

Скоростное бурение технических скважин*

В горнодобывающей промышленности и подземном строительстве технические скважины используются для вскрытия и подготовки шахтного поля, для водоотлива, прокладки кабелей, спуска закладочных материалов, вентиляции, газоотвода, захоронения токсичных и радиоактивных промышленных отходов и т. д.

В мировой практике существуют разные типы установок для сооружения технических скважин диаметром от 500 мм до 1 м, которые по способам бурения можно разделить на установки:

с роторным приводом и обратной промывкой скважины (эрлиф-том);

реактивно-турбинного бурения (РТБ).

Установки первого типа (производятся в Китае, США, Австралии) применяют при бурении пород мягких и средних категорий. Они эффективны, если глубины бурения незначительны (до 500 м) и имеют тенденцию интенсивного набора кривизны, что ограничивает область их применения.

Установки РТБ можно использовать при бурении пород разной крепости. В то же время из-за большой потребляемой мощности и сравнительно низких темпов проходки, повышенного износа породоразрушающего инструмента они малоэффективны. Эти установки были распространены в СССР, однако сейчас почти не применяются по указанным причинам.

В работе шахт нередко возникают проблемы, связанные с протяженностью технологических

и инженерных коммуникаций, недостаточной пропускной способностью или необходимостью их оптимизации. Например, при ведении горных работ в шахтоуправлении «Покровское» (крупнейшая шахта в СНГ, разрабатывающая пласт d_4 , годовая добыча до 10 млн т) возникла ситуация, когда горнопроходческие работы сдерживались из-за необходимости увеличения подачи сжатого воздуха, мощности водоотлива через ствол с насыщенной системой трубопроводов, а также доставки бетона в зону ведения работ.

Таким образом, перед буровым подразделением компании «Донецксталь» стояла задача найти оптимальное решение при сооружении скважин большого диаметра, чтобы обеспечить: высокие темпы бурения; вертикальность скважин; эффективность способов разрушения пород и возможность очистки забоя скважины.

Специалисты инженерно-технических служб компании шахтоуправления «Покровское» предложили использовать в данной ситуации скважины, пробуренные с поверхности, на территории промплощадки.

Расчеты показали, что сооружение этих скважин вместо прокладки дополнительных трубопроводов значительной протяженности по горным выработкам и по шахтному стволу позволило бы в сжатые сроки, с привлечением гораздо меньших капитальных вложений не только сохранить темпы проходки, но и увеличить их на 15 – 20 %. Особенно существенный



О. Д. КОЖУШОК,
канд. техн. наук
(Компания «Донецксталь»)



В. А. ТУРЧИН,
инж.
(Компания «Донецксталь»)



В. Л. ШЕВЕЛЕВ,
инж.
(Компания «Донецксталь»)



И. Д. САГАЙДАК,
инж.
(Компания «Донецксталь»)

* Статья продолжает цикл публикаций по сооружению дегазационных скважин, пробуренных с поверхности, скоростным методом (Уголь Украины. – 2013. – № 3 – 9, 11).

ДЕГАЗАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

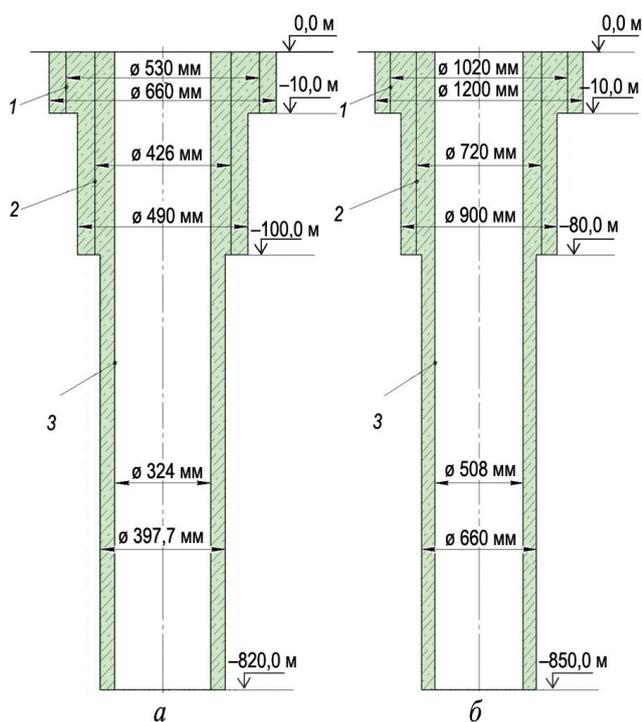


Рис. 1. Конструкции технической (а) и транспортно-дегазационной (б) скважин: 1 – форшахта; 2 – кондуктор; 3 – эксплуатационная колонна.

