

УДК 69.059.32

*д.т.н. Полозов Ю. А.,
к.т.н., д.э.н. Бизянов Е. Е.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, uarolozov@mail.ru),
Лазебник А. Ю.
(АФГТ ЛНУ им. В. Даля, г. Антрацит, ЛНР)*

ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ МЕТОДОМ НАПОРНОЙ ИНЪЕКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА

В статье приведены результаты аналитических исследований механизма образования искусственных трещин при гидравлическом разрыве грунтов с целью создания в них армокаркаса для повышения несущей способности. Научно обоснована необходимость регулирования и управления процессом образования искусственных трещин в закрепляемых грунтах. Рассмотрены технологические способы процесса образования трещин и обоснована технология беспакерного крепления скважины при нагнетании тампонажного раствора для выполнения гидроразрыва путем использования «тампонажного пакера» в виде стабилизированного тампонажного раствора в зазоре между стенками скважины и колонной буровых труб. Установлены зависимости размеров трещин гидроразрыва от параметров инъекционной скважины, типов грунтов и давления гидроразрыва.

***Ключевые слова:** грунты, инъектирование, гидроразрыв, «тампонажный пакер», цементные растворы.*

Для повышения несущей способности грунтов в основаниях фундаментов строящихся зданий и сооружений признанным является напорный метод инъекции раствора [1, 2]. Напорный метод инъекции изменяет структуру грунтов и свойства вмещающего массива, воздействуя на него путем пропитки его раствором, уплотнительного нагнетания или разрывной технологией. Различие схем воздействия инъекционного раствора на грунты является условным, поэтому данные схемы обычно взаимосвязаны. На практике данные схемы реализуются принудительно посредством применения различных технологических приемов нагнетания тампонажных растворов.

Грунт в основаниях фундаментов зданий и инженерных сооружений, как объект инъекционного закрепления, вызывает необходимость более глубокого изучения факторов, обуславливающих механизм распространения в нем тампонажного раствора. Так, в случае закрепления дисперсных слабопроницаемых грунтов инъекционный раствор не получает какого-либо

значительного радиального распространения от скважины из-за быстрой кольматации пор. При последующем повышении давления в грунте образуются разрывные нарушения. Дальнейшее распространение раствора идет по трещинам гидроразрыва, армируя грунт [3–5]. Трещина создается путем закачки фильтрующих или нефилтрующих жидкостей в укрепляемую зону со скоростью, превышающей ее поглощающую способность. Давление жидкости возрастает, пока не будут превзойдены внутренние напряжения в грунте с образованием плоскостей минимальной прочности. При использовании нефилтрующей жидкости механизм разрыва пласта становится сходным с разрывом толстостенных сосудов. Образующиеся при этом трещины имеют, как правило, вертикальное или наклонное направление. При разрыве фильтрующей жидкостью давление разрыва обычно бывает значительно меньше, чем при разрыве нефилтрующимися жидкостями. Вертикальные трещины могут образоваться также при

нагнетании фильтрующихся жидкостей разрыва с быстрым повышением интенсивности подачи жидкости и давления [6].

Распространение инъекционного раствора при давлениях выше давления гидроразрыва обрабатываемых грунтов происходит значительно эффективнее при условии направленной ориентации трещин гидроразрыва.

При проектировании трещин гидроразрыва в грунте и заполнении их укрепляющим раствором необходимо планировать специальные мероприятия, направленные на удержание раскрытия устья трещины.

Поэтому исследование процессов формирования системы искусственных трещин в укрепляемых грунтах для повышения их несущей способности имеет большое научное и практическое значение.

Укрепление грунтов в основаниях фундаментов зданий и сооружений выполняется с применением горизонтальных, вертикальных или наклонных скважин. Необходимость в использовании различных технологических схем высоконапорной инъекции связана с многообразием горно-геологических и горнотехнических условий.

Исследованиям по гидравлическому разрыву грунтов при высоконапорной инъекции посвящены работы ученых Максимова А. П., Сергеева В. И., Адамовича А. А., Камбефора А., Головки С. И., Кугушевой И. В., Ермолаева В. А., Ибрагимова Ю. Г., Ржаницына А. Р., Маага Е., Каранфилова Т. С., Богомолова Ю. А., Ибрагимова М. Н. и др.

Вышеуказанными авторами обоснованы теоретические основы напорной инъекции для различных условий, разработаны методики расчета ее технологических параметров и проведено значительное количество опытно-промышленных испытаний и внедрений. Следует отметить, что авторами работ [7–9] сделан акцент на то, что направленный гидравлический разрыв грунта является основным способом повышения эффективности инъекционных укрепительных работ.

Для эффективного выполнения направленного гидравлического разрыва необходимо использование технических средств в инъекционных скважинах, позволяющих гарантированно формировать область закрепленного грунта с заданными параметрами.

Объектом исследования является напорное закрепление грунта с использованием гидравлического разрыва.

