

пленке, причем следует избегать концентрированного загрузения гребня вблизи бровки верхового откоса.

- 5) Выполненная на моделях экспериментальная проверка расчетных рекомендаций по определению наиболее опасных центров поверхности скольжения позволит скорректировать существующие подходы при расчетах устойчивости плотин с пленочными экранами.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов Г.Я. Пленочный экран как защита от трещин в плотине. — Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. Проблемы совершенствования асфальтовых и полимерных противофильтрационных конструкций гидросооружений. — М., 1986.
2. Кричевский И.Е. Пленочные противофильтрационные устройства гидротехнических сооружений. — М., 1976. — 207 с.
3. Косиченко Ю.М. Устойчивость защитного грунтового слоя пленочного экрана на откосе в условиях воздействия фильтрационного потока. — Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы, N 4, 1982.
4. Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика / Под ред. В.П. Недриги. — М.: Стройиздат, 1983. — 543 с.

УДК 642.131

Попов О.В., Зыль А.Н.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЫТЕСНЕНИЯ СЫПУЧЕГО ГРУНТА, УПРОЧНЯЕМОГО ИНЪЕКЦИОННОЙ ЦЕМЕНТАЦИЕЙ

При восстановлении и усилении поврежденных зданий и сооружений, а также их геотехнических реконструкциях применяется комплексный подход, включающий усиление надземных конструкций (напрягающие бандажи и др.), пересадку на дополнительные фундаментные конструкции (преимущественно на буронабивные или буроинъекционные сваи), инъекционно-цементационное упрочнение грунтов оснований под подошвами фундаментов и на глубине, а также их начальное армирование. При этом как показал анализ существующих методов упрочнения грунтов оснований наиболее эффективным и экономически выгодным для инженерно-геологических и геотехнических условий РБ являются инъекционно-цементационные методы. Широкое их внедрение в практику строительства может осуществляться на базе имеющегося в специализированных организациях оборудования при минимальных капитальных затратах на его модернизацию, а также использования в качестве закрепляющих растворов дешевых цементных смесей на основе местного сырьевого рынка. Эти методы применяются при устройстве буроинъекционных анкеров и свай, набивных свай повышенной несущей способности с инжецируемыми пятой и стволом, армировании грунтов цементно-грунтовыми элементами различной формы и ориентации; глубинной цементации грунтов, а также упрочнении оснований существующих фундаментов. Они основаны на нагнетании под высоким давлением цементных смесей в грунт, приводящее к его пропитке, уплотнению, опрессовке, армированию, замещению, перемешиванию (либо к их сочетаниям) и тем самым к улучшению строительных свойств и напряженного состояния основания за счет твердения закачиваемого раствора.

К основным причинам, вызывающим необходимость инъекционно-цементационного упрочнения оснований при геотехнических реконструкциях можно отнести:

1. увеличение нагрузок на фундаменты и основания;
2. устройство новых сооружений на отметках ниже подошв существующих фундаментов;
3. недостаточные прочность материала фундамента и несущая способность основания;
4. недопустимые деформации основания;
5. изменение уровня грунтовых вод из-за подтопления территорий, затопления подвалов, утечек жидкости из коммуникация, замачивания грунтов основания технологическими отходами, производства, разрушающие действия стихийных бедствий, ошибки, допущенные при проектировании, производстве работ и неправильной эксплуатации оснований и фундаментов и другие.

Улучшение строительных свойств грунтов (прочностных — угла внутреннего трения и сцепления; деформационных — модуля деформации; фильтрационных — коэффициента фильтрации) при их инъекционно-цементационном упрочнении при геотехнических реконструкциях достигается за счет:

1. Снижения пористости грунта при заполнении его пор цементным раствором (пропитка) в сочетании с уплотнением (уплотнение);
2. Передачи на грунт сжимающих напряжений;
3. Снижения пористости грунта (опрессовка + уплотнение) при его вытеснении в стороны (уплотнение);
4. Введения в грунт армирующих элементов в виде инъекционных свай малого диаметра для восприятия растягивающих напряжений (армирование);
5. Замены некоторого объема грунта закрепляющим материалом (замещение);
6. Замены некоторого объема грунта смесью данного грунта с закрепляющим материалом (перемешивание).

Изменение же напряженного состояния осуществляется путем ограничения выдавливания грунта в стороны при передаче на него сжимающих напряжений от нагнетаемого цементного раствора.

Механизмы процессов (пропитка, опрессовка, уплотнение, армирование, замещение, перемешивание) определяемые методом инъекционно-цементационного упрочнения оснований могут происходить по разному и зависят от вида грунта, гидрогеологических условий, применяемой технологии, назначения геотехнической реконструкции и требуют дифференцированного подхода при рассмотрении каждого из них как в отдельности, так и в определенном сочетании.