эффект оказывало решение проблемы подачи бетона к месту его укладки.

Получить значительный прирост скорости бурения, используя традиционные технологии, достаточно сложно. Только внедрение новых технологий и инноваций позволяет увеличить производительность буровых работ не на несколько процентов, а в несколько раз.

Геологические условия бурения скважин

Участок работ расположен в Красноармейском угленосном районе, который в настоящее время является составной частью Красноармейского геолого-

Таблица 1

Категория	Порода	Мощность, м
II	Почвенно-растительный слой, песок	15,0
III	Глины	24,2
IV	Уголь	3,7
V	Аргиллит, алевролит, песчаник	97,8
VI	Алевролит	370,9
VII	Песчаник, известняк	230,5
VIII	Известняк, песчаник	77,9
	Итого	820,0

промышленного района Донбасса. Недра находятся в ведении шахтоуправления «Покровское».

В геологическом строении района буровых работ расположены отложения нижнего отдела карбона: свиты C_1^4 (D) бешевская и C_1^5 (E) амвросиевская, перекрытые четвертичными и неогеновыми отложениями. Четвертичные отложения (общая мощность 18,5 м) представлены желто-бурыми пестрыми глинами, которые перекрыты почвенно-растительным слоем.

Неогеновый горизонт содержит пески новопетровской свиты N_1^{np} , которые залегают непосредственно на поверхности карбона. По литологическому составу пески (мощность до 20 – 24 м) белые, светло-серые, тонко- и мелкозернистые с примесью глинистых частиц, в верхней части слоя сухие, в нижней обводнены и приобретают свойства пльвунов. Толща карбона представлена переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов, известняков и углей. Распределение категорий пород в геологическом разрезе участка работ приведено в табл. 1. Для данной площади характерно северо-западное простирание, северо-восточное падение пород преимущественно под углами 2 – 7°.

Забурка скважин производилась в рыхлых четвертичных и неогеновых отложениях, представленных глинами и обводненными песками с пльвунными свойствами. В этой части разреза до глубины 40 – 45 м ожидалось осыпания и оплывания стенок скважины.

Дальнейшее бурение осуществлялось по породам карбона. Осложнения были связаны с наличием неустойчивых песчаников и известняков, аргиллитов и алевролитов в зоне выветривания, поглощающих песчаников и известняков, близостью действующих выработок, наличием зон газопроявлений.

Конструкция скважины

Принимая во внимание диаметр эксплуатационных колонн технических и газоотводящей скважин, а также геологические особенности разреза предусматривалась конструкция скважин, приведенная на рис. 1.

Бурение технических скважин

Форшахта. В интервале глубин скважины 0 – 11 м бурение осуществляли ковшебуром. Форшахту крепили трубами \varnothing 660 мм и цементировали до устья (марка цемента ПТЦ 1-50, плотность раствора 1,83 г/см³).

Кондуктор. Бурение выполняли долотом \varnothing 490 мм. Кондуктор \varnothing 426 мм опускали до глубины 80 м для надежного перекрытия неустойчивых, склонных к обвалообразованию пород, а также изоляции водоносных горизонтов. Цементировали раствором портландцемента плотностью 1,83 г/см³.

Эксплуатационная колонна. Бурили долотом \varnothing 393,7 мм до глубины 836 м. Эксплуатационную колонну \varnothing 325 мм опустили на всю глубину и зацементировали портландцементом ПТЦ 1-50.

Бурение транспортно-дегазационной скважины

Форшахта. В интервале глубин 0 – 11 м бурили ковшебуром \varnothing 1200 мм. Обсадную трубу \varnothing 1020 мм опускали на всю глубину и цементировали.

