

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 62-761

DOI 10.22213/2410-9304-2019-1-4-11

### ПОДХОД К РАСЧЕТУ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ НАКОНЕЧНИКОВ ЧИСЛЕННЫМИ МЕТОДАМИ\*

*А. В. Щенятский*, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия  
*К. Н. Смирнов*, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Рассматриваются теоретические положения и численные методы расчета, позволяющие определять напряженно-деформированное состояние, прочность и нагрузочную способность соединений с натягом, содержащих волокнистый элемент продольной направленности. Рассмотрена возможность решения поставленной задачи методом конечных элементов. Подробно рассмотрены варианты расположения элементов тросов в конструкции соединения. Установлены зоны контакта между составными частями конструкции. Определены граничные условия. Составлены уравнения, позволяющие решить многосвязную контактную задачу. Предложен способ определения натяга в соединении с несколькими элементами в контакте при условии наличия их геометрического перекрытия. Силовое замыкание продольных волокнистых элементов осуществляется с помощью пологого вала 1 и охватывающей втулки 2, выполненных из металла. Поскольку волокнистый элемент, заполняющий пространство между деталями 1 и 2, выполнен из более прочного металла, то упругопластическая задача решается в основном для валов и втулок. Результаты предварительного расчета показали, что предложенный подход может применяться для исследования прочности соединения геофизического наконечника с геофизическим несущим бронированным кабелем, обеспечивающим передачу сигнала от датчиков в скважине к инклинометру, находящемуся на поверхности земли.*

**Ключевые слова:** вал, втулка, волокнистый элемент, прессовое полисоединение, натяг, геофизический кабельный наконечник, скважина.

#### Введение

В современных условиях, требующих повышения производительности оборудования, скорости проходки скважин, точности измерений углов при выполнении направленного бурения применяются различного рода разработки [1,2]. Одни направлены на роботизацию бурения [3–7], вторые на повышение живучести бурильного инструмента [8–10], третьи на совершенствование измерительного оборудования [11, 12] и развитие систем управления и коррекции движения [13]. Необходимым атрибутом измерительных систем являются мокрые разъемы и кабели, соединяющие различные части систем навигации, анализа глубинной среды и управления глубинными исполнительными механизмами. От надежности соединений и состояния разъемов и кабелей зависит возможность получения достоверной информации о параметрах нефтяной скважины и управления процесса направленного бурения. Следовательно, задача создания надежных мокрых соединений на основе научно обоснованных расчетов является актуальной задачей.

Целью настоящей работы является создание методики расчета нагрузочной способности прессового полисоединения геофизического наконечника и несущего бронированного геофизического кабеля.

#### Устройство геофизического кабельного наконечника

Для проведения буровых и исследовательских работ применяют различное геофизическое оборудование, надежная работа которого обеспечивается в том числе кабелями различного назначения. Соединение всех комплектующих между собой осуществляется с помощью кабельных наконечников (рис. 1), представляющих различные по форме и габаритам конструкции.

Примером такой конструкции служат геофизические каротажные кабельные наконечники (ГОСТ 14213–89), закрепление которых осуществляется прессовым способом. Между ниппелем и муфтой цилиндрической формы зажимается проволока – оплетка кабеля. Различные компании-производители наконечников изготавливают оборудование по собственным ТУ.

© Щенятский А. В., Смирнов К. Н., 2019

\* Публикация подготовлена в рамках работ по проекту 15.06.01/18ЦАВ «Прочность и работоспособность узлов, деталей, соединений. Надежность систем», реализуемому на основании Приказа ректора ФГБОУ ВО ИжГТУ имени М. Т. Калашникова № 1493 от от 29.12.2018 «О грантовой поддержке приоритетных исследований ученых ИжГТУ имени М. Т. Калашникова».

Для подтверждения НС соединений изготовители проводят серии натурных экспериментов, которые обеспечивают, по их мнению, гаранти-

рованное соединение с установленными правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности ПБ 08-624-03, п. 5.3.