Предмет исследования — герметизирующие устройства в инъекционных скважинах и закрепляемый массив.

Существует много способов выполнения направленного разрыва грунтов в массиве. Применяемые на практике технологические схемы для напорной инъекции с различными запорными устройствами в скважине приведены на рисунке 1.

Наиболее технологичными способами направленного гидроразрыва являются технологии с использованием обсадной колонны со скользящим слоем и гидроразрывная инъекция.

Способ направленного разрыва грунтов с использованием обсадной колонны со скользящим слоем производится в следующем порядке. Осуществляется бурение скважины, в которую опускается иньектор — обсадная труба с целевой перфорацией на нижнем конце. На наружный контур трубы наносится тонкий слой солидола. Зазор между трубой и стенками скважины заполняется глиноцементным раствором. После выдержки для стабилизации раствора в зазоре производят нагнетание для осуществления гидроразрыва грунта.

Гидроразрывную инъекцию применяют в слабопроницаемом грунте, нагнетая вязкий раствор или раствор грубодисперсного состава. При этом режиме, независимо от скорости инъекции раствора, давление первоначально резко повышается. В грунте образуются разрывы, которые увеличиваются. Толщина трещин разрывов, заполненных твердеющим раствором, зависит от состава раствора, а плотность затвердевшего раствора — от водоотдачи раствора и от давления нагнетания.

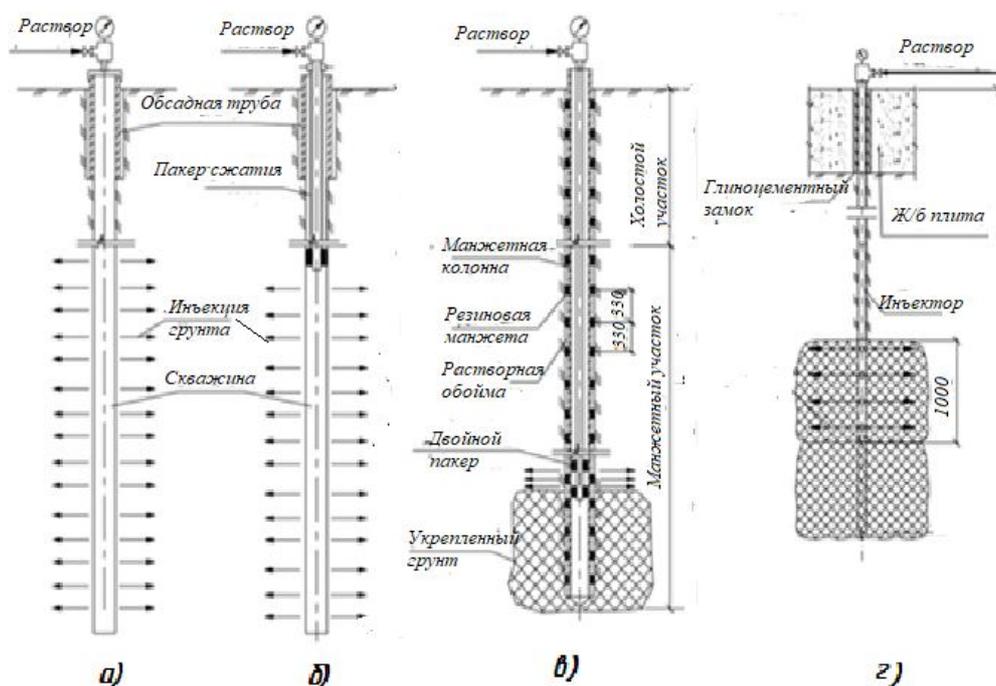


Рисунок 1 Технологические схемы для напорной инъекции с различными запорными устройствами: а) инъекция через кондуктор; б) инъекция через пакер; в) инъекция через манжетную колонну; г) инъекция через перфорированный иньектор

При последующих попытках инъекции в обрабатываемую заходку закачиваемый раствор, как правило, распространяется по ранее образованной полости разрыва. Трещины разрыва формируются из нескольких слоев, в зависимости от вида и состава закачиваемых последовательно видов раствора.

Процесс нагнетания при напорной инъекции можно условно разделить на следующие этапы:

– Начальный этап. На этом этапе изменение давления связано с пульсирующим развитием процессов пропитки грунта раствором и удлинением каналов разрыва.

– Этап начала формирования объемного армоцементного каркаса. Формирование армокаркаса происходит при резком спаде давления, что связано с прорывом инъекционного раствора вдоль обоймы обрабатываемой скважины или с выходом в массив.

– Этап формирования зоны укрепленного грунта. Давление нагнетания резко возрастает, расход раствора сокращается до нуля. Сопротивление дальнейшему

движению инъекционного раствора в грунте достаточно велико, увеличение протяженности и числа разрывных каналов не происходит.

