

УДК 669.018.046:621.74.047

А.Я. Бабанин /д.т.н./

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» (Макеевка)

М.Ю. Ткачев /к.т.н./

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

В.В. Белоусов /д.т.н./

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет» (Донецк)

ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ПРОБКОВЫХ КРАНОВ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОТОКОВ ШЛАМОВОЙ СМЕСИ В НИХ

Методом математического моделирования выполнены исследования гидродинамических потоков шламовой смеси в пробковом кране Ду 200 мм при различных режимах его работы. Определены гидродинамическая структура и скорость движения потоков шламовой смеси. Установлены четыре характерные области гидродинамической структуры шламового потока: малых, средних, высоких и интенсивных скоростей его движения, а также определены их количественные значения. Установлено, что с изменением угла открытия крана значительно изменяется гидродинамическая структура потока шламовой смеси, в частности, при уменьшении угла открытия, то есть при его закрытии, объем зоны интенсивных скоростей, расположенной на срезе как пробки, так и шара, значительно увеличивается, что приводит к увеличению скорости абразивного износа их кромок.

Ключевые слова: запорная арматура, пробковый кран, шламовая смесь, гидродинамическая структура потока.

Постановка проблемы

Пробковые краны большого диаметра, работающие на магистралях подачи шламовой смеси в условиях горно-обогатительных комбинатов (ГОК), обогатительных фабрик угольной промышленности, цементных заводов и т.д. с рабочим диаметром 100-300 мм (Ду 100-300), испытывают значительный абразивный износ, что существенно снижает срок их службы [1]. Преимуществом применения пробковых кранов большого диаметра вместо аналогичных задвижек являются их малые размеры, простота в обслуживании, более низкая стоимость и многолетний опыт их использования в данных условиях. Наряду с существенными преимуществами пробковые краны имеют существенный недостаток – это малый срок службы, вызванный их повышенным абразивным износом. Признаком ухудшения работы крана является течь шламовой смеси, а при полном выходе из рабочего состояния – невозможность регулирования расхода и прекращения подачи шламовой смеси. Это приводит к переводу подачи шламовой смеси на другую магистраль и замене пробкового крана. Поэтому повышение срока службы пробкового крана большого диаметра, работающего на магистрали шламовой смеси, является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций

Характер выхода из рабочего состояния запорной арматуры большого диаметра заключается в значительном абразивном износе пробки и корпуса в местах соприкосновения с движущейся шламовой смесью [2,3]. Это приводит к пропуску шламовой смеси в закрытом положении пробкового крана.

В результате анализа рабочих поверхностей, отработавших свой срок на шламовых магистралях ОАО «Донцемент» пробковых кранов Ду 200, установлено, что:

- выход из рабочего состояния пробковых кранов происходит в результате значительного абразивного износа пробки и корпуса при соприкосновении с движущейся шламовой смесью, а также в результате износа сопряженных поверхностей корпуса и пробки;

- первыми признаками значительного износа сопряженных поверхностей корпуса и пробки является пропускание шламовой смеси в закрытом состоянии пробкового крана;

- интенсивность износа зависит от гидродинамических параметров движения шламовой смеси (в частности линейной скорости движения), от механических свойств материала проб-

кового крана и от физических параметров шламовой смеси (химического состава смеси и фракционного состава твердых частиц, верхнего предела крупности и микротвердости частиц) [4,5].

В результате предварительно проведенных исследований установлено, что интенсивность износа зависит как от механических свойств материала пробкового крана, так и от характеристики шламовой смеси, в частности от фракционного, химического и структурного состава. Пробковый кран изготавливался из серого чугуна СЧ 20 методом отливки деталей в земляные формы с дальнейшей механической обработкой с одинаковой конусностью конуса и пробки.

Цель (задачи) исследования

Одним из перспективных направлений повышения износостойкости запорной арматуры является применение конструкционных материалов для изготовления пробковых кранов с более высокими механическими и износостойкими свойствами. Однако это влечет за собой значительное повышение себестоимости пробковых кранов и удорожание производственного процесса перекачки шламовой смеси.

Целью данной работы является определение возможности повышения срока службы пробковых кранов путем оптимизации гидродинамиче-

ских потоков шламовой смеси, обеспечивающих снижение скорости износа поверхностей пробки и корпуса.

Основной материал исследования

Исследование гидродинамических потоков шламовой смеси в пробковом кране, характерные поверхности износа которого представлены на рис. 1, выполнено при помощи программного комплекса SolidWorks, который обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения [6].

При моделировании использовали метод конечных элементов (МКЭ) – численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, применяемых для решения задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела (сопромата), теплообмена, гидродинамики и электродинамики [7,8] В соответствии с [9-12] метод конечных разностей (МКР) (метод сеток) базируется на уравнениях в дифференциальной форме, при этом дифференциальные операторы заменяются конечно-разностными соотношениями различной степени точности. Как правило, они строятся на ортогональных сетках (прямоугольной, цилиндрической и т.д.).



а



б

Рис. 1. Характерные поверхности износа отработанного пробкового крана Ду 200: а – поверхность соприкосновения корпуса с пробкой; б – поверхность пробки

Это позволяет факторизовать операторы и свести решение многомерной задачи к последовательности одномерных задач, а значит, существенно упростить и ускорить решение общей системы уравнений. К недостаткам метода следует отнести плохую аппроксимацию границ сложных областей, что не слишком принципиально для уравнений теплопроводности, но весьма существенно для уравнений гидродинамики.

Основная идея метода конечных разностей (метода сеток) для приближенного численного решения краевой задачи для двумерного дифференциального уравнения в частных производных состоит в том, что на плоскости в области A , в которой осуществляется поиск решения, строится сеточная область As , состоящая из одинаковых ячеек размером s (s – шаг сетки) и являющаяся приближением данной области A ; также заданное дифференциальное уравнение в частных производных заменяется в узлах сетки As соответствующим конечно-разностным уравнением; с учетом граничных условий устанавливаются значения искомого решения в граничных узлах области As [13-15].

Процессы можно описать системой нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, записанных в цилиндрических координатах, в которую входят: уравнение Навье-Стокса, представленное в покомпонентной записи, и уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} + v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} + \eta \left(\Delta u - \frac{u}{r} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial r} + v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \eta \Delta v, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{\partial(rv)}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

где u, v – радиальная и вертикальная составляющие скорости; t – текущее время; r, z – радиальная и вертикальная координаты; ρ – плотность смеси, P – давление; η – коэффициент кинематической вязкости; $\Delta = \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z}$ – оператор Лапласа.

Система уравнений (1)-(3) замыкается системой краевых условий.

Начальные условия: $t=0: u=v=0$.

Граничные условия для скорости записываются в виде:

$$\begin{aligned} r=0: u=0, \frac{\partial v}{\partial r} &= 0, \\ z=l_2: u=0, v=V_n, \\ r=l_1: u=0, v=0, \\ z=0: u=0, v=V_n, \end{aligned}$$

где V_n – скорость перемешивания смеси.

При моделировании использовался метод разности против потока, гарантирующий устойчивость конечно-разностной схемы.

Исходные данные для математического моделирования:

1. Пробковые краны установлены на магистрали подачи шламовой смеси из сырьевого цеха в цех обжига насосом «Углесос 12У10-М».

2. Истечение шламовой смеси, физические параметры которой представлены в табл. 1, происходит в емкость при окружающих нормальных условиях, то есть температуре 25 °С и давлении 98 кН/м².

3. Насос марки «Углесос 12У10-М» имеет следующие основные технические характеристики:

- подача шламовой смеси – 400 кг/с;
- напор – 85 м;
- мощность двигателя – 315 кВт;
- частота вращения – 1500 об/мин;
- КПД – 70 %.

Табл. 1. Основные физические параметры сырьевой шламовой смеси

| Содержание основных компонентов, % | | | | | Верхний предел крупности, мм | Средняя микротвердость, МПа |
|------------------------------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|------|------------------------------|-----------------------------|
| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Fe ₂ O ₃ | MgO | | |
| 13,20 | 4,00 | 42,30 | 2,43 | 1,23 | 2,0 | 1230 |

Табл. 2. Результаты расчета скорости движения шламовой смеси в трубопроводе

| Рабочий диаметр трубопровода, м | Объем трубопровода длиной 1 м, V (м ³) | Скорость движения шламовой смеси в трубопроводе без учета шероховатости поверхности, v (м/с) | Скорость движения шламовой смеси с учетом шероховатости трубопровода, v' (м/с) | Скорость движения шламовой смеси при закрытом на половину кране, Δ (м/с) |
|---------------------------------|--|--|--|--|
| 100 | 0,0314 | 7,96 | 5,57 | 11,15 |
| 150 | 0,070 | 3,50 | 2,45 | 4,90 |
| 200 | 0,10 | 2,50 | 1,75 | 3,50 |
| 250 | 0,20 | 1,25 | 0,80 | 1,60 |

4. Плотность шламовой смеси – 1600 кг/м³.

