

Оценка прочностных свойств горных пород под механическим нагружением при воздействии буровых растворов

Букин П.Н.¹, Будник Д.В.¹, Капитонов В.А.^{1,2}, Гилаев Г.Г.³

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия; ²ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия;

³Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия
kapitonovva@gmail.com

Аннотация

Проблемы, связанные с устойчивостью ствола, наиболее остро возникают при бурении в интервалах уплотненных глин, характеризующихся слабым набуханием. Несмотря на наличие большого количества подходов, в настоящее время отсутствует единая, всеми признаваемая методика оценки влияния буровых растворов на прочностные свойства аргиллитов. Наиболее полная количественная оценка воздействия буровых растворов и их фильтратов выполняется с помощью определения времени нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов дезинтегрированной породы. В статье проведен анализ промышленных приборов, применяемых для исследований влияния буровых растворов на прессованные образцы дезинтегрированной породы. Расчеты показали, что создаваемое на них нагружение не превышает 31 кПа, в то время как для проведения исследований требуется 200 кПа и более. В связи с этим в статье рассмотрены принципиальные конструкции распространенных прессов, указаны их преимущества и недостатки.

Материалы и методы

Измеритель линейного набухания глин с четырьмя головками, компактором и программным обеспечением, модель 2100 (Linear Swell Meter, Model 2100 – LSM) производства Fann и тестер линейного набухания в динамических условиях с компактором #150-80-1 – 230B (Dynamic Linear Swell Meter with Compactor #150-80-1 – DLSM) производства Ofite, ограниченно подходят для определения времени нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов дезинтегрированной породы. Для увеличения нагружения при проведении исследований в статье

рассмотрены конструкции рычажного пресса, гидравлического пресса и электромеханического пресса.

Ключевые слова

прессованные образцы из дезинтегрированных не набухающих глин, физико-механические свойства горных пород, тестер линейного набухания, тестер линейного набухания в динамических условиях, рычажный пресс, гидравлический пресс, электромеханический пресс

Для цитирования

Букин П.Н., Будник Д.В., Капитонов В.А., Гилаев Г.Г. Оценка прочностных свойств горных пород под механическим нагружением при воздействии буровых растворов // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 6. С. 72–74.

Введение

Устойчивость глинистых пород определяется изменением напряженно-деформированного состояния пород и физико-химическими факторами, обусловленными взаимодействием буровых растворов с глинистыми породами. Известно большое количество методов исследований [1, 2]:

- определение деформации (прочности) образцов пород под нагрузкой в среде бурового раствора или после воздействия на него исследуемой жидкости;
- исследование размокания с помощью прибора ПРГ-1;
- исследование набухания с помощью прибора Васильева, Жигача-Ярова и аналогичных;
- исследование увлажнения прессованных образцов по РД 39-2-813;
- время капиллярной пропитки фильтровальной бумаги (Capillary Suction Time Test);
- испытание образцов кернового материала на отделяемость частиц сланца при горячем вращении согласно ГОСТ 33696-2015;
- определение агрегативной (объемной) твердости образцов кернового материала после воздействия бурового раствора (Bulk Hardness Test);
- параллельное исследование процессов увлажнения и набухания, например, с использованием набухометра

с измерительной трубкой, трубчатого измерителя набухания и комплексного набухометра.

В то же время сейчас наиболее остро стоит потребность в разработке лабораторной методики оценки воздействия буровых растворов на уплотненные (не набухающие) глины [2].

Целью работы является рассмотрение лабораторных приборов для оценки влияния механических нагружений на свойства образцов горных пород.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Рассмотреть основные понятия, применяемые для описания прочностных и деформационных свойств горных пород.
2. Рассмотреть промышленно выпускаемые приборы, применяемые для исследований влияния буровых растворов на свойства прессованных образцов.
3. Рассмотреть конструкции прессов для создания одноосных нагружений.

