

УДК 669.018.046:621.74.047

А. Я. БАБАНИН^а, В. В. БЕЛОУСОВ^б, Н. В. САВЕНКОВ^а^а ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», ^б ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА ПРИ ПОВЫШЕННОМ АБРАЗИВНОМ ИЗНОСЕ В ШЛАМОВЫХ МАГИСТРАЛЯХ ЦЕМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. Представлены результаты проведенных исследований методом математического моделирования изменения гидродинамической структуры потока движения шламовой смеси и вектора скорости в пробковом и шаровом кране большого диаметра при их работе на шламовых магистралях цементного производства с учетом основных параметров процесса: диаметр трубопровода, физические свойства шламовой смеси, скорость и интенсивность ее транспортировки. На основании полученных результатов определены оптимальные режимы работы пробковых и шаровых кранов, обеспечивающие минимальный износ пробки и корпуса.

Ключевые слова: запорная арматура, пробковый кран, шаровой кран, шламовая магистраль, цементное производство.

ВВЕДЕНИЕ

Цементная промышленность – это одна из ведущих отраслей строительной индустрии. Производственные мощности цементных заводов постоянно модернизируются, что достигается техническим перевооружением и реконструкцией существующих заводов, внедрением прогрессивных технологий и нового оборудования. Это позволяет существенно снизить удельные капитальные вложения, эксплуатационные расходы и себестоимость продукции.

Производство цемента мокрым способом предусматривает измельчение сырьевой смеси в водной среде и получение на выходе сырьевой массы в виде водной суспензии (шлама) влажностью 30...50 %. Сырьевой цех представляет собой сложную систему шламовых магистралей, включающую насосные станции, трубопроводы и установленную на них, запорную арматуру. Система шламовых магистралей обеспечивает подачу шлама от агрегата его изготовления до вращающихся печей.

Одним из быстросменных, в связи с малым сроком службы, устройством системы шламовых магистралей является запорная арматура, в качестве которой широко применяются пробковые краны и все большее применение находят шаровые краны. Преимуществами применения пробковых кранов большого диаметра вместо аналогичных задвижек являются их малые размеры, простота в обслуживании и возможность механизации управления, а также низкая стоимость [1].

Поэтому проведение исследований по изучению особенностей работы пробковых и шаровых кранов в условиях повышенного абразивного износа с целью повышения срока их службы является актуальной задачей, а результаты исследований представляют интерес для специалистов, работающих в области создания новых высокоэффективных машин, агрегатов, механического оборудования и технологических процессов цементного производства.

Пробковый кран, который также называют конусным или коническим краном – это один из самых давних и самых простых типов запорной арматуры, достаточно привести в пример самоварный кран, имеющий именно эту конструкцию [2]. Сквозное отверстие в пробке, которое в отличие от шаровых кранов, как правило, не круглое, а трапециевидное. Сёдлами является внутренняя поверхность корпуса. Таким образом, уплотнительными поверхностями запорного органа являются конические поверхности – наружная пробка и внутренняя корпуса [3].

В пробковых кранах необходимо обеспечить два весьма трудно сочетаемых требования – создать плотный и герметичный контакт между коническими поверхностями сопряжения пробки и корпуса, при этом обеспечить свободный плавный поворот пробки, не допуская её заклинивания и задиранья уплотнительных поверхностей [4].

Шаровой кран – это кран, запирающий или регулирующий элемент которого имеет сферическую форму, один из современных и прогрессивных типов запорной арматуры, находящий всё большее применение для различных условий работы, не является новинкой и известен уже более 100 лет. Однако, в ранних вариантах исполнения шаровой кран не обеспечивал плотного перекрытия подачи транспортируемой среды из-за трудности в обеспечении плотного контакта сопрягаемых металлических поверхностей шаровой пробки и седла корпуса. Появление и внедрение таких материалов, как фторопласт и синтетический каучук, для изготовления сёдел способствовали началу широкого применения шаровых кранов. Новые материалы позволили обеспечить плотность закрытия и существенно снизить усилия, необходимые для управления краном [5].

