

УДК 621.65.004.13

**В.Г. Кондратенко**, канд. техн. наук, доц.,  
Красноармейский индустриальный институт  
Донецкого национального технического университета

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ШАХТНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

*В работе проведены теоретические исследования разгрузочного устройства шахтного центробежного насоса с учетом частоты вращения его ротора.*

**шахтный центробежный насос, разгрузочное устройство, разгрузочный диск, кольца разгрузки, уравнивающая сила, давление, расход воды через разгрузку**

*Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.* Разгрузочное устройство (рис. 1) является одним из наиболее уязвимых узлов центробежных насосов. Составные элементы разгрузочного узла быстро изнашиваются, что требует их частых замен. Для обеспечения более долговечной работы разгрузочных устройств необходимо произвести исследования и получить зависимости, устанавливающие связь между гидравлическими и геометрическими параметрами элементов разгрузки.

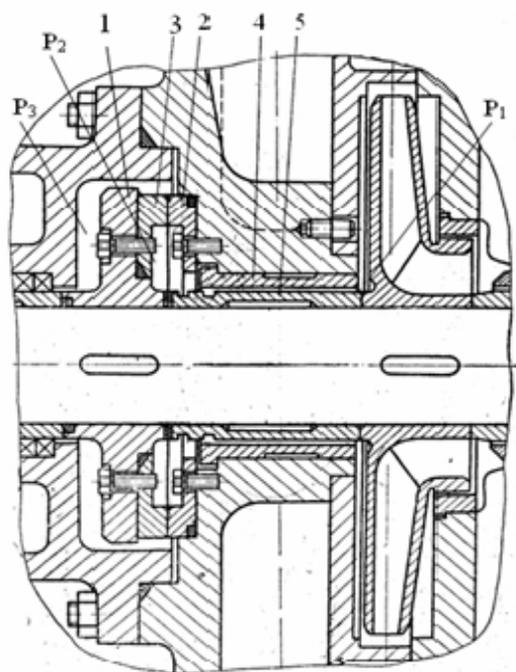


Рисунок 1 – Разгрузочное устройство шахтного центробежного насоса:  
1 - разгрузочный диск; 2 - неподвижное кольцо разгрузки; 3 - подвижное кольцо разгрузки; 4 - втулка разгрузки; 5 - дистанционная втулка

Полученные зависимости позволят разработать методику расчета разгрузочных устройств шахтных насосов, которую можно использовать для проектирования и модернизации узлов разгрузки.

*Анализ исследований и публикаций.* В работах [1], [2], [3], [4] и др. проводятся теоретические исследования разгрузочного устройства. На основании зависимостей, полученных при исследованиях, разрабатывались методики расчета разгрузочных узлов насосов, которые и применяются в настоящее время. Основным недос-

татком при дослідженні гідравлических процесів вказаних роботах являється допущення, що поверхності торцевої щели коліт розгрузки 2 і 3 (рис. 1) неподвижні відносно друг друга. Також в роботах [1], [2], [3] залежність розподілення тиску вздовж торцевої щели бралася довільно лінійною, що не підтверджується проведеними експериментальними дослідженнями роботи [4]. Вказані недоліки не дозволяють оцінити вплив багатьох факторів на процеси, що відбуваються в торцевої щели розгрузочного пристрою.

**Постановка задачі.** Настоящая стаття являється продовженням роботи [4]. Ціллю даного дослідження являється вивчення процесів, що відбуваються в розгрузочному пристрою і встановлення залежностей, необхідних для аналізу роботи і розрахунок розгрузочних вузлів з урахуванням обертання ротора насоса.

**Изложение материала и результаты.** На рис. 2 зображена поверхність торцевої щели розгрузочного кільця між внутрішнім радіусом  $R_в$  і зовнішнім –  $R_н$ . Якщо вибрати довільний радіус  $r$  між  $R_в$  і  $R_н$ , то всі частинки води на цьому радіусі будуть рухатися зі швидкістю  $v_s$ , яка визначається по формулі

$$v_s = \sqrt{v_r^2 + v_L^2}, \quad (1)$$

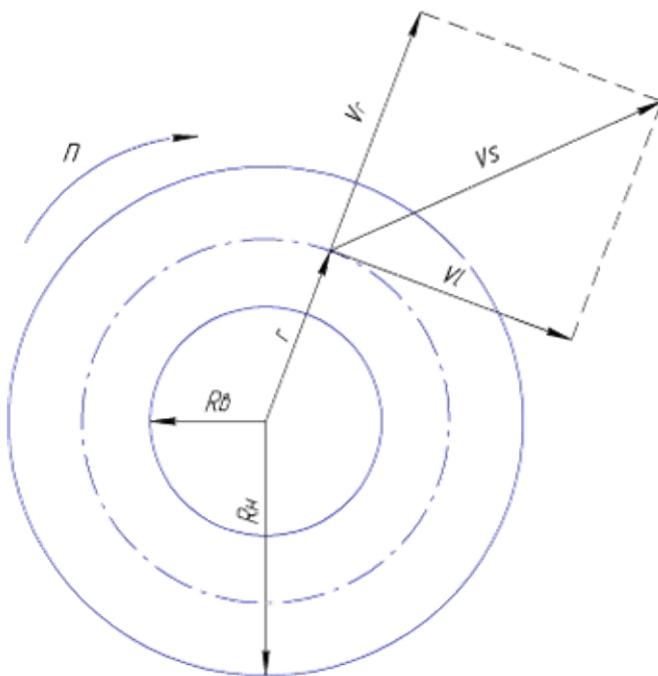


Рисунок 2 – Поверхність торцевої щели розгрузочного кільця

где  $v_r = \frac{Q_p}{2\pi r b_m}$  – составляющая скорости, направленная вдоль радиуса  $r$  и обусловлена разностью давлений воды в камере разгрузки  $P_2$  и за разгрузочным диском  $P_3$  (рис. 1);  $Q_p$  – расход воды через разгрузку;  $b_m$  – ширина торцевого зазора;  $v_L = \pi n r$  – составляющая скорости, направленная перпендикулярно радиусу  $r$  и обусловлена вращением разгрузочного диска;  $n$  – частота вращения ротора насоса. Ввиду того, что одно

кольцо неподвижно, а второе вращается с частотой  $n$ , составляющая

скорости воды  $v_L$  была принята в два раза меньше линейной скорости диска разгрузки на радиусе  $r$ . Составляющая скорости воды  $v_L$  ранее не кем не учитывалась, но как показывают предварительные расчеты, составляющие скорости  $v_r$  и  $v_L$  имеют один порядок и в зависимости от условий работы насоса быть больше или меньше друг друга.

Учитывая, что  $v_r = dr/dt$ , а  $v_s = ds/dt$ , из (1) получим элемент длины траектории движения частицы воды

$$dS = \sqrt{1 + \frac{v_L^2}{v_r^2}} dr = \sqrt{1 + \left( \frac{2\pi^2 nb_m}{Q_P} \right)^2 r^4} dr. \quad (2)$$

Длина всей траектории при движении частиц воды от радиуса  $R_e$  до  $R_n$

$$S = \int_{R_b}^{R_n} \sqrt{1 + \left( \frac{2\pi^2 nb_m}{Q_P} \right)^2 r^4} dr$$

Из зависимостей (1) и (2) определим элементарные потери давления на трение на элементе длины  $dS$

$$dP_S = \frac{\lambda_m dS}{2b_m} \frac{\rho}{2} v_s^2 = \frac{\lambda_m \rho Q_P^2}{16\pi^2 b_m^3} \left[ 1 + \left( \frac{2\pi^2 nb_m}{Q_P} \right)^2 r^4 \right]^{\frac{3}{2}} \frac{dr}{r^2}, \quad (3)$$

где  $\rho$  - плотность воды;  $\lambda_m$  - коэффициент трения торцевой щели.

Из (3) следует, что полные потери давления на трение на участке между радиусами  $R_b$  и  $r$

$$P_{R_b, r} = \frac{\lambda_m \rho Q_P^2}{16\pi^2 b_m^3} \int_{R_b}^r \left[ 1 + \left( \frac{2\pi^2 nb_m}{Q_P} \right)^2 r^4 \right]^{\frac{3}{2}} \frac{dr}{r^2}, \quad (4)$$

а полные потери давления на трение на всей щели между радиусами  $R_b$  и  $R_n$

$$P_{R_b, R_n} = \frac{\lambda_m \rho Q_P^2}{16\pi^2 b_m^3} \int_{R_b}^{R_n} \left[ 1 + \left( \frac{2\pi^2 nb_m}{Q_P} \right)^2 r^4 \right]^{\frac{3}{2}} \frac{dr}{r^2}. \quad (5)$$

Потери давления при входе в торцевую щель

$$P_{вс} = \zeta_{вх} \frac{\rho}{2} v_{Sb}^2 = \zeta_{вх} \frac{\rho}{2} \left[ \left( \frac{Q_P}{2\pi b_m R_b} \right)^2 + (\pi n R_b)^2 \right], \quad (6)$$

где  $v_{Sb}$  - скорость воды в торцевой щели на радиусе  $R_b$ ;  $\zeta_{вх}$  - коэффициент сопротивления на входе.

Потери давления при выходе из торцевой щели

$$P_{вых} = \zeta_{вых} \frac{\rho}{2} v_{SH}^2 = \zeta_{вых} \frac{\rho}{2} \left[ \left( \frac{Q_P}{2\pi b_m R_H} \right)^2 + (\pi n R_H)^2 \right], \quad (7)$$

где  $v_{SH}$  - скорость воды в торцевой щели на радиусе  $R_H$ ;  $\zeta_{вых}$  - коэффициент сопротивления на выходе.

Используя выражения (4)-(7), получим полные потери давления в торцевой щели

$$P_2 - P_3 = P_{вх} + P_{вых} + P_{R_b, R_H} \quad (8)$$

и давление на стенки торцевой щели на радиусе  $r$

$$P_r = P_2 - P_{вх} - P_{R_b, r} - P_{\partial, r}, \quad (9)$$

где  $P_{\partial, r} = \frac{\rho}{2} v_S^2 = \frac{\rho}{2} \left[ \left( \frac{Q_P}{2\pi b_m r} \right)^2 + (\pi n r)^2 \right]$  - гидродинамическое давление на радиусе  $r$ .

Зависимость (9) используем для определения уравновешивающей силы, действующей на разгрузочный диск

$$F = (P_2 - P_3) \pi (R_b^2 - R_{BT}^2) + \int_{R_b}^{R_H} (P_r - P_3) 2\pi r dr, \quad (10)$$

где  $R_{BT}$  - наружный радиус дистанционной втулки (рис. 1).

Если проделать аналогичные рассуждения для кольцевой щели, которую образуют дистанционная втулка и втулка разгрузки (рис. 1), то для перепада давлений в кольцевой щели получим выражение

$$P_1 - P_2 = \left( 1,5 + \frac{\lambda_k \ell}{2b_k} \right) \frac{\rho}{2} \left[ \left( \frac{Q_P}{2\pi R_{bm} b_k} \right)^2 + (\pi n R_{BT})^2 \right], \quad (11)$$

где  $P_1$  - давление после последнего колеса насоса;  $b_k$  - ширина кольцевой щели;  $\lambda_k$  - коэффициент трения в кольцевой щели;

$$l = l_0 \sqrt{1 + \left( \frac{2\pi^2 R_{BT}^2 n b_k}{Q_P} \right)^2} - \text{длина траектории движения частиц воды в}$$

кольцевой щели;  $l_0$  - длина втулки разгрузки.

В результате проделанных исследований получены основные выражения для определения перепада давлений в торцевой щели (8), перепада давлений в кольцевой щели (11) и уравновешивающей силы, действующей на разгрузочный диск (10) с учетом частоты вращения ротора насоса. Эти зависимости лягут в основу методики расчета разгрузочных устройств шахтных центробежных насосов.

#### Список литературы

1. Михайлов А.К. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления / А.К.Михайлов, В.В. Малюшенко. – М.: Машиностроение, 1971. – 302 с.
2. Марцинковский В.А. Статический расчет разгрузочных устройств центробежных насосов / В.А. Марцинковский. – Л.: Машиностроение, 1975. - с. 362-368.
3. Чегурко Л.Е. Разгрузочные устройства питательных насосов тепловых электростанций / Л.Е. Чегурко. – М.: Энергия, 1978. – 158 с.
4. Кондратенко В.Г. Обоснование параметров разгрузочных устройств шахтных секционных насосов: дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Донецк – 1992.-178с.

***В.Г. Кондратенко. Дослідження розвантажувального пристрою шахтного відцентрового насоса. Проведені теоретичні дослідження розвантажувального пристрою шахтного відцентрового насоса з урахуванням частоти обертання його ротора.***

**шахтний відцентровий насос, розвантажувальний пристрій, розвантажувальний диск, кільця розвантажування, врівноважу вальна сила, тиск, витрати води через розвантаження**

***V. Kondratenko. Investigation of the Unloading Device of the Centrifugal Pump. Theoretical investigations of a mine centrifugal pump, taking into account rotation frequency of its pump, have been carried out.***

**mine centrifugal pump, unloading device, unloading disk, unloading kings, balancing force, pressure, expenditure of water because of unloading**

*Стаття надійшла до редколегії 28.10.2010*

*Рецензент: зав. каф. «Гірничі машини» ДонНТУ, д-р техн. наук, проф. А.К. Семенченко*

© Кондратенко В.Г., 2010