Кондуктор. Бурили долотом \varnothing 393,7 мм с последующим расширением до \varnothing 920 мм до глубины 80 м. Обсадную трубу \varnothing 720 мм опустили на всю глубину и зацементировали портландцементом плотностью 1,83 г/см³.

Бурение проводили в три фазы:

№ 1 – бурение «пилот-скважины» \varnothing 393,7 мм с помощью винтового забойного двигателя (ВЗД) в интервале отметок –10,0 м ... –100,0 м с учетом зумпфовой части (20 м) для обеспечения последующего направления;

№ 2 – расширение «пилот-скважины» с \varnothing 393,7 мм шарошечным расширителем \varnothing 660 мм (рис. 2) в интервале отметок –10,0 м ... –80,0 м с помощью верхнего привода;

№ 3 – расширение «пилот-скважины» с \varnothing 393,7 мм шарошечным расширителем \varnothing 920 мм в интервале отметок –80,0 м ... –850,0 м с использованием верхнего привода.

По окончании расширения «пилот-скважины» до указанного интервала кондуктор крепили металлической трубой \varnothing 720 мм в интервале отметок +0,5 м ... –80,0 м с последующей цементацией затрубного пространства (0,0 м ... –80,0 м) раствором плотностью 1,83 г/см³ на основе портландцемента.

Эксплуатационная колонна. Бурение проводилось в две фазы:

№ 1 – бурение «пилот-скважины» \varnothing 393,7 мм в интервале отметок –100,0 м ... –850,0 м с помощью винтового забойного двигателя;

№ 2 – расширение «пилот-скважины» с \varnothing 393,7 мм шарошечным расширителем \varnothing 660 мм (см. рис. 2) в интервале отметок –80,0 м ... –836,0 м с использованием верхнего привода. Схема поэтапного бурения скважины приведена на рис. 3.

После увеличения интервала эксплуатационной колонны были начаты работы по креплению скважины обсадными трубами \varnothing 508 мм. Так как полная масса обсадной колонны \varnothing 508 мм (153 т) превышала грузоподъемность бурового комплекса (136 т), было принято решение крепить скважину двумя секциями (рис. 4).

Первую секцию обсадной колонны длиной 396 м опустили на колонне бурильных труб с помощью специально разработанного прицепного устройства и разгрузили на забой скважины. После цементации затрубного пространства первой секции и ожидания затвердения цемента прицепное устройство отсоединили и подняли на поверхность. Нижний торец второй секции оснастили центрирующим устройством для обеспечения стыковки, секцию опустили



Рис. 2. Долото-расширитель.

и частично разгрузили на стык, затем закачали цементный раствор в затрубное пространство через став в область стыка для его герметизации. После затвердения цемента в области стыка зацементировали вторую секцию до устья. Впоследствии стыковочное устройство разбурили фрезером и номинальный диаметр эксплуатационной колонны в месте стыка был восстановлен.

Анализ технико-экономических показателей сооружения технических скважин для ПАО «Шахтоуправление «Покровское», приведенный в табл. 2, свидетельствует о том, что поэтапное бурение позволяет:

бурить скважины, диаметр которых значительно больше, чем предусмотрено технической характеристикой бурового комплекса;

увеличить механическую скорость бурения скважин по принятой технологии (бурение и расширение) в 2 – 3 раза по сравнению с бурением аналогичных скважин специальными буровыми установками;

снизить затраты на бурение при поэтапном способе с применением ВЗД на 30 % по сравнению с бурением роторным способом.