Определяющую роль на технологический процесс напорной инъекции влияют как применяемое тампонажное оборудование, так и соответствующие герметизирующие устройства в скважине для обеспечения инъекции в заданный интервал.

В зависимости от принципа действия и конструктивных схем разделяют следующие типы герметизирующих устройств и пакеров [10]:

- пакеры сжатия;
- самоуплотняющиеся пакеры;
- пневматические и гидравлические пакеры;
- намывные пакеры;
- твердеющие пакеры.

Применение вышеуказанных герметизирующих устройств является строго индивидуальным для определенных горно-геологических условий, а сам процесс трудоемким и требующим значительных за-

трат времени на монтажно-демонтажные операции.

Наиболее эффективной и технологичной является технология инъектирования тампонажных растворов с использованием гладкоствольной бурильной колонны и «тампонажного пакера», заключающаяся в следующем (рис. 2):

– механические и гидравлические герметизирующие устройства заменяются «тампонажным пакером»;

– «тампонажный пакер» формируется за счет подъема тампонажного раствора в зазоре «стенка скважины — гладкоствольная бурильная колонна» на расчетную высоту,

определяемую давлением нагнетания и реологическими характеристиками раствора;

– в момент, когда давление нагнетания достигает критической величины, для преодоления гидравлических сопротивлений при движении раствора в зазоре между стенками скважины и бурильными трубами тампонажный раствор стабилизируется, образует в кольцевом зазоре пробку, работающую как пакерующее устройство;

– после набора раствором начальной прочности происходит герметизация затрубного пространства, чем обеспечивается при нагнетании в дальнейшем проникновение раствора в заданный интервал.

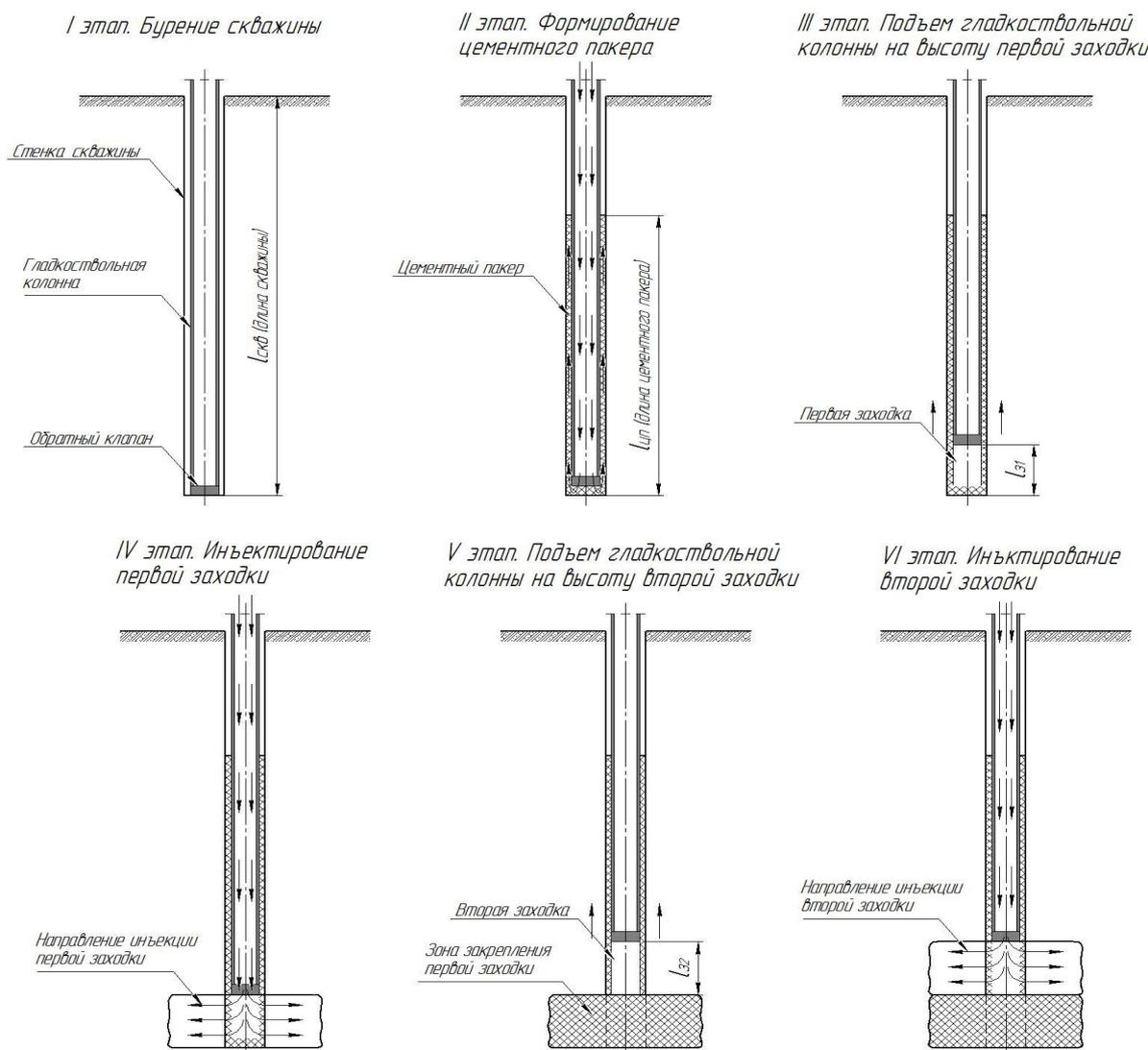


Рисунок 2 Технология напорной инъекции с запорным устройством в виде «тампонажного пакера»