Одним из современных требований к пробковым и шаровым кранам, работающим на шламовых магистралях цементного производства, является снижение их абразивного износа и, следовательно, повышение срока службы. Исследования проводили для условий работы сырьевого цеха ООО «Донецмент» с учетом действующего оборудования и ее технических характеристик.

На основании выполненного анализа выхода из рабочего состояния пробковых кранов рабочего диаметра 200 мм 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 от линейной скорости движения), от механических свойств материала пробкового крана и от физических параметров шламовой смеси (химический состав смеси и фракционный состав твердых частиц, верхний предел крупности и микро- твердость твердых частиц (табл. 1).

Таблица 1 – Основные физические параметры сырьевой шламовой смеси

Содержание основных компонентов, %					Верхн. предел крупн., мм	Ср. микротвердость, кг/мм ²
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO		
13,20	4,00	42,30	2,43	1,23	2,0	123,0

Математическое моделирование данного процесса выполнено на программном комплексе SolidWorks, который обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения, работает в среде Microsoft Windows, разработан компанией SolidWorks Corporation, являющейся независимым подразделением компании Dassault Systemes (Франция). Программа появилась в 1993 году и составила конкуренцию таким продуктам, как AutoCAD и Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS и Pro/ENGINEER [6].

При моделировании применяли метод конечных элементов (МКЭ) – численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твёрдого тела (сопромата), теплообмена, гидродинамики и электродинамики [7, 8]. В соответствии с [9–12] метод конечных разностей (МКР) (метода 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.). 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 ищется решение, строится сеточная область A_s , 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 A_s соответствующим конечно-разностным уравнением; с учетом граничных условий устанавливаются значения искомого решения в граничных узлах области A_s [13–15].

Исходные данные для математического моделирования:

1. Пробковые и шаровые краны рабочим диаметром установлены на магистрали подачи шламовой смеси из сырьевого цеха в цех обжига насосом Углесос 12У10-М.

2. Истечение шламовой смеси происходит в емкость при окружающих нормальных условиях, т. е. температура 25 °С и давлении 98 кН/м².

3. Насос марки Углесос 12У10-М обеспечивает подачу шламовой смеси – 900 м³/ч или 0,25 м³/с, имеет следующие основные технические характеристики:

- подача шламовой смеси – 400 кг/с;
- напор – 85 м;
- мощность двигателя – 315 кВт;
- частота вращения – 1 500 об/мин;
- КПД – 70 %.

4. Плотность шламовой смеси – 1 600 кг/м³.

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

Таблица 2 – Результаты расчета скорости движения шламовой смеси в трубопроводе

Рабочий диаметр трубопровода, м	Объем трубопровода длиной 1 м, V(м ³)	Скорость движ. шлам. смеси в трубопроводе без учета шерохов. поверхности, v (м/с)	Скорость движения шламовой смеси с учетом шероховатости трубопровода, v_0 (м/с)	Скорость движения шламовой смеси при на половину закрытом кране, v_0 (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

В результате математического моделирования определена 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°, представлены соответственно на рис. 1, 2 и 3 со шкалой скорости движения шламовой смеси.

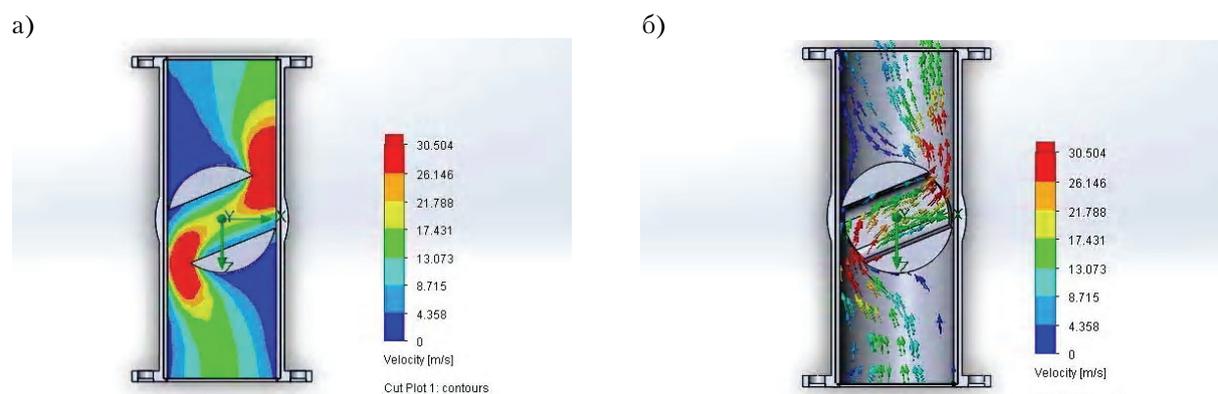


Рисунок 1 – Гидродинамическая структура (а) и вектор скорости движения шламовой смеси (б) при открытии пробкового крана на 22,5°.