5. Скорость движения шламовой смеси принималась из табл. 2.

Следует отметить, что химический состав шламовой смеси находится примерно на одном уровне. Однако значительное его изменение, в связи с изменением плотности и коэффициента кинематической вязкости шламовой смеси, оказывает влияние на гидродинамическую структуру и вектор скорости.

В ходе математического моделирования определены гидродинамическая структура и вектор скорости движения шламовой смеси в пробковом кране рабочим диаметром 200 мм при его открытии на 22,5°, 45° и 67,5° (результаты представлены на рис. 2 со шкалой скорости движения шламовой смеси).

Установлено, что структура гидродинамического потока шламовой смеси в зависимости от скорости движения состоит из следующих зон:

- зона сверхмалых скоростей (менее 5 м/с)
- зона малых скоростей (5-8 м/с);
- зона средних скоростей (8,1-13 м/с);
- зона сверхсредних скоростей (13,1-17 м/с);
- зона высоких скоростей (17,1-21,6 м/с);
- зона сверхвысоких скоростей (21,6-26 м/с);
- зона интенсивных скоростей (26,1-32 м/с).

С изменением угла открытия пробкового крана значительно изменяется гидродинамическая структура потока шламовой смеси, в частности, при уменьшении угла открытия пробкового крана, то есть при его закрытии, объем зоны интенсивных скоростей, расположенных на срезе пробки, значительно увеличивается. Это приводит к увеличению скорости абразивного износа кромки пробки.

При открытии пробкового крана на 45° объем зоны интенсивного движения уменьшается, а при открытии пробкового крана на 67,5°

