

УДК 656.61

ВЛИЯНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ В ТРУБОПРОВОДЕ НА РАСХОД ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ ЖИДКОСТИ



М.П. Бредихин, ФГОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», факультет промышленного рыболовства студент 4 курса;

В.А. Наумов, ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», факультет промышленного рыболовства, профессор, van-old@rambler.ru.

На основе опубликованных экспериментальных данных предложена математическая модель зависимости расхода перекачиваемой жидкости от интенсивности отложения примесей на стенках трубопровода. Поставленная задача Коши решена численным методом в среде Mathcad при различных значениях безразмерных параметров. Исследована зависимость относительного диаметра трубы и числа Рейнольдса от безразмерного времени. Используются паспортные характеристики центробежных фекальных насосов. Рассмотрен пример работы системы водоотведения. Разработана методика оценки времени, за которое рабочая точка насосной установки может выйти за допустимый интервал.

Ключевые слова: трубопровод, отложение примесей, расход, математическая модель, насосная установка

По трубопроводу системы водоотведения зачастую транспортируются агрессивные жидкости, содержащие большое количество примесей минерального и органического происхождения. Если скорость движения жидкости достаточно высока, то это не приводит к негативным последствиям. При недостаточной скорости движения жидкости грубодисперсные примеси могут осаждаться на внутренней поверхности труб. Чем дольше эксплуатируется трубопровод, тем больше толщина отложений на его стенках. Интенсивность этого процесса зависит так же от инерционности дисперсных частиц примеси (их размера, плотности и формы). При этом рабочая площадь сечения труб уменьшается, снижается пропускная способность трубопроводной системы. Органические отложения, оседая на стенках труб, интенсивно разлагаются, из-за чего вода перестает отвечать предъявляемым к ней требованиям, а внутренняя поверхность трубопровода может разрушаться под действием интенсивной коррозии [1,2].

Повышенное содержание в воде железа наблюдается не только в системах водоотведения, но и при водоснабжении из подземных источников. В таких условиях возможно формирование гидроксида железа на внутренней поверхности труб. Такие отложения, вместе с другими примесями, выпадающими в осадок, могут образовывать на стенках слой неправильной формы, сначала рыхлый, а затем уплотняющийся до твердого состояния. Если вода имеет положительный индекс насыщения, возможно выпадение карбоната кальция на стенки трубы, что приводит к их дальнейшему зарастанию [1,2].

В соответствии с результатами экспериментов [3] и математической моделью [4] зависимость скорости изменения толщины слоя осадка от касательного напряжения на стенках трубопровода может быть записана:

$$W = W_0 \cdot \exp(-\alpha_1 \cdot \tau_w), \quad (1)$$

где W – скорость роста слоя осадка на стенке трубопровода при заданном касательном напряжении, мм/год; τ_w – касательное напряжение жидкости на

внутренней стенке трубы, Па; W_0 – скорость роста толщины слоя осадка на стенке трубы при $\tau_w = 0$, мм/год; α_1 – эмпирическая константа, которая зависит от перекачиваемой жидкости и условий течения, м²/Н.

Известно, что касательное напряжение на стенке трубы связано с коэффициентом гидравлических потерь λ на трение по длине трубопровода [5]:

$$\tau_w = 0,125 \cdot \lambda \cdot \rho \cdot V^2, \quad (2)$$

где V – средняя скорость жидкости в трубопроводе, м/с; ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³.

Найдем коэффициент гидравлических потерь по длине трубопровода [5], считая режим течения турбулентным, а трубы гидравлически гладкими из-за интенсивного осаждения примесей на стенках:

$$\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25}, \quad Re = V \cdot D / \nu, \quad (3)$$

где Re – число Рейнольдса; D – внутренний диаметр трубы, м; ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м²/с.

Подставляя (3) в (2), получим

$$\tau_w = 0,0395 \cdot Re^{-0,25} \cdot \rho \cdot V^2 = 0,0395 \cdot \left(\rho \cdot \nu^2 / D^2 \right) \cdot Re^{1,75}. \quad (4)$$

Преобразуем равенство (1) с учетом формулы (4):

$$w = W / W_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot Re^{1,75}), \quad \alpha = 0,0395 \cdot \alpha_1 \cdot \rho \cdot \nu^2 / D^2. \quad (5)$$

Дифференциальное уравнение динамики внутреннего диаметра трубы [3]:

$$\frac{dD}{dT} = -2 \cdot W_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot Re^{1.75}), \quad D(0) = D_0, \quad (6)$$

