

УДК 622.24:323

*А.С. Беляев***НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО СПОСОБА  
БУРЕНИЯ СКВАЖИН ПРИ ИНЖЕНЕРНО-  
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ**

Семинар № 10

**О**сновной задачей инженерно-геологических изысканий является получение информации о комплексе природных (в первую очередь – геологических) условий, необходимой для разработки конструкции строящегося объекта и методов его возведения.

Под геологической средой, по Е.М. Сергееву, понимаются любые горные породы и почвы, слагающие «верхнюю часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная система, находящаяся в под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, в результате чего происходят изменения природных геологических процессов и возникновение новых антропогенных процессов, что, в свою очередь, вызывает изменение инженерно-геологических условий определенных территорий». Исходя из этого Е.М. Сергеев определяет инженерную геологию как науку «о геологической среде; ее рациональном использовании и охране в связи с возможностью возникновения вредных для человека геологических процессов» [8].

Проектированию любого сооружения предшествует проведение инженерно-геологических работ различного содержания, зависящих от сложности проектируемого сооружения, стадии проектирования, природных условий и ряда других факторов. Обычно эти работы называют, инженерно-геологическими

изысканиями. Оснащенность инженерно-геологических работ новой техникой постоянно растет. Широко применяются опытные и геофизические исследования, прогрессивные методы бурения, совершенствуются техника и методика лабораторных исследований [9].

Современные строительные объекты в подавляющем большинстве реализуются путём возведения монолитных железобетонных конструкций. Требования, предъявляемые к строительным объектам, вызывают необходимость детального изучения не только территории проведения работ, но и контроля качественных показателей строительного материала на всех этапах проведения работ. Исследование свойств горных пород, на которых ведётся строительство, а также свойств возводимой или эксплуатируемой монолитной конструкции осуществляется путём изучения керна полученного бурением изыскательских скважин. Кроме того, прокладка различного рода коммуникационных сетей, вентиляции, водопровода и т.п., монтаж промышленного и технологического оборудования также осуществляется бурением перекрытий возведённой конструкции.

Наиболее рациональным и распространённым является бурение скважин различного диаметра в естественных породах и толще железобетона.

Постоянно развивающийся технический прогресс требует совершенствования существующих приёмов работы и разработки новых, в том числе и в области бурения скважин.

#### **Бурение инженерно-геологических скважин «всухую»**

Колонковое бурение «всухую» достаточно широко распространено на изысканиях. Обычно оно ведётся укороченными рейсами (длина рейса не превышает 0,8–1,5 м). Параметры режима бурения устанавливают следующие: частота вращения инструмента 80–150 об/мин, осевая нагрузка на забой не более 3–6 кН (в зависимости от диаметра бурения).

Заклинивание керна проводят затиркой, для чего необходимо последние 0,05–0,1 м рейса пройти с повышенной осевой нагрузкой на забой. Бурение «всухую» целесообразно использовать только при проходке обводнённых грунтов I – III категорий по буримости. Механическая скорость колонкового бурения «всухую» в зависимости от грунтов колеблется от 0,05 до 0,5 м/мин, производительность обычно не превышает 20 м/смену. Для получения качественного керна величину рейса следует устанавливать в пределах 0,5–0,7 м. В слабых грунтах бурить рекомендуется обуривающими грунтоносами. При бурении плотных слабообводнённых глинистых грунтов допускается подливать в скважину небольшое количество воды [7].

При проведении изыскательских работ в индустриальном строительстве всухую бурят скважины в неармированном бетоне с невысокими марками прочности. Для этого обычно применяют строительный пылесос, создавая обратную циркуляцию очистного агента – воздух. Однако применение данного способа проведения технических (изыскательских) скважин на объектах работ

вызывает повышенную запылённость, поэтому необходимо использовать дополнительные средства для пылеподавления.

Таким образом, бурение «всухую» позволяет проводить изыскания без применения больших объёмов промывочных агентов. Однако наряду с этим неоспоримым преимуществом применение данного способа ограничено условиями бурения описанными выше.

#### **Бурение инженерно-геологических скважин с промывкой**

Колонковое бурение – один из наиболее широко распространённых способов проходки инженерно-геологических скважин. Осуществляется алмазным, твердосплавным породоразрушающим инструментом и коронками армированными резцами из кубического нитрида бора.

