

В. В. Плохих¹✉, Б. Б. Данилов¹, Д. О. Чещин¹, А. А. Абдуллин¹

Результаты экспериментальных исследований герметизирующих элементов, применяемых при бурении дегазационных скважин с одновременной обсадкой

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: vadim.plohih@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматриваются способы бурения дегазационных скважин с последующей и одновременной обсадкой, их достоинства и недостатки. Выделен способ с одновременной обсадкой, в котором необходимо применение специальной дополнительной оснастки в виде внутреннего герметизирующего элемента, устанавливаемого перед сварочными работами между штангой и внутренней полостью трубы для предотвращения выхода метана. Предложены конструкции герметизирующих элементов из резиновой камеры с защитным экраном и из пеноплекса, выделены их достоинства и недостатки. Приведены результаты расчетов и экспериментальных исследований, в которых определялась возможность подъема элементов из межтрубного пространства в приемное устройство.

Ключевые слова: предварительная дегазация, добыча, метан, одновременная обсадка, скважина, бурение, герметизирующий элемент

V. V. Plokhikh¹✉, B. B. Danilov¹, D. O. Cheshchin¹, A. A. Abdullin¹

Results of experimental studies of sealing elements used in drilling degassing wells with simultaneous casing

¹Chinakal Institute of Mining Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: vadim.plohih@yandex.ru

Abstract. The article discusses methods of drilling degassing wells with subsequent and simultaneous casing, their advantages and disadvantages. A method with simultaneous casing is distinguished, which requires the use of special additional equipment in the form of an internal sealing element installed before welding between the rod and the internal cavity of the pipe to prevent the release of methane. The designs of sealing elements made of a rubber chamber with a protective screen and of penoplex are proposed, and their advantages and disadvantages are highlighted. The results of calculations and experimental studies are given, in which the possibility of lifting elements from the inter-pipe space to the receiving device was determined.

Keywords: preliminary degassing, production, methane, simultaneous casing, well, drilling, sealing element

Введение

В угольной промышленности одним из необходимых условий организации работ является обеспечение безопасной и эффективной добычи угля. Предварительная дегазация угольных пластов играет важную роль в предотвращении вне-

запных выбросов метана, снижении рисков взрывов и улучшения труда персонала в подземных условиях [1]. Применение вертикальных скважин, пробуренных с поверхности в массиве горных пород, представляет собой действенный и современный метод извлечения метана из угольного пласта [2,3].

В настоящее время для сооружения дегазационных скважин с поверхности в АО «СУЭК-Кузбасс» применяются современные самоходные буровые установки Sandvik DE-880 (Швеция) и Prakla RB-50 (Германия), обеспечивающие высокопроизводительное бурение скважин на глубину до 600 метров с конечным диаметром скважины до 180 мм [4,5]. Применение таких установок позволяет реализовать технологию бурения скважин с последующей обсадкой. Достоинством такой технологии является простота. Основным недостатком технологии является необходимость сооружения глубоких скважин с обсадкой телескопическим методом. В этом случае бурение состоит из несколько повторяющихся этапов: бурение скважины, обсадка трубы, цементация забойной части скважины, бурение скважины меньшего диаметра, обсадка и т.д. Это приводит к увеличению металлоемкости и трудоемкости процесса. Вдобавок в неустойчивых слоях существует вероятность обрушения стенок скважины раньше, чем успевают погрузить в устье обсадную трубу. Это влечет за собой проведение дополнительных технологических операций (очистка и повторное погружение обсадной трубы) и как следствие увеличение срока и повышение себестоимости работ.

При наращивании обсадной трубы производят электродуговую сварку стыков. Предварительно перед сварочными работами необходимо обеспечить герметизацию межтрубного пространства между погруженной и обсаживаемой трубой путем заполнения ее раствором из глины, что позволяет предотвратить выход метана в зону сварки (рис.1). Герметизация внутренней полости трубы осуществляется привариванием глухого фланца на ее передний торец.



Рис. 1. Герметизация межтрубного пространства перед сварочными работами

Технология бурения скважин с одновременной обсадкой позволяет обеспечить устойчивость стенок скважины, снизить металлоемкость процесса за счет

применения меньшего количества обсадных труб. Вдобавок время на бурение скважины сокращается за счет того, что операции бурения и обсадки выполняются одновременно. Кроме того, такая технология способствует лучшему сохранению прямолинейности скважины [6,7]. К недостаткам технологии можно отнести необходимость применения специальной дополнительной оснастки.

