Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems, Vol. XXXV, No.3, 2015
www.icp.az/2015/3-03.pdf

УДК 004.021:004.3:004.4

Ф.И. МАМЕДОВ, ДЖ.Ф. МАМЕДОВ, Г.Р. РАСУЛОВ, Ас.Г. РЗАЕВ, Я.Г. АЛИЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАТЧИКА СИЛЫ, РАБОТАЮЩЕГО ЗА СЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КОЛЬЦА

На основе проведенного сравнительного анализа элементов системы диагностик штанговых глубинных насосов определены основные задачи исследования в статье. Для повышения чувствительности, точности, надежности и долговечности датчика усилия, являющегося активным элементом системы диагностик штанговых глубинных насосов, предложена компоновочная схема совместного размещения датчика усилия в стальном кольце цилиндрической формы.

Предложен алгоритм расчета конструкционных параметров и выбора материала цилиндрического кольца, применяемого в качестве чувствительного элемента датчика измерения усилия на полированный шток штанговых глубинно насосных установок.

Ключевые слова: нефтедобыча, датчик усилия, чувствительный элемент, штанговый глубинный насос

1. Введение. Известно [1], что основными элементами систем диагностики штанговых глубинных насосов (ШГН) являются датчики усилия. Разработка датчиков усилия ШГН является очень важной, сложной и комплексной задачей, требующей применения самых современных подходов в таких областях техники как тензометрия, микроэлектроника, математическая обработка сигналов, метрология. Такие датчики должны работать на установках СКН непрерывно на протяжении длительных периодов времени в условиях широкого диапазона температур, выдерживать воздействие влаги, серы и других разрушающих факторов, быть устойчивыми к перегрузкам и обеспечивать эксплуатацию во взрывоопасных зонах.

За время эксплуатации ШГН разработаны многочисленные датчики усилия, отличающиеся друг от друга, как по конструкции и по способу монтажа на установке, так и по принципу действия чувствительного элемента [2, 3, 4, 5, 6].

Каждому из этих датчиков усилия присущи определенные недостатки, устранение которых требует исследование по разработке новых датчиков усилия, устанавливаемых между траверсами [7].

К датчикам, устанавливаемым между траверсами, предъявляются жесткие требования:

– по температуре окружающей среды;

– по практическому отсутствию остаточной деформации при снятии нагрузки;

– к устойчивой работе под воздействием влаги, кислотной среды и других разрушительных факторов;

– устойчивости к перегрузкам и обеспечение эксплуатации во взрывоопасных зонах;

– деформируемый чувствительный элемент при допустимых напряжениях должен обеспечить достаточную деформацию для достижения высокой чувствительности датчика.

Одним из основных звеньев датчика усилия является первичный чувствительный элемент, от эффективного выбора которого, во многом зависят такие важные параметры датчика, как чувствительность, точность, надежность и долговечность.

Таким чувствительным элементом при создании датчика усилия, устанавливаемого между траверсами канатной подвески установок, может быть цилиндрическое кольцо. В процессе работы установка подвергается постоянному воздействию внешних усилий, которые формируют деформацию цилиндрического кольца. В зависимости от правильно выбранного материала и размеров чувствительного элемента величина деформации кольца соответственно меняется, что способствует долговечности работы данной установки. В качестве чувствительного элемента датчика усилия в статье предлагается применить

цилиндрическое кольцо.

Из ранее сказанного следует отметить, что при проектировании датчика усилия важной исследовательской задачей является математическое обоснование правильного выбора геометрических размеров цилиндрического кольца и ее материала.

2. Постановка задачи. Из-за измерения силы, веса, давления в системе управления установки путем преобразования их в механическую деформацию чувствительных элементов (ЧЭ) требуется применение различных конструкций ЧЭ [8; 9]. Наиболее практическими являются цилиндрические ЧЭ, внутри которых устанавливается датчик малых линейных перемещений, преобразующих механическую деформацию ЧЭ в электрический сигнал для дальнейшего измерения силы [9]. При воздействии механических усилий по вертикальному диаметру ЧЭ его горизонтальный диаметр увеличивается, а вертикальный – уменьшается. Приращения по горизонтальному и вертикальному диаметрам должны подчиняться закону Гука.

Исходя из этого, рассматривается вопрос выбора материала и геометрических размеров ЧЭ, имеющего кольцевую форму с внутренним радиусом, внешним радиусом и длиной, находящегося под действием двух сосредоточенных сил, приложенных по вертикальному диаметру по противоположным направлениям и равномерно распределенные силы по образующей ЧЭ (рис.1). Силовое поле, относительно вертикальной оси поперечного сечения, является симметричным.

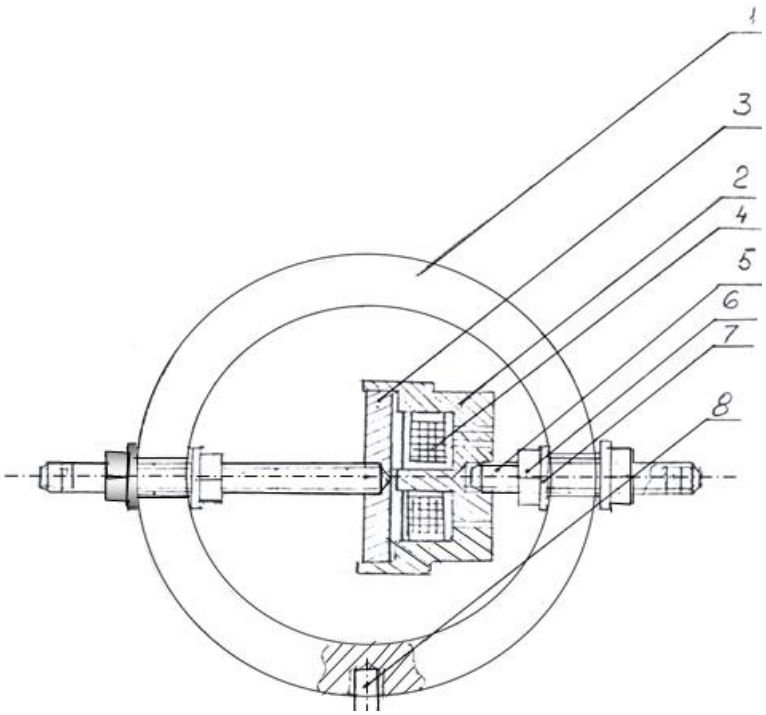

Рис. 1 Датчик, работающий за счет деформации стального кольца цилиндрической формы

На рисунке 1 приведена общая схема датчика силы работающего за счет деформации цилиндрического кольца, состоящего из следующих частей: тонкостенное цилиндрическое кольцо (1); неподвижный сердечник (2), установленный в центральной оси; подвижный покрывающий якорь (3); двух обмоточная катушка (4), расположенная внутри неподвижного

сердечнике(2); шпилька М6 длинной 60 мм – две штуки (5); четыре гайки М6 (6) и четыре шайбы 6.65 Г 029 (7), соединительный винт (8).

Датчик работает следующим образом: неподвижный сердечник (2), имея воздушный зазор, между покрывающим подвижным якорем, может перемещаться по горизонтальной плоскости. При влиянии силы Р к цилиндрическому кольцу (1), последний деформируется и покрывающий подвижный якорь перемещает на «δ» расстояние. При снятии силы Р подвижный покрывающий якорь (3) приближается к неподвижному сердечнику (2). За счет этого перемещения электромагнитной катушки (4) напряжение переменного тока, поданного к первой обмотке (3÷10) V индуктирует переменное напряжение на второй обмотке в количестве, пропорциональном коэффициенту трансформации.

Для выбора геометрических размеров цилиндрического кольца (наружный диаметр r_2, внутренний диаметр r_1 и высота – b), обеспечивающий деформацию под действием усилия P на сжатие, принимается $\delta = \delta_1 + \delta_2 \rightarrow max$ при условии, что снятием усилия остаточная деформация будет равна нулю.

Подбор материала должна отвечать условиям широкого потребления. Условия работы кольца: под переменной нагрузкой в течении 15 ÷ 20 лет; температура окружающей среды (-20 ÷ +50)°С; частота изменения нагрузки (5 - 10) раз в минуту.

Экспериментальные исследования по выявлению деформаций чувствительного кольца должна быть проверена на основе F=5000 кг и 10000кг.

3. Решение задачи. Основным узлом датчика силы является цилиндрическое кольцо (1), которое под действием внешней силы P деформируется и приводит в движение подвижный покрывающий якорь (3). Подвижный якорь (3) в свою очередь, изменяя толщину воздушного зазора в магнитной цепи индукционного датчика усилия, влияет на величину выходного сигнала датчика. Таким образом, величина выходного сигнала индукционного датчика зависит от качества деформации, возвраты на прежнее положение цилиндрического кольца и подвижного покрывающего якоря за счет жесткости материалов.

Под действием силы P (рис.2) цилиндрическое кольцо, изготовленное из конструкционной стали, деформируется, образуя касательную P_τ и радиальные P_r силы. Суммарное растяжение от деформации составляет $\delta_{\text{ср.}}=\delta_1 + \delta_2$.

Если внешний радиус цилиндрического кольца обозначить через r_2, а внутренний r_1, значение модулей прочности для высокоскоростной стали при растяжении 5000 кг/см^2, а сжатие кг/см^2 равномерное распределение напряжений по толщине цилиндра в случае P_τ= 0, тогда для определения внутреннего и наружного диаметров цилиндрического кольца можно воспользоваться формулами [10, стр.15]:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_r &= \frac{P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}\left[1 + \frac{r_1^2}{r_2^2}\right] \\ \sigma_\tau &= \frac{P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}\left[1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}\right] \end{aligned}\right\} \qquad (3.1)$$

где σ_r, σ_τ- соответственно напряжения, образующие вдоль распределенных сил P_r, P_τ

Разделив стороны формулы (3.1) друг на друга получим:

$$\frac{\sigma_r}{\sigma_\tau} = \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \qquad (3.2)$$

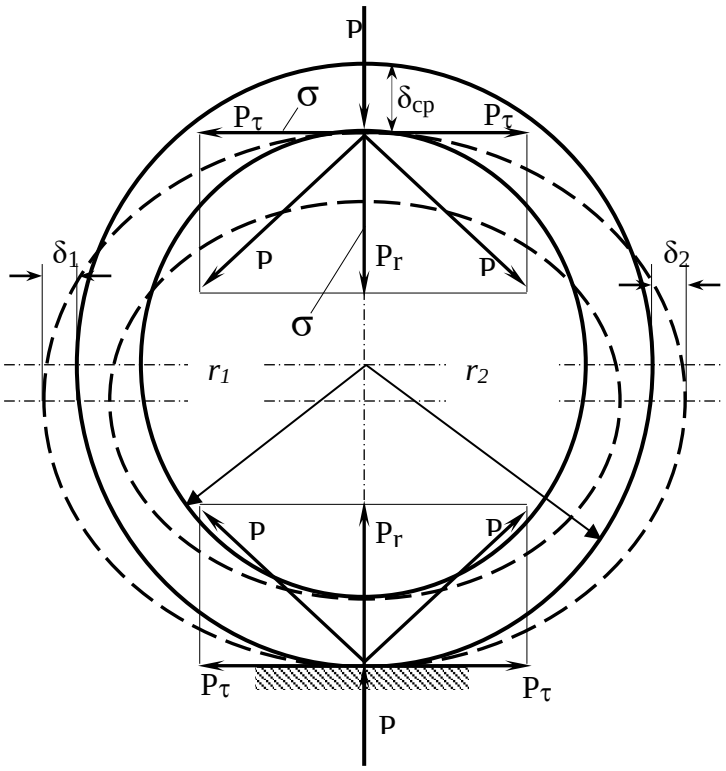

Рис. 2 Деформация цилиндрического кольца при влиянии силы P.

При заданном минимальном напряжении на радиальном направлении σ_r=10000 кг/см^2, а касательном σ_τ = 5000 кг/см^2 получим r_1= $\sqrt{3}$; r_2 = 1,73 r_1.

При максимальном напряжении на радиальном направлении σ_r =20000 кг/см^2 , а касательном σ_τ= 5000 кг/см^2 соответственно получим: r_1= $\sqrt{\frac{5}{3}}$; r_2= 1,29 r_1.

Величина рабочей площади цилиндрического кольца определяется по формуле:

$$S_p \geq P/[\sigma] \tag{3.3}$$

где $[\sigma]$ = 670 кг/см^2 – допустимое механическое напряжение, P – действие силы на цилиндрическое кольцо.

При сжатии конструкционной стали, толщина цилиндрического кольца будет

$$\Delta l = r_2 - r_1 \tag{3.4}$$

Ширина ободка цилиндрического кольца

$$b = S_p/(r_2 - r_1) \tag{3.5}$$

Следует отметить, при использовании различных типов штанговых глубинных насосов, в зависимости от его мощности и наличии неравномерно распределенных усилий на датчик усилия, требуется эффективный подбор конструкционных размеров чувствительного кольца

и справочных данных механических напряжений из таблицы 1. В зависимости от неравномерно распределенных усилий на датчик усилия выбирается толщина кольца и его диаметр. Изготовление кольца с табличными размерами позволяет от деформации получить нужную чувствительность по деформации горизонтального диаметра.

Таблица 1

№	σ_r (кг/см^2)	σ_τ (кг/см^2)	r_1 (мм)	r_2(мм)	P (кг/ см^2)
1.	8000	5000	35	72,8	4992
2.	10000	5000	35	60,55	4991
3.	12000	5000	35	54,6	5008
4.	14000	5000	35	50,85	5001
5.	16000	5000	35	48,37	5003
6.	18000	5000	35	46,55	4999
7.	20000	5000	35	45,15	4985

Как видно из таблицы 1 по допустимым напряжениям экспериментально выбираются сортности высококачественных сталей.

Из проводимых экспериментальных расчетов необходимо отметить, что при увеличении распределенной силы сжатия на поверхность цилиндрического кольца площадь пропорционально применяемой силы соответственно увеличивается.

Если сила сжатия P=10000 кг, а допускаемое напряжение при сжатии конструкционной стали $[\sigma]$ = 670 (кг/см^2), тогда для касательной площади цилиндрического кольца получим: S_p =14,9 (см^2)

С увеличением силы сжатия ширина касательной площади поверхности цилиндра пропорционально растет (таблица 2).

Таблица 2

№	σ_r (кг/см^2)	P (кг/см^2)	r_1 (см)	r_2 (см)	S_p (см^2)	Δl (см)	b (см)
1.	8000	1000	3,5	3,96	1,49	0,46	3,24
2.	10000	2000	3,5	4,29	2,98	0,79	3,77
3.	12000	3000	3,5	4,5	4,48	1,02	4,39
4.	14000	5000	3,5	5,08	7,46	1,58	4,72
5.	16000	6000	3,5	5,19	8,96	1,69	5,3
6.	18000	8000	3,5	5,64	11,94	2,14	5,78
7.	20000	10000	3,5	6,06	14,93	2,56	5,83

На базе приведенной методики расчёта цилиндрического кольца изготовлен экспериментальный вариант чувствительного элемента датчика усилия P = 10000 кг для ШГН внешний вид, которого показан на рис. 3.

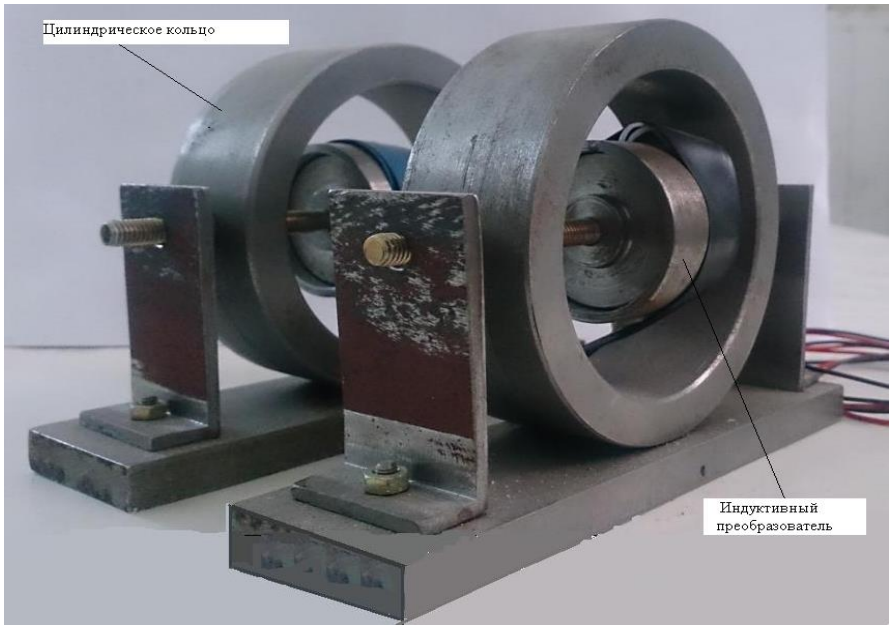

Рис.3 Внешний вид экспериментального варианта чувствительного элемента датчика усилия P = 10000 кг для ШГН.

4. Выводы.

1. Предлагаемая конструкция цилиндрического кольца и схема размещения индуктивного датчика внутри него позволяет эффективно диагностировать работу штангового глубинного насоса;

2. Полученные результаты из расчета на усилие показывают, что силы нагрузки не превышают допустимых напряжений для разработанного толстостенного кольца в соответствии с выбранным материалом изготовления и его конструкционными размерами;

3. Проводимые аналитические исследования разработанного толстостенного кольцевого цилиндра позволяют решить поставленную задачу по определению допустимого механического напряжения, конструкционных размеров и деформации.

Литература

1. Уразаков К.Р., Андреев В.В., Жулаев В.П. Нефтепромысловое оборудование для кустовых скважин.-М.: Недра, 1999-С.80-81.
2. Мамедов Ф.И., Дадашева Р.Б. Двухмерные электромагнитные датчики перемещений // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. — Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, 2005. Т. 48, № 5. стр. 38-41.
3. ЗАО "Автограф" auton@autograph.com.ru; http://www.auton.ru
4. Жук Е., Шимчак П. Система Lufkin Automation контролирует работу скважин в Беларуси. Нефть и газ Евразия.- 2006.- № 8. С.: 16-27.
5. Ковшов В.А., Емец С.В., Ганцев А.О., Хакимьянов М.И. Анализ датчиков усилия в механизированных установках добычи нефти// Прогрессивные технологии в добыче нефти: -Сб.научных трудов-Уфа: УГНТУ, 2000, стр. 102-105.
6. ООО НПП «Грант». Система динамометрирования. Стационарная ддс-04. Руководство по эксплуатации. Ддс04.00.00.00.000 рэ. Уфа 2006 .. Autex.spb.ru/pdf/grant-dds-04.p...
7. Рзаев А.Г. Интеллектуальный межтраверсный датчик усилия // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiysının Xəbərləri. Fizika-Texnika və Riyaziyyat elmləri seriyası, Cild XXXII,N3, 2012 il, s.158-164.
8. Akhmadov M.A., Huseynov A.H., Rahimov Sh.R. Designing the sensitive element for the sensor of mechanical forces.

Interactive systems: The problem of human-computer interaction. Proceedings of the international conference, 22-24 September, Ulyanovsk – 1999, p. 128-130.
9. Мамедов Д.Ф. Проектирование кольцевого чувствительного элемента для робототехнических комплексов. – М: Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика, № 11, 2001., стр. 48-50.
10. Першин В.Ф., Селиванов Ю.Т. Расчет на прочность тонкостенных оболочек вращения и толстостенных цилиндров. Методическое пособие. Тамбов: Из-во ТГТУ, 2002, 20с.

UOT 004.021:004.3:004.4

F.İ. Məmmədov, C.F. Məmmədov, H.R. Rəsulov, As.H. Rzayev, Y.H. Əliyev

Silindrık həlqənin deformasiyası hesabına işləyən qüvvə vericisinin tədqiqi

Ştanqlı dərinlik nasoslarının diaqnostika sisteminin elementlərinin müqayisəli təhlili əsasında məqalənin əsas tədqiqat məsələləri təyin edilmişdir. Ştanqlı dərinlik nasoslarının diaqnostika sisteminin aktiv elementi hesab olunan güc vericisinin həssaslığının, dəqiqliyinin, etibarlığının və uzunömürlüyünün artırılması üçün vericinin polad silindrik formalı həlqədə birgə quruluş sxemi təklif edilmişdir. Bu məqalədə silindrik həlqənin qurğuların pardaqlanmış ştokuna düşən qüvvəni ölçən vericinin həssas elementinin konstruktiv ölçülərinin hesablanması və onun materialının seçilməsi alqoritmi təklif edilmişdir.

Açar sözlər: neftçıxarma, güc vericisi, hissiyat elementi, ştanqlı dərinlik nasosu

F.I. Mamedov, J.F. Mamedov, H.R. Rasulov, As.H. Rzayev, Y.H. Aliyev

Investigation of the force sensor working under deformation of the cylindrical ring

Based on the conducted comparative analysis of elements of the system of diagnostics of sucker rod pumps, the basic problems of research in the article are defined. For the increase of sensitivity, accuracy, reliability and durability of the force sensor, which is the active element of the system of diagnostics of sucker rod pumps, we propose the design layout of collocation of force sensors in the cylindrical steel ring.

In this paper, the algorithm for calculating the design parameters and choosing the material of the cylindrical ring used as sensitive element of the force sensor on the polished rod of sucker rod pumps is proposed.

Keywords: oil extraction, force sensor, sensitive element, sucker rod pump

Сумгаитский Государственный Университет
Институт Систем Управления НАН Азербайджана

Представлено 28.04.2015