

## 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 (эрлифтом);

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»)

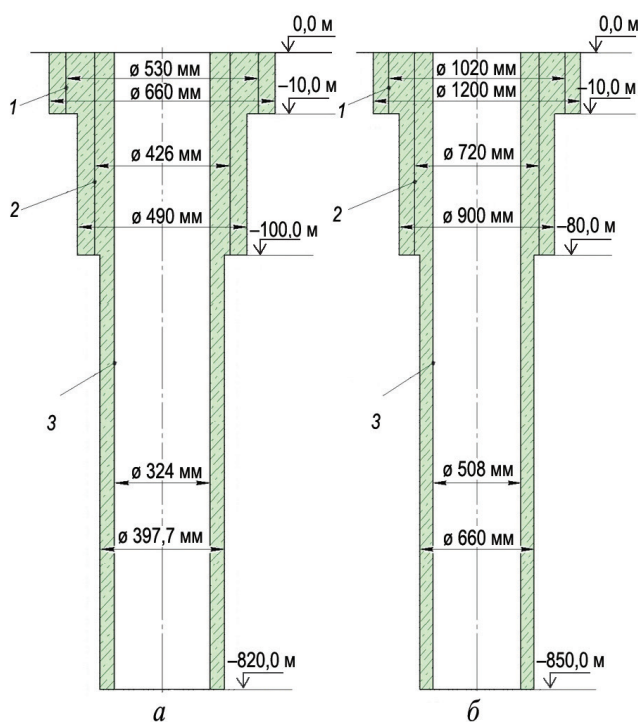


**В. Л. ШЕВЕЛЕВ,**  
инж.  
(Компания «Донецксталь»)



**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).



**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-

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 плавунцов. 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 плавунными 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/см<sup>3</sup>).

**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 портланд-цемента плотностью 1,83 г/см<sup>3</sup>.

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

**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  $1,83 \text{ г/см}^3$ .

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  $1,83 \text{ г/см}^3$  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 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



Рис. 2. Долото-расширитель.

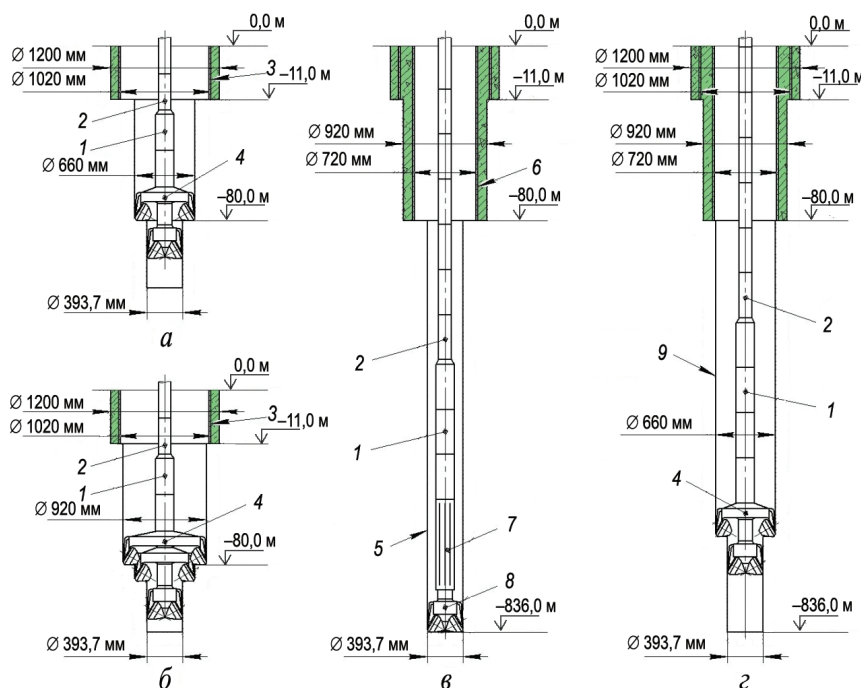


# ДЕГАЗАЦИЯ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

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 <sup>-1</sup>	Подача промывочной жидкости, л/с	Условная вязкость, с	Водоотдача за 30 мин, см <sup>3</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	
Техническая ДС61 (для подачи сжатого воздуха)											
Форшахта	11	660	530	Ковшесбур	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
Техническая ДС62 (водоотливная)											
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
Транспортно-дегазационная ДС60 (для выдачи метановоздушной смеси)											
Форшахта	11	1200	1020	Ковшесбур	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  $(1,85 \pm 3) \text{ г/см}^3$ . Начало схватывания через 6 ч, окончание – через 12 ч. Для приготовления раствора использовался цементируочный агрегат (рис. 5) на базе тягача Kenworth (модель Т800), укомплектованного двумя цементируочными 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;

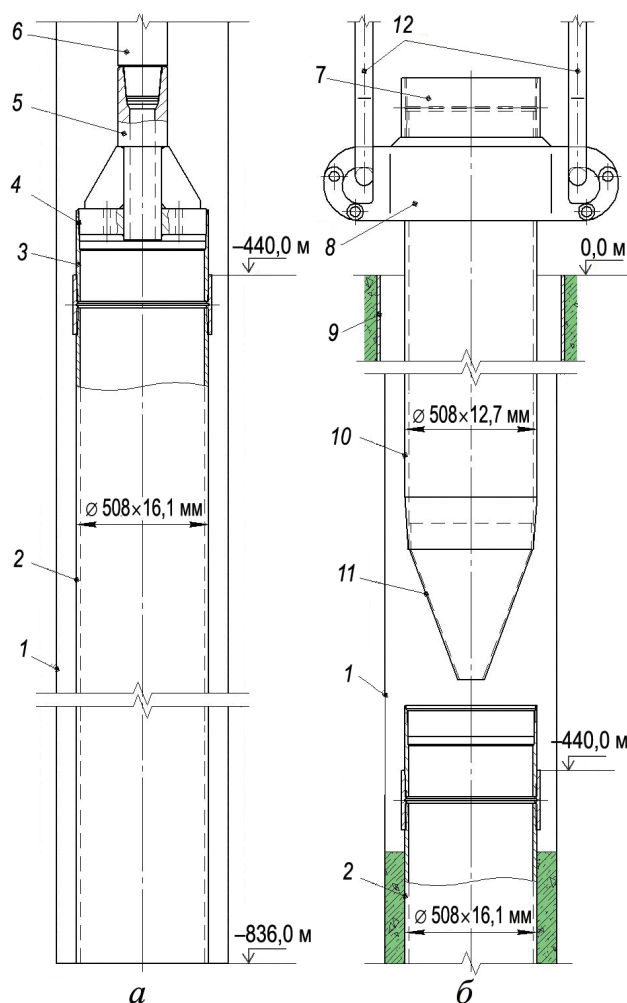
использованы высокоструктурированные буровые растворы для эффективной очистки забоя сква-

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  $\varnothing 508 \times 16,1 \text{ мм}$ ; б – спуск второй секции колонны обсадных труб  $\varnothing 508 \times 12,7 \text{ мм}$ ; 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. Цементирующий 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/см<sup>3</sup>; условная вязкость (по СПВ) 20 – 25 с; содержание песка < 1 %; водоотдача (по ВМ-6) 6 – 8 см<sup>3</sup> 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.] // Глюкауф. – 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.