

## ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 622.35

### ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ УРАВНОВЕШЕННОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА

Ю. М. Леконцев<sup>1</sup>, П. В. Сажин<sup>1</sup>, О. А. Темиряева<sup>1</sup>,  
А. А. Хорешок<sup>2</sup>, С. Ю. Ушаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия  
<sup>2</sup>Кузбасский государственный технический университет,  
ул. Весенняя, 28, Кемерово, Россия

<sup>3</sup>ООО "Горняк", ул. Нижний Барзас АБК, г. Березовский, 652421, Россия

Обоснован выбор конструкции устройства для уравновешенного герметизатора. Проведены лабораторные исследования различных конструкций синхронизаторов, обеспечивающих совместную работу герметизирующих устройств. Представлены результаты лабораторных исследований режимов работы уравновешенного герметизатора с двумя различными конструкциями синхронизирующих устройств.

*Уравновешенный герметизатор, пакер, золотниковый синхронизатор, клапанный синхронизатор*

В настоящее время известен ряд конструкций уравновешенных герметизаторов, используемых для проведения поинтервальных гидроразрывов прочных горных пород [1, 2]. На рис. 1 представлена конструкция одного из них [3, 4].

Наряду с очевидными преимуществами данного устройства по сравнению с односторонними герметизаторами (например, возможность производить гидроразрывы на любом участке скважины), существует и серьезный недостаток рассматриваемой конструкции, заключающийся в том, что при слабых породах стенок скважины его уплотнительные элементы, выполненные из жесткого материала полиуретана, вдавливаются в стенки скважины, что делает невозможным проведение гидроразрыва, так как нарушается целостность массива вокруг пакера и рабочая жидкость, "обыгрывая" его, может прорваться из загерметизированного участка скважины.

Использование мягких уплотнительных элементов в этой конструкции (например, из вакуумной резины) приводит к "заклиниванию" герметизатора в скважине, т. е. к его потере, так как упругие свойства резины меньше сил сцепления ее о стенки скважины. По этой причине герметизирующие элементы после сброса давления не восстанавливают свою исходную форму, оставаясь в "бочкообразном" состоянии.

Наиболее надежным, эффективным и универсальным для герметизации скважин, пройденных по практически любым по прочностным характеристикам породам, является герметизатор типа "Таурус" (рис. 2).

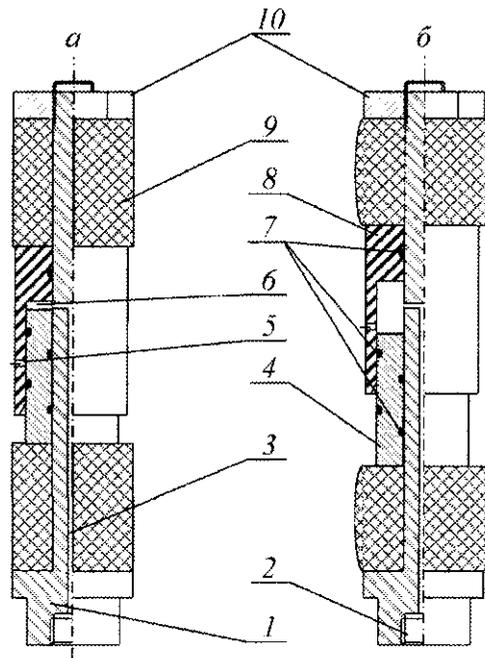


Рис. 1. Схема уравновешенного герметизатора в исходном (а) и рабочем (б) положении: 1 — корпус; 2 — место для присоединения к напорной магистрали; 3 — канал для прохода рабочей жидкости; 4 — поршень; 5 — радиальные отверстия для подвода рабочей жидкости в загерметизированную область скважины; 6 — рабочая камера; 7 — уплотнительные кольца; 8 — цилиндр; 9 — уплотнительные элементы; 10 — упорная гайка

Во время подачи жидкости от насоса через штуцер 3 происходит расширение резиновой оболочки 2 герметизатора по всей длине, что обеспечивает надежную герметизацию скважины. После достижения давления открытия подпорного клапана 1 рабочая жидкость поступает в загерметизированный участок скважины. При снятии давления “Таурус” принимает исходную форму и легко демонтируется для дальнейшего применения.