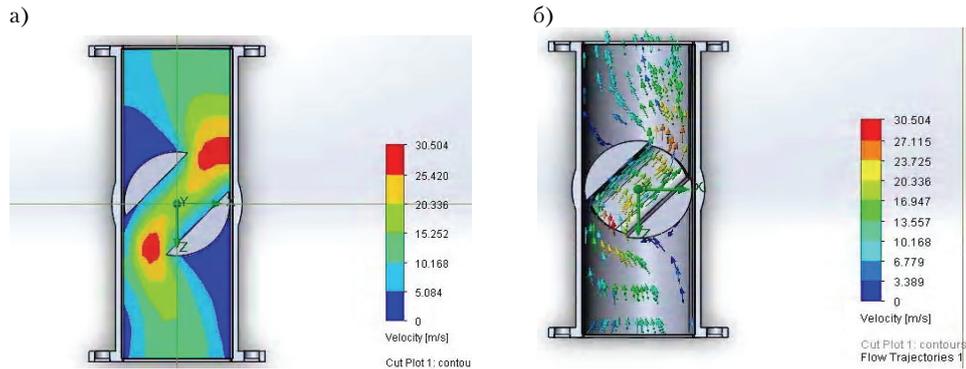


Рисунок 2 – Гидродинамическая структура (а) и вектор скорости движения шламовой смеси (б) при открытии пробкового крана на 45°.

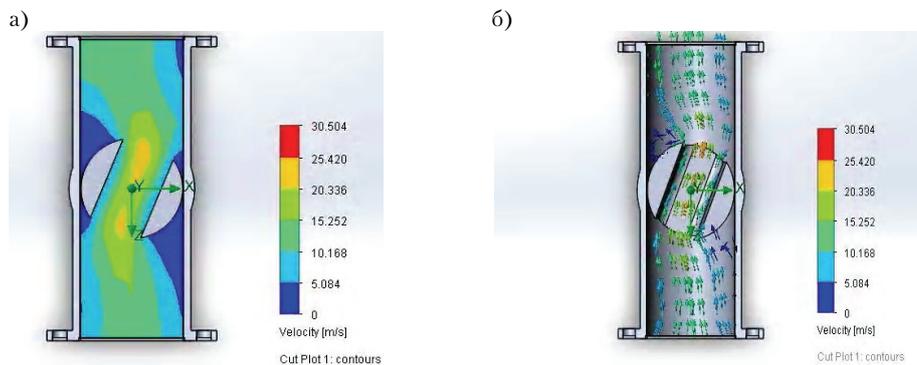


Рисунок 3 – Гидродинамическая структура (а) и вектор скорости движения шламовой смеси (б) при открытии пробкового крана на 67,5°.

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

- зона малых скоростей, менее 5 м/с (расположена вблизи поверхности трубопровода);
- зона средних скоростей, 5...20 м/с;
- зона высоких скоростей, 20...25 м/с;
- зона интенсивных скоростей, 25...30 м/с.

С изменением угла открытия пробкового крана значительно изменяется гидродинамическая структура потока шламовой смеси, в частности при уменьшении угла открытия пробкового крана, т. е. 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° исчезает полностью. Вектор скорости шламовой смеси изменяется аналогично гидродинамической структуре потока.

Таким образом, для снижения абразивного износа пробкового крана и повышения срока его службы целесообразно организовать работу пробкового крана таким образом, чтобы он работал с углом открытия 68...90 градусов.

В результате математического моделирования определена гидродинамическая структура и вектор скорости движения шламовой смеси в шаровом кране рабочим диаметром 200 мм при его открытии на 22,5, 45,0 и 67,5°, представленные соответственно на рис. 4, 5 и 6.

Структура гидродинамического потока шламовой смеси в шаровом кране, в зависимости от скорости движения, состоит из следующих зон:

- зона малых скоростей, менее 2,5 м/с (расположена вблизи поверхности трубопровода);
- зона средних скоростей, 2,5...10,2 м/с;
- зона высоких скоростей, 10,2...12,7 м/с;

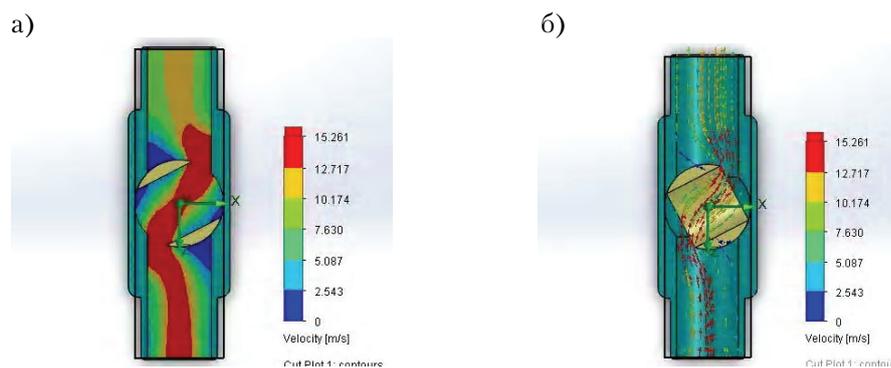


Рисунок 4 – Гидродинамическая структура (а) и вектор скорости движения шламовой смеси (б) при открытии пробкового крана на 22,5°.

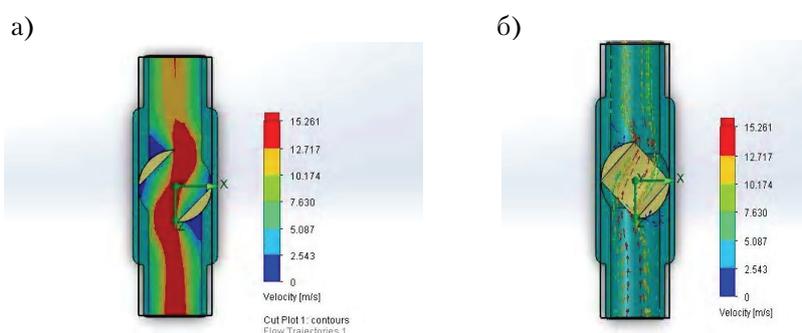


Рисунок 5 – Гидродинамическая структура (а) и вектор скорости движения шламовой смеси (б) при открытии пробкового крана на 45°.

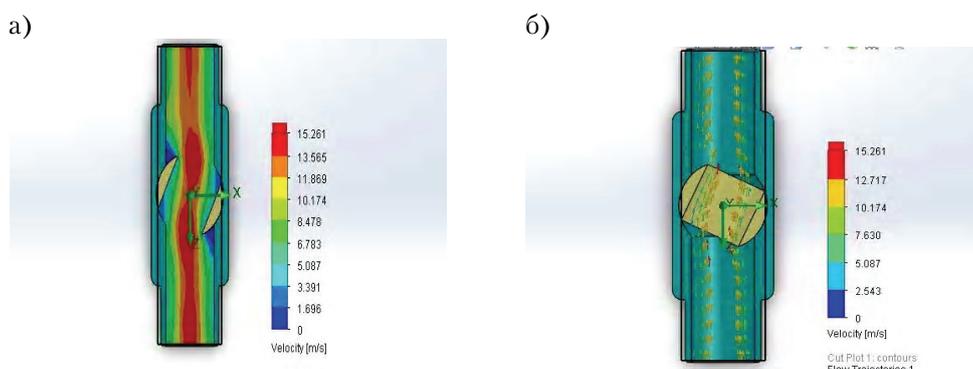


Рисунок 6 – Гидродинамическая структура (а) и вектор скорости движения шламовой смеси (б) при открытии пробкового крана на 67,5°.

– зона интенсивных скоростей, 12,7...15,3 м/с.