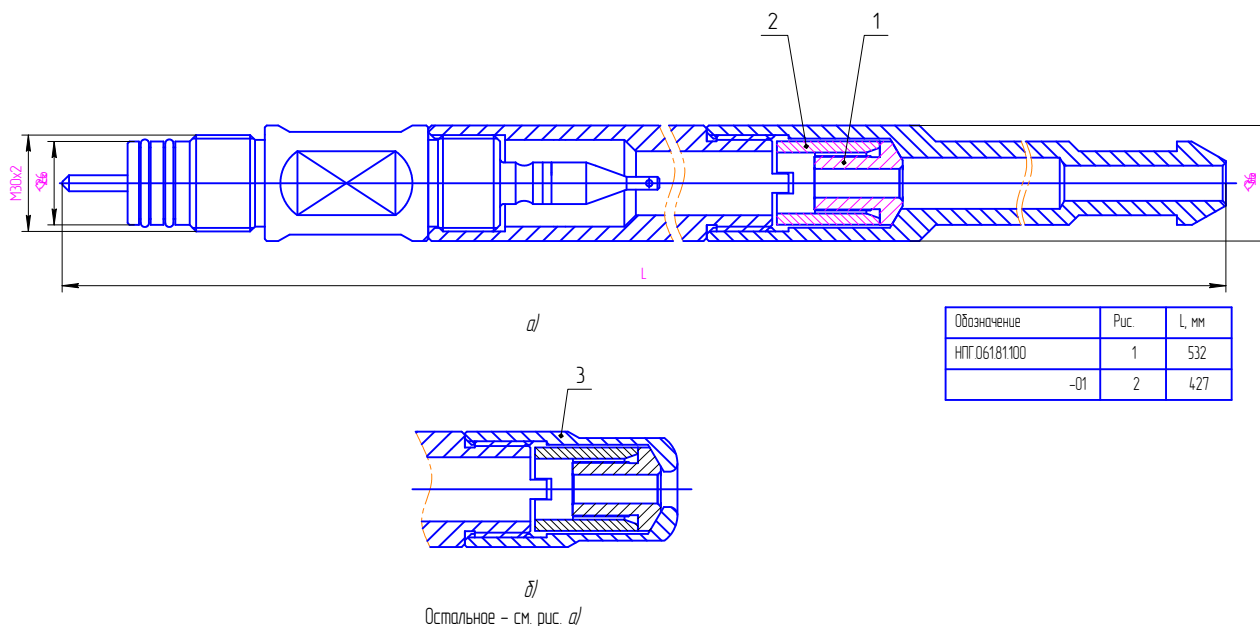


Рис. 1. Наконечник кабельный НПГ.061.81.100СБ ООО «НПП «Горизонт»: а – удлиненный хвостовик; б – короткий хвостовик; 1 – вал; 2 – втулка; 3 – хвостовик

Однако зачастую на практике сталкиваются с частым разрушением муфт соединений, что подтверждает опыт технического директора А. В. Корепанова компании ООО «НПП «Горизонт», г. Ижевск. Следовательно, развитие подходов к расчету соединений в кабельном наконечнике на прочность является актуальным.

На первом этапе решения поставленной задачи реальное соединение представим в идеализированной форме (рис. 2), что позволит несколько упростить составление граничных условий [14–16].

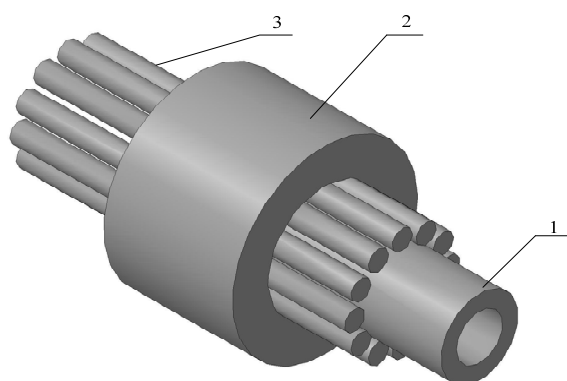


Рис. 2. Идеализированное соединение с натягом и продольным волокнистым промежуточным элементом: 1 – вал; 2 – втулка; 3 – волокнистый элемент

### Соединение с вала и втулки с бронированным несущим кабелем

Согласно схеме рис. 1, 2 геофизический кабель проходит через полое центральное отверстие вала, и броня кабеля запрессовывается между валом (1, рис. 2) и втулкой (2, рис. 2) с перегибом в обратную сторону на 180°.