При бурении с промывкой водой или глинистым раствором основными факторами технологического режима бурения являются осевая нагрузка, частота вращения инструмента, количество подаваемого промывочного агента, которые определяют величину рейса.

Количество подаваемой в скважину жидкости должно быть достаточным для эффективного выноса продуктов разрушения с забоя и достаточного охлаждения алмазного инструмента. Практически при бурении с промывкой расход жидкости следует определять из расчета 10–20 л/мин на 1 см диаметра коронки или исходя из скорости восходящего потока не менее 0,5 м/с. Чем больше плотность применяемого глинистого раствора, тем меньше может быть его расход.

При бурении инженерно-геологических скважин используют как техническую воду, так и глинистый раствор. Расход промывочного агента (воды или глинистого раствора) при твердосплавном колонковом бурении варьируется в

пределах 20 – 240 л/мин, в зависимости от условий бурения и типа коронки  $d = 36 - 151$  мм. При алмазном бурении от 10 – 100 л/мин коронками  $d = 36 - 76$  мм.

Рыхлые и слабосцементированные породы на изысканиях бурить с промывкой не представляется возможным, т.к. происходит размыв отбираемого керна. В связи с этим необходимо использовать двойные колонковые трубы с затиркой керна всухую. Однако даже применение двойных колонковых труб целостность керна не гарантирует [7].

В разведочном бурении применяются десятки различных типов промывочных жидкостей, состав которых определяется геолого-техническими условиями бурения скважин, технологическими требованиями к их свойствам с целью повышения эффективности бурения и требованиями к охране окружающей среды.

*Вода* широко применяется при бурении устойчивых кристаллических пород и бетона, она обладает хорошей подвижностью и охлаждающей способностью, понижает прочность горных пород.

*Глинистые растворы* применяются при бурении осадочных малосвязных пород, а также при проходке раздробленных и сильно трещиноватых пород. В основном они используются при твердосплавном бурении и бурении скважин сплошным забоем [2]. Это связано с недостаточным охлаждением глинистым раствором алмазного породоразрушающего инструмента. В настоящее время ведутся работы по созданию рецептур универсальных буровых растворов, в том числе для алмазного бурения с повышенным отводом тепла от породоразрушающего инструмента. Так в СПГГИ(ТУ) при участии автора была

разработана и запатентована рецептура бурового раствора [14] позволяющего повысить эффективность охлаждения бурового инструмента и, как следствие, повысить его износостойкость, увеличивая скорость бурения и снижая затраты на буровые работы.

При бурении инженерных (изыскательских) скважин в бетоне и железобетоне в качестве очистного агента в основном используется техническая вода.

Использование воды в качестве промывочного агента требует наличия значительных её объёмов в непосредственной близости от объектов работ, что не всегда реализуемо на крупных объектах и в высотных зданиях без дополнительных устройств (транспорт для воды, насос и др.). В зимний период проведения работ возникают сложности с обледенением рабочего места, вызывающего разупрочнение бетонных конструкций (рис. 1). Кроме того, применение воды и глинистых растворов вызывает загрязнение рабочего места, оборудования, создаёт неблагоприятные условия для персонала и зачастую нерационально с экономической точки зрения. Проблему с загрязнением решают также с помощью дополнительных технических приспособлений, таких как строительный пылесос, прижимное водосборное кольцо, оклейка полиэтиленом возможного места загрязнения (рис. 2) и многое другое.

В результате для обеспечения санитарных условий на рабочем месте необходимо иметь помимо буровой установки целый ряд дополнительных технических приспособлений, что вызывает неоправданно высокие энергозатраты и усложнение производства работ. Таким образом при бурении



*Рис. 1. Обледенение конструкции при бурении технической скважины в железобетоне*



*Рис. 2. Бурение технической скважины в железобетоне для прокладки коммуникаций*

чивающие свободный выход воздуха из-под торца.

Диаметр бурильных труб следует брать таким, чтобы отношение площадей сечений кольцевого пространства скважины и канала в бурильных трубах приближалось к единице.