Для полного понимания поведения упрочненного сыпучего грунта под нагрузкой и назначения режимов инъекции необходимо исследовать вопросы его деформирования при нагнетании цементного раствора в контексте с изменением начальных прочностных и деформационных свойств, а также напряженного состояния грунта, используемых в дальнейшем при расчете несущей способности последнего. Объем закачиваемого цементного раствора для получения требуемой ниши в сыпучем грунте может определяться по определенным зависимостям [1] приближенно, так как на практике при давлении превышающем определенный предел прочности образуются гидроразрывы, по которым цементный раствор выходит за пределы упрочняемой зоны грунтового основания, не обеспечивая существенного прироста его несущей способности. С другой стороны умея прогнозировать направленность гидроразрывов можно создать в грунтовом массиве разветвляющиеся и пересекающиеся трещины заполненные цементным раствором, которые увеличивают жесткость основания и тем

самым его несущую способность. Исходя из вышеизложенного, целью наших исследований являлось описание механизмов вытеснения и замещения сыпучего грунта при нагнетании в него жидких цементных растворов. В лабораторных условиях исследовались различные заинъецированные объемы цементного раствора, образующиеся при определенных граничных условиях инъекции. При этом были установлены граничные значения давления нагнетания в зависимости от состояния сыпучего грунта, в пределах которых можно вести расчеты о прогнозируемых явлениях, встречающихся в процессе вытеснения.

Исследования проводились с сухим кварцевым однородным песком средней крупности, действующий диаметр которого составляя  $d_{50}=50$  мм. В качестве камеры для эксперимента служил полисилглазовый цилиндр диаметром 125 мм и высотой 200 мм, в дне которого были расположены сквозные отверстия диаметром 8 мм для установки инъекционной трубки. Песок засыпался при помощи специального устройства, а смесь закачивалась вакуумным способом из запасного цилиндра через прозрачный шланг, соединенный с инъекционной трубкой. В таблице 1 представлены физико-механические свойства исследованного песка:

Таблица 1.

способ засыпки	высота сброса, см	удельный вес, кН/м <sup>3</sup>	коэффициент пористости $n$	коэффициент пористости $e$	степень плотности $J_d$	коэффициент сцепления $C$	плотность расположения
через воронку в цилиндре большая площадь	0	12,8	0,51	1,04	0	0	30
	0	13,5	0,48	0,99	0,24	0	33
засыпано большой струей	10	14,9	0,43	0,75	0,63	0	36
	30	15,6	0,4	0,68	0,78	0	36
	50	16,2	0,38	0,61	0,94	0	38

Компонентами закачиваемой смеси являлись цемент и вода, т.е. жидкая цементная смесь с  $в/ц=0,5$ . Закачивание в грунт данной смеси происходило таким образом, что давление воздуха подаваемого через трубку поднималось до тех пор, пока не происходил гидроразрыв. После того, как смесь начинала проникать по трещине гидроразрыва давление инъецирования уменьшалось и сохранялось на определенном уровне, фиксированном при помощи манометра, а объем инъекции определялся по шкале на запасном шланге. Так как большинство опытов проводилось при близком расположении инъекционной трубки к стенке сосуда, то мы имели возможность наблюдения за формированием цементного тела. При этом были сделаны следующие наблюдения:

- каждому гидроразрыву предшествует смачивание песка водой, отжимаемой из нагнетаемой смеси в районе расположения инъекционной трубки;
- в песке со средней плотностью ( $J_d < 0,63$ ) после образования гидроразрыва на поверхности грунта появлялись неровности;
- после образования неровностей на поверхности грунта наблюдалось возникновение горизонтальной трещины, увеличивающейся при уменьшении давления как по радиусу, так и по толщине;

- при отношении величины радиуса к толщине горизонтальной трещины равном трем, образуется стык, напоминающий усеченный конус, стремящийся к поверхности с вершиной в месте инъекции; после достижения стыка поверхности грунта последняя приподнимается, в то время, как давление инъецирования остается на определенном уровне. При этом бугор на поверхности грунта продолжает расти, в результате чего образуются дополнительные стыки, угол которых в основании стремится к  $90^\circ$ ;
- при рыхлом сложении грунта ( $I_d \leq 0,24$ ) наблюдается множество бессистемно расположенных щелей и трубовидных каналов вертикального направления, стремящихся к поверхности.

Помимо этого была предпринята попытка выяснения влияния груза, расположенного на поверхности грунта на процесс его деформирования при инъекции раствора, когда на песок была положена пластинка с грузами различной массы, что дало следующие результаты:

- возникновение гидроразрыва «интерпретирует» пластинку с грузом как еще одно грунтовое наслоение, при этом образование конуса начинается при большем давлении, в результате чего пластинка приподнимается;
- отклонение от симметрии наблюдается более явно, чем в опытах без грузов;
- если пластинка с грузом имеет большую тяжесть по сравнению с весом наслоения, то конус, образовавшийся в результате гидроразрыва располагается рядом с ней.