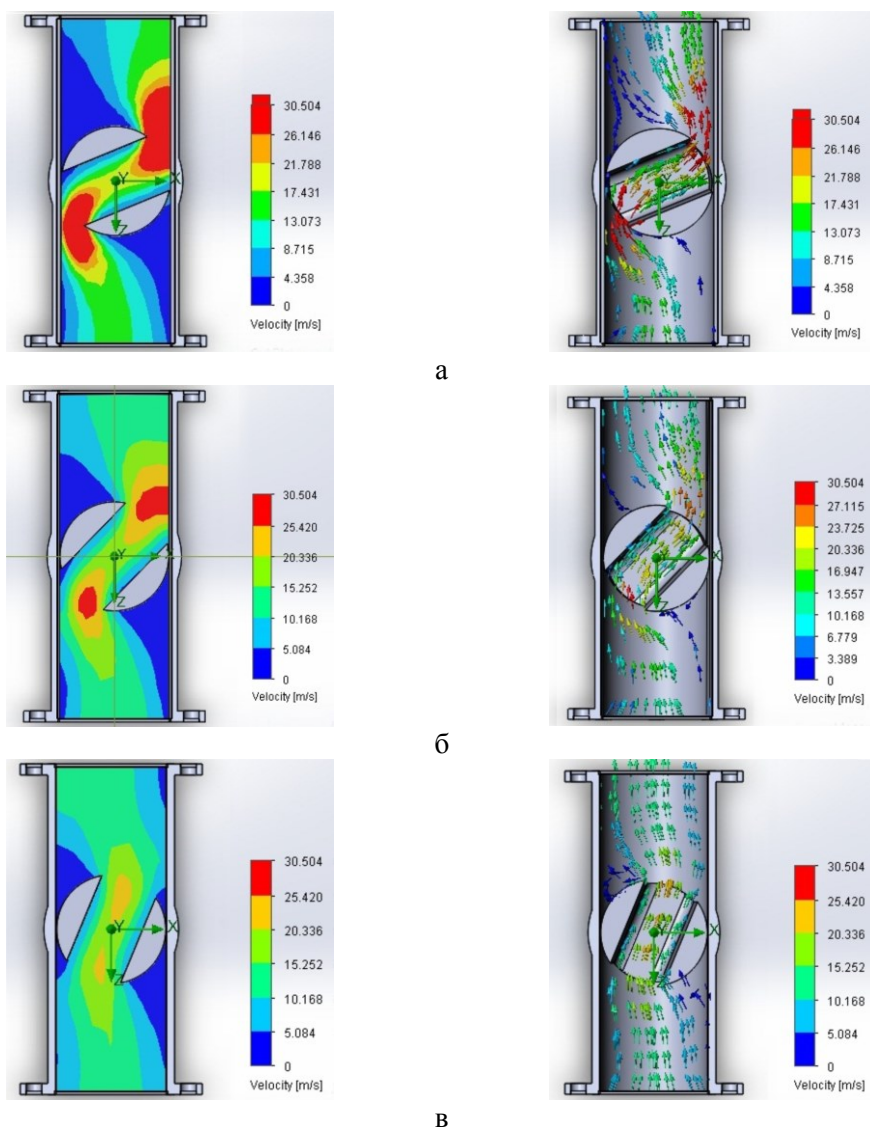


Рис. 2. Гидродинамическая структура и вектор скорости движения шламовой смеси при различных углах открытия пробкового крана: а – 22,5°; б – 45°; в – 67,5°

исчезает полностью. Вектор скорости шламовой смеси изменяется аналогично гидродинамической структуре потока.

Следовательно, для снижения абразивного износа пробкового крана и повышения срока его службы необходимо обеспечить такой режим работы пробкового крана, чтобы он максимальное время работал с углом открытия 68-90°.

Испытания разработанного режима работы проводили в условиях производства ОАО «Донецмент» на магистрали подачи шламовой смеси в условиях интенсивного абразивного износа. Контроль работы пробковых кранов Ду 200 осуществляли в насосной № 3, обеспечивающей непрерывную подачу шламовой смеси с расходом 0,072-0,111 м³/с в течение 180 суток. Результаты испытания свидетельствуют, что пробковые краны, которые функционировали в разработанном режиме с углом открытия порядка 70-90°, имеют срок службы без пропускания шламовой смеси в закрытом положении в 1,4-1,6 раза больше, чем краны, работающие в обычном режиме. Это подтверждает адекватность полученных результатов моделирования движения шламовой смеси в пробковом кране с результатами испытания срока его службы в промышленных условиях.

Выводы

В результате математического моделирования движения потока шламовой смеси в пробковом кране определены гидродинамическая структура потока и вектор скорости его движения. Установлены характерные области гидродинамической структуры шламового потока и скорости его движения. Определены их количественные значения.

Установлено, что с изменением угла открытия пробкового крана значительно изменяется гидродинамическая структура потока шламовой смеси, в частности, при уменьшении угла открытия, то есть при его закрытии, объем зоны интенсивных скоростей, расположенной на срезе как пробки, так и шара значительно увеличивается, что приводит к росту скорости абразивного износа их кромок. Поэтому для снижения абразивного износа пробкового крана и повышения срока его службы необходимо организовать его работу с углом открытия в диапазоне 68-90°. Для поддержания оптимального угла открытия пробкового крана в процессе всего производственного цикла перекачки шламовой смеси целесообразно применять механическое управление работой крана.

На основании выполненных исследований разработаны оптимальные режимы работы

пробковых кранов Ду 200, обеспечивающие повышение срока их службы в 1,4-1,6 раза.

Список литературы

1. Имбрицкий, М.И. Краткий справочник по трубопроводам и арматуре / М.И. Имбрицкий. – М.: Энергия, 1969. – 168 с.
2. Оконишников, А.И. Эксплуатация и ремонт оборудования на углеобогатительных фабриках / А.И. Оконишников, В.Я. Запсельский. – М.: Недра, 1976. – 288 с.
3. Сорокин, Г.М. Инженерные критерии определения износостойкости сталей и сплавов при механическом изнашивании / Г.М. Сорокин // Вестник машиностроения. – 2001. – №11. – С. 57-57.
4. Иголкин, А.И. Износостойкая наплавка на внутренних поверхностях трубопроводов и емкостных аппаратов / А.И. Иголкин, Ю.В. Зеленин // Химическая и нефтегазовая промышленность. – 2009. – №4. – С. 46-48.
5. Сафонов, Б.П. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений / Б.П. Сафонов, А.В. Бегова. – Новомосковск: РХТУ им. Менделеева, Новомосковский институт, 2004. – 65 с.
6. Lombard, M. Solidworks 2013 Bible / M. Lombard. – Concord: John Wiley & Sons, 2013. – 1299 p.
7. Обгадзе, Т.А. Решение стационарных задач гидродинамики на основе RO-метода Рвачева-Обгадзе / Т.А. Обгадзе. – Тбилиси: Грузинский технический университет, 2017. – 118 с.
8. Белоусов, В.В. Основы теплопереноса и теплофизика замкнутых объемов / В.В. Белоусов, Н.И. Болонов. – Донецк: Юго-Восток, 2003. – 135 с.
9. Выбор границ применимости математической модели турбулентности при формировании стального слитка / И.Л. Повх [и др.] // Инженерно-физический журнал. – 1997. – Т.70, №1. – С. 45-49.
10. Методы вычислительной гидродинамики в расчетах движения жидкости в системах со сложной топологией / С.М. Аракелян [и др.]. – Владимир: Изд-во ВлГУ. – 2015. – 99 с.
11. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2 т. Т.1 / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М.: Мир, 1990. – 384 с.
12. Самарский, А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский. – М.: Наука, 1989. – 616 с.
13. Pardalos, P.M. Numerical Methods and Optimization: An Introduction / P.M. Pardalos, S. Butenko. – Abingdon: CRC Press: Taylor & Francis Group. – 2014. – 412 p.