Необходимо избегать ступенчатого ствола скважины, так как в местах его расширения уменьшается скорость восходящего потока и накапливается шлам. Скорость восходящего потока воздуха в кольцевом зазоре между стенками скважины и бурильной колонной должна обеспечивать эффективный вынос шлама и быть в пределах 8–12 м/с. Осевая нагрузка на породоразрушающий инструмент примерно та же что и при бурении с промывкой. Частоту вращения

инженерно-изыскательских скважин, использование воды и глинистых растворов не является оптимальным способом очистки забоя.

#### **Бурение с очисткой забоя сжатым воздухом**

При бурении песчаных, глинистых, полускальных и мерзлых пород (I – IV категории) с очисткой забоя сжатым воздухом следует использовать ребристые твердосплавные коронки, обеспе-

чения снаряда в зависимости от диаметра буримой скважины поддерживают в пределах 120 – 280 об/мин.

Для бурения инженерно-изыскательских скважин с продувкой применяются передвижные компрессоры с подачей воздуха до 10 м<sup>3</sup>/мин и давлением до 0,8 – 1 МПа.

Бурение инженерно-геологических скважин с продувкой особое развитие получило в УралГИСИЗе. Здесь ряд самоходных буровых установок оборудо-

ван малогабаритными компрессорами с воздушным охлаждением типа К-7В с подачей 0,58 м<sup>3</sup>/мин и давлением 0,8 МПа. Давление, развиваемое этими компрессорами, и количество подаваемого воздуха вполне достаточны для очистки забоя от шлама и охлаждения породоразрушающего инструмента при бурении в крепких породах [7].

Применение сжатого воздуха в бурении позволяет достичь высоких технико-экономических показателей благодаря специфическим свойствам газообразного агента.

Воздух (газ) обладает низкой плотностью, малой вязкостью и легко сжимается, что обеспечивает высокие скорости восходящего потока при сильной его турбулентности. В результате этого происходит полная очистка забоя от шлама. Хорошее охлаждение породоразрушающего инструмента, отсутствие гидростатического давления повышают эффективность разрушения горной породы. Воздух не загрязняет продуктивные горизонты, улучшается качество опробования.

Бурение с воздухом целесообразно использовать в следующих условиях:

1. при бурении по трещиноватым и закарстованным породам в условиях потерь циркуляции промывочной жидкости с целью снижения затрат на борьбу с поглощениями;
2. в безводных, пустынных и высокогорных районах, где затруднено водоснабжение;
3. в районах вечной мерзлоты с целью снижения осложнений, связанных с замерзанием промывочной жидкости;
4. в породах, взаимодействующих с водой и теряющих свою устойчивость;
5. при бурении скважин на воду с целью лучшей отбивки продуктивного горизонта и его освоения.

Успех бурения с продувкой воздухом зависит от рабочих параметров компрессора (давления, расхода воздуха), компоновки бурового снаряда и схемы обвязки поверхностного оборудования. Для бурения скважин с продувкой используется серийное буровое оборудование: станки и установки, породоразрушающий инструмент.

Принципиальное отличие заключается в устройстве выходной линии на поверхность и герметизации устья скважины. Породоразрушающий инструмент должен обеспечить свободный проход воздуха на забой. Поэтому предпочтительно использовать твердосплавные коронки с повышенным выпуском резцов и с увеличенной площадью промывочных каналов.

Переход с промывки на продувку не вызывает существенных изменений параметров режима бурения. Особое внимание уделяется расходу воздуха и его давлению в нагнетательной линии. Скорость бурения с продувкой в несколько раз выше, чем при бурении с промывкой. Поэтому на забое образуется много бурового шлама и его своевременно нужно удалять. Скорость бурения зависит от того, насколько своевременно и эффективно осуществляется очистка скважины.

Основной причиной осложнений при бурении с продувкой является поступление воды в скважину.

При водопритоках шлам начинает слипаться, что может привести к зашламованию скважины, образуются сальники, происходят затажки и обрывы инструмента при подъеме. Основная мера борьбы с этими осложнениями – увеличение расхода воздуха, что способствует полному выносу шлама.

При бурении по многолетнемерзлым породам важным фактором становится температура сжатого воздуха. Принуди-

тельное охлаждение воздуха от 5 до -10 °С полностью устраняет осложнения, связанные с растеплением стенок скважин и с их обвалами в процессе бурения. [2] Однако охлаждение сжатого воздуха требует использования дополнительного оборудования.

Бурение с воздухом имеет и ряд недостатков:

1. требуются дополнительные затраты для установки пылеулавливающих устройств;

2. при изыскательских работах в индустриальном строительстве использование сжатого воздуха в качестве очистного агента при бурении бетона и железобетона требует специального разрешения на проведение работ;

3. значительный вес и габаритные параметры компрессорного оборудования вызывают затруднения при проведении работ в труднодоступных районах;

4. затруднено бурение в обводненных, несвязных, сыпучих, а также липких пластичных породах.

#### **Бурение с очисткой забоя пеной**

Использование пены при проведении инженерно-геологических изысканий сведено к минимуму в связи с высокими затратами на дополнительное оборудование. Кроме того условия работ в большинстве случаев таковы, что доставка пеноформирующего оборудования к месту работ вызывает значительные затруднения.

Пена – ячеистоплёночная многофазная дисперсная система, образованная множеством пузырьков газа, разделённых тонкими плёнками жидкости. Пузырьки газа могут иметь форму многоугольников. Непрерывной дисперсионной средой в пене служит жидкость, а дисперсной фазой – воздух. Основную часть объёма пены (до 99 %) составляет газообразная фаза.

Области применения различных видов газожидкостных смесей можно разграничить следующим образом.

1. В слабосцементированных и водочувствительных глинистых породах при незначительных водопритоках рекомендуется использовать аэроэмульсии.

2. В поглощающих промывочную жидкость горных породах с интенсивностью поглощения до 5 м<sup>3</sup>/ч рекомендуется применять аэрированные жидкости.

В настоящее время разработаны и применяются ряд технологических схем обвязки устья скважины оборудованием при бурении с пенами, которые применяются при определенных условиях. Создание таких схем направлено на получение хороших технико-экономических показателей при наиболее простой схеме генерации пены и подачи ее в скважину.

Применение газожидкостных систем (ГЖС) для очистки забоя в геологоразведочных работах позволяет улучшить технико-экономические показатели алмазного бурения, что подтверждается исследованиями, проведенными в ВИТ-Ре. [10] Применение ГЖС позволяет:

1. увеличить механическую скорость бурения от 30 % при бурении с отбором керна и до 100 % при бескерновом бурении;

2. увеличить ресурс породоразрушающего инструмента на 30-100 %;

3. увеличить длину рейса на 10-100%;

4. снизить затраты мощности на вращение на 20-40 %;

5. уменьшить расход алмазов на 20-30 %;

6. увеличить производительность бурения на 25-100 %;

Такие показатели обусловлены совокупностью технологических свойств пены, а именно адсорбционному понижению прочности пород и смазочно-

охлаждающей способности, которые, в свою очередь, обуславливают улучшенные триботехнические свойства.

ПАВ позволяют пептизировать и дегидратировать частицы бурового шлама, тем самым снижать их поверхностную энергию и способствовать дальнейшему дроблению, а также препятствованию коагуляции за счёт адсорбции на частицах бурового шлама и микротрещинах горной породы. Таким образом, ПАВ уменьшает количество частиц бурового шлама в зазоре между алмазорежущей поверхностью и породой, снижая при этом затраты на бурение.

Триботехнические свойства пены также определяются энергоёмкостью взаимодействия алмазной коронки и породы. Энергоёмкость в этом случае обусловлена коэффициентом трения. Поэтому для эффективной работы алмазной коронки необходимо его снижение при условии своевременного удаления бурового шлама [10]. Следовательно, для улучшения триботехнических свойств необходимо снижение коэффициента трения путём ввода в пенные системы антифрикционных добавок.

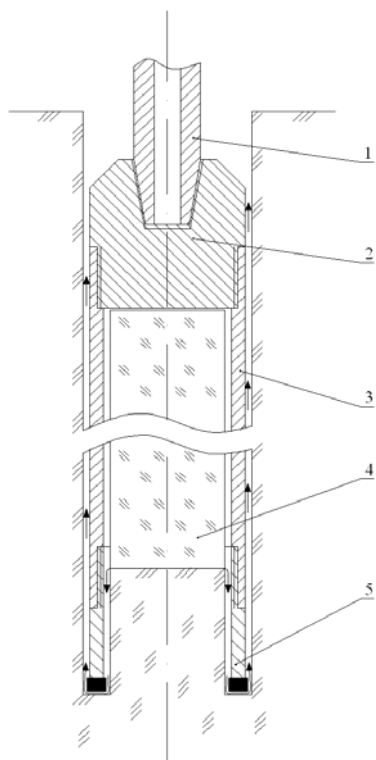
Так применение пены, содержащей ПАВ, не только исключает запылённость рабочего места, но и даёт возможность снизить энергоёмкость на 20-25 %, интенсивность износа алмазо-режущего слоя на 12-15 % [1]. Исследования, проведённые ВИТРОм, показали, что с применением ПАВ в раствор коэффициент трения алмаза о породу почти в 2 раза ниже, чем в водной среде. При добавках ПАВ в раствор коэффициент трения металла о породу также уменьшается более чем в два раза. Применение пены образованной ПАВ позволило в среднем увеличить проходку на коронку на 17 %, снизить удельный расход алмазов на 13,4 % и увеличить среднюю производительность на 15 % [6]. В СПГИ(ТУ) при участии автора была разработана и запатентована рецептура

пенообразующего состава (Патент РФ № 2268283 по заявке № 2004127601/03 от 14.09.2004), позволяющего снизить коэффициент трения бурового инструмента по сравнению с известными аналогами более чем в два раза, тем самым существенно снизить энергозатраты на бурение.

Стабильные пены условно можно представить как гетерогенные системы, в которых геометрические и физические свойства повторяются в пространстве в течение определённого времени их существования. При этом теплоёмкость газового компонента значительно ниже жидкостного. Это позволило предположить, что теплоёмкость пены определяется её составом и подчиняется правилу аддитивности. В работе [5] показано, что теплоёмкость пенных систем рассчитывается суммированием теплоёмкостей ингредиентов пропорционально их содержанию в рассматриваемой многофазной гетерогенной системе.

Выбор расходов компонентов пены должен обеспечивать с одной стороны нормальный температурный режим работы алмазных коронок, а с другой не приводить к чрезмерно высоким давлениям нагнетания пены в скважину.

Установлено, что высокие смазывающие и демпфирующие свойства пены обеспечивают снижение самозаклинивания керны, увеличивают углубку за рейс и выход керны по сравнению с промывкой водой. Решающее влияние на выход керны оказывают выбор и поддержание расходов пенообразующего раствора и сжатого воздуха, давление нагнетания пены в скважине в оптимальных пределах. Однако, наряду с перечисленными преимуществами, данная технология имеет свой существенный недостаток, обусловленный низкой теплоёмкостью и теплопроводностью предлагаемого очистного агента. В различных источниках [3, 4, 6, 11, 12, 13] опубликованы ре-



**Рис. 3. Принципиальная схема бурения инженерно-геологических скважин с использованием твёрдой углекислоты:** 1 – бурильная штанга; 2 – переходник; 3 – колонковая труба; 4 – блок твёрдой углекислоты; 5 – буровая коронка

зультаты бурения алмазными коронками с использованием пены, в которых приводятся данные частых прижёгов инструмента. Применение пены при геологоразведочных работах также осложнено необходимостью использования компрессора.

#### **Применение твёрдой углекислоты для снижения температуры на забое**

При бурении промывочный агент должен обладать хорошими тепло-

отводящими свойствами в сочетании с эффективной очисткой забоя. Существующие способы очистки забоя вполне справляются с удалением шлама, однако низкотеплоёмкие очистные агенты (пена, воздух) недостаточно хорошо охлаждают породоразрушающий инструмент, что приводит к его повышенному износу. Использование других, известных очистных

агентов (вода, буровой раствор и другие) вызывают повышенные затраты на транспортировку, хранение и использование при проведении инженерно-геологических изысканий. В связи с этим представляет несомненный интерес разработка способа очистки и поддержания оптимального теплового режима на забое скважины с использованием углекислоты в твёрдом состоянии при бурении инженерно-геологических скважин с очисткой забоя сжатым воздухом.

Учитывая сравнительно малую глубину скважин при изыскательских работах, использование лёгкого, портативного оборудования, что особенно важно в условиях труднодоступных районов и бездорожья представляет большой интерес разработка способа бурения без применения обычных очистных агентов, это позволяет отказаться от использования тяжёлого оборудования насосов, компрессоров, пеногенераторов и т.п.

Предложенный способ бурения (заявка на изобретение № 2006123 172/03(025145) от 29.06.06) должен обеспечить интенсивное охлаждение породоразрушающего инструмента, тем самым увеличить его износостойкость. А испаряющаяся углекислота в процессе бурения осуществляет вынос шлама из под торца коронки. Такой способ бурения, с использованием шнековых колонковых снарядов, в условиях малых глубин изыскательских скважин и достаточно крупногабаритного оборудования для использования известных очистных агентов (насосы, компрессоры, пеногенераторы, устройства для разрушения пены и др.), представляет значительный интерес, особенно за счёт своей экологичности. Кроме того, использование твёрдой



углекислоты при бурении рыхлых и слабосцементированных пород способствует повышению сохранности керна за счёт его частичного промораживания.

Для реализации предлагаемого способа бурения инженерно-геологических скважин с использованием твёрдой углекислоты необходимо решить следующие задачи:

- Анализ теплофизических свойств твёрдой углекислоты, как очистного и охлаждающего агента;

- Обоснование методики применения твёрдой углекислоты при бурении инженерно-геологических скважин;

- Разработка технических средств для бурения скважин с использованием твёрдой углекислоты при проведении инженерно-геологических изысканий.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Жадановский Б.В.* Технология алмазной механической обработки строительных материалов и конструкций // М.: Стройиздат, 2004 г. – 175 с.
2. *Калинин А.Г.* Разведочное бурение / Калинин А.Г., Ошкордин О.В., Питерский В.М. // М.: Недра, 2000 г.
3. *Кирсанов А.И.* Пены и их использование в бурении / Кирсанов А.И., Крылов Г.А., Нефедов В.П. // М. ВИЭМС, 1980 г.
4. *Коваленко В.И.* Бурение скважин с промывкой пеной / Коваленко В.И., Климов В.Я., Яковлев А.А. // М.: ВИЭМС, 1986 г.
5. *Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М.* Бурение скважин в мерзлых породах. – М., Недра, 1983.
6. *Макаров Л.Н.* Применение ПАВ при алмазном бурении // М.: ВИЭМС, 1971.
7. *Ребрик Б.М.* Бурение инженерно-геологических скважин : Справочник. // М.: Недра, 1990.
8. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология – наука о геологической среде // Инженерная геология, №1, с. 3-19, 1979.
9. *Солодухин М.А.* Инженерно-геологические изыскания для промышленного и гражданского строительства // М.: Недра, 1985.
10. *Соловьёв Н.В.* Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях / Соловьёв Н.В., Чихоткин В.Ф., Богданов Р.К., Загора А.П. // М.: ОАО "ВНИИО-ЭНГ", 1997.
11. *Слюсарев Н.И.* Технология и техника бурения геологоразведочных скважин с промывкой пеной / Слюсарев Н.И., Козловский А.Е., Лоскутов Ю.Н. // СПб.: Недра, 1996.
12. *Яковлев А.А.* Совершенствование технологии алмазного бурения с очисткой скважин пеной / Козлов А.В. // М.: 1989
13. *Яковлев А.М.* Бурение скважин с пеной на твёрдые полезные ископаемые / Яковлев А.М., Коваленко В.И. // Л.: Недра, 1987 г.; Яковлев А.А.
14. *Буровой* раствор: Патент РФ № 2276179 приоритет изобретения 06.12.2004 / Толстуннов С.А., Мозер С.П., Беляев А.С. **ПАВ**

#### Коротко об авторах

*Беляев А.С.* – Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 10 симпозиума «Неделя горняка-2007».

Рецензент д-р техн. наук, проф. *Е.А. Ельчанинов.*