УДК 621.86.065.4-531

О повышении виброустойчивости конструкции устьевого соединения газовых и нефтяных скважин по патенту RU 2416751C1 с захватами, выполненными по логарифмической спирали

С. В. Марфицын^{1*}, А. В. Марфицын², В. П. Марфицын¹

¹ПК «Уралец», г. Курган, Россия

²ООО «Энерготехстрой», г. Курган, Россия

*e-mail: delta-kurgan@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрен вопрос о повышении виброустойчивости механизма устьевого заслонки для нефтяных и газовых скважин с использованием патента RU 2416751C1.

Ключевые слова: устьевая заслонка; самоторможение; логарифмическая спираль

Increasing the vibration resistance of the gas and oil wells wellhead compound construction according to the patent RU 2416751C1 with the holders executed by a logarithmic spiral

Sergey V. Marfitsyn^{1*}, Andrey V. Marfitsyn², Vladimir P. Marfitsyn¹

¹CC «Uralec», Kurgan, Russia

²LLC «Energotechstroy», Kurgan, Russia

*e-mail: delta-kurgan@yandex.ru

Abstract. The article deals with the issue of increasing the vibration resistance of the wellhead valve mechanism for oil and gas wells using the patent RU 2416751C1.

Key words: wellhead valve; self-braking; logarithmic spiral

Введение

«Под спиралью мы понимаем плоскую кривую, которую опишет точка, совершая круги и одновременно удаляясь от некоторой неподвижной точки, называемой полюсом... Равноугольную спираль можно определить как геометрическое место точек P , движущихся в плоскости так, что касательная в точке P образует постоянный угол λ с радиус-вектором OP , проведенным в точку P из неподвижного полюса O » [1]. Внешний вид равноугольной спирали представлен на рисунке 1.

Расчет угла самоторможения на примере сосудов и аппаратов по патентам RU 2268428C1, RU 2346197C1, RU 2416751C1

Уравнение логарифмической спирали имеет вид [2]

$$\rho = ae^{m\varphi}, \quad (1)$$

где a — окружность в центре координат, $\rho = a = \text{const}$; $m - \text{ctg}\Theta$ — угол между полярным радиусом ρ и касательной к спирали; φ — текущий угол от 0 до φ .

Угол между касательной и полярным радиусом точки касания логарифмической спирали можно вычислить по формуле [3]

$$\mu = \text{arctg} \frac{1}{K}, \quad (2)$$

где $K = \text{ctg}\Theta$.

Угол самоторможения можно определить, рассмотрев тело на наклонной плоскости. Если тело находится в равновесии и не скатывается с плоскости, значит, оно находится в состоянии самоторможения.

Трение в механизмах и машинах играет отрицательную роль. Задача конструктора — уменьшить трение за счет улучшения поверхности, смазки и т. д. Есть устройства, где трение играет положительную роль. Например, сосуды под давлением, в которых используется явление самоторможения, препятствующее самопроизвольному открыванию сосуда. Примером таких сосудов являются сосуды и аппараты по патентам RU 2268428C1, RU 2346197C1, RU 2416751C1. В них применены клиновые устройства, использующие положительный эффект самоторможения [4]. Это особенно важно при больших давлениях в сосуде, когда может произойти отрыв крышки от корпуса сосуда, и вырвавшийся из сосуда газ может произвести огромную разрушительную работу, а токсичный газ может произвести отравление персонала.

Принимаем $\text{ctg}\Theta = 0,0524$, $\text{arctg}\Theta = 87^\circ$.

Угол между касательной к логарифмической спирали и 90° будет составлять $90^\circ - 87^\circ = 3^\circ$.

Угол самоторможения будет 3° .

Запас самоторможения будет

$$\frac{5,1}{3} = 1,7.$$

Угол самоторможения

$$3^\circ < 5,1^\circ.$$

Самоторможение обеспечено.

При обтекании тела с большими скоростями всегда возникает вибрация. При переходе нефти и газа из скважины возникают колебания самогорайзера и последующих конструкций — устьевой заслонки на выходе из напорного трубопровода — райзера. Такие колебательные явления схожи с явлениями, происходящими в авиации при сверхзвуковых скоростях. В авиации есть такое понятие: флаттер. Это колебание корпуса, крыльев самолета. Оно возникает при прохождении среды с большей скоростью. Так и в скважине при прохождении газа происходят явления колебания среды. Они передаются составляющим элементам — резьбе, захватам.

Чем выше самоторможение этих элементов, тем надежнее работа устья. Изготовление этих элементов (захватов) по логарифмической спирали уменьшает их вибрацию за счет их заклинивания. Поэтому надо уменьшать угол клина для увеличения явления самоторможения. В этом случае на соединения действуют явления, происходящие внутри газовых и нефтяных скважин, они хорошо описаны в журнале «Наука и жизнь» № 10 за 2010 год: «Пройдя в горных породах (гораздо более тяжелых чем вода и еще около пяти километров, буровой став вспорол нефтепласт, находящийся под давлением свыше 1 000 атм. Распространяясь со скоростью звука вверх по стволу скважины, это давление всего за несколько секунд достигло трубопровода, или (на языке нефтяников) райзера, по которому нефть вслед почти за семикилометровой водной пробкой устремилась на поверхность к наливным танкерам.

Проблема в том, что вместе с нефтью к райзеру со скоростью звука устремляется и это пластовое давление в тысячу с лишним атмосфер.

Но есть и другая, наиболее вероятная причина возникновения газовых пузырей... Это та самая турбулентность...» [5].

Благодаря клиновым соединениям взаимодействие между элементами заслонки возросло, а следовательно, возросла и виброустойчивость устьевого соединения, то есть все промежуточные подвижные соединения устья скважины превратились как бы в один монолит. Благодаря чему колеблющаяся масса соединения увеличится, а частота колебаний уменьшится. Конструктивное исполнение логарифмической спирали представлено на рисунке 2.

Расчет для насосно-компрессорной трубы (НКТ) диаметром 300 мм

Для НКТ = 300 мм. Усилие, действующее со стороны захватов, $F = 7,065$ Мн.

Примем количество захватов — 44.

Усилие, передаваемое на один захват:

$$\frac{7,065 \text{ Мн}}{44} = 0,160568 \text{ Мн.}$$

Момент, действующий на один захват:

$$0,160568 \text{ Мн} \cdot 0,133 \text{ м} = 0,02135 \text{ МНм},$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,015 \text{ м} \cdot 0,133 \text{ м}^2}{6} = 0,00004422 \text{ м}^3$$

Рис. 2. Конструктивное исполнение логарифмической спирали

$$\sigma = \frac{0,02135 \text{ мН м}}{0,00004428 \text{ м}^2} = 724,2198 \text{ МПа.}$$

Берем

$$\sigma = 0,015 \text{ м,}$$

$$\sigma = 481,9933 \text{ МПа,}$$

$$481,9933 \text{ МПа} < 567 \text{ МПа.}$$

Условие прочности выполнено.

Выводы

Повышение виброустойчивости конструкции заслонки может быть достигнуто за счет самой логарифмической спирали путем уменьшения параметра спирали $K = \text{ctg} \Theta$ до значения обеспечения самоторможения механизма заслонки, $\xi = 3^0$.

Библиографический список

1. Пидоу Д. Геометрия и искусство / Пер. с англ. Ю. А. Данилова; под ред. И. М. Яглома. – М.: Мир, 1979. – 291 с.
2. Бермант А. Ф. Курс математического анализа. Часть 1. – М.: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1956. – 179 с.
3. Задачи и упражнения по математическому анализу для вузов / Под ред. Б. П. Демидовича. 3-е изд., стереотип. – М., 1962. – 388 с.
4. Марфицын В. П., Марфицын А. В., Марфицын С. В. Изобретение к патенту RU 2346197C1. Затвор повышенной герметичности и вибрационной стойкости с усиленным стопорением для сосудов и аппаратов, работающих под внутренним или наружным давлением. – заявл. 19.04.04; опубл. 20.01.06.
5. Осадчий А. Катастрофа в Мексиканском заливе // Наука и жизнь. – 2010. – № 10. – С. 46–50.

Сведения об авторах

Марфицын Сергей Владимирович,
председатель ПК «Уралец», г. Курган,
e-mail: delta-kurgan@yandex.ru

Марфицын Андрей Владимирович,
директор ООО «Энерготехстрой»,
г. Курган, e-mail: entechstroy@mail.ru

Марфицын Владимир Петрович, за-
меститель директора по научным исследо-
ваниям и конструированию, ПК «Уралец»,
г. Курган, e-mail: delta-kurgan@yandex.ru

Information about the authors

Sergey V. Marfitsyn, Chairman of CC
«Uralec», Kurgan, e-mail: delta-
kurgan@yandex.ru

Andrey V. Marfitsyn, Director, LLC
«Energotechstroy», Kurgan, e-mail:
entechstroy@mail.ru

Vladimir P. Marfitsyn, Deputy Director for
Scientific Research and Design, CC «Uralec»,
Kurgan, e-mail: delta-kurgan@yandex.ru