С целью установления закономерностей формирования трещин гидроразрыва в грунтовом массиве проведен анализ результатов выполненных укрепительных работ для различных типов грунтов, тампонажных растворов и применяемых герметизирующих устройств.

Данные фактических режимов и параметров гидроразрыва с целью формирования армокаркаса в укрепляемом массиве с применением рассмотренных выше герметизирующих средств, согласно литературным источникам [1, 2, 4, 5, 8], приведены в таблице 1.

Анализ данных, приведенных в таблице 1, и результатов обработки керновых проб контрольного бурения, а также отобранных образцов грунтов при шурфовке на объектах закрепления грунтов показал, что в начальной стадии инъецирования песков разрывы имеют вертикальное распространение. Вертикальность сохраняется и в том случае, когда плоскость разрыва пересекает толщу с различными типами грунтов. В ходе напорной инъеции, в результате образования разрывных нарушений и переуплотнения грунта, происходит перераспределение напряжений. В этом случае плоскость разрыва, развиваясь по линии наименьшего сопротивления, может принять горизонтальное направление. Развитие горизонтальных полостей в слоистой толще идет в основном по границе раздела слоев различного гранулометрического состава.

Вертикальные разрывы могут распространяться до поверхности грунта с выходами или без выходов раствора на земную поверхность. Эти разрывы не опасны, направление вертикальных разрывов хаотично. Горизонтальные разрывы обнаружить сложнее. Они могут быть опасными для сооружения вследствие того, что, работая как домкрат, способны приподнять поверхность. Считается, что поднятие поверхности грунта связано с образованием горизонтальных разрывов.

При последующих инъециях в укрепляемую зону нагнетаемый раствор имеет

тенденцию распространяться по уже существующим разрывам. Чаще всего он наплачивается на ранее введенный и уже стабилизировавшийся тампонажный раствор.

Как вертикальные, так и горизонтальные разрывы сжимают грунт, переводя его в напряженное состояние, что благоприятно сказывается на его свойствах. Снижается проницаемость обжатога грунта. Пористость изменяется, по данным лабораторных испытаний [11], от 0,4 до 0,35, а коэффициент фильтрации уменьшается. Также увеличивается угол внутреннего трения. Так, при пористости 0,30 угол внутреннего трения равен 35° , а при пористости 0,25 он увеличивается до 42° [1].

По мнению проф. Камбефора А. [2], представляется проблемным классифицировать разрывы как благоприятные (вертикальные) и неблагоприятные (горизонтальные).

При анализе эффективности инъеционных работ вскрытием котлованов отмечается, что такая классификация не всегда подтверждается: в некоторых случаях разрывы просто ближе к вертикали, в других — к горизонтали. Это происходит в связи с неоднородностью грунта.

При образовании разрывных нарушений происходит армирование грунта. Размеры сечения разрывов зависят от состава и реологических характеристик раствора, а плотность затвердевшего раствора — от его водоотдачи и давления инъеции. С уменьшением пористости грунта возрастает величина разрывных нарушений, а также увеличивается плотность раствора в сечении разрыва.

Давление, при котором происходит гидравлический разрыв грунта, зависит от свойств грунта и глубины залегания и не зависит от вязкости раствора, диаметра скважины и радиуса инъеции.

Исследования керновых проб укрепленного грунта показывают, что при нагнетании растворов одинакового состава величина каналов разрыва и конечная плотность растворов имеют определенные закономерности.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Анализ фактических данных укрепительных работ при напорной инъекции с гидравлическим разрывом массива подтверждает эффективность данной технологии. Перечень объектов по стабилизации грунтов с описанием укрепительных работ приведен в таблице 2.

Накопленный научный и практический опыт при выполнении силами НПО «Спецтампонажгеология» работ по закреплению неустойчивых грунтов под целым рядом объектов [8, 11–13], приведенных в таблице 2, позволил установить, что существует и имеется определенная закономерность образования систем трещин в грунте вокруг инъекционной сква-

жины. Установлено, что величины искусственных трещин гидроразрыва в грунте в основном зависят от давления гидроразрыва.