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

При открытии пробкового крана на 45° объем зоны интенсивного движения уменьшается, а при открытии пробкового крана на 67,5° исчезает полностью. Вектор скорости шламовой смеси изменяется аналогично гидродинамической структуре потока.

Таким образом, для снижения абразивного износа шарового крана и повышения срока его службы целесообразно организовать работу шарового крана таким образом, чтобы он работал в открытом положении с углом раскрытия 68...90 градусов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате математического моделирования движения потока шламовой смеси в пробковом и шаровом кране определена гидродинамическая структура потока и вектор скорости его движения. Установлены четыре характерные области гидродинамической структуры шламового потока: малых, средних, высоких и интенсивных скоростей его движения. Определены их количественные значения, свидетельствующие, что скорость движения шламовой смеси в этих областях в шаровом кране в два раза меньше чем в пробковом, а следовательно и абразивный износ шарового крана будет в два раза меньше, чем пробкового.

Установлено, что с изменением угла открытия крана значительно изменяется гидродинамическая структура потока шламовой смеси, в частности при уменьшении угла открытия, т. е. 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. Поэтому для снижения абразивного износа как пробкового, так и шарового крана и повышения срока их службы необходимо организовать их работу с углом открытия в диапазоне 68...90 градусов. Для чего целесообразно применять механическое управление оптимального угла открытия крана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Имбрицкий, М. И. Краткий справочник по трубопроводам и арматуре [Текст] / М. И. Имбрицкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1969. – 352 с.
2. Окопишников, А. И. Эксплуатация и ремонт оборудования на углеобогатительных фабриках [Текст] / А. И. Окопишников, В. Я. Запсельский. – М. : Недра, 1976. – 288 с.
3. Сорокин, Г. М. Инженерные критерии определения износостойкости сталей и сплавов при механическом изнашивании [Текст] / Г. М. Сорокин // Вестник машиностроения. – 2001. – № 11. – С. 57–57.
4. Иголкин, А. И. Износостойкая наплавка на внутренних поверхностях трубопроводов и емкостных аппаратов [Текст] / А. И. Иголкин, Ю. В. Зеленин // Химическая и нефтегазовая промышленность : Научно-технический журнал. – 2009. – № 4. – С. 46–48.
5. Сафонов, Б. П. Инженерная трибология: оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений [Текст] : учеб. пособие / Б. П. Сафонов, А. В. Бегова ; М-во образования Рос. Федерации, Рос. хим.-технол. ун-т им. Д. И. Менделеева, Новомоск. ин-т. – Новомосковск : Новомоск. ин-т РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2004. – 59 с. – ISBN 5-7237-0614-4.
6. Алямовский, А. А. SolidWorks/COSMOS Works. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 431 с. – ISBN 5-94074-218-1.
7. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика [Текст] / П. Роуч. – М. : Мир, 1980. – 616 с.
8. Белоусов, В. В. Основы теплопереноса и теплофизика замкнутых объемов [Текст] / В. В. Белоусов, Н. И. Болонов. – Донецк : Юго-Восток, 2003. – 135 с.
9. Повх, И. Л. Выбор границ применимости математической модели турбулентности при формировании стального слитка [Текст] / И. Л. Повх, Ф. В. Недопекин, В. В. Белоусов // Инженерно-физический журнал. – 1997. – Т. 70, № 1. – С. 45–49.
10. Повх, И. Л. Техническая гидродинамика [Текст] / И. Л. Повх. – Л. : Машиностроение, 1967. – 540 с.
11. Андерсон, Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен [Текст] : В 2 т. Т. 2 / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер. – М. : Мир, 1990. – 723 с. – ISBN 5-03-001928-6.
12. Самарский А. А. Теория разностных схем [Текст] / А. А. Самарский. – М. : Наука, 1989. – 616 с.
13. Самарский, А. А. Численные методы [Текст] / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М. : Наука, 1989. – 432 с.
14. Garon, A. M. Velocity and heat transfer measurements in thermal convection [Текст] / A. M. Garon, R. J. Goldstein // Phys. Fluids. – 1973. – Vol. 16, No. 11. – P. 1818–1825.
15. Пасконов, В. М. Численное моделирование процессов тепло- и массопереноса [Текст] / В. М. Пасконов, В. И. Полежаев, Л. А. Чудов. – М. : Наука, 1988. – 288 с.