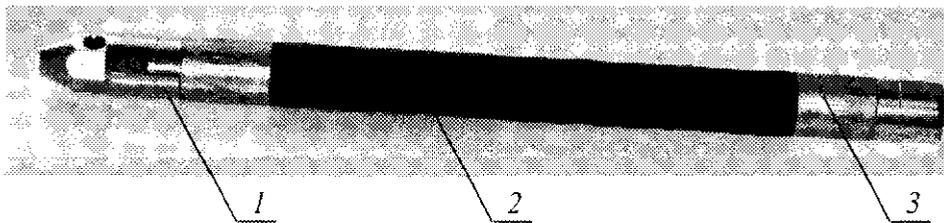


Рис. 2. Герметизатор “Таурус”: 1 — подпорный клапан; 2 — резиновая оболочка; 3 — штуцер

Однако “Таурус” не предназначен для проведения поинтервального гидроразрыва. Его конструкция позволяет загерметизировать устье скважины или определенный ее участок, при этом гидроразрыв массива происходит только в одном наиболее слабом месте по длине скважины.

Учитывая универсальность и надежность данного устройства, он принят за базовую основу при создании уравновешенного герметизатора для поинтервального гидроразрыва.

Конструктивное решение заключается в последовательном объединении двух “Таурусов” специальным устройством, позволяющим синхронизировать их работу в начальный период герметизации и осуществлять доступ рабочей жидкости в загерметизированный участок скважины, расположенный между двумя герметизаторами.

Схема предполагаемого последовательного соединения “Таурусов” показана на рис 3.

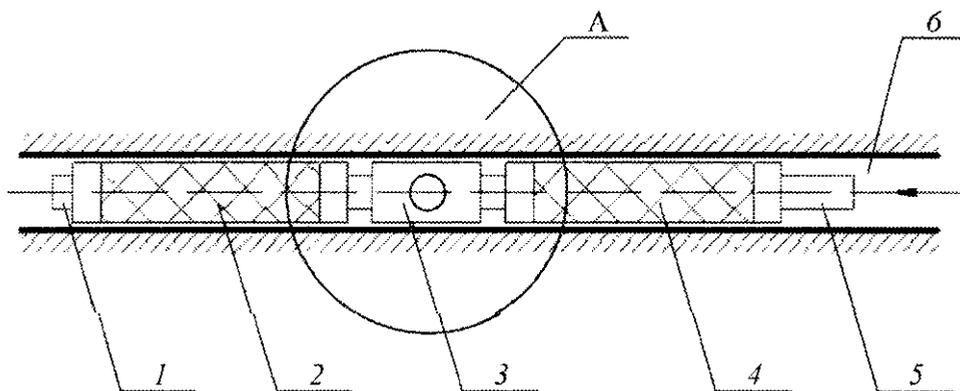


Рис. 3. Схема уравнивающего пакера: 1 — заглушка; 2 — левый “Таурус”; 3 — клапан-синхронизатор; 4 — правый “Таурус”; 5 — штуцер подвода жидкости от насоса; 6 — скважина (шпур); А — герметизируемый участок скважины

Из разработанных конструкций [5] клапанов-синхронизаторов отобраны две, как наиболее рациональные с точки зрения простоты изготовления, приемлемых габаритов и требуемой пропускной способности.

На рис. 4 представлена принципиальная схема золотникового синхронизатора ЗС-1 в исходном положении. Он состоит из золотника 1, пружины 2, полый втулки 3, кольцевого уплотнения 4, стакана 5 и седла 6. Выход жидкости в межпакерную полость А (см. рис. 3) происходит через отверстия 7. Особенностью золотника 1 является то, что его торцевая площадь  $A = S_1$  больше торцевой площади  $B = S_2$ .

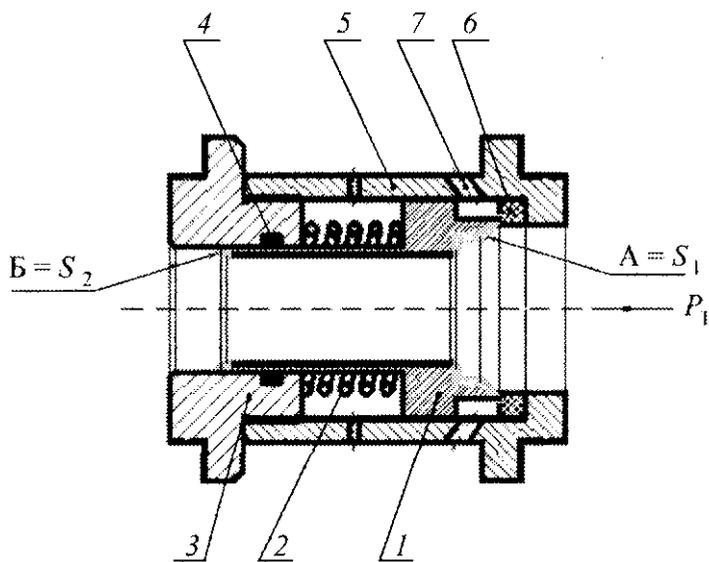


Рис. 4. Золотниковый синхронизатор ЗС-1

После подачи рабочей жидкости в герметизатор через штуцер 5 (см. рис. 3) она свободно проходит через центральное отверстие золотникового синхронизатора 2 и, одновременно действуя изнутри на резинометаллические оплетки пакеров 3 и 4, увеличивает их наружные диаметры, что приводит к предварительной синхронной герметизации участка А скважины 6. Это происходит до тех пор, пока соблюдается условие равновесия

$$P_T S_2 + F_{пр} \geq P_T S_1, \quad (1)$$

где  $P_T$  — текущее значение давления жидкости;  $S_1$  — торцевая площадь А золотника 1;  $S_2$  — торцевая площадь Б золотника 1;  $F_{пр}$  — усилие прижатия золотника 1 к седлу 6 пружины 5.

