УДК 69.003.13

# НОВЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЦЕМЕНТАЦИИ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАКРЕПЛЕНИИ ГРУНТОВ (GEO IT)

*Т.Н. Иванова*
*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова*

Проблема строительства на просадочных лёссовых грунтах и в других особых условиях повседневно выдвигает перед инженерами необходимость квалифицированного решения обеспечения устойчивости и надежности зданий, сооружений при высоких технико-экономических показателях, а перед строителями – выполнения решений с необходимым качеством и при минимальных материальных затратах.

Процесс просадки зданий может иметь катастрофические последствия. Особенно эффективны для улучшения свойств грунтов основания существующих сооружений разработанные химические способы закрепления. Выбор зависит от вида грунтов, их физико-механических характеристик и климатических особенностей района строительства, поэтому для выбора оптимального решения усиления грунтов основания, следует верно соотнести все параметры и особенности условий для выполнения работ.

В обводненных глинистых грунтах с низким коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут, где невозможно применить силикатизацию, усиление грунтов основания осуществляется методом цементации. Цементация по разрывной технологии применяется для усиления грунтов в основании существующих и строящихся сооружений путем их обжатия с помощью образующихся разрывов, заполненных твердеющим цементным раствором, способствующих повышению физико-механических характеристик (ρ, φ, с. Е). Разрывы, заполненные раствором в виде плоских клиньев ограниченной толщины и ширины, могут быть направлены вертикально, наклонно или горизонтально к скважине.

Уплотнение грунтов по гидроразрывной технологии происходит в результате расклинивающего действия и гидравлического давления раствора на стенки грунта и производится преимущественно через инъекционные скважины, позволяющие многократно и в любой последовательности по глубине нагнетать растворы в грунт. Метод усиления грунтов гидроразрывами является прогрессивным, но из-за отсутствия нормативной базы по проектированию и производству работ он не находит широкого применения. В основном это вызвано отсутствием расчетов объема раствора и числа повторных инъекций в скважину и на весь объем уплотняемого грунта.

Для инъекции используют чисто цементные растворы и с различными инертными добавками (глина, песок, зола уноса). В качестве регуляторов изменения вязкости и сроков схватывания растворов применяются химические добавки (силикатные и растворы хлористого кальция), а для стабилизации и пластификации – суперпластифицирующие на основе модифицированных нафталино-формальдегидных и других смол в небольших количествах.

Предлагается новая методика расчета количества нагнетаемого раствора и определения деформационных характеристик закрепляемого грунта основания, при помощи физико-механических характеристик грунтов.

Разработанный метод расчета позволяет наиболее точно определить объём закрепляющего цементного раствора для инъецирования, поэтому основные технические параметры, определяющие количественные, качественные и стоимостные характеристики, – это объём закрепляемого грунта и объём раствора. В свою же очередь объём раствора зависит от физико механических свойств грунта: модуля деформации, коэффициента пористости, степени влажности, сульфатостойкости.

Усиление грунтов цементацией является прогрессивным методом, но из-за отсутствия нормативной базы по проектированию и производству работ оно не находит широкого при-

менения. В основном это вызвано отсутствием расчетов объема раствора и числа повторных инъекций в скважину и на весь объем уплотняемого грунта, обеспечивающих плотность и модуль деформации грунта требуемых расчетных показателей, а также методики по выбору оптимального режима инъекции раствора для различных грунтовых условий. В настоящее время используют метод расчета для силикатизации, однако с научной точки зрения расчеты будут не точными, количество объёма раствора будет превышать нормативное. С экономической точки зрения последуют большие затраты, с экологической – загрязнение окружающей среды, с механической – нарушение работы конструкции.

Программа «GEO IT» будет использоваться при разработке проектной документации. С помощью предложенной модели можно будет:

• просмотреть, как система станет работать в тех или иных условиях;

• рассчитать объём закрепляемого раствора;

• определить, какие дополнительные добавки стоит применить в данных условиях.

Разработанная модель продемонстрирует процесс распространения инъецированного раствора в массиве грунта, направление и параметры разрывов в пласте, длину распространения в зависимости от давления нагнетания вязкости раствора конструкции инъектора. По данным моделирования будет произведен расчет параметров инъекции, подобрано оптимальное давление и состав нагнетаемых растворов, определены деформационные и прочностные характеристики закрепленного грунта

Существующая методика расчета предлагает, что раствор заполняет поры грунта, а предлагаемая методика предполагает разрыв пласта, обжатие, сокращение объема пор грунта и образование геомассива из уплотненного грунта и заполненных цементным камнем полостей образовавшихся при гидроразрыве.

Предлагаем количество нагнетаемого раствора рассчитывать при помощи показателя $S_r$ степень влажности с дальнейшим определением деформационных характеристик закреплённого грунта по номограмме, предложенной Ибрагимовым М.Н.

Таким образом, зная величину $S_r$, можно установить объём пор грунта, незаполненных водой, которые при цементации с разрывом пласта и обжатии грунта сокращаются, что ведет к повышению физико-механических характеристик грунтов.

Изменение коэффициента пористости естественного грунта $e_0$ до пористости уплотненного $e^1$ определяем с использованием степени влажности $S_r$. Находим пористость уплотненного грунта $n^1$ и объём сокращаемых пор $\Delta n$. Зная $\Delta n$, по номограмме, предложенной М.Н. Ибрагимовым, определяем модуль деформации E. Параметры (E, n), определенные по номограмме являются прогнозируемыми величинами.

Объем закрепляемого массива от одной скважины определяется как сумма объемов массивов грунта в пределах разных ИГЭ. Объем закрепленного грунта от единичной инъекции в одну заходку определяется для каждого слоя.

Научно-обоснованная методика расчета и компьютерная модель технологического процесса закрепления грунтов может быть использована для закрепления грунтов в следующих отраслях: при возведении и реконструкции фундаментов, в гидротехническом и дорожном строительстве, в нефтегазовой отрасли при обустройстве скважин.

Результаты проведенных исследований уже внедрены и опробированы на следующих объектах реконструкции:

1. Средняя общеобразовательная школа № 5 в г. Малгобеке Республика Ингушетия.
2. Торговый комплекс в г. Воткинске Удмуртская Республика.

На рис. 1 и рис. 2 показана сметная себестоимость цементации грунтов на 1 и 16 скважин в г. Воткинск, Удмуртской Республики («Проект закрепления грунтов основания и фундамента торгового комплекса в г. Воткиске, УР»). Таким образом, на графиках прослеживается уменьшение себестоимости СМР. Объёма тампонажного раствора для закрепления грунта по новой методике расчета меньше, чем при использовании традиционного способа расчета. Физико-механические характеристики грунта соответствуют нормативным.

Рис. 1. Сметная себестоимость цементации грунтов на одну скважину в г. Воткинск Удмуртской Республики. «Проект закрепления грунтов основания и фундамента торгового комплекса в г. Воткиске, УР»

Рис. 2. Сметная себестоимость цементации грунтов на одну скважину в г. Воткинск Удмуртской Республики. «Проект закрепления грунтов основания и фундамента торгового комплекса в г. Воткиске, УР»

Аналогов программы «GEO IT» на сегодняшний момент не существует. Проектировщики используют для расчетов следующие нормативные документы:

- Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). – М.: Стройиздат, 1986. – 86 с.
- ТСН-50-306-2005 Ростовской области Основания и фундаменты повышенной несущей способности.