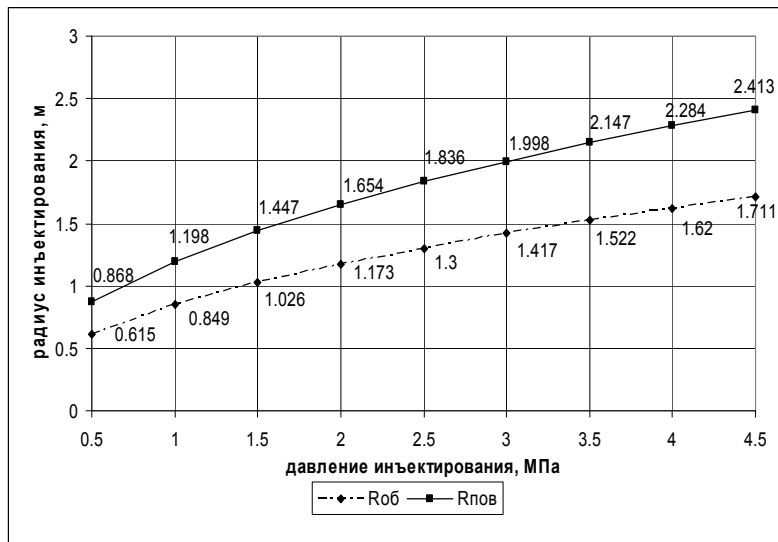


Рис. 4. Зависимость радиуса закрепления грунта от давления нагнетания раствора

Значения радиуса распространения раствора при значениях приведенного радиуса $R_{об}$ и $R_{нов}$ приведены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость радиуса инъецирования от значений приведенного радиуса

Диаметр скважины, м	Способ определения приведенного радиуса R, м	
	$R_{об}$	$R_{нов}$
0,093	1,173	1,654
0,127	1,448	1,95

Из графиков и таблицы 1 видно, что радиус инъецирования в значительной степени зависит от величины давления нагнетания раствора и значения приведенного радиуса. При разных значениях приведенного радиуса величина радиуса распространения раствора изменяется ориентировочно от 0,3 до 0,5 м.

Для выполнения верификации полученных теоретических результатов выполнено экспериментальное исследование. Объект исследования – основание фундаментов четырехэтажного кирпичного здания в г. Днепропетровске по пр. Кирова, 91.

Основание сложено супесями. Значения физико-механических характеристик грунта: коэффициент пористости $e = 0,96$, удельное сцепление $c = 7$ кПа, показатель консистенции $I_L = 0$, угол внутреннего трения $\varphi = 23^0$, удель-

ный вес $1,59 \text{ кН/м}^3$. Давление инъектирования $0,45...4,7 \text{ МПа}$, диаметр скважины $0,093 \text{ м}$, высота зоны инъектирования $0,87...1,84 \text{ м}$, глубина, на которой выполняется инъектирование $4,0...10,0 \text{ м}$.

Фактические и расчетные значения радиуса распространения раствора приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения радиуса инъектирования

Фактическое значение	Расчетное значение	
	при $R_{об}$	при $R_{нов}$
0,58...1,29	0,526...1,53	0,685...2,23

Из анализа сравнительной таблицы 2 можно сделать вывод, что результаты расчета радиуса инъектирования при значении приведенного радиуса $R_{об}$ более приближены к фактическим значениям, чем при расчете с $R_{нов}$. Величина радиуса распространения раствора, вычисленная со значением $R_{об}$, отклоняется от фактического на 10 – 19%, а рассчитанная со значением $R_{нов}$ – на 18 – 70%.

Выводы. Теоретическими исследованиями радиуса закрепления основания высокими давлениями определена зависимость для определения приведенного радиуса из равенства объемов шара и цилиндра, а также площадей их поверхностей. В результате экспериментальных исследований и анализа фактических и расчетных радиусах распространения раствора установлено, что в практических расчетах следует использовать приведенный радиус, который получен из равенства объемов.

Список использованных источников

1. Банник Г.И. Техническая мелиоратация грунтов [Текст] / Банник Г.И. – К.: Втща школа, 1976. – 304 с.
2. Головки С.И. Теоретические и практические аспекты проблемы закрепления оснований методом высоконапорной инъекции растворов [Текст] / С.И. Головки // Новини науки Придніпров'я. Серія: Інженерні дисципліни. – 2004. - № 2. – С. 83-87.
3. Головки С.И. Теория и практика усиления грунтовых оснований методом высоконапорной инъекции [Текст]: Монография. / С.И. Головки. – Днепропетровск: Пороги, 2010. – 247 с.
4. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы [Текст] / А. Камбефор; [пер. с фр. Р.В. Казаковой, В.Б. Хейфица]. – М.: «Энергия», 1971. – 333 с.
5. Пособие 1-93 к СНиП 2.02.03-85. Проектирование и устройство буронапорных анкеров и свай [Текст]. ГОССТРОЙ Республики Беларусь. – Минск: Минсктипроект, 1994. – 102 с.