Опыты и полученные результаты, проведенные в лабораторных условиях и в условиях строительной площадки при упрочнении слабых сыпучих грунтов оснований существующих фундаментов мелкого заложения [2], проводимых НПП «Опти-Строй» показали, что вытеснение грунта на уровне расположения выпускных коллекторов инъекционных трубок начинается с образования малого начального пузыря и конусообразных сдвиговых поверхностей, достигающих поверхность грунта. При этом в зависимости от плотности сложения сыпучего грунта можно прогнозировать направление вытеснения, а также места возникновения гидроразрывов. При этом следует учитывать возможность опрокидывания или поднятия существующих фундаментов за счет образования конуса при инъекции.

Установлено, что в случае устройства корней и стволов буроинъекционных анкеров и свай соответственно, необходимо избегать образования гидроразрывов, так как образующийся в гидроразрыве цементный камень по объему иногда соизмерим с цилиндрическим корнем или стволом сваи или анкера соответственно. При нагружении последних цементное тело, расположенное в теле гидроразрыва отрывается, не обеспечивая существенного прироста несущей способности. Исходя из этого на кафедре «Геотехники и экология в строительстве» БГПА для обеспечения проектной формы и размеров корня или ствола анкера или сваи соответственно была разработана специальная технология, защищенная авторским свидетельством СССР [3]. Сущностью данной технологии являлось инъекция цементного раствора в расширяющуюся и дренирующую оболочку из геотекстильного материала, требуемого размера и формы, которая позволяет исключить неконтролируемые утечки раствора в направлении потенциальных гидроразрывов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мишаков В.А. О процессе уплотнения песчаного грунта при устройстве инъекционных анкеров // Специальные строительные работы. – 1980. № 12 – с. 17-19.

2. Попов О.В., Зыль А.Н. Технология инъекционно-цементационного упрочнения грунтов при геотехнических реконструкциях.// Материалы международной инженерно-технической конференции «Новые конкурентноспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка». Могилев, 2000 г., с. 347.
3. А.С. 1392203 СССР, МКИ Е 02 Д 5/80. Способ выполнения буринъекционного анкера. / А.С. Никитенко М.И., Соболевский Ю.А., Соболевский Д.Ю., Попов О.В.

УДК 351.78:624.13

Романюк Л.С., Бабич Е.М.

## ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ГИДРООТВАЛОВ

Гидрогеомеханические процессы, происходящие в грунтовом массиве гидроотвала, можно разделить на три вида: гидромеханические (растекание пульпы, фракционирование); геомеханические (консолидация, кольматация, изменение напряженно-деформированного состояния основания, устойчивость, и др.); гидрогеологические (инфильтрационный и фильтрационный потоки). Все эти процессы связаны между собой и характер протекания каждого влияет на параметры других. Так, например, консистенция гидросмеси влияет не только на фракционирование и уклоны пляжа намыва, но и на плотность намываемого грунта, депрессионный уровень.

Вследствие гидрогеомеханических процессов происходит фракционирование и формируется слоистая текстура намываемого грунта. Следовательно, намываемый грунт анизотропный и скорости фильтрации воды в продольном и поперечном направлениях различны.

При растекании пульпы ее поток занимает только часть карты намыва. В местах, не занятых потоком, происходит локальное понижение кривой депрессии, вследствие чего мелкие частицы из верхних слоев проникают в нижние. В намываемом грунте наблюдается увеличение количества мелкодисперсных частиц  $d < 0,1$  мм за счет кольматации, которая происходит как в процессе инфильтрации воды во время намыва, так и во время понижения поверхности депрессии во время длительных технологических перерывов в намыве.

Уплотнение намываемого песка наиболее интенсивно происходит как минимум в два этапа: сразу после окончания намыва очередного слоя, когда технологическая вода уходит в прудок-отстойник и инфильтрирует в массив грунта; во время намыва вышележащих слоев.

Изменение грансостава, плотности ведет не только к уменьшению водопроницаемости намываемых слоев, но и значительно влияет на прочность, несущую способность, другие физико-механические характеристики, что подтверждается исследованиями НИС РГТУ на Здолбуновском гидроотвале вскрышных пород мела ОАТ "Волянь" по производству цемента и шифера.

Результаты исследования гидрогеомеханических процессов позволяют учесть реальные условия формирования намываемого массива, включая все многообразные факторы технологии намыва, водообмена и внутреннего строения грунтового сооружения, правильно оценить его техническое состояние во время возведения, рекультивации и консервации.