При такой технологии бурения несколько усложняется проблема герметизации пространства между штангой и внутренней полостью трубы. Это необходимая операция перед началом сварочных работ. После окончания сварки герметизирующий элемент необходимо переместить в приемное устройство, чтобы не закупоривать пространство для выхода разрушенного шлама при бурении [8]. В данной работе решается задача выбора конструкции герметизирующих элементов, определения их конструктивных параметров и проведение экспериментальных исследований процесса подъема герметизатора под действием давления энергоносителя в приемное устройство.

Методы и материалы

В ИГД СО РАН предложен способ бурения с одновременной обсадкой, с применением дополнительной оснастки в виде превентора, который отводит выносимый шлам и является приемным устройством для внутреннего герметизатора. Он же поддерживает обсадную трубу на каретке бурового станка. Так же дополнительной оснасткой является наружный и внутренний герметизаторы, позволяющие герметизировать устье скважины от выхода метана во время сварочных работ (рис. 2).

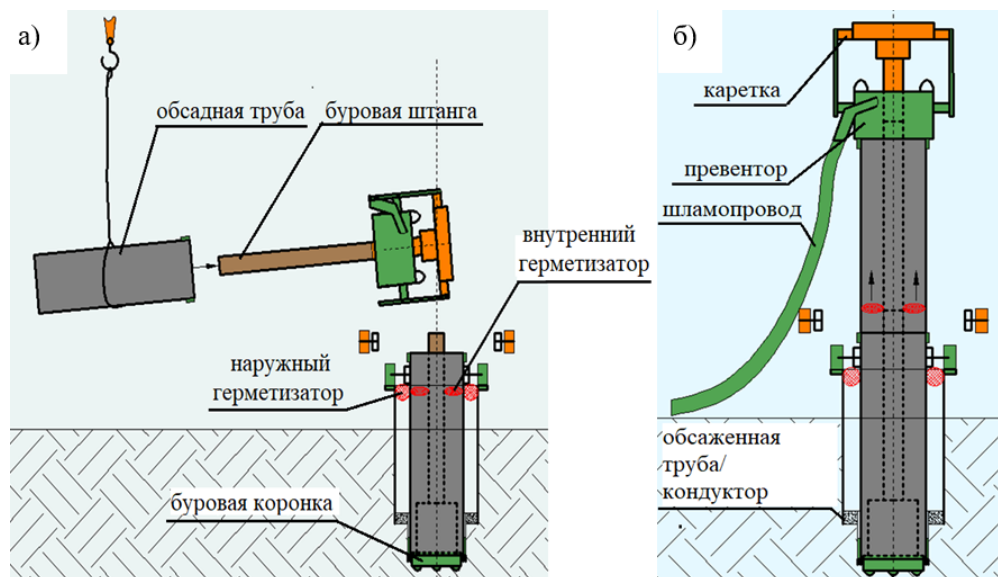


Рис. 2. Установка буровой штанги, обсадной трубы и внутреннего герметизатора (а), бурение скважины и подъем герметизатора (б)

Исходя из опыта проведения буровых работ по дегазации скважин можно сформулировать следующие требования к герметизирующим элементам:

- 1) элемент должен обладать наименьшей массой для облегчения его подъема сжатым воздухом в приемное устройство;
- 2) герметизирующий элемент должен быть многоразового применения;
- 3) элемент должен выдерживать дополнительную нагрузку в виде раствора глины, которая позволяет обеспечить полную герметизацию оставшихся зазоров и защитить элемент от воздействия раскаленных капель металла при сварке;
- 4) после подъема в приемное устройство элемент должен выдерживать абразивное воздействие шлама.

В качестве герметизирующих элементов рассмотрены резиновая камера с защитным экраном от воздействия шлама, а также кольцевой элемент из экструдированного пенополистирола (далее «пеноплекс»), состоящий из 10 отдельных секторов. Герметизирующие элементы представлены на рис. 3.

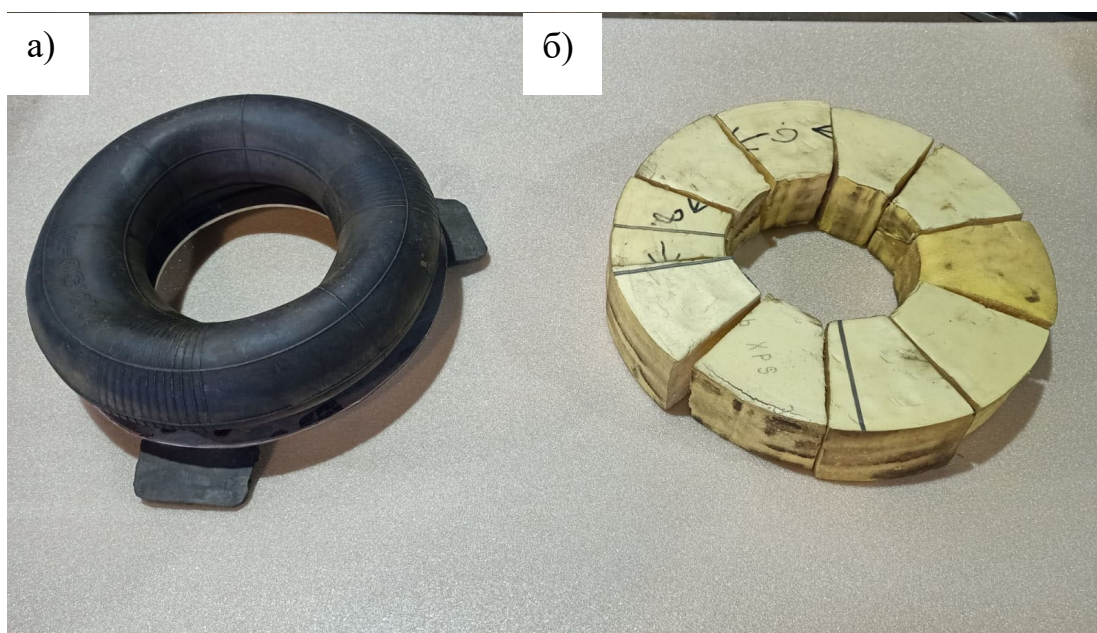


Рис. 3. Герметизирующие элементы, принятые в качестве внутреннего герметизатора: (а) – резиновая камера с защитным экраном, (б) – составной герметизатор из пеноплекса

Конструктивные размеры элементов выбраны таким образом, чтобы они помещались между трубой диаметром 273 мм с толщиной стенки 8 мм и буровой штангой с наружным диаметром 114 мм. Конструктивные параметры, площади сечений зазоров, сила трения $F_{тр}$, возникающая при движении в трубе и дополнительная масса глинистого раствора $m_{г}$, нагружаемая на элементы, площадь сечения герметизатора S , представлены в таблице. Сила трения элемента при его перемещении в трубе определена опытным путем с помощью динамометра. В качестве герметизирующего глинистого раствора принята глина с влажностью 10 % и плотностью 1750 кг/м³ [9].

Конструктивные параметры герметизаторов

Наименование элемента Параметры	Резиновая камера с защитным экраном	Пеноплекс
Наружный диаметр D , м	0,233	0,257
Внутренний диаметр d , м	0,114	0,114
Сила трения $F_{тр}$, Н	40	100
Масса m , кг	0,51	0,006
Площадь сечения герметизатора, на которую действует давление S , м ²	0,0324	0,0042
Масса глинистого раствора m_r , кг	0,74	0,74
Площадь сечений зазоров, м ²	$9,24 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-4}$

Для анализа и оценки процесса подъема герметизирующего элемента необходимо рассмотреть силы, действующие на него и определить минимальное давление сжатого воздуха P , которое необходимо для подъема элемента. Схема действия сил представлена на рис. 4.

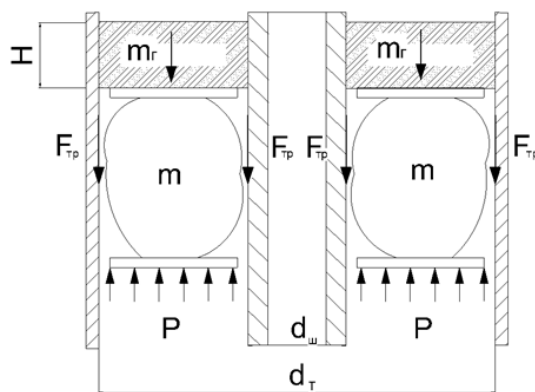


Рис. 4. Схема действия сил во внутреннем герметизаторе m_r – масса глинистого раствора; H – высота герметизатора; m – масса герметизатора; $F_{тр}$ – сила трения, действующая на герметизатор со стороны трубы и штанги; $d_{ш}$ – диаметр штанги; d_t – внутренний диаметр трубы; P – давление воздуха, действующее на герметизатор

Стоит отметить, что для подъема герметизирующего элемента из резины давление воздуха действует на всю площадь сечения S элемента. В то время как, при использовании сборного герметизирующего элемента из пеноплекса за площадь, на которую воздействует давление, следует принять площадь одного сек-

тора. Подъем одного сектора приводит к разрушению всего сборного герметизирующего элемента из секторов и их выходу из межтрубного пространства.

Для подъема герметизатора необходимо, чтобы сила подъема, действующая на него, была больше силы сопротивления, препятствующей его подъему:

$$F_{\text{под}} > F_{\text{сопр}} \quad (1)$$

Сила сопротивления подъему $F_{\text{сопр}}$:

$$F_{\text{сопр}} = F_{\text{тр}} + (m_{\text{г}} + m)g, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$).

Сила подъема элемента $F_{\text{под}}$:

$$F_{\text{под}} = PS, \quad (3)$$

где S – площадь сечения, на которую воздействует давление воздуха P .

Подставляя выражения (2) и (3) в (1) и выражая P , определяем минимальное давление подъема герметизирующего элемента:

$$P > \frac{F_{\text{тр}} + (m_{\text{г}} + m)g}{S}. \quad (4)$$

Для проведения экспериментальных исследований процесса подъема герметизирующего элемента между трубой и штангой создан специальный стенд. Стенд представлен на рис. 5.

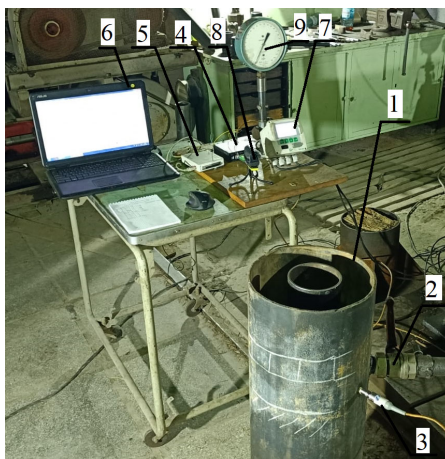


Рис. 5. Стенд для экспериментальных исследований герметизирующих элементов

Стенд представлял собой трубу 1 диаметром 273 мм с установленной в ней трубой диаметром 114 мм. В межтрубное пространство подавался сжатый воздух под давлением 0,1-0,6 МПа по магистральному трубопроводу 2. Для фиксации

нагнетаемого давления под местом установки герметизирующего элемента в трубе установлен датчик давления 3. Сигнал с датчика давления поступал на усилитель 4 и далее на аналого-цифровой преобразователь 5 с последующей обработкой на персональном компьютере 6. Для измерения расхода воздуха применен расходомер 7. Для фиксации вылета герметизирующего элемента из трубы использована видеокамера 8. Для контроля датчика давления использован манометр 9.

Результаты

По результатам расчета из выражения (4) построены графики, отражающие минимальные значения давлений подъема P в зависимости от высоты глинистого раствора h_r на элементе (рис. 6).

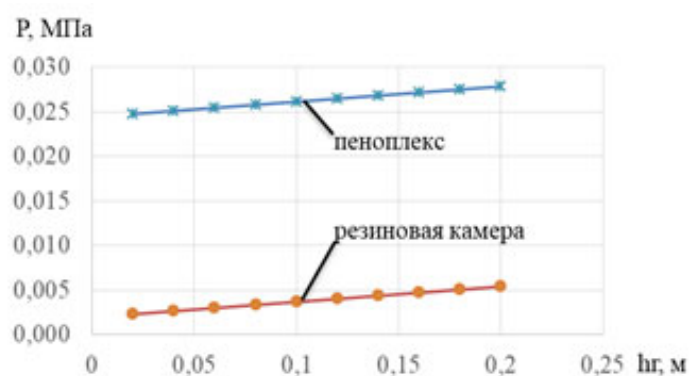


Рис. 6. Графики изменения давления подъема P от высоты глинистого раствора h_r для резиновой камеры и пеноплекса

Из графиков видно, что при увеличении высоты глинистого раствора h_r величина минимального давления подъема P линейно увеличивается. Это связано с тем, что при увеличении высоты h_r увеличивается и масса глинистого раствора на элементе m_r , в связи с этим увеличивается давление подъема необходимое для преодоления силы сопротивления $F_{сопр}$.

Определено, что подъем надутого резинового герметизирующего элемента происходит во всем исследуемом интервале давлений $P=0,1-0,6$ МПа. Однако при перемещении в трубе часто происходит перекося элемента и выход сжатого воздуха через зазор в межтрубном пространстве. Это приводит к падению давления в пространстве под элементом и остановке его подъема. Подъем сдутого элемента не происходил вследствие большого зазора, который не позволял создать необходимый перепад давления при заданном значении расхода воздуха $Q=10$ м³/мин.

Подъем сборного герметизирующего элемента из пеноплекса осуществлялся при всех значениях давлений в интервале $P=0,1-0,6$ МПа. Это связано с возможностью подъема давлением воздуха как минимум одного сектора, что приводило к разрушению элемента и дальнейшему подъему всех оставшихся частей.

Обсуждение

Анализируя полученные результаты можно считать, что применение резиновой камеры с защитным экраном в надутым и сдутым состоянии в качестве герметизирующего элемента является неперспективным. Это связано с тем, что в первом случае в процессе подъема происходит перекося герметизатора и его останковка. При сдутом состоянии герметизатор остается неподвижным в связи с большим зазором в межтрубном пространстве. Так же недостатком резинового герметизатора является то, что для его накачивания воздухом и сдувания необходим вывод дополнительной съемной трубки к ниппелю резиновой камеры. Кроме того, при попадании в превентор он должен задерживаться там и выдерживать износ абразивом в виде шлама без повреждения резиновой камеры.

Подъем одного сектора герметизирующего элемента из пеноплекса приводит к разрушению всего сборного элемента, что гарантированно позволяет выносить его из межтрубного пространства в шламопровод. Для элемента из пеноплекса необходима установка дополнительного улавливающего устройства на выходе из шламопровода, для возможности повторного применения элементов. Достоинством такого решения является возможность изменения размеров секторов, для того чтобы они не задерживались в превенторе, а выносились в шламопровод с улавливающим устройством. Кроме того, в случае потери или износа секторов нетрудно изготовить новые.

Заключение

Проведенный анализ требований для герметизирующих элементов, необходимых для проведения буровых работ по дегазации скважин с одновременной обсадкой, с учетом предложенной дополнительной оснастки, позволил создать новые элементы, для герметизации пространства между трубой и штангой с целью предотвращения выхода метана во время ведения сварочных работ. Результаты проведенной работы позволили определить значения давлений, необходимых для подъема герметизирующих элементов. Анализ достоинств и недостатков рассмотренных конструктивных решений позволяет говорить о том, что применение внутреннего герметизирующего элемента из пеноплекса является перспективным для бурения дегазационных скважин с одновременной обсадкой.

Благодарности

Работа выполнена в рамках х/д СУЭК-КУЗ-23/1882/38-040.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилов Б.Б., Чешин Д.О., Плохих В.В. Обоснование компоновки автоматизированного комплекса для сооружения дегазационных скважин с поверхности // Интерэкспо Гео-Сибирь. –2022. – Т. 2. – № 3. – С. 130-137. DOI: 10.33764/2618-981X-2022-2-3-130-137
2. Курта, И.В. Методы и схемы дегазации угольных пластов [Текст] : метод. указания / И. В. Курта. – Ухта : УГТУ, 2015. – 35 с.
3. Алексеев С.Е., Черниенков Е.М. Бурение скважин с одновременной обсадкой // Интерэкспо Гео-Сибирь. –2021. – Т. 2. – № 3. – С. 107-114. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-2-3-107-114

4. Буровые установки Sandvik DE-880 - впервые в России. Официальный сайт издательского дома «Руда и Металлы» от 06.08.2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rudmet.com/news/2397/>
5. Sandvik DE880 multi-purpose surface drill. Technical specification. Рекламный проспект. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://irp.cdnwebsite.com/54b6d875/files/uploaded/SANDVIK%20DE880%20MULTIPURPOSE%20SURFACE%20DRILL.pdf>
6. Официальный сайт Про бурение и водоснабжение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://burenieinfo.ru/odnovremennaya-obsadka/>
7. Официальный сайт компании GMD[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.win-win-drill.com/dth-and-casing-system/odex-eccentric-casing/odex-drilling.html>
8. Лупий М.Г., Галсанов Н.Л., Ледяев Н.В., Комиссаров И.А., Малафеев А.В., Данилов Б.Б., Карпов В.Н., Алексеев С.Е., Чецин Д.О., Плохих В.В. Опыт применения технологии вращательно-ударного бурения при сооружении дегазационных скважин на установке БУГ-200. // Уголь. - 2024. – 10 (1185). – С. 68-73.
9. Рупеенейт К.В. Введение в механику горных пород / К.В. Рупеенейт, Ю. М. Либерман. – М.: Госгортехиздат, 1960. – 278 с.

© В. В. Плохих, Б. Б. Данилов, Д. О. Чецин, А. А. Абдуллин, 2025