Данные изменения параметров гидравлического разрыва — протяженности и раскрытия искусственных трещин, а также плотности затвердевшего материала при одинаковых условиях для песчаных грунтов и состава инъекционного раствора приведены в таблице 3 [9]. Зависимости плоскостей разрывных нарушений для различных типов грунтов и глубин их залегания в интервалах закрепления, по данным НПО «Спецтампонажгеология» [5, 8, 12, 13], приведены на графике (рис. 3).

Таблица 1

Технологические параметры гидроразрыва
при формировании армоцементного каркаса в массиве

№ п.п.	Тип грунтов	Глубина скважин, м	Давление гидроразрыва, МПа	Длина полости разрыва, м	Толщина полости разрыва, м	Тип раствора	Тип инжектора
1	Песок, плотность 2640 кг/м ³	1,3–1,5	1,25	0,61	0,03–0,04	Глиноцементный, ρ = 1380 кг/м ³	Обсадная колонна со скользящим слоем
			1,0	0,49			
			0,82	0,42			
2	Лессовый грунт, плотность 1520 кг/м ³	2–3	1,5	0,75–1,1	0,03–0,04	Силикат натрия, ρ = 1130 кг/м ³ +CO ₂	Забивной инжектор с перфорированным наконечником
		3–3,3	3,0	0,85			
3	Суглинок тяжелый твердый	13,0	1,5–2,5	0,2–0,55	0,02	Цементный, ρ = 1500 кг/м ³	Перфорированная манжетная колонна (ПМК)
4	Суглинок твердый	10,0	1,0–2,0	0,45–0,55	0,02–0,03	Цементный, ρ = 1520 кг/м ³	Тампонажный пакер
5	Пески, суглинки	11,0	1,2–1,8	0,5–0,6	0,01–0,02	Цементный, ρ = 1520 кг/м ³	ПМК
6	Супесь лессовая	12–14	1,1–1,2	0,55–0,75	0,01	Цементный, ρ = 1520 кг/м ³	ПМК
7	Супеси	29–37	2,0–6,0	0,9–1,1	0,01–0,015	Цементный, ρ = 1520 кг/м ³	ПМК
8	Суглинок лессовый	17–24	0,25–1,3	0,9–1,1	0,012–0,017	Цементный, 1520 кг/м ³	ПМК
9	Лессовые суглинки	3,0–7,0	0,6–1,4	0,55–0,6	0,01	Цементный, 1520 кг/м ³	ПМК
10	Глина желтовато-коричневая	2,0–3,0	0,8	0,4	0,1	Цементный, 1520 кг/м ³	ПМК

Таблица 2

Объекты закрепления грунтов с использованием напорной инъекции
(выполнено НПО «Спецтампажгеология»)

Наименование объекта	Параметры напорной инъекции			
	Тип грунта	Интервал закрепления, м	Объем закачанного раствора, м ³	Количество скважин, скв
Укрепительная цементация грунтового массива в районе наклонного ствола № 7 Днепропетровского метрополитена	Суглинок лессовидный	8–25	750	25
Стабилизация грунтов под вспомогательным и инженерным зданиями Днепропетровского метрополитена	Пески, суглинки	6–30	550	47
Упрочнение и стабилизация грунтов под ленточными фундаментами жилого здания по ул. Петровского г. Днепропетровска	Суглинки и пески	2,0–30,0	380	19
Стабилизация грунтов под 5-этажным зданием № 109 на пр. К. Маркса г. Днепропетровска	Супесь лессовидная	8,0–45,0	240	16
Укрепление лессовых грунтов под терапевтическим зданием больницы им. Мечникова г. Днепропетровска	Супесь лессовая, суглинок лессовый	2,0–11,0	1880	70
Укрепление и стабилизация водопроводящих зон в теле дамбы Елизаветинского водохранилища	Суглинки	4,0–16,0	82,5	11
Закрепление грунтов в основании фундаментов трансформаторов Старобешевской ТЭС	Супесь, суглинок	4,0–12,0	114,6	18

Величины распространения укрепляющего раствора вокруг скважины в зависимости от давления гидроразрыва для супесей, суглинков и песков приведены на рисунке 4.

Определяющим фактором при укреплении грунтов с помощью гидравлического разрыва является глубина их залегания. Условно по глубине можно выделить следующие интервалы закрепления грунтов:

I. Интервал 2,0–3,0 м: давление гидроразрыва не позволяет создать радиус распространения укрепляющего раствора более 0,2 м; требуется дополнительно сооружение пригруза; преобладают вертикальные трещины гидроразрыва.

II. Интервал 3,0–7,0 м: радиус распространения тампонажного раствора не бо-

лее 0,3–0,4 м; рекомендуется использование пригруза на поверхности.