Прочностные и деформационные свойства горных пород

Сущность данных методов заключается в исследовании поведения образцов пород под нагрузкой в среде анализируемой жидкости или изменения прочности после ее воздействия. Величина и способ приложения нагрузки, способ и продолжительность контакта

жидкости с образцом исследуемых пород могут варьироваться в широких пределах.

Все лабораторные методы исследований базируются на определении величины изменения геометрических размеров кубических или цилиндрических образцов под действием нагружений. Если действующие на образец силы находятся на одной оси, то такой метод испытания называют одноосным сжатием. В этом случае по изменению размеров образца при различной величине нагружения можно определить [1–6]:

1. Кривую деформирования — графическую зависимость деформации от нагружения. Показывает характер и стадии деформации породы.
2. Скорость деформации.
3. Предел прочности на сжатие — является максимальным давлением, которое образец может выдержать до разрушения. Это основной показатель прочности породы;
4. Условный коэффициент разупругования, равный средней величине тангенса угла наклона кривой, характеризующей зависимость деформации образца от напряжения.
5. Модуль упругости (модуль Юнга) — отражает величину деформации в направлении действия нагружения. Характеризует способность материала возвращаться к исходной форме после снятия нагружения.
6. Коэффициент Пуассона — отражает

отношение поперечной деформации к продольной деформации. Вместе с модулем Юнга полностью характеризует упругие свойства изотропного материала

7. Критерий Хука-Брауна — это критерий разрушения, применяемый для оценки прочности пород при горных работах, учитывающий влияние трещин [5].
8. Время устойчивого состояния прессованных образцов — это время, при котором вертикальная деформация образца, помещенного в буровой раствор, достигает 15 %. Этот параметр определяют при исследовании влияния буровых растворов на прессованные образцы из дезинтегрированных не набухающих глин [6].

Приборы для исследования влияния буровых растворов на прочностные свойства образцов, спрессованных из дезинтегрированной породы

Промышленно выпускается измеритель линейного набухания глин с четырьмя головками, компактором и программным обеспечением, модель 2100 (Linear Swell Meter, Model 2100 – LSM) производства Fann и тестер линейного набухания в динамических условиях с компактором #150-80-1 – 230 В (Dynamic Linear Swell Meter with Compactor #150-80-1 – DLSM) производства Ofite. Различия между ними заключаются в том, что в приборе DLSM ячейку с буровым раствором и исследуемым цилиндрическим образцом устанавливают на плитке, совмещенной с магнитной мешалкой, т. о. появляется возможность изменять температуру бурового раствора и выполнять его перемешивание с помощью магнитного якоря.

Масса измерительной головки в LSM, создающая предварительную нагрузку на образец, составляет 548,8 грамм. Предварительная нагрузка может быть увеличена до 2 000 грамм с помощью вспомогательного веса. При диаметре образца 28,6 мм эта нагрузка создаст давление около 30,5 кПа.

В инструкции к прибору DLSM не приведена масса измерительной головки и дополнительного латунного груза, который нужно заказывать отдельно. По всей видимости они

будут иметь величины, близкие к указанным для LSM.

Также известна разработка [6] в которой для нагружения применяют устройство осевого нагружения производства ООО НПП «Геотек». В указанной фирме имеется широкая линейка электромеханических прессов, которые создают вертикальную сжимающую или растягивающую нагрузку от 10 кН до 500 кН. Принцип действия электромеханических прессов подробнее будет рассмотрен в следующем разделе. По разработанной в ООО НИИЦ «Недра-тест» методике испытаний вертикальную постоянную нагрузку задают в пределах 2–5 % от предела прочности искусственных кернов. В проведенных ими исследованиях [6] нагрузка составляла 200 кПа для всех испытуемых искусственных образцов. При диаметре цилиндрического образца 20 мм эта нагрузка соответствует силе 63 Н, которую создает масса 6,4 кг.

Рассмотренные установки для испытания цилиндрических образцов, спрессованных из дезинтегрированной породы, либо, создают слишком малое нагружение, либо в случаях применения установок ООО НПП «Геотек», являются дорогостоящими. В связи с этим далее рассмотрим распространенные конструкции приборов для испытания материалов и горных пород при одноосном сжатии.