В зависимости от используемого типа геофизического кабеля возможны различные схемы полисоединения с волокнистым промежуточным элементом [17]. Следует отметить, что запрессовка происходит с перегибом брони (провода). При таком способе основная нагрузочная способность кабеля (рис. 1) повысится согласно формуле Эйлера:

$$A = A_{\text{зап}} \cdot e^{-2\pi n \mu}, \tag{1}$$

где  $A$  – основная нагрузочная способность сборки;  $A_{\text{зап}}$  – осевая нагрузочная способность запрессовки;  $\mu$  – коэффициент трения;  $n$  – число намоток проволоки. Так как броня кабеля перегнута на 180°, то  $n = 0,5$ . Основным искомым параметром является  $A_{\text{зап}}$ .

### Вал и втулка (ниппель и муфта)

На основании существующих требований к изделию в ООО «НПП «Горизонт» были изготовлены образцы вала и втулки (рис. 1, 3). Образцы изготовлены из материала Сталь 40ХН

ГОСТ 4543–71. Характеристики материала: предел прочности  $980 \text{ Н/мм}^2$ , предел текучести  $785 \text{ Н/мм}^2$ , коэффициент Пуассона  $\mu = 0,28$ , модуль упругости  $E=2 \cdot 10^{11}$ . Твердость после закалки 49...55 HRC.

*Броня кабеля или промежуточный волокнистый элемент*

В качестве промежуточного волокнистого элемента используется броня грузонесущего геофизического кабеля. В работе выбраны марки кабелей КГСв  $1 \times 0,75-70-150-4$  (ООО «Электрический кабель», г. Хабаровск, ул. Большая, д. 9) и КГ1 $\times 0,75-30-180$  (НПЦ «Гальва», г. Магнитогорск, ул. Баженова, 31) с диаметрами проволок 1,1 и 0,8 мм. Требования к кабелям геофизическим по ГОСТ Р 51978–2002 регламентируют изготовление кабелей из проволоки стальной канатной по ГОСТ 7372–79. ГОСТ 7372–79 определяет основные характеристики для материала и габаритных размеров для проволоки диаметром в зависимости от сопротивления временному разрыву. В выбранной конструкции кабельного наконечника в запрессовку входит проволока диаметром 1,1 мм. По маркам геофизических грузонесущих кабелей и ГОСТ 7372–79 ясно, что проволока имеет следующие характеристики временному сопротивлению разрыву:

$$\begin{aligned} \text{КГСв } 1 \times 0,75-70-150-4 & - 1470 \text{ Н/мм}^2; \\ \text{КГ1} \times 0,75-30-180 & - 1770 \text{ Н/мм}^2. \end{aligned}$$

Проволока диаметром 0,8 мм не участвует в запрессовке брони между ниппелем и муфтой.

Компания-производитель при изготовлении использует продукцию сталелитейных компаний, в частности указанные компании пользуются поставками канатной проволоки сталелитейной компании ОАО «Белорецкий металлургический комбинат». Компания изготавливает канатную проволоку из стали марок 50–80 при

диаметрах проволоки от 0,5 до 1,5 мм. Для изготовления проволоки 1,1 мм и при значении временного сопротивления разрыву выбранных кабелей используется сталь марки не ниже 60, 65 по ТУ 14-173-107–2001 [18]. Сталь 60 после обработки и изготовления проволоки имеет следующие характеристики: коэффициент Пуассона 0,3; модуль упругости  $2 \cdot 10^{11}$  Па; модуль сдвига  $\frac{E}{2(1+\mu)} = 7,69 \cdot 10^{10}$  Па; предел прочно-

сти охарактеризован значением – временным сопротивлением разрыву – и составляет для КГСв  $1 \times 0,75-70-150-4$  – 1470 МПа, для КГ1 $\times 0,75-30-180$  – 1770 МПа; предел текучести не обусловлен в ГОСТ и выбран как 0,2 % от деформации и составляет для КГСв  $1 \times 0,75-70-150-4$  – 1470 МПа, КГ1 $\times 0,75-30-180$  – 1770 МПа.

**Натяг и условия контактного взаимодействия**

При исследовании аппаратом МКЭ сложного ППС со стальной оплеткой [19–21] компании ООО «НПП «Горизонт» поставлен вычислительный эксперимент. Детали соединения (рис. 1) изготовлены из стали 40ХН, имеют твердость HRC 49...55, предел упругости  $E=2 \cdot 10^{11}$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,28$ ; характеристика проволок взята по ГОСТ 7372–79.

Множество факторов, влияющих на НДС и НС соединения, определяют использование дробного факторного эксперимента (ДФЭ), позволяющего сократить количество проводимых опытов в эксперименте [22]. Основные факторы (табл. 1) выбраны в отношении к внешнему диаметру вала (ниппеля), что позволяет адекватно оценивать соединения при максимальных диаметрах кабельных систем, регламентированных по ГОСТ 14213–89 до 60 мм.

**Таблица 1. Уровни факторов в исследовании прессового полисоединения с волокнистым промежуточным элементом**

№	Исходный фактор	Обозначение	Пределы $X_{\min} - X_{\max}$ : нижний уровень (-1) – верхний уровень (+1)	Центр плана, основной уровень, $X_{j0}$	Интервал варьирования, $J_j$
1	Отношение суммы натягов к диаметру вала (ниппеля)	$X1 = \Sigma N/d1$	$2,076 \cdot 10^{-3} - 4,211 \cdot 10^{-3}$	$3,1435 \cdot 10^{-3}$	$1,0675 \cdot 10^{-3}$
2	Отношение диаметра волокна к диаметру вала (ниппеля)	$X2 = d3/d1$	$94,899 \cdot 10^{-3} - 130,486 \cdot 10^{-3}$	$112,6925 \cdot 10^{-3}$	$17,7935 \cdot 10^{-3}$
3	Отношение количества волокон соединения к диаметру вала (ниппеля)	$X3 = n/d1$	$1423,488 \cdot 10^{-3} - 2846,975 \cdot 10^{-3}$	$2135,2315 \cdot 10^{-3}$	$0711,7435 \cdot 10^{-3}$
4	Отношение длины соединения к диаметру вала (ниппеля)	$X4 = L/d1$	$2016,6074 \cdot 10^{-3} - 5041,5184 \cdot 10^{-3}$	$3529,0629 \cdot 10^{-3}$	$1512,4555 \cdot 10^{-3}$

Максимальная и минимальная посадка соединения для диаметров деталей  $d_1=19$  и  $d_2=17$  мм выбраны Н7/у8 и Н7/р6. Фактор диаметра волокон выбирается из основ конструктивного исполнения проволоки брони грузонесущего геофизического кабеля. Основные уровни фактора диаметра волокна определяются по используемой номенклатуре геофизических кабелей. В работе выбраны марки кабелей КГСв 1×0,75-70-150-4 (ООО «Электрический кабель», г. Хабаровск, ул. Большая, д. 9) и КГ1×0,75-30-180 (НПЦ «Гальва», г. Магнитогорск, ул. Баженова, 31) с диаметрами проволок 1,1 и 0,8 мм. Указанная кабельная продукция может быть заменена аналогичным продуктом, имеющим те же параметры. Вытекающими из марки кабелей являются уровни фактора количества волокон, участвующих в соединении. Фактор длины соединения взят из известных кабельных нако-

нечников фирмы-изготовителя ООО «НПП «Горизонт», г. Ижевск.

В соответствии с планированием ДФЭ составляется матрица планирования эксперимента, где в качестве генерирующего соотношения принято:

$$X_4 = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 . \quad (2)$$

Сопротивление осевому сдвигу как основной нагрузке в случае кабельных наконечников зависит от совокупности выбранных в исследовании факторов, и увеличение их значений положительно отражается на величине нагрузочной способности конструкции (табл. 2), однако отрицательно сказывается на НДС ввиду значительного увеличения напряжений в области соприкосновения тел. Высокие напряжения вызывают разрушение деталей, что подтверждается практикой.

Таблица 2. Нагрузочная способность прессового полисоединения со стальной оплеткой

№ опыта	$X_0$	$X_1$ ( $\Sigma N_{max}$ , мм)	$X_2$ ( $d_3$ , мм)	$X_3$ ( $n$ , шт)	$X_4$ ( $L$ , мм)	$A$ , Н ( $Y_1$ )	$A$ , Н ( $Y_2$ )
1	+	- 0,0175	- 0,8	- 12	- 17	6483	7276
2	+	+ 0,0355	- 0,8	- 12	+ 42,5	38200	35915
3	+	- 0,0175	+ 1,1	- 12	+ 42,5	18643	18223
4	+	+ 0,0355	+ 1,1	- 12	- 17	15045	15123
5	+	- 0,0175	- 0,8	+ 24	+ 42,5	24470	24981
6	+	+ 0,0355	- 0,8	+ 24	- 17	20883	21113
7	+	- 0,0175	+ 1,1	+ 24	- 17	9664	9832
8	+	+ 0,0355	+ 1,1	+ 24	+ 42,5	51023	52702

Обработка полученных данных позволяет получить математическую модель на соединение в виде уравнения регрессии:

$$A = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_1x_2 + b_6x_1x_3 + b_7x_1x_4 . \quad (3)$$

**Результаты расчетов**

В результате дальнейших исследований и обработки результатов эксперимента вычислены коэффициенты регрессий, определена их значимость (табл. 3), доказана однородность дисперсий эксперимента и получено уравнение регрессии в общем виде:

$$A = 23051 + 8236 \cdot x_1 + 3459 \cdot x_3 + 10033 \cdot x_4 + 1204 \cdot x_1x_2 + 1207 \cdot x_1x_3 + 3291 \cdot x_1x_4 . \quad (4)$$

Таблица 3. Значение коэффициентов регрессии и переменных их значимости

№ опыта	Обозначение коэффициентов регрессии	Значения в натуральном масштабе для $A$ , сопротивление осевому сдвигу	Обозначение переменных значимости коэффициентов регрессии	Значения для $A$ , сопротивление осевому сдвигу
1	$b_0$	23051	$t_0$	94,41
2	$b_1$	8236	$t_1$	33,73
3	$b_2$	542	$t_2$	2,22
4	$b_3$	3459	$t_3$	14,16
5	$b_4$	10033	$t_4$	41,09
6	$b_5$	1204	$t_5$	4,93
7	$b_6$	1207	$t_6$	4,94
8	$b_7$	3291	$t_7$	13,48

Наглядный вид уравнения, описывающего вычислительный эксперимент в натуральных координатах, имеет вид:

$$A = 20740,92 - 10013439,83 \cdot \tilde{x}_1 - 199255,67 \cdot \tilde{x}_2 - 133,87 \cdot \tilde{x}_3 + 226,05 \cdot \tilde{x}_4 + 63386565,46 \cdot \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 + 1588600,36 \cdot \tilde{x}_1 \tilde{x}_3 + 2038343 \cdot \tilde{x}_1 \tilde{x}_4. \quad (5)$$

Полученное уравнение позволяет проводить инженерный расчет нагрузочной способности (сопротивление осевому сдвигу) прессового полислоного соединения со стальной оплеткой геофизического грузонесущего кабеля. Вычислительный эксперимент произведен на основе дробного факторного эксперимента и аппарата метода конечных элементов. Данные эксперимента показывают, что можно обеспечить требуемую работоспособность соединения ООО «НПП «Горизонт» при меньших напряжениях в сопряжении деталей.

#### Выводы

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Поставлен вычислительный эксперимент по определению НДС и НС поликонтактного соединения с волокнистым промежуточным элементом на основе метода дробного факторного эксперимента.

2. Вычислительный эксперимент выполнен на реальных характеристиках существующих деталей и узлов машин, что позволяет проводить натурные исследования методики оценки состояния объекта машиностроения.

3. Поставленным экспериментом проверена методика оценки и исследования технического состояния прессового полислоного соединения с волокнистым промежуточным элементом на основе компьютерного моделирования в аппарате МКЭ и известных численных методов интегрирования.

4. Получено уравнение регрессии для определения НДС, сопротивление осевому сдвигу, прессового полислоного соединения с волокнистым промежуточным элементом.

5. На основе полученного уравнения регрессии отражается влияние факторов на нагрузочную способность, а именно, в большей степени влияют поле натяга области контакта, длина соединения и их совместный эффект. Из этого вытекает необходимость увеличения или уменьшения данных параметров в сторону достижения необходимых параметров конструкции, либо НДС конструкции, либо ее НДС. Например, увеличивая длину соединения, увеличивается нагрузочная способность.

6. Получены новые знания в области прикладной науки соединений с натягом. Проверена разработанная вычислительная модель и получены результаты напряженно-деформированного состояния и нагрузочной способности прессовых многослойных соединений с волокнистым промежуточным элементом.

7. Математическая вычислительная модель позволяет производить расчет упругопластических задач и адекватна до момента разрушения материала.

#### Библиографические ссылки

1. Самоустанавливающиеся клинья-отклонители. 2018. URL: <http://www.horizon-drill.ru/ru/content/самоустанавливающиеся-клинья-отклонители> (дата обращения: 20.03.2019).

2. Турбинные отклонители. Буровые установки. URL: <http://www.drillings.ru/turb-otklon> (дата обращения: 20.03.2019).

3. Load capacity and the stress-strain state of the poly eccentric connections with interference / Evgeny Chukhlantsev, Shchenyatsky, Aleksey // International Conference on Manufacturing Engineering and Mater-

als, ICMEM 2016, 6-10 June 2016, NovýSmokovec, Slovakia.

4. Patent number 111878 skew control mechanism / Chukhlantsev ES AV Schenyatsky (Russian Federation) 2011. (Патент № 111878 Управляемый механизм перекоса / Чухланцев Е. С., Щенятский А. В. (РФ) – 2011.)

5. Patent number 115812 skew control mechanism to change the direction of the borehole / Chukhlantsev ES AV Schenyatsky (Russian Federation) - 2011. (Патент № 115812 Управляемый механизм перекоса для изменения направления буровой скважины / Чухланцев Е. С., Щенятский А. В. (РФ) – 2011.)

6. PowerDrive X6 Rotary Steerable System [Электронный ресурс] // URL: [https://www.slb.com/services/drilling/drilling\\_services\\_systems/directional\\_drilling/powerdrive\\_family/powerdrive\\_x6.aspx](https://www.slb.com/services/drilling/drilling_services_systems/directional_drilling/powerdrive_family/powerdrive_x6.aspx) (дата обращения: 19.0.2019)

7. Чухланцев Е. С. Развитие метода расчета нагрузочной способности полиэксцентриковых соединений с натягом : дис. ... канд. техн. наук. Специальность: 05.02.02, Ижевск, 2013. 139 с.

8. Шахторин И. О. Буровой инструмент для горных и строительных работ // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 2. № 4.

9. Ласица А. М., Чуранкин В. Г. Динамика износа модифицированных слоев // Динамика систем, механизмов и машин. 2014. № 1.

10. Подборенко А. Н., Болкисева Е. В., Реготунов А. С. Анализ испытаний и использования бурового инструмента на шахте Северо-песчанская богословского рудоуправления // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 11.

11. Сараев А. А. Высокоточные измерения траекторий в процессе бурения глубоких нефтегазовых скважин Западной Сибири телесистемами с электромагнитным каналом связи : дис. ... канд. техн. наук. Специальность: 05.11.13, СПб, 2001. 155с.

12. Frankovský P, Hroncová D, Delyová I, Virgala I. Modeling of Dynamic Systems in Simulation Environment MATLABSimulink. SimMechanics, American Journal of Mechanical Engineering. Vol. 1, no. 7, 2013. P. 282-288.

13. Elena Pivarciova, Pavol Bozek, Yuri Turygin, Ivan Zajako, Aleksey Shchenyatsky, Stefan V&clav, Miroslav C&sar, Boris Gemela. Analysis of Control and Correction Options of Mobile Robot Trajectory by an Inertial Navigation System. In International Journal of Advanced Robotic Systems. - Volume 14, Issue 5, November-December 2017. ISSN 1729-8806. V databze: DOI: 10.1177/1729881417737039 (индексирован в Scopus).

14. Numerical methods for analysis of the stress-strains state and loading capacity of an idealized multiple-layer pressure coupling with a fibrous intermediate element. Smirnov K.N., Shchenyatskii A.V., Galikeev L.A. Chemical and Petroleum Engineering, 2013. Т. 48. №11-12. С.730-735 (индексирован в Scopus).

15. Patent number 111878 skew control mechanism / Chukhlantsev ES AV Schenyatsky (Russian Federation)

2011. (Патент № 111878 Управляемый механизм перекоса / Чухланцев Е. С., Щенятский А. В. (РФ) – 2011.)

16. Смирнов К. Н., Щенятский А. В. Особенности расчета прессовых полисоединений с волокнистым промежуточным элементом // Вестник ИжГТУ. 2011. № 4. С. 34–37

17. Галикеев И. А., Смирнов К. Н., Щенятский А. В. Анализ напряженно-деформированного состояния и нагрузочной способности идеализированного пресового полисоединения с волокнистым промежуточным элементом численными методами // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. № 12.

18. Проволока оцинкованная канатная. Технические характеристики // URL: [http://www.mechel.ru/production/metallurgy/hardware/materials\\_for\\_cable\\_industry/zinc\\_coated\\_rope\\_wire/](http://www.mechel.ru/production/metallurgy/hardware/materials_for_cable_industry/zinc_coated_rope_wire/) (дата обращения: 20.03.2019).

19. Галикеев И. А., Смирнов К. Н., Щенятский А. В. Анализ напряженно-деформированного состояния и нагрузочной способности идеализированного пресового полисоединения с волокнистым промежуточным элементом численными методами // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2012. № 12.

20. Смирнов К. Н., Щенятский А. В. Особенности расчета прессовых полисоединений с волокнистым промежуточным элементом // Вестник ИжГТУ. 2011. № 4. С. 34–37

21. Смирнов К. Н., Щенятский А. В. Развитие метода расчета прессовых полисоединений с волокнистым промежуточным элементом // Вестник ИжГТУ. 2009. № 3. С. 59–61.

22. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента: Конспект лекций (отдельные главы из учебника для вузов) / Н. А. Спирина, В. В. Лавров ; под общ. ред. Н. А. Спирина. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. 257 с. ISBN 5-321-00319-X.

## References

1. *Samoustanavlivayushchiesya klin'ya-otkloniteli. 2018* [Self-adjusting wedges 2018]. Available at: <http://www.horizon-drill.ru/ru/content/самоустанавливающиеся-клинья-отклонители> (accessed 20.03.2019) (in Russ.).

2. *Turbinnye otkloniteli. Burovye ustanovki* [Turbine diverters. Drilling rigs]. Available at: <http://www.drillings.ru/turb-otklon> (accessed 20.03.2019) (in Russ.).

3. Load capacity and the stress-stain state of the poly eccentric connections with interference / Evgeny Chukhlantsev, Shchenyatsky, Aleksey // International Conference on Manufacturing Engineering and Materials, ICMEM 2016, 6-10 June 2016, NovýSmokovec, Slovakia.

4. Patent number 111878 skew control mechanism / Chukhlantsev ES AV Schenyatsky (Russian Federation) 2011. (Патент № 111878 Управляемый механизм перекоса / Чухланцев Е. С., Щенятский А. В. (РФ) – 2011.)

5. Patent number 115812 skew control mechanism to change the direction of the borehole / Chukhlantsev ES AV Schenyatsky (Russian Federation) - 2011. (Патент № 115812 Управляемый механизм перекоса для изменения направления буровой скважины / Чухланцев Е. С., Щенятский А. В. (ПФ) – 2011.)
6. PowerDrive X6 Rotary Steerable System [Электронный ресурс] // URL: [https://www.slb.com/services/drilling/drilling\\_services\\_systems/directional\\_drilling/powerdrive\\_family/powerdrive\\_x6.aspx](https://www.slb.com/services/drilling/drilling_services_systems/directional_drilling/powerdrive_family/powerdrive_x6.aspx) (дата обращения: 19.0.2019)
7. Chukhlantsev E.S. *Razvitie metoda rascheta nagruzochnoi sposobnosti polieksentrikovykh soedinenii s natyagom* [Development of the method for calculating the load capacity of polyexcentric compounds with interference]. PhD thesis. Izhevsk, 2013, 139 p. (in Russ.).
8. Shakhtorin I. O. [Mining and construction drilling tools]. *Interespo Geo-Sibir'*. 2014. Vol. 2, no. 4 (in Russ.).
9. Lasitsa A.M., Churankin V.G. [The dynamics of wear of the modified layers]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*. 2014, no. 1 (in Russ.).
10. Podborenko A.N., Bolkiseva E.V., Regotunov A.S. [Analysis of testing and use of drilling tools at the mine North Peshanska Theological Mine Administration]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. 2010, no. 11 (in Russ.).
11. Frankovský P, Hroncová D, Delyová I, Virgala I. Modeling of Dynamic Systems in Simulation Environment MATLABSimulink. *SimMechanics*, American Journal of Mechanical Engineering. Vol. 1, no. 7, 2013. P. 282-288.
12. Saraev A.A. *Vysokotochnye izmereniya traektorii v protsesse bureniya glubokikh neftegazovykh skvazhin Zapadnoi Sibiri telesistemami s elektromagnitnym kanalom svyazi* [High-precision measurements of the trajectories in the process of drilling deep oil and gas wells in Western Siberia with tele systems with an electromagnetic communication channel]. PhD thesis. SPb, 2001, 155 p. (in Russ.).
13. Elena Pivarciova, Pavol Bozek, Yuri Turygin, Ivan Zajako, Aleksey Shchenyatsky, Stefan V&clav, Miroslav C&esar, Boris Gemela. Analysis of Control and Correction Options of Mobile Robot Trajectory by an Inertial Navigation System. In *International Journal of Advanced Robotic Systems*. - Volume 14, Issue 5, November-December 2017. ISSN 1729-8806. V database: DOI: 10.1177/1729881417737039 (индексирован в Scopus).
14. Numerical methods for analysis of the stress-strains state and loading capacity of an idealized multiple-layer pressure coupling with a fibrous intermediate element. Smirnov K.N., Shchenyatskii A.V., Galikeev L.A. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2013. T. 48. №11-12. С.730-735 (индексирован в Scopus).
15. Patent number 111878 skew control mechanism / Chukhlantsev ES AV Schenyatsky (Russian Federation) 2011. (Патент № 111878 Управляемый механизм перекоса / Чухланцев Е. С., Щенятский А. В. (ПФ) – 2011.)
16. Smirnov K.N., Shchenyatskii A.V. [Features of the calculation of press poly compounds with a fibrous intermediate element]. *Vestnik IzhGTU*. 2011, no. 4, pp. 34-37 (in Russ.).
17. Galikeev I.A., Smirnov K.N., Shchenyatskii A.V. [Analysis of the stress-strain state and load capacity of an idealized press polycompound with a fibrous intermediate element by numerical methods]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*. 2012, no. 12 (in Russ.).
18. *Provoloka otsinkovannaya kanatnaya. Tekhnicheskie kharakteristiki* [Galvanized wire rope. Specifications] (in Russ.). Available at: [http://www.mechel.ru/production/metallurgy/hardware/materials\\_for\\_cable\\_industry/zinc\\_coated\\_rope\\_wire](http://www.mechel.ru/production/metallurgy/hardware/materials_for_cable_industry/zinc_coated_rope_wire) (accessed 20.03.2019) (in Russ.).
19. Galikeev I.A., Smirnov K.N., Shchenyatskii A.V. [Analysis of the stress-strain state and load capacity of an idealized press polycompound with a fibrous intermediate element by numerical methods]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie*. 2012, no. 12 (in Russ.).
20. Smirnov K.N., Shchenyatskii A.V. [Features of the calculation of press poly compounds with a fibrous intermediate element]. *Vestnik IzhGTU*. 2011, no. 4, pp. 34-37 (in Russ.).
21. Smirnov K.N., Shchenyatskii A.V. [Development of a method for calculating press poly compounds with a fibrous intermediate element]. *Vestnik IzhGTU*. 2009, no. 3, pp. 59-61 (in Russ.).
22. Spirin N.A., Lavrov V.V. *Metody planirovaniya i obrabotki rezul'tatov inzhener'nogo eksperimenta: Konspekt lektsii (otdel'nye glavy iz uchebnika dlya vuzov)* [Methods of planning and processing the results of an engineering experiment: Lecture notes (selected chapters from a textbook for universities)]. Yekaterinburg, GOU VPO UGTU-UPI, 2004, 257 p. ISBN 5-321-00319-X (in Russ.).

\* \* \*

**Approach to Calculating the Load Capacity of Geophysical Tips by Numerical Methods***A. V. Schenyatskiy*, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU*K. N. Smirnov*, PhD Applicant, Kalashnikov ISTU

*Theoretical positions and numerical calculation methods are considered, allowing to determine the stress-strain state, strength and load capacity of joints with tension, containing a longitudinal directional fiber element. The possibility of solving the problem by the finite element method is considered. Location of elements of cables in the construction of the connection are considered in details. Contact areas between the components of the structure are established. The boundary conditions are determined. Equations have been compiled that allow for solving a multiply connected contact problem. A method for determining the tension in conjunction with several elements in contact, provided that they have a geometric overlap, is proposed. Force locking of the longitudinal fibrous elements is carried out using a hollow shaft 1 and a female sleeve 2 made of metal. Since the fibrous element that fills the space between parts 1 and 2 is made of a more durable metal, the elastic-plastic problem is solved mainly for shafts and bushings. The results of the preliminary calculation showed that the proposed approach can be used to study the strength of the connection of the geophysical handpiece with the geophysical supporting armored cable, which ensures the transmission of the signal from the sensors in the borehole to the inclinometer located on the ground surface.*

**Keywords:** Shaft, sleeve, fiber element, press polyconnection, tension, geophysical cable lug, well.

Получено: 20.03.19