14. Garon, A.M. Velocity and heat transfer measurements in thermal convection / A.M. Garon, R.J. Goldstein // Phys. Fluids. – 1973. – Vol.16. – No.11. – P. 1818-1825.
15. Бариллович, В.А. Основы технической термодинамики и теории тепло- и массообмена / В.А. Бариллович, Ю.А. Смирнов. – М.: ИНФРА-М. – 2014. – 432 с.

A.Ya. Babanin /Dr. Sci. (Eng.)/

Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture (Makeyevka)

M.Yu. Tkachev /Cand. Sci. (Eng.)/

Donetsk National Technical University (Donetsk)

V.V. Belousov /Dr. Sci. (Eng.)/

Donetsk National University (Donetsk)

INCREASING THE SERVICE LIFE OF LARGE DIAMETER PLUG VALVES BY OPTIMIZING HYDRODYNAMIC FLOW OF A SLURRY MIXTURE IN THEM

Background. The failure of large diameter plug valves in conditions of intensive operation at the enterprises of mining and processing complex occurs most often due to the generation and development of abrasive wear of the main elements – plugs and housings. Currently, the elimination of the negative factor realized through the use of new, more durable materials in the product design, but this generally does not lead to a positive economic effect, since such measures entailed a significant increase in the cost of both the technological process and the equipment. The most effective method for improving reliability, in particular, the probability of failure-free operation of process equipment that implements the movement of liquid and gaseous media, is to eliminate the causes of certain failures. The optimization of pumped hydrodynamic flows of slurry mixture applied to this class of equipment.

Materials and/or methods. Based on the operation experience and the analysis of the character of the localization of abrasive wear places on the working surfaces of plug valves, modeling of the hydrodynamic structure of flows in their working cavities was carried out for different modes with the velocity vectors measurement of the slurry mixture medium. The study based on the provisions of the classical mechanics of liquids and gases and implemented using the SolidWorks software.

Results. Revealed that the structure of the hydrodynamic flow of the slurry mixture consists of the zones of low, medium, high and intense speeds. The increase rate of abrasive wear of the edge of the valve plug is due to its closure, which leads to an increase in the volume of the zone of intense speeds. The optimal angle of the valve opening, when the abrasive wear caused by the incorrect structure of hydrodynamic flows completely excluded, should be considered the angle value within the range of 68-90°.

Conclusion. The research allows proper adjustment of power systems for pumping slurry mixtures with large diameter valves which failure associated with intense abrasive wear.

Keywords: stop valves, plug valve, slurry mixture, hydrodynamic flow structure.

Сведения об авторах

А.Я. Бабанин

Author ID: 25928278900

Телефон: +380 (71) 358-59-50

Эл. почта: Bay1957@mail.ua

М.Ю. Ткачев

SPIN-код: 9855-0447

Author ID: 57189358257

ORCID iD: 0000-0001-5795-9595

Телефон: +380 (71) 334-92-61

Эл. почта: mishel-tkachev@ya.ru

В.В. Белоусов

Author ID: 25928177100

Телефон: +380 (50) 805-49-58

Эл. почта: v.v.bilousov@gmail.com

Статья поступила 21.03.2018 г.

© А.Я. Бабанин, М.Ю. Ткачев, В.В. Белоусов, 2018

Рецензент д.т.н., проф. С.П. Ерньоко