Приборы для испытания образцов пород при одноосном сжатии

Рассмотрим три типа приборов, применяемых для испытания горных пород при одноосном сжатии.

Рычажные прессы — используют механический принцип рычага для создания сжимающей силы. Они могут быть менее точными и не автоматизированными по сравнению с другими типами прессов, но они обычно проще в использовании и обслуживании.

Гидравлические прессы — используют жидкость под давлением для создания сжимающей силы действующей на образец породы. Они могут быть автоматизированными и обеспечивать высокую точность и контроль нагрузки.

Электромеханические прессы — используют электрический двигатель и механические элементы для создания нагрузки на образец породы. Они обычно имеют возможности автоматизации и контроля нагрузки.

Каждый из этих типов приборов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор конкретного прибора будет зависеть от требований методики испытаний, доступных ресурсов и особенностей лаборатории.

Рычажный пресс

Принцип действия рычажного пресса основан на приложении к исследуемому образцу 1 стационарной нагрузки, создаваемой грузами 4 с помощью рычага 3 (рис. 1). Продольные и поперечные деформации измеряются с помощью линейных индикаторов 2.

Рычажный пресс имеет простую конструкцию и длительный срок эксплуатации. Также одним из главных его преимуществ является работа в широком диапазоне температур, в связи с тем что все детали конструкции и создаваемое нагружение имеют механический принцип действия.

К основному недостатку стоит отнести возможность возникновения отклоняющей от вертикали нагрузки в связи с действием механического рычага.

Рычажные прессы представляют собой простые и экономичные приборы для создания нагружения на образцы при невысоких требованиях к точности. Они имеют ограниченные возможности в сравнении с более современными электромеханическими или гидравлическими прессами, такие как ограниченная мощность, точность и возможности настройки параметров испытаний.

Гидравлический пресс

Принцип действия гидравлического пресса основан на повышении силы давления обратно пропорционально площади поршня (рис. 2). Давление на малый поршень 6 создается с помощью винтового штока (шпинделя) путем вращения махового колеса 3. За счет резьбовой втулки 2 происходит преобразование крутящего момента в поступательное перемещение, при этом рабочая жидкость

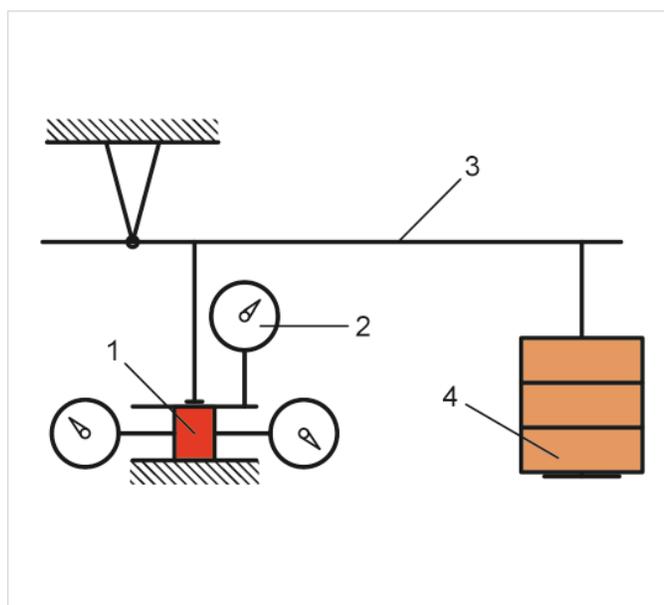


Рис. 1. Рычажный пресс:
1 — исследуемый образец; 2 — микрометры; 3 — механический рычаг; 4 — грузы

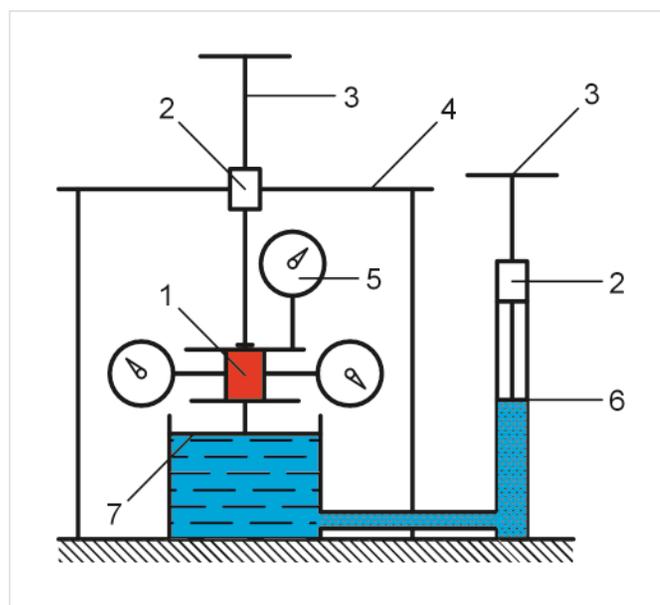


Рис. 2. Гидравлический пресс:
1 — исследуемый образец; 2 — резьбовая втулка; 3 — шпиндель (винтовой шток) с маховиком; 4 — станция; 5 — микрометры; 6 и 7 — соответственно малый и большой поршни

передает давление на поршень 7. Похожий узел из винтового штока и резьбовой втулки позволяет регулировать высоту верхней пластины, создающей нагружение на образец 1. Продольные и поперечные деформации измеряются с помощью линейных индикаторов 5.

Гидравлические прессы позволяют создавать более высокое нагружение, чем механические прессы, достигаемое различием отношения площадей поршней. Процессы нагружения могут быть автоматизированы. Конструктивно гидравлические прессы, по сравнению с механическими, имеют большую гибкость в разработке приборов требуемой точности.

В сравнении с механическим прессом, рабочая жидкость, создающая давление в сообщающихся поршнях, при минусовой температуре может работать неэффективно. Гидравлические прессы также сложнее в обслуживании и более массивные в сравнении с электромеханическими прессами. Возможна утечка рабочего агента, требуется периодически контролировать его уровень.

В целом гидравлические прессы являются эффективным оборудованием для проведения испытаний механических свойств материалов, включая горные породы, но дороговизна обслуживания создает ограничение на их широкое распространение.

Электромеханический пресс

Система преобразования вращательного движения вала двигателя 10 в поступательное движение цилиндра 2 осуществляется с помощью шарико-винтовой передачи 6–7. Может размещаться как в верхней части прессы (рис. 3), так и в нижней. Нагружение контролируется с помощью тензорного датчика 12 и электронной системы управления. Продольные и поперечные деформации измеряются с помощью линейных индикаторов 11.

Электромеханические прессы оснащены автоматизированной системой управления, что позволяет точно контролировать создаваемое нагружение. Управление осуществляется со встроенных электронных дисплеев или непосредственно с компьютера; в программном обеспечении, как правило, имеется много опций для визуализации и анализа результатов.

По сравнению с предыдущими рассмотренными конструкциями, электромеханические прессы требуют постоянного подключения к сети питания, что может создавать сложности при перебоях с электроэнергией. Также прибор подвержен возникновению неисправностей, связанных с короткими замыканиями или перегрузками в сети.

Электромеханические прессы являются универсальным и надежным оборудованием для проведения механических испытаний. Они обеспечивают высокую точность и контроль над рабочим процессом. К существенным преградам широкого распространения

электромеханических прессов следует отнести их высокую стоимость.