В случае, когда

$$P_T S_2 + F_{пр} < P_T S_1, \quad (2)$$

золотник 1 перемещается влево, сжимая пружину 2, отходит от седла 6 и жидкость через отверстия 7 поступает в межпакерную зону А (рис. 3).

Схематическое изображение клапанного синхронизатора КС-1 представлено на рис. 5. Он состоит из стакана 1, седла 2, штуцера 3, клапана 4 и пружины 5. Клапан 4 герметично прижат к седлу 2 пружинной 5, причем линия контакта проходит по диаметру  $\varnothing Б$ . Хвостовик клапана имеет диаметр  $\varnothing А < \varnothing Б$  и загерметизирован от выходного отверстия 6 резиновым уплотнением 7. Принцип работы КС-1 заключается в следующем: рабочая жидкость, проходя через первый пакер, попадает во внутреннее отверстие стакана 1 клапанного синхронизатора, проходит через центральное отверстие клапана 4, поступает во внутреннее отверстие штуцера 3 и нагнетается во второй пакер.

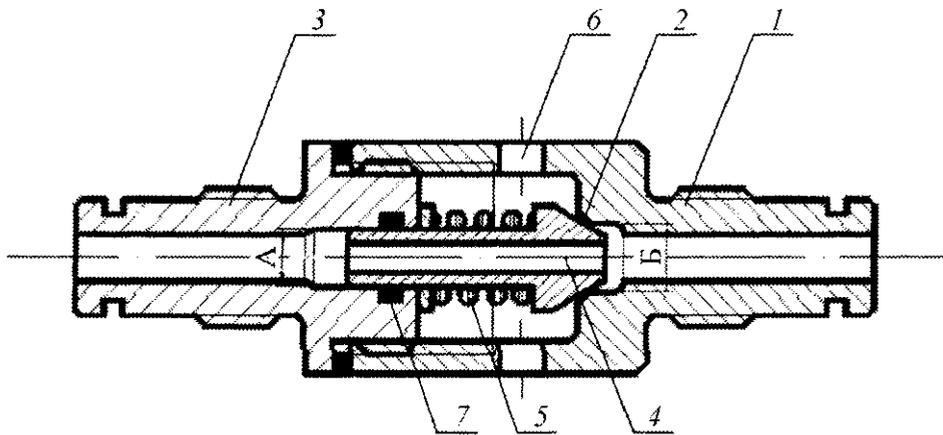


Рис. 5. Клапанный синхронизатор КС-1

При этом пакеры расширяются и герметизируют область шпура между ними. Дальнейшее повышение давления приводит к отходу клапана 4 от седла 2, проходу рабочей жидкости через отверстие 6 в межпакерную зону и осуществлению гидроразрыва. Возврат клапана 4 в исходное положение обеспечивается пружинной 5. Как и в синхронизаторе ЗС-1, условием открытия клапана 4 является выполнение следующего неравенства:

$$P_T S_A + F_{пр} < P_T S_B, \quad (3)$$

где  $S_A$  — площадь поверхности А;  $S_B$  — площадь поверхности Б.

Исследование режимов работы разработанных конструкций синхронизирующих устройств (рис. 4, 5) проводилось на испытательном стенде (рис. 6).

Стенд включает насосную установку 1 с комплектом регистрирующей аппаратуры 2 (расходомер, регулировочные клапаны, самопишущий манометр), монтажный стол 10, кронштейн 9 с резьбовой муфтой 5, которая соединяет испытуемое синхронизирующее устройство 6 через тройник 3 с комплектом регистрирующей аппаратуры 2, контрольным визуальным манометром 4 и самопишущим манометром 11. Перед испытанием на синхронизирующее устройство 6 надевается кожух 7 из оргстекла со сливной трубкой 8. Кожух 7 предохраняет от разбрызгивания рабочей жидкости в момент открытия клапана.