Тампонажные работы при строительстве скважин

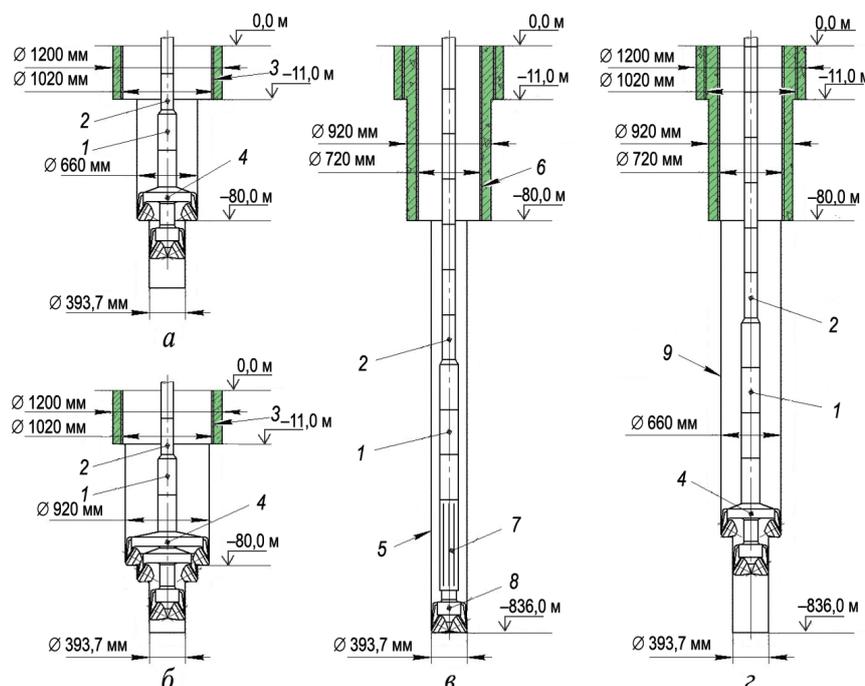
В цикле строительства скважин важная роль отводилась цементации затрубного пространства как

ДЕГАЗАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Таблица 2

Назначение скважины	Параметры скважины			Способ бурения	Режимы бурения			Параметры промывочной жидкости			Механическая скорость бурения, м/ч
	Глубина, м	Диаметр бурения, мм	Диаметр крепления, мм		Осевая нагрузка, кН	Частота вращения, с ⁻¹	Подача промывочной жидкости, л/с	Условная вязкость, с	Водоотдача за 30 мин, см ³	Плотность, г/см ³	
<i>Техническая ДС61 (для подачи сжатого воздуха)</i>											
Форшахта	11	660	530	Ковшебур	20	25	-	-	-	-	8,0
Кондуктор	80	490	426	СВП	20 – 80	60 – 80	20 – 38	19	10	1,04	5,2
Эксплуатационная колонна	820	393,7	325	ВЗД+СВП	40 – 90	90 – 130	48	20	9	1,10	7,13
<i>Техническая ДС62 (водоотливная)</i>											
Кондуктор	63	490	426	СВП	20	60 – 80	40	24	10	1,03	5,25
Эксплуатационная колонна	829	393,7	325	ВЗД+СВП	20 – 80	150 – 180	42 – 45	22	7 – 8	1,08	5,75
<i>Транспортно-дегазационная ДС60 (для выдачи метановоздушной смеси)</i>											
Форшахта	11	1200	1020	Ковшебур	20	25	-	-	-	-	6,0
Кондуктор («пилот-скважина»)	100	381	-	СВП	30 – 100	40 – 60	32 – 40	45	7 – 8	1,10	5,75
Кондуктор: фаза № 1	82	660	-	СВП	70	40 – 45	50	45	7 – 8	1,16	3,64
фаза № 2	80	920	426	СВП	70	40 – 45	50	34	7 – 8	1,15	
Эксплуатационная «пилот-скважина»: фаза № 1	839	393,7	-	ВЗД+СВП	100–200	110–140	47 – 50	22	7 – 8	1,08	7,13
фаза № 2	839	660,0	508	СВП	50–140	30 – 40	47 – 50	22	7 – 8	1,08	2,2

Примечание. СВП – система верхнего привода; ВЗД – винтовой забойный двигатель.



наиболее ответственному этапу. Для цементирования применен тампонажный цемент на основе портланд-цемента марки ПТЦ. Раствор на стадиях загустения и схватывания, а также сформировавшийся цементный камень должны быть непрони-

Рис. 3. Схема пофазного бурения скважины большого диаметра: а – расширение «пилот-скважины» Ø 393,7 мм до Ø 660 мм; б – расширение «пилот-скважины» Ø 660 мм до Ø 920 мм под кондуктор; в – бурение «пилот-скважины» до проектной глубины; г – расширение «пилот-скважины» Ø 393,7 мм до Ø 660 мм под эксплуатационную колонну; 1 – утяжеленная буровая труба; 2 – буровая труба; 3 – устье; 4 – долото-расширитель; 5 – «пилот-скважина»; 6 – кондуктор; 7 – винтовой забойный двигатель; 8 – долото; 9 – ствол скважины, расширенный до проектного диаметра.

цаемы для воды и газа. Кроме того, цементный камень должен быть коррозионно- и термоустойчив, а его контакт с обсадной колонной и стенками скважины не должен нарушаться под действием нагрузок и перепадов давления, возникающих в обсадной колонне при различных технологических операциях.

Состав раствора: вода, портландцемент (В : Ц = 0,5) и ускоритель схватывания – хлористый кальций; плотность $(1,85 \pm 3)$ г/см³. Начало схватывания через 6 ч, окончание – через 12 ч. Для приготовления раствора использовался цементирувочный агрегат (рис. 5) на базе тягача Kenworth (модель Т800), укомплектованного двумя цементирувочными насосами TWS 600S с дизельным приводом. Агрегат входит в состав бурового комплекса.

Приготовление цементного раствора по более современной технологии с использованием инжекторных смесителей позволяет получать раствор непрерывно и заданной плотности. Приготовление и закачка цементного раствора осуществляются с автоматической регистрацией параметров.

Инновации при бурении технических скважин

Буровой комплекс Ultra Single 150 по паспортным характеристикам предназначен для сооружения геологоразведочных и нефтегазовых скважин. Чтобы увеличить рабочий диаметр бурения технических скважин, а также повысить темпы и эффективность сооружения внедрены инновационные решения и технологии, в частности:

- модернизирован буровой комплекс, что позволило увеличить диаметр проходного отверстия и грузоподъемность рабочей площадки;

- применена технология поэтапного бурения, предусматривающая: скоростное бурение фазы № 1 («пилот-скважины») с помощью винтовых забойных двигателей и одновременно системы верхнего привода, это способствовало увеличению крутящего момента и частоты вращения долота до оптимальных значений; бурение фазы № 2 путем расширения «пилот-скважины» специальными расширителями для получения необходимого конечного диаметра;

- использованы высокоструктурированные буровые растворы для эффективной очистки забоя сква-

жины при сравнительно невысоких скоростях восходящего потока;

осуществлено секционное крепление скважины обсадными трубами со специально разработанными и изготовленными прицепным и стыковочным устройствами. Они обеспечили надежный спуск, центрирование и стыковку секций, а правильная цементация затрубного пространства в соответствии с техническими требованиями – полную герметичность стыка.

Выбор типа бурового раствора

Учитывая особенности геологического разреза в интервале отметок бурения, под кондуктор применяли раствор с высоким содержанием глинистой фазы и обработанный высокоэффективными химическими реагентами, который позволил укрепить стенки скважины и имел высокую выносную способность при сравнительно небольших скоростях восходящего потока.

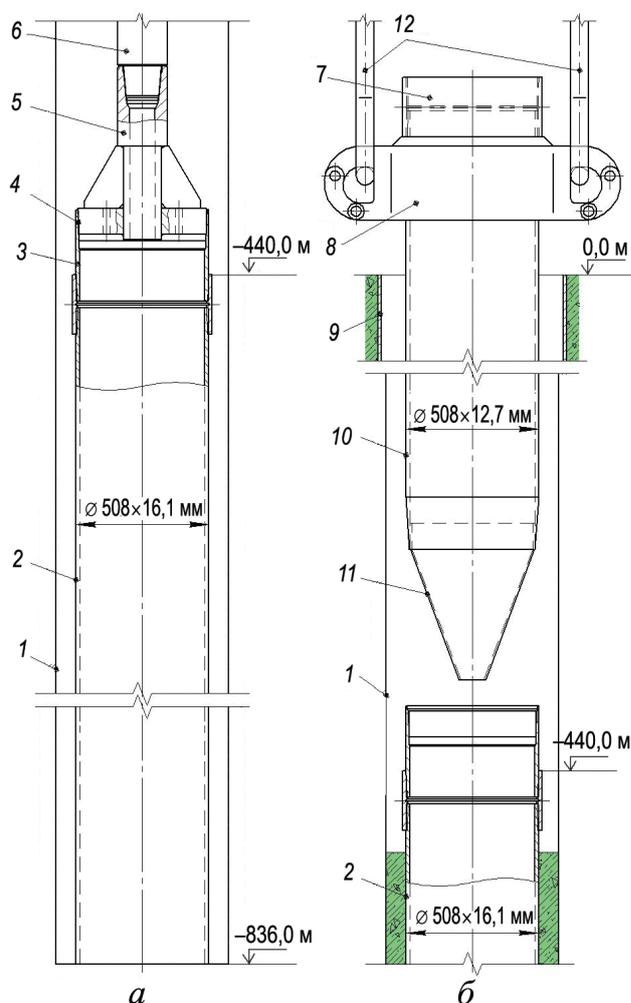


Рис. 4. Схема крепления транспортно-дегазационной скважины: а – спуск первой секции колонны обсадных труб $\varnothing 508 \times 16,1$ мм; б – спуск второй секции колонны обсадных труб $\varnothing 508 \times 12,7$ мм; 1 – ствол скважины; 2 и 10 – I и II секции обсадной колонны; 3 – промежуточная втулка; 4 – резьбовое соединение; 5 – прицепное устройство; 6 – колонна бурильных труб; 7 – муфта; 8 – элеватор; 9 – кондуктор; 11 – стыковочное устройство; 12 – штропа элеватора.



Рис. 5. Цементи́ровочный агрегат.

Для приготовления буровых растворов использовался бентонитовый глинопорошок ПБУ-18 «Normal» производства ПАО «Дашуковские бентониты». В качестве реагентов, улучшающих структурные свойства раствора, применялись 2 – 3 % КМЦ («Polofix») и 0,1 % «Флодрила».

Бурение в интервале отметок скважин под эксплуатационную колонну осуществлялось с буровым раствором, приготовленным на основе раствора, применявшегося при бурении под кондуктор. Для этого высококачественно очистили ранее использованный буровой раствор.

Рабочие параметры бурового раствора: плотность 1,05 – 1,12 г/см³; условная вязкость (по СПВ) 20 – 25 с; содержание песка < 1 %; водоотдача (по ВМ-6) 6 – 8 см³ за 30 мин; статическое напряжение сдвига 1,5 – 4 Па.

Параметры бурового раствора регулировали химическими реагентами, которые придавали необходимые свойства, изменяли вязкость, прочность структуры и водоотдачу. Буровые растворы обрабатывали: карбоксилметилцеллюлозой – для регулирования фильтрационных свойств раствора и улучшения его структуры; каустической содой – для поддержания нужного значения pH раствора; «Флодрилом» – для улучшения структурных свойств раствора

Очистка бурового раствора

Чтобы полностью удалить выбуренную породу из бурового раствора, дегазировать и отрегулировать содержание твердой фазы, а также уменьшить удельный вес бурового раствора, выполняли многоступенчатую очистку. Система очистки бурового раствора, входящая в буровой комплекс, экологически безопасна, поскольку исключает необходимость сооружения отстойников. В состав четырехступенчатой системы очистки входят: два вибросита, батарея из 16 гидроциклонов (пескоотделителей), дегазатор и центрифуга.

Шлам, удаленный из бурового раствора в процессе его очистки, – вязкая обводненная масса, которая складывается в шламовом амбаре. Шламовый амбар сооружается с обязательным устройством гидроизоляции из полиэтиленовой пленки, предотвращающей попадание жидких отходов в грунт. Впоследствии шлам вывозят на породный отвал для утилизации.

Выводы. Разработанная технология бурения технических скважин расширила функциональные возможности бурового комплекса и позволила в 3 раза сократить сроки сооружения скважин по сравнению с другими подрядными буровыми организациями (срок сооружения составил 2,5 мес).

Впервые в практике сооружения технических скважин большого диаметра применена технология фазного бурения с использованием ВЗД и долот-расширителей, которую можно адаптировать и к другим буровым установкам данного класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ильяшов М. А.* Использование винтовых забойных двигателей при бурении дегазационных скважин в Донбассе / М. А. Ильяшов, О. Д. Кожушок, В. А. Турчин [и др.] // *Глука-уф.* – 2012. – № 4. – С. 12 – 14.
2. *Пилипец В. И.* Бурение скважин с поверхности для дегазации угленосных месторождений / В. И. Пилипец, О. Д. Кожушок, В. В. Радченко // *ДонНТУ: учебн. пособие.* – Донецк: Донбасс, 2012. – 280 с.