III. Интервал 7,0–15,0 м: радиус распространения раствора до 0,7 м.

IV. Интервал свыше 15,0 м: радиус распространения раствора может быть свыше 0,7 м.

Для I и II интервалов закрепления преобладающими являются вертикальные трещины гидроразрыва, которые образуют с помощью таких герметизирующих устройств, как: обсадные колонны, забивные инъекторы, перфорированные манжетные трубы, шелевые инъекторы. Для III и IV интервалов образование направленных трещин гидроразрыва зависит от типа применяемого герметизирующего устройства. Для создания вертикальных трещин используются перфорированные манжетные колонны, а для создания

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

горизонтальных трещин — гладкоствольные колонны по беспакерной технологии.

Анализ выполненных ранее работ по напорной технологии с гидроразрывом

грунта позволяет рассчитать количество трещин гидроразрыва, их распределение по глубинам закрепления при использовании беспакерной технологии.

Таблица 3

Данные параметров гидроразрыва

№ п.п.	Тип раствора	Плотность раствора, кг/м ³	Интервал закрепления, м	Давление, МПа		Минимальные параметры трещин гидроразрыва, заполненных раствором	
				гидроразрыва	нагнетания	длина, м	толщина, см
1	Песок, супесь						
2	Цементный	1800	2,0–30,0	0,2–4,0	0,5–3,0	0,15–1,8	1,5–3,0
3	Цементный	1500	6,0–30,0	0,3–6,0	0,3–3,0	0,2–1,6	1,0–2,5
4	Цементно-силикатный	1850	6,0–30,0	0,3–5,0	0,1–2,5	0,2–1,5	1,0–2,5
5	Цементно-силикатный	1520	2,0–11,0	0,2–2,0	0,1–1,0	0,2–0,8	0,8–2,0
7	Суглинок						
8	Цементный	1500	6,0–30,0	0,5–6,0	0,3–3,0	0,1–1,0	0,5–1,8
9	Цементно-силикатный	1520	6,0–30,0	0,5–6,0	0,2–5,5	0,3–0,85	0,5–1,7
10	Глиноцементный	1310	4,0–16,0	0,5–0,5	0,2–5,0	0,5–1,2	0,3–2,0
11	Суглинок лессовидный						
12	Цементный	1500	8,0–25,0	0,5–4,0	0,2–0,5	0,1–1,1	0,5–2,5
13	Цементно-силикатный	1520	8,0–25,0	0,5–4,0	0,25–0,5	0,05–1,1	0,5–2,3

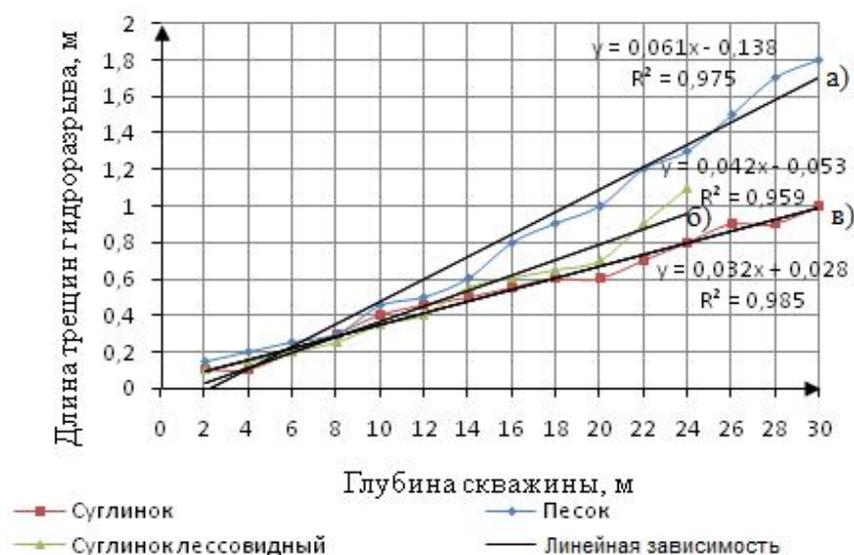


Рисунок 3 Характер распространения искусственных трещин при гидроразрыве для различных типов грунтов: а) песок; б) суглинок; в) суглинок лессовидный