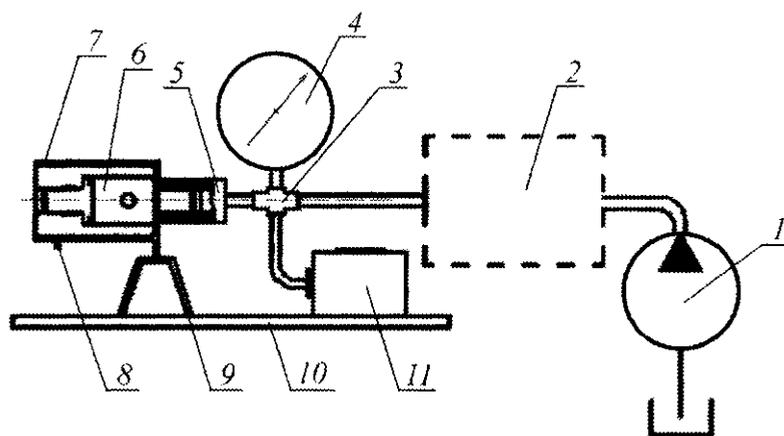


Рис. 6. Стенд для испытания синхронизаторов

Основные технические характеристики насоса и регистрирующей аппаратуры представлены в таблице.

Оборудование	Рабочее давление, МПа		Расход $Q$ , л/мин
	$P_{\max}$	$P_{\min}$	
Насос	45	—	10
Предохранительный клапан	50	2	60
Расходомер	60	—	40
Образцовый манометр	60	—	—
Самопишущий манометр	60	—	—

Во время испытаний предусмотрено плавное регулирование расхода рабочей жидкости для исключения резких скачков в показаниях манометров и для повышения точности построения расчетных зависимостей изменения давления рабочей жидкости в системе от ее расхода.

На рис. 7 приведены основные показатели работы золотникового синхронизатора.

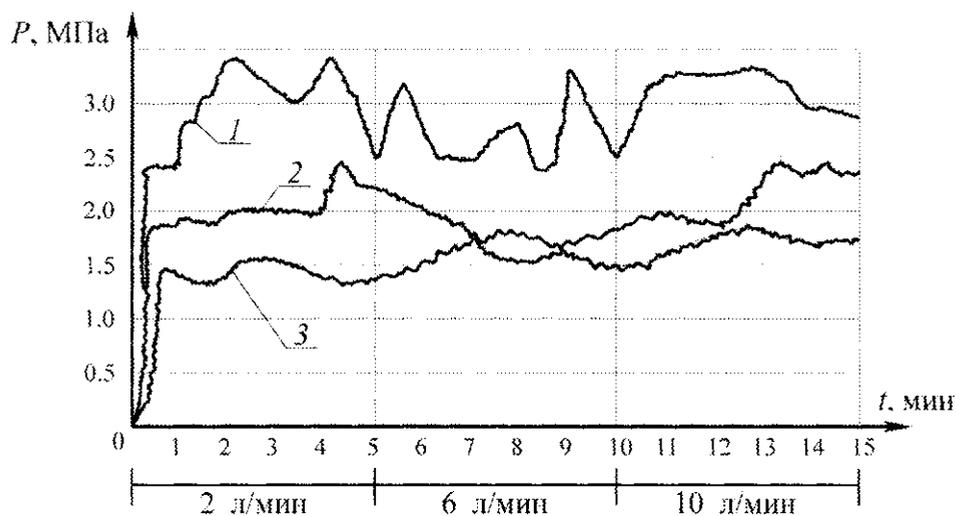


Рис. 7. Ресурсная характеристика золотникового синхронизатора: 1–3 — записи работы клапана после прохождения через него соответственно 200, 1000 и 2000 л рабочей жидкости в трех режимах: с расходом 2, 6 и 10 л/мин

На рис. 8 представлены основные показатели работы клапанного синхронизатора.

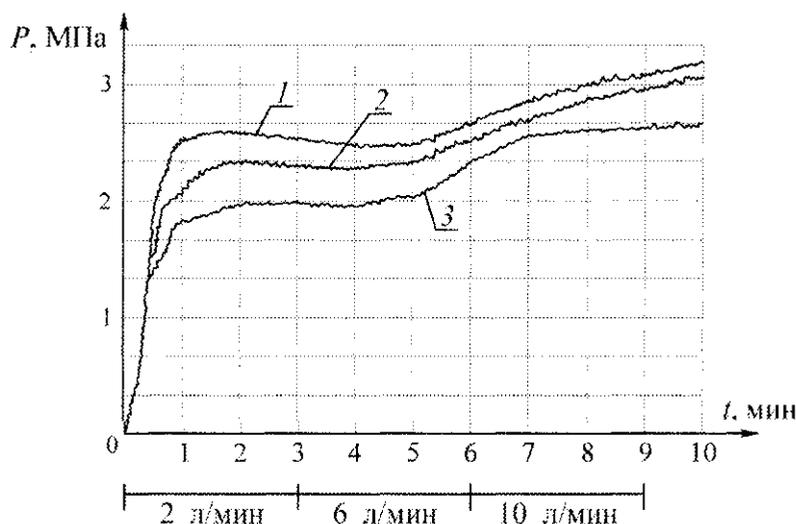


Рис. 8. Ресурсная характеристика клапанного синхронизатора: 1–3 — записи работы клапана после прохождения через него соответственно 200, 1000 и 2000 л рабочей жидкости в трех режимах: с расходом 2, 6 и 10 л/мин

Как видно из рис. 7, 8, клапан золотникового синхронизатора имеет значительно больший разброс по давлению открытия при одном и том же подаваемом расходе рабочей жидкости. Разброс составляет примерно 1.5 МПа, что может привести к разгерметизации рабочей зоны гидроразрыва. Для клапанного синхронизатора этот разброс не превышает 0.5 МПа. Для обеих конструкций клапанов-синхронизаторов график 1 записан после продавливания через них 200 л рабочей жидкости, график 2 — 1000 л, а график 3 — после 2000 л.

Таким образом, в качестве синхронизирующего устройства выбран клапанный синхронизатор. На рис. 9 показан уравновешенный герметизатор (УГ), состоящий из двух пакеров типа “Таурус”, соединенных между собой клапанным синхронизатором КС-1 [6, 7].

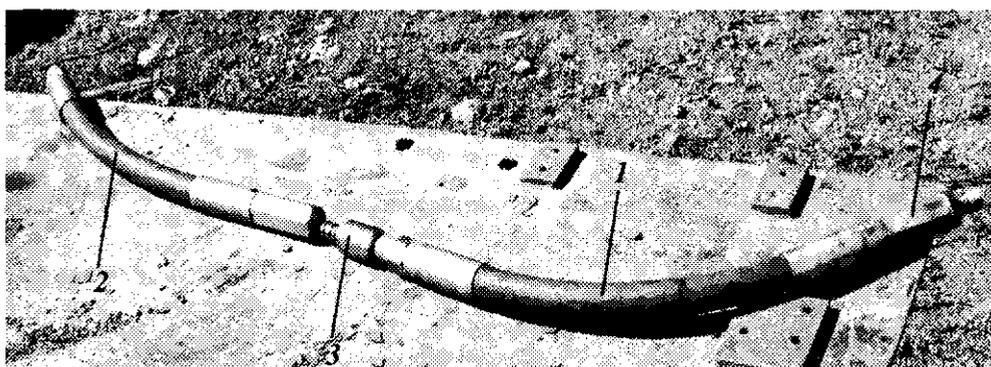


Рис. 9. Уравновешенный герметизатор УГ: 1, 2 — пакеры типа “Таурус”; 3 — клапанный синхронизатор КС-1; 4 — штуцер подвода рабочей жидкости от насоса

Уравновешенный герметизатор с клапаном КС-1 исследован на испытательном стенде (рис. 6), который дополнен трубой, имитирующей участок скважины с размещенным в ней испытываемым устройством. Внешний вид модернизированного стенда представлен на рис. 10, на котором 1 — труба-имитатор; 2 и 3 — герметизаторы типа “Таурус”; 4 — клапанный синхронизатор; 5 — “бобышка” со сквозным резьбовым отверстием; 6 — комплект регистрирующей аппаратуры; 7 — резьбовая пробка; 8 — резьбовая муфта; 9 — комплект регистрирующей аппаратуры; 10 — насос; 11 — дроссель.

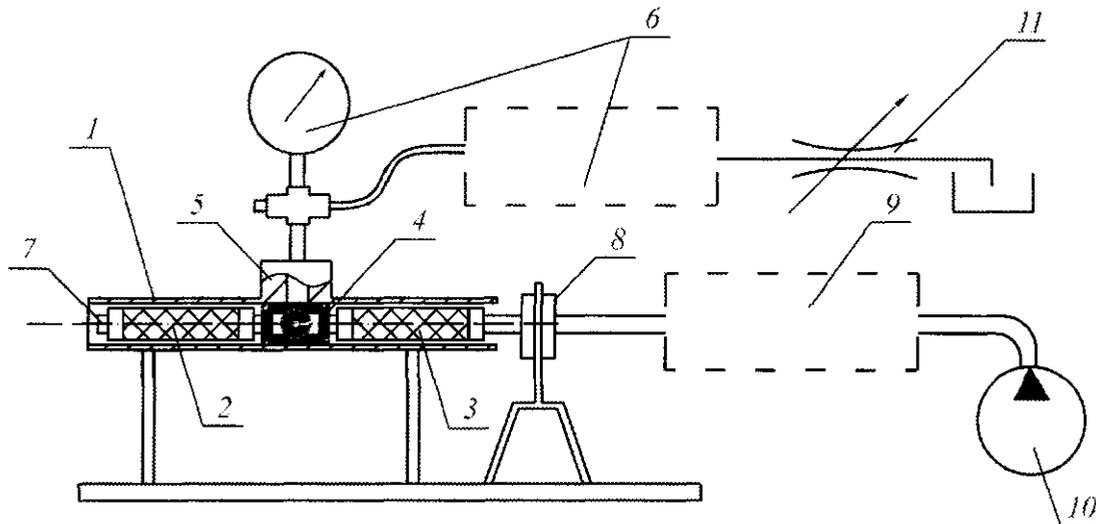


Рис. 10. Стенд для исследования уравновешенного герметизатора

Последовательность проведения исследований на стенде: собранный герметизатор вводится в трубу-имитатор 1 (рис. 10) так, чтобы выходное отверстие клапана синхронизатора 4 находилось напротив отверстия в «бобышке» 5, после чего из системы удаляется воздух посредством приоткрытия пробки 7 и дросселя 11, входящего в комплект регистрирующей аппаратуры 6. Далее свободный конец пакера 2 глушится пробкой 7, дроссель 11 закрывается и начинается исследование работы синхронизатора 4 путем изменения во времени режимов подачи рабочей жидкости в герметизатор и в загерметизированное пространство трубы-имитатора скважины.

На рис. 11 представлен типичный график изменения давления в системе во времени, характеризующий режим работы герметизирующего устройства с выбранной конструкцией синхронизатора.

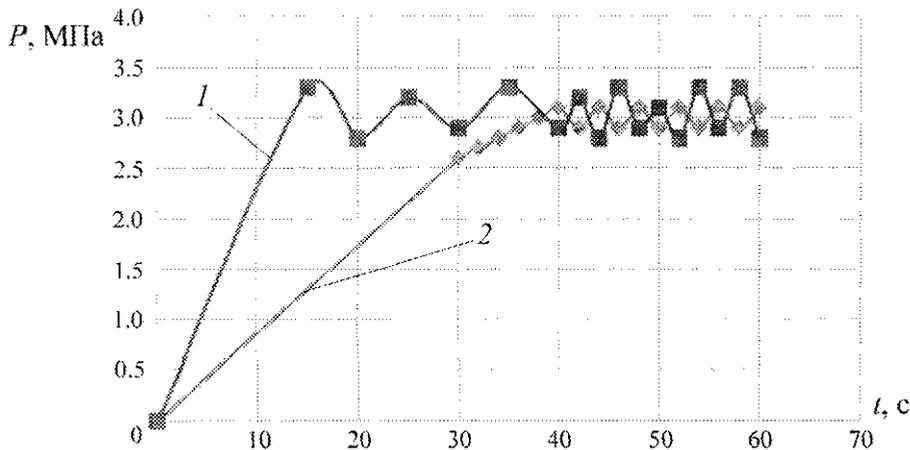


Рис. 11. Изменение давления рабочей жидкости во времени: 1 — расход 10 л/мин; 2 — 3 л/мин

В ходе проведения испытаний пружина клапана была настроена на давление открытия 3 МПа. Исследования показали техническую работоспособность конструкции герметизирующего устройства и высокую степень герметизации, т. е. отсутствие перетоков рабочей жидкости из загерметизированного участка трубы-имитатора скважины.

Таким образом, результаты лабораторных испытаний подтвердили возможность применения разработанной конструкции герметизатора для проведения шахтных исследований.

**ВЫВОДЫ**

Для поинтервального гидроразрыва горных пород, включая уголь, в качестве пакеров уравновешенного герметизатора рекомендуется использовать резинометаллические устройства типа “Таурус”, соединенные последовательно. Они надежно и эффективно обеспечивают герметизацию скважины независимо от прочностных свойств вмещающих пород.

В синхронизирующем устройстве между пакерами уравновешенного герметизатора рационально использовать клапанный синхронизатор КС-1, так как он имеет более стабильную характеристику по сравнению с золотниковым синхронизатором и обладает повышенной ресурсоспособностью.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Патент СССР № 877006. Устройство для гидроразрыва скважин / М. В. Курленя, В. К. Аксенов, Н. С. Лавров, Ю. М. Волков, О. И. Кютт, Р. Юн // Оpubл. в БИ. — 1981. — № 40.
2. Патент СССР № 1737116. Устройство для гидроразрыва пород в скважине / М. В. Курленя, С. Н. Попов, Р. Юн, С. Ф. Аверьянов, В. К. Федоренко // Оpubл. в БИ. — 1992. — № 20.
3. Патент РФ № 2268359. Устройство для гидроразрыва пород в скважине / В. И. Клишин, Ю. М. Леконцев, П. В. Сажин // Оpubл. в БИ. — 2006. — № 2.
4. Клишин В. И., Леконцев Ю. М., Сажин П. В. Пути повышения эффективности метода направленного гидроразрыва // Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: сб. трудов Междунар. конф. — Новосибирск, 2008.
5. Леконцев Ю. М., Сажин П. В., Антонюк А. И. Практическое применение метода поинтервального гидроразрыва (ПГР) для разупрочнения породного прослойка в угольном пласте в условиях шахты “Романовская” // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: материалы XIII Междунар. конф. — Кемерово, 2010.
6. Леконцев Ю. М., Сажин П. В., Ушаков С. Ю. Разупрочнение породного прослойка в угольном пласте в условиях шахты “Романовская” с применением метода поинтервального гидроразрыва (ПГР) // Уголь. — 2012. — № 1.
7. Леконцев Ю. М., Сажин П. В., Ушаков С. Ю. Применение метода поинтервального гидроразрыва для разупрочнения породного прослойка в угольном массиве // ФТПРПИ. — 2012. — № 3.

*Поступила в редакцию 26/VI 2013*

ISSN 0015 – 3273

# **Ф**изико- технические проблемы разработки полезных ископаемых

**5**

Сентябрь-Октябрь

**2013**

# **ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*научный журнал*

Основан в 1965 г.  
Выходит 6 раз в год

Учредители:  
Сибирское отделение РАН  
Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН

## **Главный редактор**

член-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф. **В. Н. Опарин**

## **Заместитель главного редактора**

д.ф.-м.н. **Л. А. Назаров**

## **Ответственный секретарь**

д.т.н., проф. **В. М. Серяков**

## **Редакционная коллегия**

Д.т.н., проф. А. А. Барях, академик, д.ф.-м.н., проф. И. В. Бычков, член-корр. РАН, д.т.н., проф. Г. И. Грицко, д.т.н., проф. С. Г. Емельянов, член-корр. РАН, д.т.н., проф. Д. Р. Каплунов, член-корр. РАН, д.т.н., проф. В. И. Клишин, д.т.н., проф. А. А. Козырев, д.т.н. С. А. Кондратьев, д.т.н., проф. С. В. Корнилков, д.т.н., проф. А. В. Корчак, академик, д.т.н., проф. М. В. Курленя, д.т.н., проф. В. П. Мазикин, академик, д.т.н., проф. Ю. Н. Малышев, академик, д.т.н., проф. Н. Н. Мельников, д.т.н., проф. В. Е. Миренков, д.т.н. А. А. Ордин, д.т.н. Н. А. Попов, д.т.н., проф. В. П. Потапов, член-корр. РАН, д.т.н., проф. Л. А. Пучков, д.т.н., проф. И. Ю. Рассказов, д.ф.-м.н., проф. А. Ф. Ревуженко, д.т.н. А. Г. Секисов, д.т.н. Б. Ф. Симонов, д.т.н., проф. Б. Н. Смоляницкий, д.т.н. А. П. Тапсиев, д.т.н. С. М. Ткач, академик, д.т.н., проф. К. Н. Трубецкой, д.т.н., проф. А. М. Фрейдин, академик, д.т.н., проф. В. А. Чантурия, д.ф.-м.н., проф. А. И. Чанышев, к.т.н. В. И. Ческидов, д.ф.-м.н. Е. Н. Шер, д.т.н., проф. В. Л. Шкуратник, член-корр. РАН, д.т.н., проф. В. Л. Яковлев, д.т.н., проф. Д. В. Яковлев

## **Международный редакционный совет**

Д.т.н., проф. М. В. Айзенберг-Степаненко (Израиль), член-корр. НАН Украины, д.т.н., проф. А. В. Анциферов (Украина), академик НАН КР, д.т.н., проф. И. Т. Айтматов (Кыргызстан), д.ф.-м.н. А. А. Баймухаметов (Казахстан), проф. В. Буш (Германия), академик, проф. С. Вуйич (Сербия), проф. Р. Гангули (США), проф. О. Гювен (Турция), проф. П. Дауд (Австралия), проф. Р. Димитракопулос (Канада), проф. К. Дребенштедт (Германия), проф. Й. Дубинский (Польша), проф. А. Касали (Чили), проф. П. Кноль (Германия), проф. М. Коли (Италия), член-корр. НАН КР К. Ч. Кожогоулов (Кыргызстан), проф. Д. Колимбас (Австрия), д.т.н. В. А. Мансуров (Казахстан), проф. Р. Миннит (Южная Африка), проф. Пан И-Шан (Китай), проф. К. Пинто (Бразилия), проф. Л. Тотев (Болгария), академик, проф. Цянь-Циху (Китай)

*Журнал переводится на английский язык и издается в США Международной академической компанией "Наука / Интерпериодика" по контракту с Kluwer Academic / Plenum Publishers под названием "Journal of Mining Science"*

*Заведующая редакцией* **В. Н. Валиева**

*Адрес редакции:* Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия.  
Тел.: (383) 217-00-48. Факс: (383) 217-06-78. E-mail: edit@mysd.nsc.ru  
<http://www.sibran.ru/ftprpw.htm>, [www.misd.nsc.ru/publishing/jms](http://www.misd.nsc.ru/publishing/jms)

**Новосибирск**  
**Издательство Сибирского Отделения РАН**

СОДЕРЖАНИЕ

НОМЕР 5, 2013

СЕНТЯБРЬ – ОКТЯБРЬ

**ГЕОМЕХАНИКА**

*В. Н. Опарин, О. М. Усольцева, В. Н. Семенов, П. А. Цой*

О некоторых особенностях эволюции напряженно-деформированного состояния образцов горных пород со структурой при их одноосном нагружении 3

*А. Н. Беседина, Н. В. Кабыченко, Г. Г. Кочарян*

Особенности сейсмического мониторинга слабых динамических событий в массиве горных пород 20

*Л. А. Назарова, Л. А. Назаров, М. И. Эпов, И. Н. Ельцов*

Эволюция геомеханических и электрогидродинамических полей в массиве горных пород при бурении глубоких скважин 37

*Г. Я. Полевицков*

“Деформационно-волновые” процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах 50

*Е. В. Денисова, А. И. Копурин*

Геомеханическая модель взаимодействия рабочего органа пневмоударной машины с грунтовым массивом 61

**РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

*Е. Н. Шер, И. В. Колыхалов, А. М. Михайлов*

Моделирование развития осесимметричных трещин при множественном гидроразрыве 70

*Н. А. Леоненко, Г. В. Секисов, А. Ю. Чебан, С. А. Шемякин, А. П. Кузьменко,  
И. В. Силютин*

Исследование процессов разрушения горных пород лазерным излучением 80

**ГОРНОЕ МАШИНОВЕДЕНИЕ**

*Ю. М. Леконцев, П. В. Сажин, О. А. Темиряева, А. А. Хорешок, С. Ю. Ушаков*

Исследование режимов работы уравновешенного герметизатора 91

*Т. М. Кумыкова, В. Х. Кумыков*

Исследование динамических характеристик шахтного гидропневмоаккумулятора сжатого воздуха 99

**ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*И. Ю. Рассказов, Г. Н. Шкабарня, Н. Г. Шкабарня*

Исследование оползневых откосов угольных разрезов методом электрической томографии 110

---

## РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА

*Н. Н. Петров, Н. В. Панова, Е. Ю. Грехнёва*

Адаптация аэродинамических характеристик главных вентиляторов к изменениям вентиляционных режимов шахт

119

---

## ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Т. А. Иванова, В. А. Чантурия, И. Г. Зимбовский*

Новые способы экспериментальной оценки селективности реагентов-собирателей для флотации золота и платины из тонковкрапленных руд благородных металлов

127

*В. А. Игнаткина, В. А. Бочаров, Ф. Г. Дьячков*

Исследование собирательных свойств диизобутилового дитиофосфината при флотации сульфидных минералов из колчеданных руд

138

*Т. Н. Матвеева, Н. К. Громова, Т. А. Иванова, В. А. Чантурия*

Физико-химическое воздействие модифицированного диэтилдитиокарбамата на поверхность золотосодержащих сульфидов при флотации руд благородных металлов

147

*А. А. Лавриненко, Э. А. Шрадер, А. Н. Харчиков, И. В. Кунилова*

Флотируемость апатита из бадделеит-apatит-магнетитовой руды

157

*П. М. Соложенкин, С. А. Кондратьев, Е. И. Ангелова*

Квантово-механические представления флотации пирита

166

*И. В. Шадрюнова, Е. Г. Ожогина, Е. В. Колодежная, О. Е. Горлова*

Оценка селективности дезинтеграции металлургических шлаков

180

*Е. А. Ермолович*

Влияние измельчения на донорно-акцепторные свойства поверхности компонентов закладочных материалов

191

---

## ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

199

---

---

Редактор М. Б. Успенская  
Компьютерная верстка Г. В. Морозова, О. Г. Ярославцева

---

Подписано в печать 10.10.2013. Бумага офсетная.  
Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 23,5. Тираж 300 экз.  
Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации Российской Федерации  
Свидетельство регистрации № 011099.  
Цена свободная.

---

Издательство Сибирского отделения РАН  
Морской проспект, 2, 630090, г. Новосибирск.  
Оригинал-макет изготовлен издательским отделом ИГД СО РАН.  
Отпечатано на полиграфическом участке  
Института горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН.  
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск.