

## ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ПОРОД ВЗРЫВОМ, РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-2-74-82

УДК 622.23.05

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ПАКЕРНЫХ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

**IMPROVING THE RELIABILITY OF PACKER SEALING ELEMENTS BASED ON  
THE RESULTS OF LABORATORY TESTS**

**Темиряева Оксана Александровна,**  
вед. инженер, e-mail: temir154@gmail.com  
**Oksana A. Temiryayeva, Senior Engineer**

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный  
проспект, 54  
Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Krasny prospect 54,  
Novosibirsk, 630091, Russian Federation

**Аннотация:**

*Приведена конструкция лабораторного стенда для одноосного сжатия цилиндрических пакерных уплотнительных элементов из эластичных материалов. Описана методика проведения и основные выводы по результатам лабораторных испытаний. Установлены вероятные причины их низкой работоспособности и определены основные направления модернизации. Определены геометрические и физические параметры пакерных уплотнительных элементов востребованных типоразмеров в подземных условиях. Рассчитаны осевые нагрузки сжатия в зависимости от толщины стенки пакерных уплотнительных элементов из полиуретана твердостью 40 ShA в пределах 25% осевой деформации для герметизации скважины  $D_{\text{вн}}=76$  мм. Полученные нагрузки сравнивались с критическими по условию устойчивости длинных оболочек. Обосновано решение об армировке цилиндрической втулки из мягкого полиуретана жестким пружинным элементом. Проведены лабораторные исследования модернизированных уплотнительных элементов на сжатие. Приведены фотографии и результаты исследований, подтверждающие стабилизацию цилиндрической формы.*

**Ключевые слова:** герметизация скважин, направленный гидроразрыв, оборудование для гидроразрыва, пакер, уплотнительный элемент.

**Abstract:**

*The design of a laboratory bench for uniaxial compression of cylindrical packer sealing elements made of elastic materials is presented. The methodology and the main conclusions based on the results of laboratory tests are described. The probable reasons for their low efficiency have been established and the main directions of modernization have been determined. The geometrical and physical parameters of the packer sealing elements of the demanded standard sizes in underground conditions have been determined. Axial compressive loads were calculated depending on the wall thickness of 40 ShA polyurethane packer sealing elements within 25% of axial deformation to seal the well  $D_{\text{vn}} = 76$  mm. The obtained loads were compared with the critical ones in terms of the stability condition for long shells. The decision to reinforce a cylindrical sleeve made of soft polyurethane with a rigid spring element is substantiated. Laboratory studies of the upgraded compression sealing elements have been carried out. The photographs and research results confirming the stabilization of the cylindrical shape are presented.*

**Key words:** well sealing, directional fracturing, hydraulic fracturing equipment, packer, sealing element.

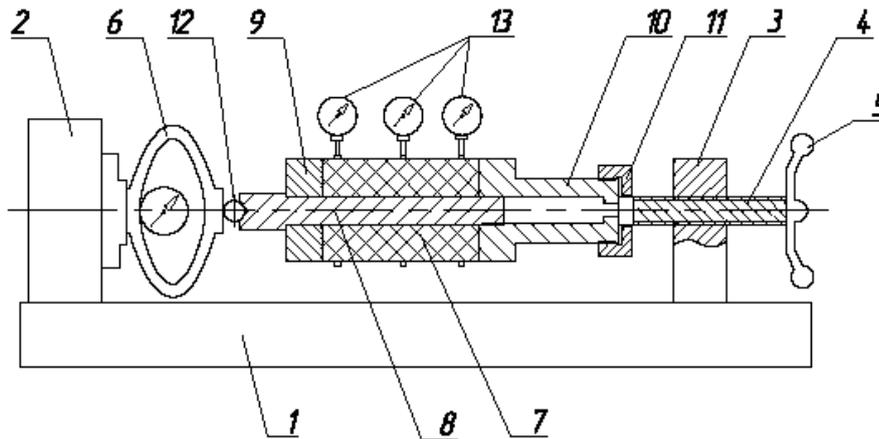


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для осевого сжатия пакерных уплотнительных элементов: 1 – станина стенда; 2 – цанговый зажим; 3 – суппорт; 4 – винт; 5 – маховик; 6 – динамометр типа ДОСМ-3; 7 – испытываемый образец; 8 – корпус устройства для проведения гидроразрыва; 9 – шайба; 10 – втулка; 11 – специальная гайка; 12 – шарик; 13 – индикаторы перемещения часового типа

Fig. 1. Diagram of the laboratory stand for axial compression of packer sealing elements: 1 – stand frame; 2 – collet clamp; 3 – caliper; 4 – screw; 5 – flywheel; 6 – dynamometer type dosm-3; 7 – test sample; 8 – body of the device for hydraulic fracturing; 9 – washer; 10 – bushing; 11 – special nut; 12 – ball; 13 – indicators of movement of the clock type

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) применяют в нефте- и газодобывающих отраслях, горной промышленности, подземном строительстве. Наибольшее распространение он получил при вскрытии породных коллекторов нефти и газа пробуренными с поверхности скважинами с целью интенсификации притока и увеличения дебита полезного ископаемого. При подземной добыче угля гидроразрыв востребован для принудительной посадки труднообрушаемой кровли отсечением массива в заданном направлении [1], разупрочнении пород и породных прослоек [2,3], интенсификации метаноотдачи [4,5] и защитном экранировании выработок от флюидопритоков [6]. Также известны различные модификации метода для определения напряженного состояния горного массива [7,8,9,10]. Применение направленного гидроразрыва позволяет задавать начальное направление развития трещины и снизить энергозатраты на его реализацию.

Герметизацию интервала разрыва для дальнейшего нагнетания рабочей жидкости создают монолитным заполнением прилегающих участков скважины твердеющими составами или с помощью специальных устройств, в т.ч. многократного применения. Первая из указанных технология осложняется последующими операциями по разбуриванию монолитных пакеров для восстановления проходного сечения скважины. Вторая – имеет преимущества в отношении простоты и оперативности способа, но требует надежного оборудования. В настоящее время серийно выпускаются пакеры для нефте- и

газодобычи, предназначенные, в основном, для работы в скважинах, обсаженных трубами.

Выполнение работ по гидроразрыву в условиях угольных шахт, как правило, требует бурения большого количества шуров и скважин диаметрами от 45 до 150 мм. Отечественные разработки скважинных герметизаторов для гидроразрыва, а также методики его проведения, не получили широкого распространения по причине ограниченной надежности и работоспособности оборудования. Опыт применения разработанных в ИГД СО РАН герметизирующих устройств показал следующие проблемы: разгерметизация участка в процессе нагнетания флюида, сложность извлечения устройства из скважины после проведения гидроразрыва. Для установки причин этих проблем пакерные уплотнительные элементы были исследованы на одноосное сжатие в лабораторных условиях.

**Лабораторный стенд и методика проведения испытаний.** Схема разработанного лабораторного стенда для осевого сжатия пакерных уплотнительных элементов, выполненных из различных эластомеров, представлена на рис. 1.

Стенд состоит из станины 1, цангового зажима 2, суппорта 3, винта 4 с маховиком 5. В цанговом зажиме 2 закреплен динамометр 6 типа ДОСМ-3 (динамометр осевого сжатия механический 3-го разряда ГОСТ 9500) Испытываемый образец 7 установлен на корпусе 8 устройства до упора в шайбу 9. На другом торце корпуса 8 установлена втулка 10 по ходовой посадке с возможностью осевого перемещения

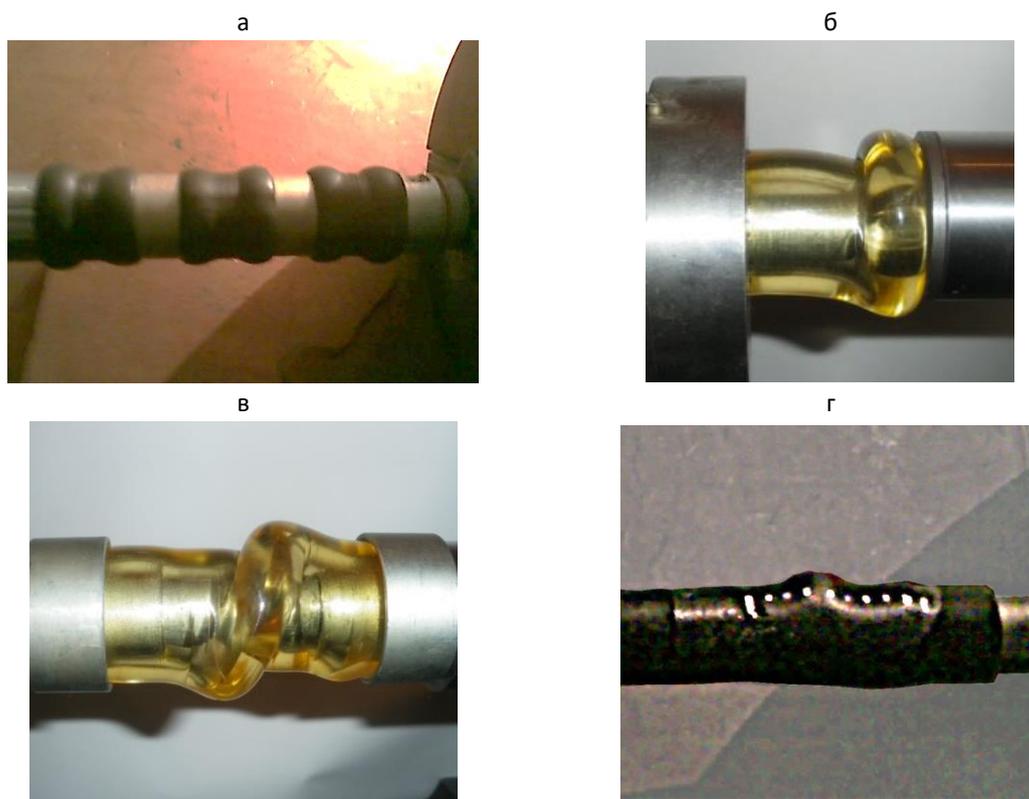


Рис. 2. Фотографии деформированных уплотнительных элементов из эластомеров: а, б – со свободными торцами; в – с закрепленными торцами; г – с торцевыми частями из твердого полиуретана

Fig. 2. Photos of deformed sealing elements made of elastomers: a, b – with free ends; c – with fixed ends; d – with end parts made of solid polyurethane

вдоль корпуса 8. На втулку 10 навинчена специальная гайка 11, в отверстии которой по скользящей посадке установлена торцевая часть винта 4. Между динамометром 6 и корпусом 8 установлен шарик 12 для центровки при передаче осевых нагрузок на образец. Винтовая подача позволяла создавать осевую нагрузку на образец до 10 кН.

Нагружение создавалось винтом подачи 5, фиксация нагрузки и изменения радиальной деформации проводилась каждые 5 мм сжатия образца 7. Замер изменения диаметров испытываемого образца проводили в трех точках (в центре и по краям) по показаниям индикаторов часового типа 13. Испытание проводили до значительной несимметричной деформации, затем устанавливали очередной образец и повторяли эксперимент.

Целью лабораторных испытаний было установление характерных зависимостей увеличения внешнего диаметра втулок из эластичных материалов при осевом сжатии в зависимости от их длины, толщины и твердости.

В качестве опытных образцов уплотнительных элементов пакеров сжатия были изготовлены втулки из резины типа СКС и

полиуретана марки ТСКУ-ФЭ-4 твердостью по шкале Шора от 40 до 80 ShA. Длины втулок и диаметры отверстий были выбраны на основе параметров уже разработанных в ИГД СО РАН устройств для проведения направленного гидроразрыва. Количество исследуемых втулок с различными характеристиками – 11 шт.

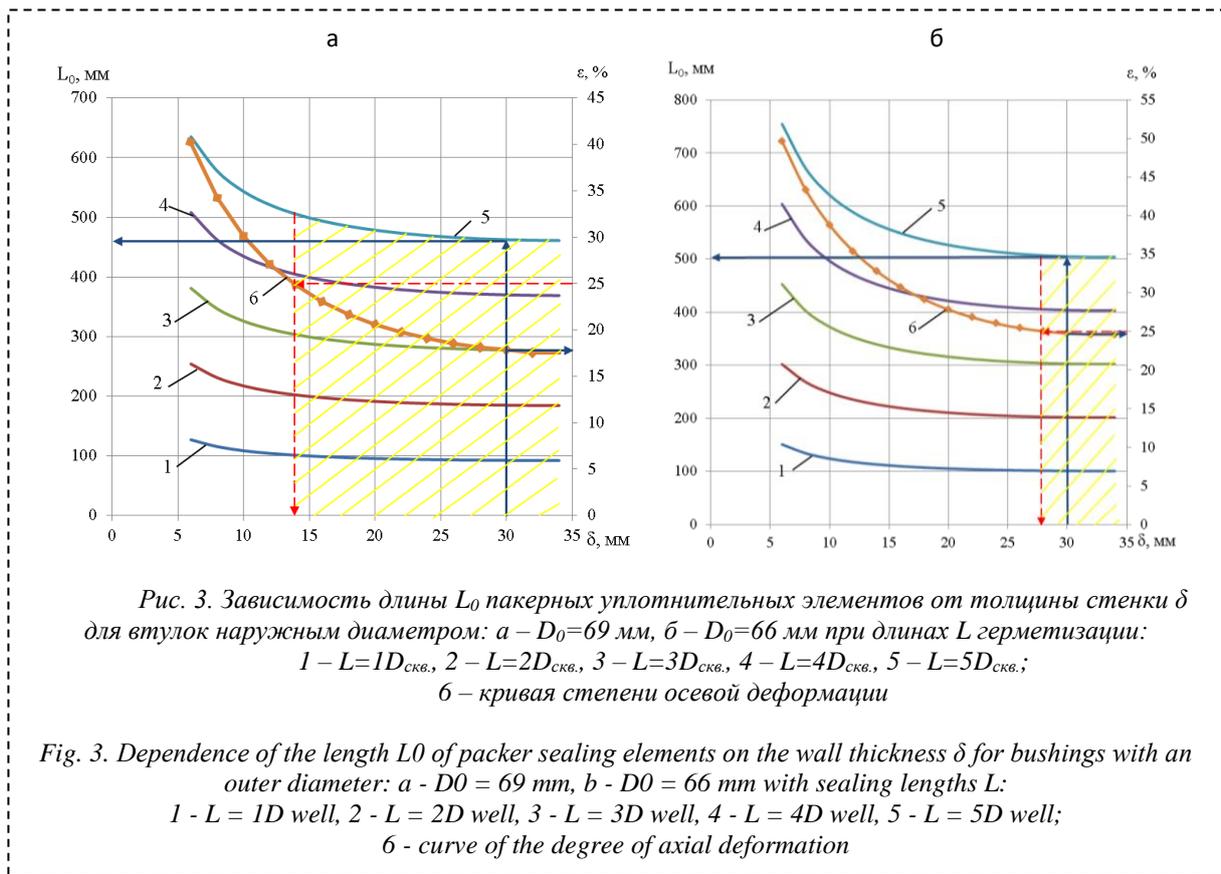
Наружные диаметры соответствовали диаметрам скважин 45, 76 и 100 мм за вычетом кольцевого зазора, определенного на основе рекомендованного авторами работы [11] отношения диаметра скважины к диаметру пакера от 1.08 до 1.15.

Считалось, что максимальное диаметральное приращение должно наблюдаться в центральной части втулки, а при контакте со стенками скважины – равномерно распространяться по всей ее длине.

В результате лабораторных испытаний были выявлены следующие особенности деформации втулок из эластомеров:

- бочкообразная форма не образуется, деформации происходят волнообразно и не всегда осесимметрично;

- локальные увеличения внешнего диаметра происходят не только за счет увеличения сечения, но за счет растяжения внутренней поверхности



втулки;

- деформация втулок схожа с формами потери устойчивости металлических оболочек;
- в статическом режиме нагружения происходит пластическая деформация, выраженная в падении напряжения от сжатия и медленном расползании увеличенной в диаметре области.

Также был отмечен известный факт, что характер деформации при сжатии изделий цилиндрической формы из эластомеров зависит от условия закрепления торцов – граничных условий. На рис. 2 приведены примеры деформированных опытных образцов при деформации свыше 20%.

По результатам испытаний установлено, что приращение диаметров в центральной части практически не зависит от длины и диаметра образца, выполненного из резины и полиуретана. В среднем центральная часть образцов от осевого сжатия увеличилась на 6 мм, а максимальное значение не превысило 9 мм. Локальное приращение диаметра происходит в степени, превосходящей упругие свойства материала, вызывая значительные остаточные деформации. Усилие осевого сжатия зависит от толщины стенки образца и его твердости.

Вследствие полученных результатов, сформулированы основные задачи по модернизации уплотнительного элемента сжатия:

- обеспечить плотное прилегание пакера к поверхности скважины в процессе герметизации и высокую износостойкость материала;

- добиться равномерного распределения давления на стенки скважины и осесимметричной равномерно распределенной по длине уплотнителя деформации;

- повысить упругость пакерного элемента при снятии нагрузки для его возврата к первоначальному состоянию.

**Разработка модернизированного пакерного уплотнительного элемента сжатия.** Конструктивное решение было обусловлено требуемыми свойствами изделия: пакерный уплотнительный элемент в виде цилиндрической втулки при радиальном расширении должен заполнять технологический зазор и плотно прилегать к стенкам скважины, а при снятии сжимающей нагрузки восстанавливать исходную форму.

Определение оптимальных параметров цилиндрических втулок проводилось для скважины диаметром  $D_{скв.} = 76$  мм. Внешний диаметр  $D_0$  уплотнительных элементов был вычислен с учетом зазора до стенки скважины в двух вариантах: один - по рекомендациям [11]  $D_0 = D_{скв.}/1,1$ , второй -  $D_0 = D_{скв.} - 10$  мм. Исходным параметром для определения длин  $L_0$  втулок были приняты длины  $L$  герметизации от одного диаметра скважины до пяти ( $L = D_{скв.}, 2D_{скв.}, \dots, 5D_{скв.}$ ), таким образом,  $L$  соответствовала конечной длине втулки после сжатия. По условию постоянства объема при осевом сжатии с радиальным приращением до  $D_{скв.}$  были рассчитаны длины  $L_0$  для всего набора втулок в

зависимости от толщины стенки  $\delta = 6...34$  мм. Отношением разницы начальной и конечной длин втулок к исходной длине получили соответствующую условиям герметизации степень относительной осевой деформации  $\varepsilon$ , %. Результаты вычислений представлены на рис.3 в виде кривых для каждого типоразмера втулок (по основной шкале), а так же кривая осевой деформации (по вспомогательной шкале). Так, например, требуемая длина герметизации составляет  $L = 5D_{\text{скв.}}$ , наружный диаметр втулки  $D = 69$  мм, а толщина стенки, определяемая конструктивными особенностями устройства для гидроразрыва,  $\delta = 30$  мм. На рис. 3,а проводим вертикальную прямую до соответствующей типоразмеру кривой и получаем  $L_0 \approx 460$  мм, от точки пересечения этой прямой с кривой деформации проводим нормаль до вспомогательной шкалы и получаем, что осевая деформация при таких параметрах составит  $\varepsilon \approx 16\%$ . При наружном диаметре втулки  $D = 66$  мм и той же толщине стенки по рис. 3,б получаем  $L_0 \approx 500$  мм и  $\varepsilon \approx 25\%$ .

Многими авторами, исследовавшими изделия из эластомеров, отмечено, что для малых деформаций эластичных образцов в пределах 25% справедливы законы Гука, и расчет резиновых деталей не отличается от расчета деталей из металлов. Принимая во внимание этот факт, определили рабочую область толщин стенок для рассматриваемых типоразмеров втулок. Так, минимальная толщина стенки для втулок  $D_0 = 69$  мм будет равна  $\delta = 14$  мм, а для  $D_0 = 66$  мм -  $\delta = 28$  мм, рабочие области на рис. 3а,б выделены штриховкой.

Материалом пакерных уплотнительных элементов для проведения гидроразрыва угольного массива выбран полиуретан твердостью по шкале Шора 40 ShA. Полиуретан в сравнении с резинами обладает лучшими физико-техническими свойствами, более долговечный и стойкий к агрессивным средам, что необходимо в случае использования химически активных рабочих жидкостей. Упругость на сдвиг выбранного материала коррелируется с крепостью угля для предотвращения хрупких разрушений при их контакте.

Расчет осевых нагрузок  $P$  проводили по формуле, предложенной Яковлевым [12]. Формула учитывает «эффект ужесточения» при сжатии изделий из эластомера, и рекомендована для деформаций в пределах 25% в статическом режиме нагружения:

$$P = \frac{(0.73 + 0.46 \left(\frac{R}{L_0}\right)^2) \cdot E_{\text{изд}} \cdot S \cdot \Delta L}{L_0}, \quad (1)$$

где  $R$  – внешний радиус втулки, мм,  $S$  – площадь поперечного сечения втулки, мм<sup>2</sup>,  $\Delta L$  – осадка, мм;  $L_0$  – длина втулки, мм;  $E_{\text{изд}}$  – модуль упругости изделия из полиуретана, определяемый

по формуле:

$$E_{\text{изд}} = E_{\text{ст0}} k_{\text{тор}} (0,8 + \Phi) \left(1 + \frac{\text{ShA}^{1.17}}{1000}\right), \text{ МПа,}$$

где  $E_{\text{ст0}}$  – начальный модуль упругости, МПа;  $k_{\text{тор}}$  – коэффициент, учитывающий трение на торцах (без закрепления торцов  $k_{\text{тор}} = 1$ , с закрепленными торцами  $k_{\text{тор}} = 1,1$ ); ShA – твердость материала по Шору, шкала А;  $\Phi$  – фактор формы.

Фактор формы показывает отношение нагруженной площади изделия из эластомера к общей, полученный коэффициент участвует в расчете модуля упругости изделия. Фактор формы  $\Phi$  для цилиндрических втулок из полиуретана рассчитывался по формуле [12]:

$$\Phi = \frac{D_0 - d}{4L_0},$$

где  $D_0$  – наружный диаметр, мм;  $d$  – внутренний диаметр, мм.

Начальный модуль упругости  $E_{\text{ст0}}$  был определен на основе методики ГОСТ 9550-81 с использованием деформационных зависимостей  $F(\Delta L)$ , построенных по результатам лабораторных испытаний. Усредненное значение для шести образцов из полиуретана 40 ShA составило  $E_{\text{ст0}} = 1,14$  МПа. Достоверность рассчитанного модуля подтверждается близким значением модуля упругости, вычисленного по формуле  $E = 3G$ , где  $G$  – модуль сдвига по справочным данным для эластомера соответствующей твердости.

Результаты лабораторных испытаний на свободное сжатие показали, что на устойчивость цилиндрической формы при сжатии втулок из эластомеров большое влияние оказывает длина втулки. В работе [13] критические нагрузки, определяющие устойчивость цилиндрических оболочек, предложено рассчитывать в зависимости от ее длины. Так как основная часть рассматриваемого нами набора втулок соответствует условию отнесения к длинным втулкам

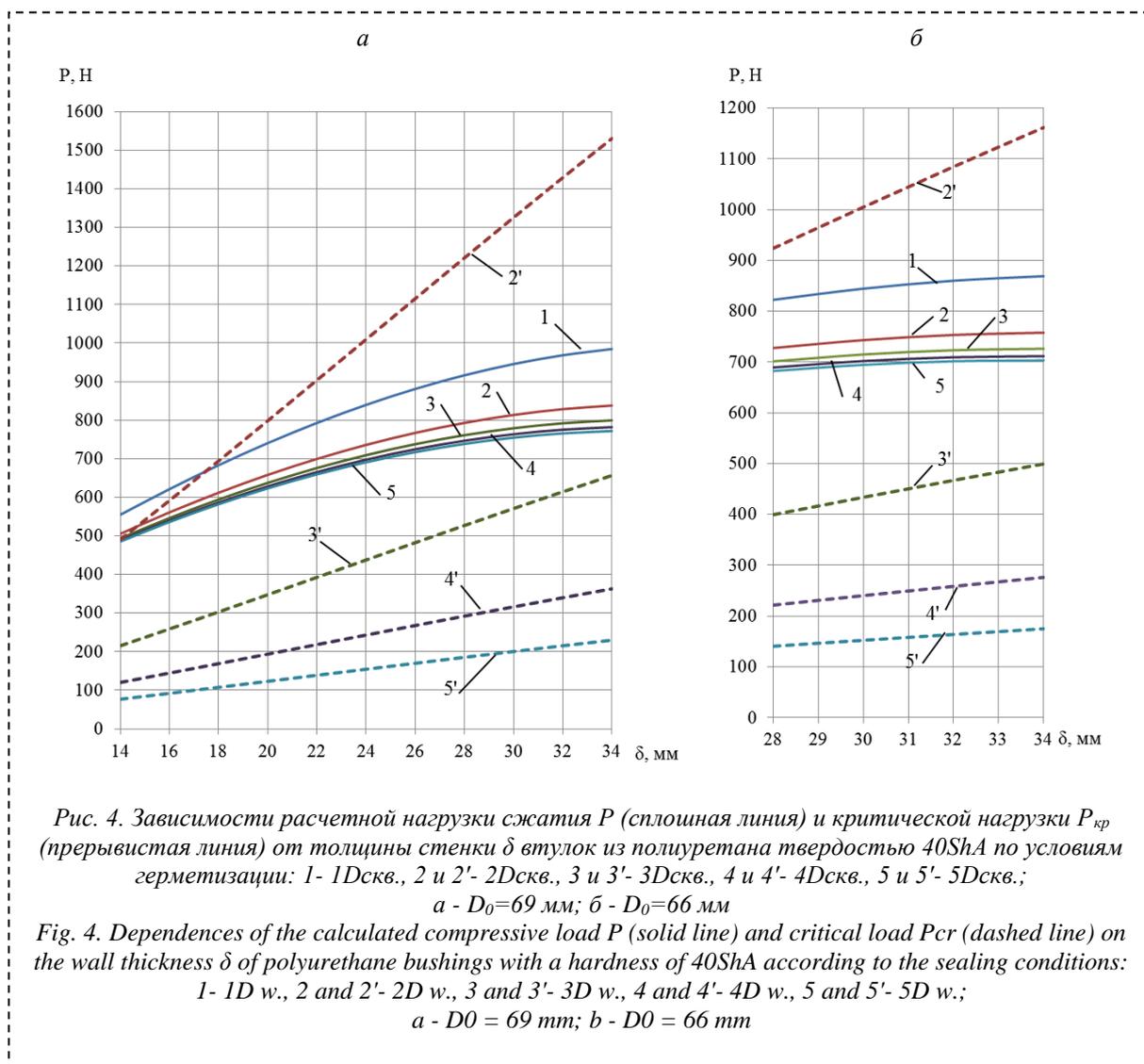
$$\frac{L_0}{R} > 3 \sqrt{\frac{R}{\delta}},$$

оценка устойчивости их цилиндрической формы определяется критической нагрузкой, рассчитываемой по следующей формуле:

$$P_{\text{кр}} = 31 \frac{ER^3 \delta}{L_0^2}. \quad (2)$$

Рассчитанные по формуле (1) нагрузки  $P$  сравнили с критическими  $P_{\text{кр}}$ , рассчитанными по формуле (2). Результаты представлены на рис. 4 в виде зависимостей от толщины стенки  $\delta$  в пределах определенной ранее рабочей области для каждого типоразмера пакерных уплотнительных элементов для 25% осевой деформации. Для втулок с условием герметизации  $L = 1D_{\text{скв}}$  критическая нагрузка  $P_{\text{кр}}$  не рассчитывалась, т.к. их параметры не относятся к длинным оболочкам.

Полученные значения критических нагрузок для оболочек длиной более  $3D_{\text{скв}}$  значительно ниже



рабочих, что на практике может проявляться в волнообразовании с неупругими деформациями от контакта со стенкой скважины. Известно, что деформационные зависимости эластомеров зависят от скорости нагружения, что также было отмечено в ходе лабораторных испытаний: при остановке нагружения показания на индикаторе динамометра падали, а локально увеличенный в диаметре участок частично растекался. В результате релаксации в сечениях уплотнительного элемента происходит падение напряжения от сжатия, для некоторых изделий из эластомеров за несколько секунд упругость снижается в десятки раз. Процесс нагнетания жидкости в загерметизированный участок скважины занимает некоторое время, которое в основном зависит от производительности насоса и возможных утечек через трещины в массиве. Это позволяет предположить, что после проведения разрыва горного массива и снятия нагрузки пакерный уплотнительный элемент не обладает достаточной упругостью для преодоления силы трения о стенки скважины и восстановления

исходной формы.

Для повышения упругих свойств пакерных уплотнителей и стабилизации цилиндрической формы было предложено армировать втулки из полиуретана металлической пружиной. Параметры исследуемых образцов были определены параметрами устройства [14] L0xD0xd, мм: №1 – 225x73,8x31 твердостью по Шору 56, №2 – 177x73,8x30 твердостью по Шору 60. Стенки втулок были армированы цилиндрическими пружинами наружным диаметром 50 мм и толщиной проволоки 3 мм. Пружина устанавливалась соосно втулке. Нагружение вели до 25% осевой деформации с фиксацией нагрузок и приращений диаметров в трех точках – в верхней, центральной и нижней. Фотографии втулок с пружинным элементом в исходном состоянии и сжатом на 25% представлены на рис. 5 : а – образец №1; б – образец №2.

Полученные нагрузки сравнили с нагрузками, рассчитанными по формуле (1), а фактические приращения диаметра с

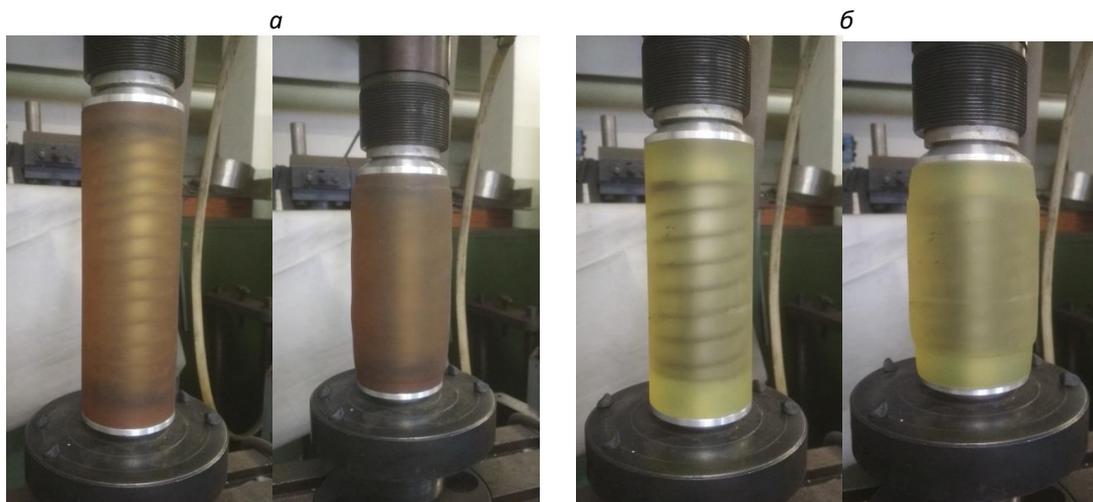


Рис.5. Фотографии втулок с пружинным элементом в исходном состоянии и сжатом на 25%:  
 а – образец №1; б – образец №2  
 Fig. 5. Photos of bushings with a spring element in the initial state and compressed by 25% :  
 a-sample №1; b-sample № 2

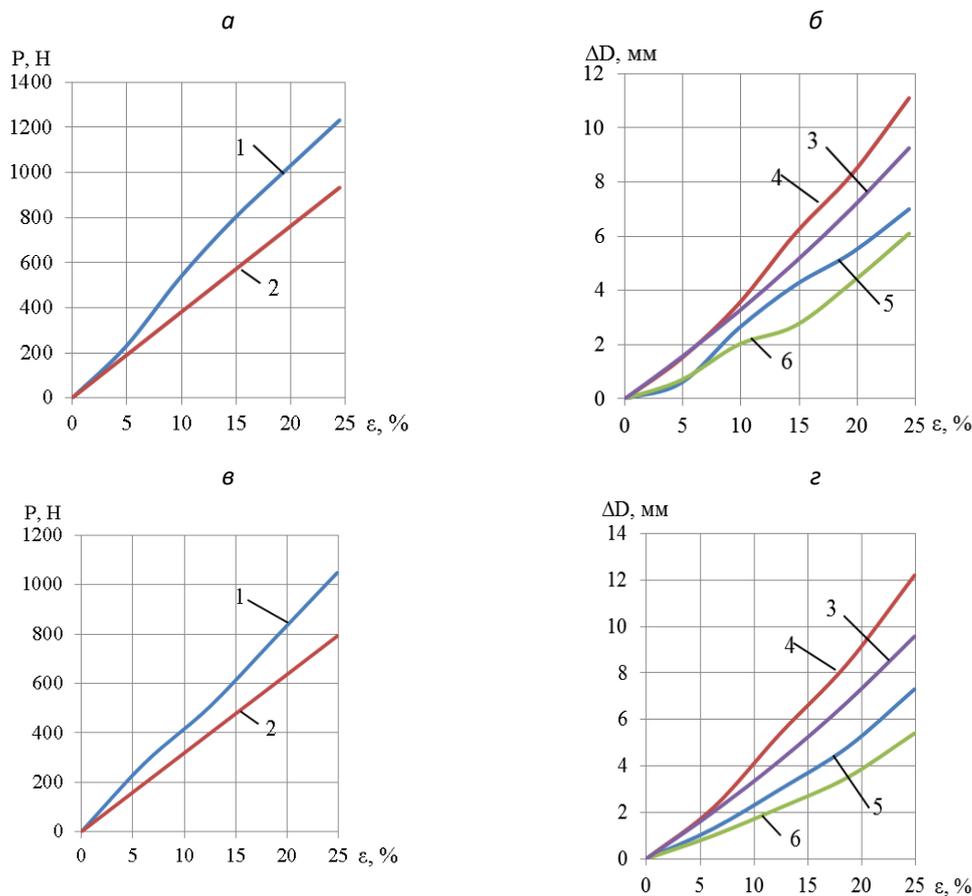


Рис.6. Зависимости сжимающих нагрузок  $P$  (а,в) и приращений в диаметре  $\Delta D$  (б, г) от осевой деформации: а, б – образца № 1; в, г – образца № 2. 1 – фактическая нагрузка; 2 – нагрузка по формуле (1); 3 – диаметральные приращения теоретические; 4- фактическое диаметральное приращение в центральной части втулки; 5 – фактическое диаметральное приращение в верхней части втулки; 6 – фактическое диаметральное приращение в нижней части втулки  
 Fig. 6. Dependences of compressive loads  $P$  (a,b) and increments in diameter  $\Delta D$  (b, d) on axial deformation: a, b – sample № 1; c, d – sample № 2. 1 – actual load; 2 – load according to the formula (1); 3-theoretical diametrical increments; 4 – actual diametrical increment in the central part of the sleeve; 5 - actual diametrical increment in the upper part of the sleeve; 6- the actual diametric increment at the bottom of the bushing

теоретическими по условию сохранения объема. Результаты исследований представлены на рисунке 6: а,б – образец №1, в, г – образец №2.

Лабораторные исследования на сжатие модернизированных втулок подтвердили достаточную стабилизацию формы за счет армирования цилиндрической пружины. Полное заполнение кольцевого зазора достигнуто при 13% осевой деформации для скважины диаметром 76 мм. Максимальное отклонение от теоретически рассчитанного приращения диаметра составило 42 % при сжатии на 25%.

**Выводы.** Проведенные лабораторные испытания позволили наглядно зафиксировать деформационные процессы происходящие с упругими уплотнительными элементами в скважине, предположить причины ненадежности их работы и поставить задачи для модернизации конструкции. Кривые, представленные на рис.3 позволяют выбрать оптимальное соотношение длины пакерного уплотнителя и толщины его стенки для скважины диаметром 76 мм. С

использованием этих кривых были рассчитаны осевые нагрузки для герметизации скважины диаметром 76 мм в пределах деформаций до 25% в зависимости от толщины стенки пакера для полиуретана твердостью 40ShA с учетом эффекта ужесточения. Для стабилизации цилиндрической формы при сжатии пакерного уплотнителя предложено техническое решение – армирование цилиндрической пружины. Лабораторные исследования на сжатие армированных полиуретановых втулок подтвердили стабилизацию цилиндрической формы и допустимые отклонения в приращении диаметров. Техническое решение послужило основой для разработки новых устройств для гидроразрыва горных пород, в том числе, защищенных патентами РФ [15, 16].

*Экспериментальные исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования геомеханических, геофизических и геодинамических измерений СО РАН.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каркашадзе, К.К., Технология направленной посадки трудно обрушаемой кровли путем гидравлического разрыва пород кровли через скважины пробуренные из выработанного пространства / Каркашадзе К.К., Иванов Ю.М.// ГИАБ. – 2014 – №11 – С. 13-18.
2. Леконцев, Ю. М. Разупрочнение породного прослойка в угольном пласте в условиях шахты “Романовская” с применением метода поинтервального гидроразрыва (ППР) / Ю. М. Леконцев, П. В. Сажин, С. Ю. Ушаков // Уголь. – 2012 – №1. – С. 15 – 17.
3. Ушаков, С.Ю. Обоснование параметров устройств разупрочнения породных прослойков угольных пластов для разрушения резанием : дис. ... канд. техн. наук. – КузГТУ, Ке-мерово, 2018.
4. Coal Mine Methane Recovery: A Primer // U.S. Environmental Protection Agency- July, 2019. EPA – 430 – R – 09 – 013.
5. Hydraulic Fracturing for the latest report: Unlocking America’s Natural Gas Resources. 2017: www.hydraulicfracturing.com.
6. Shilova T., Patutin A., Serdyukov S. Sealing quality increasing of coal seam gas drainage wells by barrier screening method, Int. Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM, 2013, Vol. 1. – P. 701 – 708.
7. Курленя, М.В. Оценка напряженного состояния горных пород методом гидроразрыва/ Курленя М.В. и [др.] // ГИАБ. – 2015 – №1. – С. 5-11.
8. Zhao, X. G., Wang, J., Cai, M., Ma, L. K., Zong, Z. H., Wang, X. Y., ... & An, Q. M. In-situ stress measurements and regional stress field assessment of the Beishan area // Engineering ge-ology. – China. – 2013. – Vol. 163. – P. 26-40.
9. Сердюков С.В., Курленя М.В., Патутин А.В. К вопросу об измерении напряжений в по-родном массиве методом гидроразрыва // Физико-технические проблемы разработки по-лезных ископаемых. – 2016. – № 6. – С. 6–14.
10. Леонтьев, А.В. Измерение напряженного состояния массива и управляемое воздействие на его механические свойства / А.В. Леонтьев, Ю.М. Леконцев, О.А. Темиряева // Ма-териалы всероссийской научно-технической конференции. – КузГТУ, Кемерово. – 2015. – 5 с.
11. Аванесов, В.А. Пакеры для проведения технологических операций и эксплуатации скважин: учеб. пособие / В. А. Аванесов, Е.М. Москалева. – Ухта: УГТУ, 2008, 91 с.
12. Яковлев, С.Н. Расчет полиуретановых деталей, работающих на сжатие при статической нагрузке // Научно – технические ведомости Санкт – Петербургского государственного политехнического университета. – 1(190) 2014. – С.137 – 142.
13. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.

14. Леонтьев, А.В. Устройство для гидроразрыва пород в скважине/ А.В. Леонтьев, Ю.М. Леконцев, Е.В. Рубцова: патент РФ №2320870. – 2008 – Бюл. №9.  
15. Леконцев, Ю. М., Темиряева, О. А. Устройство для гидроразрыва горных пород: патент РФ № 143091. – 2014 – Бюл. № 19.  
16. Леконцев, Ю. М., Темиряева, О. А. Устройство для гидроразрыва горных пород: патент РФ № 2553659. – 2015 – Бюл. № 17..

## REFERENCES

1. Karkashadze, K. K., Technology of directional planting of a hard-to-break roof by hydraulic fracturing of roof rocks through wells drilled from the developed space / Karkashadze K.K, Ivanov Yu. M. // GORN. – 2014. – №11 – P. 13 – 18.
2. Lekontsev, Yu. M. Softening of the rock stratum in coal seam in the mine “Romanovskaya” using the method of interval hydro-fracturing (PGR) / Yu. M. Lekontsev, P. V. Sazhin, S. Y. Ushakov // Coal. – 2012. – №1. – P. 15 – 17.
3. Ushakov, S. Yu. Justification of parameters of devices for softening of rock layers of coal seams for destruction by cutting: dis. ... kand. tehn. nauk. – KuzSTU, Kemerovo, 2018.
4. Coal Mine Methane Recovery: A Primer // U.S. Environmental Protection Agency. – July. – 2019. – EPA – 430 – R – 09 – 013.
5. Hydraulic Fracturing for the latest report: Unlocking America’s Natural Gas Resources. 2017: www.hydraulicfracturing.com.
6. Shilova T., Patutin A., Serdyukov S. Sealing quality increasing of coal seam gas drainage wells by barrier screening method, Int. Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM. – 2013. – Vol. 1. – P. 701 – 708.
7. Kurlenya, M. V. Assessment of the stress state of rocks by hydraulic fracturing / Kurlenya, M. V. and [others] // GIAB. – 2015.–No. 1. – P. 5 – 11.
8. Zhao, X. G., Wang, J., Cai, M., Ma, L. K., Zong, Z. H., Wang, X. Y., ... & An, Q. M. In-situ stress measurements and regional stress field assessment of the Beishan area // Engineering ge-ology. – China. – 2013. – Vol. 163. – P. 26-40.
9. Serdyukov S. V., Kurlenya M. V., Patutin A.V. Hydraulic fracturing for in situ stress measurement // Journal of Mining Science. – 2016. – No. 6. – P. 1031-1038.
10. Leontiev, A.V. Measurement of the stress state of the array and controlled impact on its me-chanical properties / A.V. Lenontiev, Yu. M. Lekontsev, O. A. Temiryayeva // Materials of the All – Russian scientific and Technical Conference. – KuzSTU, Kemerovo. – 2015. – P. 5.
11. Avanesov, V. A. Packers for carrying out technological operations and exploitation of wells: proc. manual / V. A. Avanesov, E. M. Moskaleva. – Ukhta: UGTU. – 2008. – P. 91.
12. Yakovlev, S. N. Calculation of polyurethane parts working on compression under static load // Scientific and technical vedomosti of St. Petersburg State Polytechnic University. – 1 (190) 2014. – P. 137 – 142.
13. Birger, I. A. Calculation of the strength of machine parts: Handbook / I. A. Birger, B. F. Shorr, G. B. Iosilevich – 4th ed., reprint. Moscow: Mashinostroenie. – 1993. – P. 640.
14. Leontiev, A.V. A device for hydraulic fracturing of rocks in a well / A.V. Leontiev, Yu.M. Lekontsev, E.V. Rubtsov: patent of the Russian Federation No. 2320870. – 2008. – Bull. 9.
15. Lekontsev, Yu. M., Temiryayeva, O. A. Device for hydraulic fracturing of rocks: patent of the Russian Federation No. 143091. – 2014. – Bull. 19.
16. Lekontsev, Yu. M., Temiryayeva, O. A. Device for hydraulic fracturing of rocks: patent of the Russian Federation No. 2553659. – 2015.– Bull. 17.

Поступило в редакцию 23.03.2021  
Received 23 March 2021