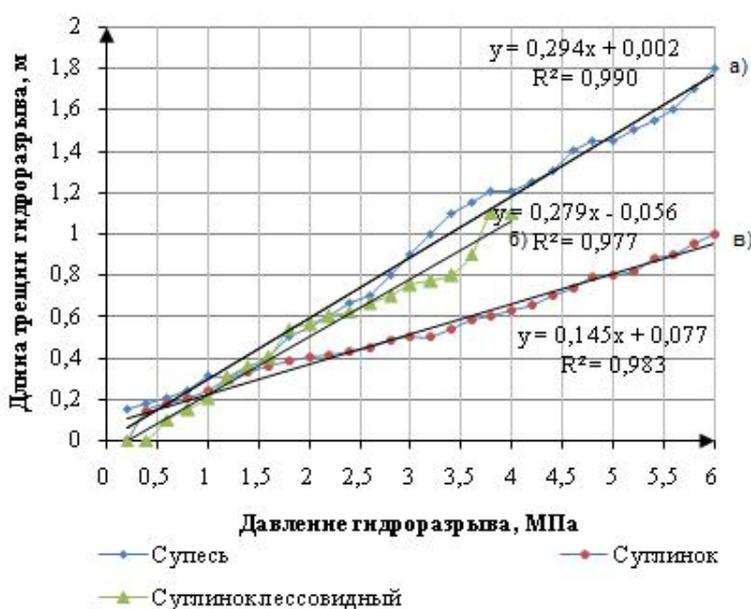


Рисунок 4 Величины зависимостей распространения инъекционного раствора вокруг скважины в зависимости от давления гидроразрыва для грунтов: а) супесь; б) суглинок лессовидный; в) суглинок

Усредненное снижение коэффициентов пористости грунта в процессе укрепления массива составит от 1 до 8 %, что соответствует равномерному распределению в массиве трещин с раскрытием 0,01 м в количестве не менее 6–8 штук на 1 пог. м закрепляемого грунта.

Применение гладкоствольной колонны в беспакерной технологии инъектирования позволяет при оборудовании забойной колонки дополнительной насадкой (или насадками) прорезать направленные вертикальные щели для создания искусственных трещин. При подъеме колонны на заданную высоту (0,1–0,2 м) происходит процесс резки вертикальных щелей (рис. 5).

В зависимости от мощности залегания различных слоев, можно гарантированно производить гидроразрыв буферной жидкостью (промывочная жидкость или вода) направленных трещин в массиве с их последующим заполнением укрепляющим раствором [14, 15].

Для создания горизонтальных направленных трещин необходимо выполнить вращение гладкоствольной колонны для образования щели (рис. 6).

Учитывая горнотехнические и горно-геологические факторы, влияющие на образование вертикальных, наклонных и горизонтальных трещин, при проведении работ целесообразно использовать комбинации герметизирующих устройств для напорной инъекции различных типов грунтов с целью создания в них эффективных армоцементных каркасов.

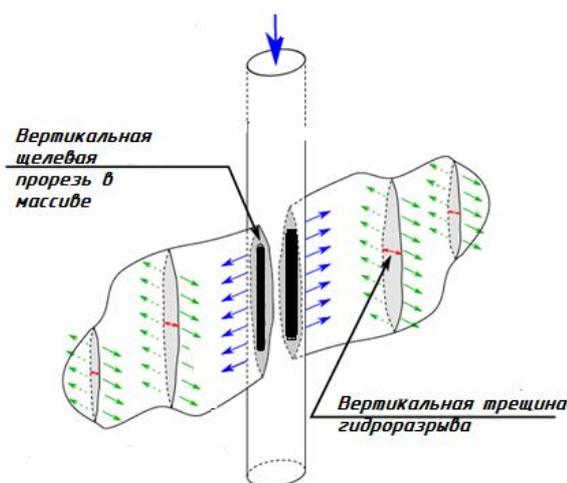


Рисунок 5 Схема резки вертикальных щелей для развития трещин гидроразрыва

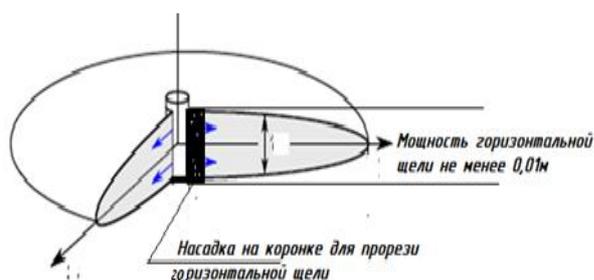


Рисунок 6 Схема формирования горизонтальных трещин разрыва

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Анализ параметров закрепления неустойчивых грунтов показал, что для определенных глубинных зон существует прямая зависимость величин давления гидроразрыва грунтов и величины распространения раствора от глубины залегания закрепляемого грунта, типа грунта и технологической схемы нагнетания.

Библиографический список

1. Сергеев, В. И. Инженерно-геологические основы оптимизации инъекционного закрепления грунтов : дисс. ... д-ра геол.-минер. наук : 04.00.07 / Сергеев Валерий Иванович. — М., 1986. — 398 с.
2. Камбефор, А. Инъекция грунтов. Принципы и методы [Текст] / А. Камбефор. — М. : Энергия, 1970. — 323 с.
3. Максимов, А. П. Тампонаж горных пород [Текст] / А. П. Максимов, В. В. Евтушенко. — М. : Недра, 1978. — 160 с.
4. Лазебник, А. Ю. Обоснование оптимальных технологических параметров тампонажного пакера при высоконапорной инъекции грунтов [Текст] / А. Ю. Лазебник // Проблемы горного давления : международный научный журнал / Институт горного дела и геологии ДонНТУ. — Донецк, 2021. — № 1–2. — С. 180–195.
5. Головки, С. И. Теория и практика усиления грунтовых оснований методом высоконапорной цементации [Текст] / С. И. Головки. — Днепрпетровск : Пороги, 2010. — 247 с.
6. Константинов, С. В. Техника и технология проведения гидравлического разрыва пласта за рубежом [Текст] / С. В. Константинов, В. И. Гусев // Обзорная информация. Сер. : Нефтепромысловое дело. — М. : ВНИИОЭНГ. — 1985. — 60 с.
7. Кугушева, И. В. Обоснование метода и технологии укрепления оснований исторических сооружений (на примере сооружений Свято-Троицкой Сергиевой Лавры) : дисс. ... канд. геол.-минер. наук : 25.00.08 / Кугушева Инна Викторовна. — М., 2016. — 168 с.
8. Полозов, Ю. А. Гидроизоляция и укрепление несвязных грунтов гидротехнических сооружений методом тампонажа [Текст] / Ю. А. Полозов, А. Ю. Лазебник // Сборник научных трудов ДонГТУ. — 2018. — № 11 (54). — С. 22–27.
9. Ибрагимов, М. Н. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов [Текст] / М. Н. Ибрагимов, В. В. Семкин. — М. : Издательство АСВ, 2012. — 256 с.
10. Разработка оборудования для ликвидации негерметичности эксплуатационных колонн нефтяных и газовых скважин. Выбор направлений исследований, теоретические исследования :

2. Наиболее эффективным с точки зрения беспакерной технологии является использование предложенной авторами гладкоствольной колонны с элементами дополнительных насадок на буровом снаряде для зарезки искусственных щелей и стабилизированного раствора в зазоре между гладкоствольной колонной и стенками скважины.

3. На практике целесообразно использование комбинации технологических схем и приемов создания как вертикальных, так и горизонтальных трещин гидроразрыва для создания в массиве армоцементного каркаса.

Направление дальнейших исследований заключается в моделировании процесса взаимодействия тампонажного пакера с массивом при выполнении напорной инъекции в режиме гидроразрыва грунта.

отчет о патентных исследованиях. Этап 1 / Министерство образования и науки РФ ; ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». — Красноярск, 2017. — 73 с.

11. Заключение о контрольном лабораторном исследовании грунтов оснований фундаментов индивидуального жилого дома по ул. Ереванская, 51–53 в г. Днепропетровске после их закрепления. — Днепропетровск : ДнепроГИИИИТИЗ, 2003.

12. Полозов, Ю. А. Укрепление и стабилизация несвязных грунтов под фундаментами зданий и сооружений, находящихся в аварийном состоянии [Текст] / Ю. А. Полозов, А. Ю. Лазебник // Технология и проектирование подземного строительства: вестник ДонНТУ. — Донецк : Норд-Пресс, 2003. — Вып. 3 — С. 53–62.

13. Тампонаж обводненных горных пород [Текст] : справочное пособие / Э. Я. Купко, О. Ю. Лушникова, Ю. А. Полозов и др. — М. : Недра, 1989. — 318 с.

14. Байкин, А. Н. Динамика трещины гидроразрыва пласта в неоднородной пороупругой среде : дисс. ... канд. физ.-мат. наук : 01.02.05 / Байкин Алексей Николаевич. — Н., 2016. — 94 с.

15. Меликбеков, А. С. Теория и практика гидравлического разрыва пласта [Текст] / А. С. Меликбеков. — М. : Недра, 1967. — 141 с.

© Полозов Ю. А.

© Бизянов Е. Е.

© Лазебник А. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. СГ ДонГТИ Литвинским Г. Г., к.т.н., доц., зав. каф. СиГ АФГТ ЛГУ им. В. Даля Савченко И. В.

Статья поступила в редакцию 10.01.2022.

Doctor of Technical Sciences Polozov Yu. A., PhD in Engineering, Doctor of Economics Bizianov E. E. (DonSTI, Alchevsk, LPR, uapolozov@mail.ru), Lazebnik A. Yu. (ADMT of LNU named after V. Dahl, Antracite, LPR)

SOIL STABILIZATION BY FORCING INJECTION USING THE DIRECTIONAL HYDRAULIC FRACTURING TECHNOLOGY

The article contains the results of analytical studies of the building mechanism of mining-induced fractures during the hydraulic fracturing of soils in order to create a reinforcement cage in it to increase the load-bearing capacity. The necessity of regulation and management the process of formation of mining-induced fractures in stabilized soils is scientifically justified. The technological methods of the fracture formation process are studied and the technology of packer-free well fastening is justified at pumping grouting mortar to perform hydraulic fracturing, by using a “grouting packer” as a stabilized grouting mortar in the gap between the well walls and the drill pipe column. The dependences of hydraulic fracturing crack sizes on injection well parameters, soil types and hydraulic fracturing pressure are determined.

Key words: soils, injection, hydraulic fracturing, “grouting packer”, cement mixture.