Выводы

1. При испытании влияния буровых растворов на прессованные цилиндрические образцы из дезинтегрированных не набухающих глин определяют время устойчивого состояния.
2. Промышленно выпускаемые приборы для исследования влияния буровых растворов на прочностные свойства образцов, спрессованных из дезинтегрированной породы, позволяют создавать давление около 31 кПа на цилиндры диаметром 28,6 мм, что существенно ниже возникающих в пристольной зоне нагружений — 200 кПа и более.
3. Обзор наиболее распространенных конструкций прессов показал, что рычажные прессы могут быть менее точными и не автоматизированными по сравнению с другими типами прессов, но они обычно проще в использовании и обслуживании. Гидравлические прессы представляют собой эффективное оборудование для проведения испытаний механических свойств материалов, включая горные породы, но дороговизна обслуживания создает ограничение на их широкое распространение. Электромеханические прессы обычно являются универсальным и надежным оборудованием для проведения механических испытаний. Они обеспечивают высокую точность и контроль над процессом испытания, что делает их широко используемыми в различных областях, таких как строительство, геотехника, материаловедение и другие. К существенным преградам широкого распространения электромеханических прессов следует отнести их высокую стоимость.
4. Выполненный анализ применяемых прессов различной конструкции показал, что разработка установки для определения времени устойчивого состояния прессованных цилиндрических образцов из дезинтегрированных не набухающих глин под механическим нагружением в среде буровых растворов является актуальной задачей. В связи с этим данный вопрос был выбран в качестве темы проектной деятельности ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Литература

1. Балаба В.И. Оценка соответствия промысловой жидкости при бурении в глинистых отложениях // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2010. № 3. С. 54–63.
2. Капитонов В.А., Салихов А.Р.,

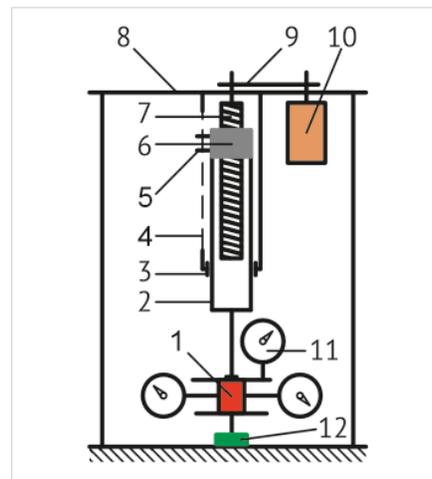


Рис. 3. Электромеханический пресс: 1 — исследуемый образец; 2 — цилиндр, движущийся поступательно; 3 — подшипники скольжения; 4 — паз (обозначенный пунктирной линией), ограничивающий поступательное движение шпинделей; 5 — шпиндели, перемещающиеся по пазу; 6 — гайка или шариковая гайка; 7 — винтовой вал; 8 — станина; 9 — ременная передача; 10 — шаговый двигатель; 11 — микрометры; 12 — тензорный датчик

Евдокимов Д.В., Коваль М.Е., Букин П.Н., Валиева О.И. Разработка методики оценки влияния технологических жидкостей на стабильность Аргиллитов // Нефть. Газ. Новации. 2023. № 10. С. 51–55.

3. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 328 с.
4. Зобак М.Д. Геомеханика нефтяных залежей. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. 482 с.
5. Иоффе А.М., Величко Д.В. Оценка устойчивости горных выработок с использованием методов численного моделирования // Вестник РАН. 2015. Т. 15. № 4. С. 53–58.
6. Бойков Е.В., Гуськов П.О., Евдокимов И.Н., Лосев А.П., Могильниченко М.А., Савельева Я.Л., Фесан А.А. Разработка воспроизводимой методики одноосного сжатия искусственных кернов для оценки ингибирующего действия буровых растворов // Реагенты и материалы для строительства, эксплуатации и ремонта нефтяных, газовых скважин: производство, свойства и опыт применения. Владимир: Аркаим, 2016. С. 81–86.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Букин Павел Николаевич, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия
Для контактов: bukin.pavel@mail.ru

Будник Дмитрий Владимирович, студент, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия

Капитонов Владимир Алексеевич, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Самара, Россия; главный специалист, ООО «СамараНИПИнефть» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Самара, Россия
Для контактов: kapitonovva@gmail.com

Гиляев Гани Гайсинович, д.т.н., Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия