

Предложенная методика комплексного профилирования дисковых инструментов, обрабатывающих винтовые поверхности, на основе использования метода блокирующих линий при нахождении параметров установки позволяет определять формы режущих кромок инструмента с любым профилем и значением переднего угла.

Библиографические ссылки

1. Кирсанов Г. Н. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов / под ред. Г. Н. Кирсанова. – М. : Машиностроение, 1986. – 285 с.
2. Проектирование фрез для обработки винтовых каналов сверл аналитическим (с использованием ЭВМ) и гра-

Получено 22.05.15

фическим методами : учеб. пособие / Ю. В. Федоров, С. Л. Леонов, А. А. Хоменко, Э. В. Кениг. – Барнаул : Изд-во Алтайского гос. тех. ун-та, 2008. – 96 с.

3. Щуров И. А. Расчет профиля дискового инструмента для обработки винтовой поверхности // Станки и инструменты. – 1996. – № 1. – С. 19–21.
4. Проектирование режущих инструментов / В. А. Гречишников, А. Г. Схиртладзе, В. А. Иванов, В. К. Перевозников, И. А. Коротков. – М. : Глобус, 2006. – 272 с.
5. Лапшев С. И., Юликов М. И. Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ. – М. : Машиностроение, 1975. – 385 с.
6. Там же.
7. Проектирование режущих инструментов.
8. Там же.
9. Там же.

УДК 532.5, 532.529.5

А. Н. Мусинский, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет
С. Н. Пещеренко, доктор физико-математических наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ВИХРЕВОЙ КАМЕРЫ НА НАПОРНЫЕ И СЕПАРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГРУЖНЫХ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ

Повышение эффективности работы электроцентробежного насоса на смеси жидкости и попутного газа достигается комплектацией их центробежными газосепараторами [1]. Однако добиться эффективного отделения газа центробежными газосепараторами при высоких подачах (например, более 500 м³/сут для установок 5А габарита) не удастся, так как при увеличении подачи время нахождения газожидкостной смеси в газосепараторе, следовательно, и время сепарации уменьшается. Для увеличения времени сепарации, казалось бы, можно увеличить длину газосепаратора, но это не так: происходит срыв струйного течения, появляются вихри в проточных каналах, и сепарация ухудшается. Кроме того, увеличение длины газосепаратора приводит к увеличению времени воздействия на него абразивных частиц, т. е. к гидроабразивному разрушению.

Для решения второй проблемы – гидроабразивного разрушения – было предложено [2, 3] часть длины сепарационного узла центробежного газосепаратора заменить вихревой камерой, где вращение газожидкостной смеси продолжится по инерции. Также проводились исследования фазоразделения газожидкостного потока в вихревой трубе (аналог вихревой камеры) [4, 5]. Однако задача о влиянии длины вихревой камеры на напор и сепарационные характеристики центробежных газосепараторов не была решена.

Целью данной работы является изучение зависимости напорной характеристики и коэффициента сепарации устройства от длины вихревой камеры.

План и методика экспериментальных исследований

Схема испытательного стенда представлена на рис. 1.

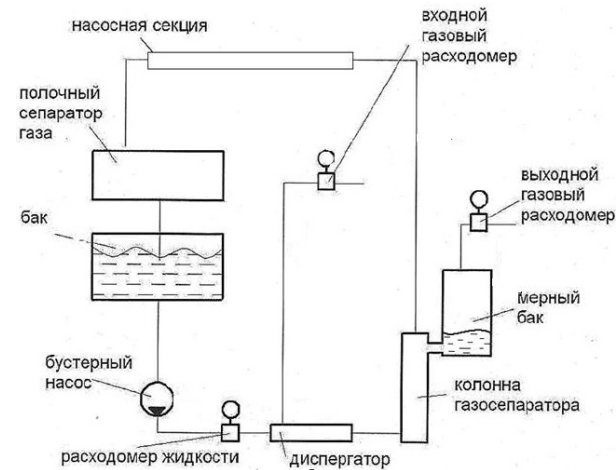


Рис. 1. Схема испытательного стенда

Измеряли напор и коэффициент сепарации вихревых газосепараторов с вихревой камерой различной длины. В качестве рабочей жидкости использовали смесь воды, воздуха и ПАВ (дисолван 4411, 0,05 % от объема жидкости), моделирующей пластовую жидкость.

Испытания проводили следующим образом.

Жидкость в систему подавал бустерный насос, газ – компрессор, которые смешивались диспергатором, формировалась мелкодисперсная газожидкостная смесь (ГЖС). Потоки газа и жидкости измеряли до перемешивания, что существенно повышало точность измерений. ГЖС поступала в газосепаратор, установленный вертикально внутри модели обсадной колонны. По системе трубопроводов выход газосепаратора соединялся с насосной секцией, как и в скважинных условиях. Выкидные отверстия для газа, выполненные в корпусе газосепаратора, были соединены с мерным баком, в который поступал отсепарированный газ и часть жидкости. Объем отсепарированного газа измерялся с помощью газового расходомера, установленного на выходе из мерного бака. По разнице потоков газа на входе в диспергатор и на выходе из мерного бака определялся остаточный объем газа, поступающего в насосную секцию после газосепаратора. Часть газа, прошедшая вместе с рабочей жидкостью в насосную секцию, окончательно отделялась от жидкости в полочном сепараторе после насосной секции.

В ходе эксперимента измерялись следующие величины: $Q_{ж}$ – объемная подача по жидкости; q_1 – объемная подача газа при нормальных условиях; P_1 – давление на входе в газосепаратор; P_2 – давление на выходе газосепаратора; q_2 – объемная подача газа на выходе из резервуара, соединенного с выкидными отверстиями газосепаратора, измеренная при нормальных условиях; V – объем жидкости в баке, связанном с затрубным пространством; t – время работы газосепаратора, пока затрубье соединено с резервуаром.

По измеренным величинам, перечисленным выше, рассчитывались: объемная концентрация газа в смеси перед входом в газосепаратор

$$\beta_{вх} = \frac{q_1}{q_1 + Q_{ж}} \quad (1)$$

и остаточная объемная концентрация газа в смеси после газосепаратора (перед входом в насос)

$$\beta_{ост} = \frac{q_1 - q_2}{(q_1 - q_2) + \left(Q_{ж} - \frac{V}{t}\right)}, \quad (2)$$

затем вычислялся коэффициент сепарации

$$K = \frac{\beta_{вх} - \beta_{ост}}{\beta_{вх} - \beta_{вх}\beta_{ост}}. \quad (3)$$

Напор, создаваемый газосепаратором, определялся как разница давлений на выходе и входе:

$$H = P_2 - P_1. \quad (4)$$

Влияние длины вихревой камеры на напор газосепаратора

Схема сепарационного узла газосепаратора приведена на рис. 2. Осевое колесо создает вихревое движение ГЖС в камере, длина которой обозначена через L . Испытания проводили при $L = 50, 90, 120, 150$ мм. Измеряли напор газосепаратора.

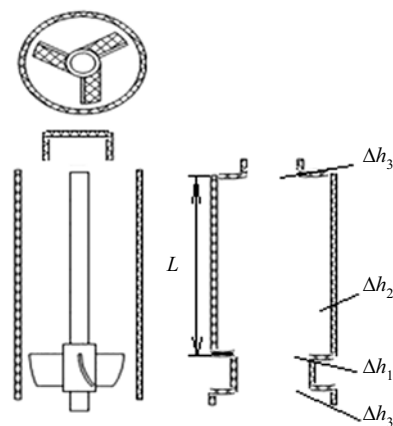


Рис. 2. Схема сепарационного узла вихревого газосепаратора с эквивалентной схемой местных сопротивлений: Δh_1 – потери напора при внезапном расширении канала; Δh_2 – потери напора по длине канала; Δh_3 – потери напора при внезапном сужении канала

Полученные зависимости напора H газосепаратора от подачи приведены на рис. 3. Видно, что H немонотонно зависит от L : при увеличении L напор сначала увеличивается, а затем уменьшается.

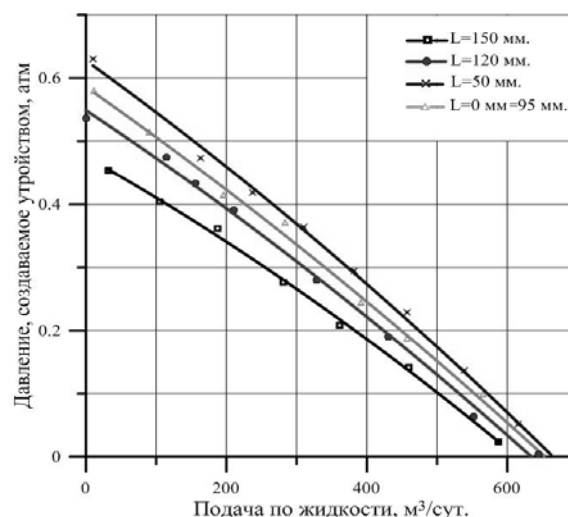


Рис. 3. Напорно-расходные характеристики газосепараторов с разной длиной вихревой камеры

Чтобы на качественном уровне понять механизм явлений, приведших к немонотонной зависимости, была проведена оценка местных сопротивлений $\Delta h_1, \Delta h_2, \Delta h_3$ для более простого течения – без закрутки потока.

Потери напора при внезапном расширении канала [6]

$$\Delta h_1 = \frac{\left(\frac{4Q}{\pi d^2} - \frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2}{2g}, \quad (5)$$

потери напора по длине канала

$$\Delta h_2 = \lambda \frac{L}{D} \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2}{2g}, \quad (6)$$

потери напора при внезапном сужении канала

$$\Delta h_3 = 0,5 \left(1 + \frac{\pi d^2}{4 \pi D^2} \right) \frac{\left(\frac{4Q}{\pi d^2} \right)^2}{2g}, \quad (7)$$

где введены следующие обозначения: Q – подача по жидкости; λ – коэффициент сопротивления трения по длине; d – диаметр в узком сечении; D – диаметр в широком сечении.

Результаты расчета при подаче $Q = 100 \text{ м}^3/\text{сут.}$ приведены на рис. 4. Видно, что при увеличении L от 0 до 50 мм напор увеличивается из-за того, что после выхода из шнека проточный канал расширяется, что уменьшает сопротивление. Дальнейшее увеличение длины L приводит к увеличению трения о стенки газосепаратора и к потере напора.

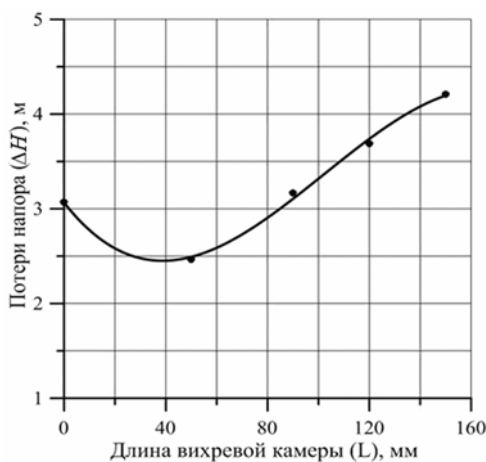


Рис. 4. Зависимость потерь напора от длины вихревой камеры при подаче $100 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Влияние длины вихревой камеры на коэффициент сепарации

Длина вихревой камеры L варьировалась так же, как в первой серии экспериментов. Измеренная зависимость коэффициента сепарации от L приведена на рис. 5. Видно, что эта зависимость также немонотонная: коэффициент сепарации сначала уменьшается, а затем увеличивается при увеличении L , но после достижения $L = 120 \text{ мм}$ коэффициент сепарации снова уменьшается. Это означает, что на зависимость $K(L)$ имеется локальный максимум.

Зависимость коэффициента сепарации от длины вихревой камеры объясняется следующим образом. При выходе потока из шнека происходит переходный процесс, который сопровождается дополнительным вихреобразованием, и при малых L коэффициент сепарации низкий. При увеличении L поток продолжает вращаться и сепарироваться в вихревой камере (сепарация увеличивается), но по мере продвижения по вихревой камере вращение замедляется и турбулентные пульсации скорости (подаче $500 \text{ м}^3/\text{сут.}$ соответствует $Re \approx 5 \cdot 10^4$) ухудшают сепарацию.

Результаты эксперимента при подаче $750 \text{ м}^3/\text{сут.}$ представлены на рис. 6. Минимум кривой в точке,

соответствующей $L = 30 \text{ мм}$, связан с переходным процессом, а максимум в точке, соответствующей $L = 120 \text{ мм}$, – с продолжающейся сепарацией по мере движения смеси в вихревой камере.

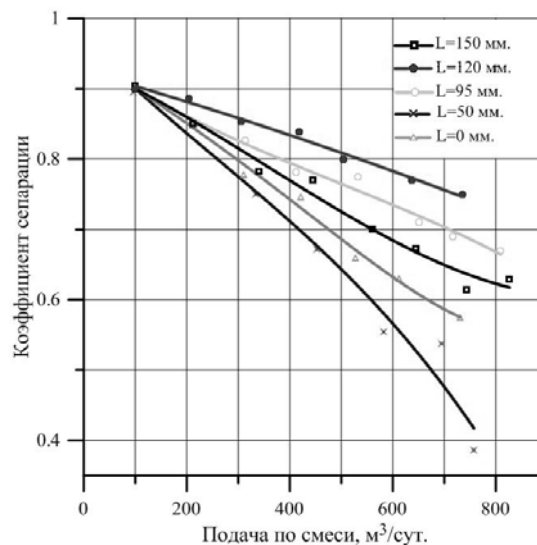


Рис. 5. Зависимость коэффициента сепарации от подачи при разных длинах вихревой камеры

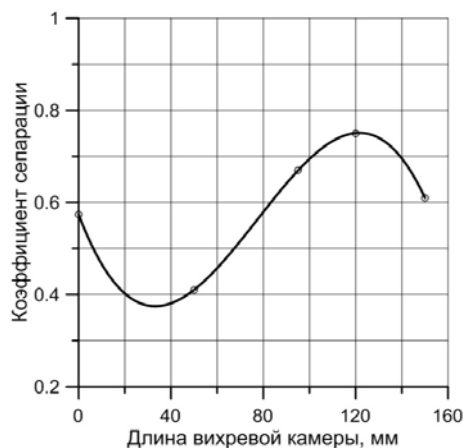


Рис. 6. Зависимость коэффициента сепарации от длины вихревой камеры при подаче $750 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Выводы

1. Показана немонотонная зависимость давления, создаваемого газосепаратором, и коэффициента сепарации от длины вихревой камеры L .
2. Значения L , при которых максимальны напор и коэффициент сепарации, не совпадают.
3. Полученные зависимости позволяют проектировать газосепараторы с лучшими сепарационными или напорными характеристиками.

Библиографические ссылки

1. Агеев Ш. Р., Григорян Е. Е., Макиенко Г. П. Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение : энциклопедический справочник. – Пермь : Пресс-мастер, 2007. – 645 с.
2. http://www.slb.com/~media/Files/artificial_lift/product_sheets/vortex_gas_separator_ps.pdf

3. www.bakerhughes.com

4. Целищев А. В., Ахметов Ю. М. Эффект фазоразделения газожидкостного потока в камере вихревой трубы // Вестник УГАТУ. Машиностроению – 2013. – Т. 17, № 3(56). – С. 87–94.

5. Ахметов Ю. М., Целищев А. В., Жернаков В. С. Исследование процесса сепарации газожидкостного потока

Получено 22.05.15

в вихревой трубе // Вестник УГАТУ. Гидравлические машины гидропневмоагрегаты. – 2011. – Т. 15, № 4(44). – С. 120–126.

6. Попов Д. Н., Панаиотти С. С., Рябинин М. В. Гидромеханика : учебник для вузов / под ред. Д. Н. Попова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 384 с. : ил. – (Сер. «Механика в техническом университете»). – Т. 6.

УДК 623.53

А. Н. Павлов, кандидат технических наук, доцент, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

А. Н. Гладков, кандидат технических наук, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

В. Г. Шереметьев, Пермский военный институт внутренних войск МВД России

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПАРОГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ ПО КОНИЧЕСКОМУ РАСТРУБУ

В данной работе исследовано взаимодействие продуктов сгорания топлива с жидкостью, а также ударные волны в парогазожидкостных смесях при наличии процессов разрушения слоя жидкости и дробления капель в высокоскоростном газовом потоке. Рассмотрены физические и математические модели, позволяющие описать течение парогазожидкостной смеси по коническому раструбу.

Рассмотрим физическую модель взаимодействия горячего газа ($T_g \approx 2000$ К) с жидкостью (водой), находящейся в герметичном объеме, расположенном в предсопловом объеме РДТТ между диафрагмой и сопловой заглушкой (рис. 1) [1].

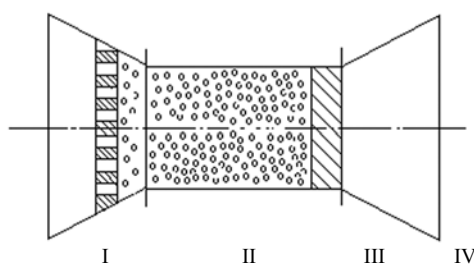


Рис. 1. Схема протекания процесса взаимодействия газа с жидкостью

Горячий газ через отверстия в диафрагме проникает в воду. При этом происходят сложные ударно-волновые и термодинамические процессы. Остановимся на их рассмотрении более подробно.

В рассматриваемой физической модели используется теория механического разрушения слоя жидкости, непосредственно примыкающего к отверстиям диафрагмы.

На начальном этапе истечения газа формируются газонаполненные полости, охватывающие области, примыкающие к диафрагме в области II. Под воздействием скоростного напора струи полости вытягива-

ются в продольном направлении напротив каждого отверстия, принимая форму, близкую к эллипсоиду вращения (рис. 2).

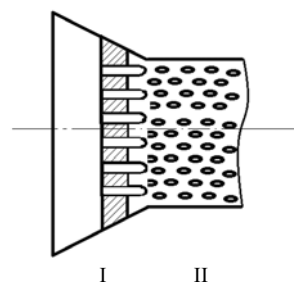


Рис. 2. Образование эллипсоидных полостей

Истечение газа из отверстий диафрагмы предваряется соударением волны сжатия о жидкость, форма фронта которой при удалении от отверстий приближается к полусфере. В акустическом приближении скорость звука в воде $a_{ж}$ и газа a_g не зависит от интенсивности возмущений; тогда из равенства нормальных к поверхности раздела скоростей газа и воды:

$$p = \left(p_g + p_{ж} \cdot \frac{\rho_g \cdot c_g}{\rho_{ж} \cdot c_{ж}} \right) \left(1 + \frac{\rho_g \cdot c_g}{\rho_{ж} \cdot c_{ж}} \right)^{-1}, \quad (1)$$

где p – давление в районе отверстий после прохождения волны сжатия; $\rho_{ж}$ и ρ_g – плотность воды и газа соответственно.

Начальная скорость границы раздела плотностей после прохождения волны сжатия

$$v_0 = \frac{p - p_{ж}}{\rho_{ж} \cdot c_{ж}} = \frac{p_g - p_{ж}}{\rho_{ж} \cdot c_{ж} + \rho_g \cdot c_g}. \quad (2)$$

При удалении фронта волны от отверстий скорость жидкости уменьшается по закону