Получено 12.10.2017

А. Я. БАБАНИН ^a, В. В. БЕЛОУСОВ ^b, М. В. САВЕНКОВ ^a
МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЗАПІРНОЇ АРМАТУРИ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРА
ПРИ ПІДВИЩЕНОМУ АБРАЗИВНОМУ ЗНОШЕННІ В ШЛАМОВИХ
МАГІСТРАЛЯХ ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА

^a ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», ^b ДООУ ВПО
«Донецький національний університет»

Анотація. Представлені результати проведених досліджень методом математичного моделювання зміни гідродинамічної структури потоку руху шламової суміші і вектора швидкості в корковому і кульовому крані великого діаметра при їх роботі на шламових магістралях цементного виробництва з урахуванням основних параметрів процесу: діаметр трубопроводу, фізичні властивості шламової суміші, швидкість та інтенсивність її транспортування. На підставі отриманих результатів визначено оптимальні режими роботи пробкових і кульових кранів, що забезпечують мінімальний знос пробки і корпусу.

Ключові слова: запірні арматура, корковий кран, кульовий кран, шламова магістраль, цементне виробництво.

ANATOLY BABANIN ^a, VYACHESLAV BELOUSOV ^b, NIKITA SAVENKOV ^a
MODELLING OF WORK LOCK VALVES OF THE BIG DIAMETER IN SLUDGE
MAIN PIPES OF CEMENT MANUFACTURE AT THE RAISED ABRASIVE DAMAGE

^a Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, ^b SEE HPE «Donetsk
National University»

Abstract. Results of the lead explorations by a method of mathematical modelling of change of hydrodynamical structure of a stream of movement sludge шламовой are presented to a mix and a vector of speed in the plug and spherical valve of the big diameter at their work on sludge main pipes of cement manufacture in view of key parameters of process: diameter sludge pipes, physical properties sludge mixes, speed and intensity of its transportation. On the basis of the received results the optimum operating modes of pith and spherical cranes providing the minimal deterioration of their fuse and the cage are certain.

Keywords: lock valves, the plug valve, the spherical valve, sludge main pipe, cement manufacture.

Бабанин Анатолий Яковлевич – доктор технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструкционные трубные стали для производства труб большого диаметра магистральных газо- нефтепроводов.

Белоусов Вячеслав Владимирович – доктор технических наук, заведующий кафедрой физики неравновесных процессов, метрологии и экологии ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет». Научные интересы: математическое моделирование гидродинамических и теплообменных процессов в металлургических изделиях.

Савенков Никита Владимирович – кандидат технических наук, ассистент кафедры технической эксплуатации и сервиса автомобилей, технологических машин и оборудования ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: работа силовых агрегатов автомобилей на неуставившихся режимах.

Бабанін Анатолій Якович – доктор технічних наук, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, технологічних машин та обладнання ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: конструкційні трубні сталі для виробництва труб великого діаметра магістральних газонафтопроводів.

Белоусов Вячеслав Володимирович – доктор технічних наук, завідувач кафедри фізики нерівноважних процесів, метрології та екології ДООУ ВПО «Донецький національний університет». Наукові інтереси: математичне моделювання гідродинамічних і теплообмінних процесів в металургійних виробках.

Савенков Микита Володимирович – кандидат технічних наук, ассистент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, технологічних машин та обладнання ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: робота силових агрегатів автомобілів на несталіх режимах.

Babanin Anatoly – Ph.D. (Eng.), Associate Professor; Technical Exploitation and Service of Automobiles, Technological Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: structural steel pipes for the production of large diameter pipes for main gas and oil pipelines.

Belousov Vyacheslav – D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Physics of Nonequilibrium Processes, Metrology and Ecology, Donetsk National University. Scientific interests: mathematical modeling of hydrodynamic and heat and mass processes in metallurgical products.

Savenkov Nikita – Ph.D. (Eng.), Assistant; Technical Exploitation and Service of Automobiles, Technological Machines and Equipment Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: work of power units of cars on the unsteady modes.