где D_0 – начальный диаметр трубы, м; T – время эксплуатации трубопровода, (годы). Определим безразмерные переменные диаметра трубы и времени так:

$$\delta = \frac{D}{D_0}, \quad t = \frac{2 \cdot W_0 \cdot T}{1000 \cdot D_0}. \quad (7)$$

Задача Коши в безразмерной форме может быть записана таком виде:

$$\frac{d\delta}{dt} = -\exp(-\alpha \cdot Re(\delta)^{1.75}), \quad \delta(0) = 1. \quad (8)$$

Из формулы Дарси-Вейсбаха [5] следует гидравлический уклон

$$I = \frac{h_L}{L} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

получим, с учетом (3), зависимость числа Рейнольдса от текущего относительного диаметра трубопровода:

$$Re(\delta) = 2,87 \cdot (I \cdot B \cdot \delta^3)^{4/7}, \quad B = g \cdot D_0^3 / v^2, \quad I = H/L. \quad (10)$$

Зададим начальный внутренний диаметр трубы $D_0 = 0,2$ м; длина трубопровода $L = 1600$ м; напор и подача насоса $H = 9,5$ м; $Q_0 = 100$ м³/час.

Используется центробежный фекальный насос CM150-125-315a, гидравлические характеристики которого представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Гидравлические характеристики центробежных, фекальных насосов CM150-125-315 [6]

Численное решение поставленной задачи (8) при различных значениях α представлено на рисунке 2. Изменение величины α мало влияет на уменьшение относительного диаметра трубы. Это является следствием слабой зависимости от α числа Рейнольдса (рисунок 3). В дальнейших расчетах полагаем $\alpha = 10^{10}$.

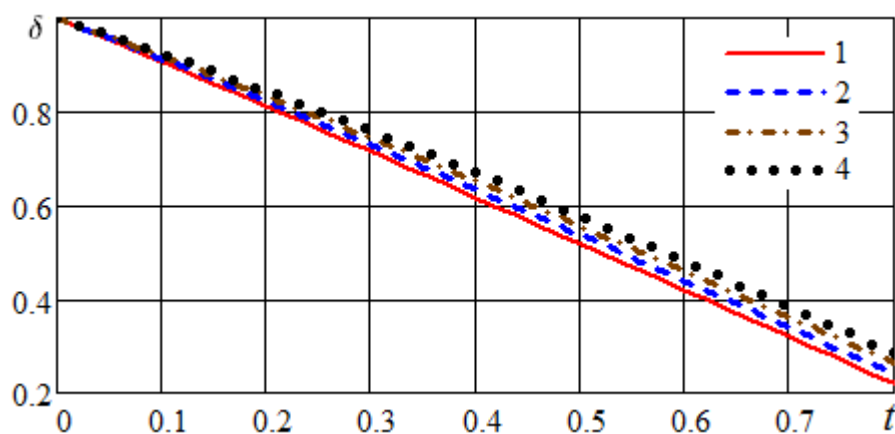


Рисунок 2 – Зависимость относительного диаметра трубы от безразмерного времени: 1 – $10^{10} \cdot \alpha = 0,5$; 2 – 1,0; 3 – 1,5; 4 – 2,0

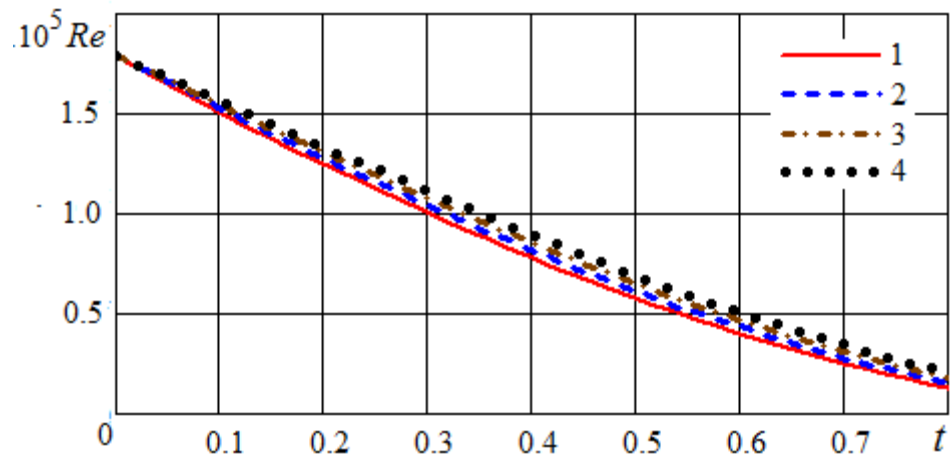


Рисунок 3 – Зависимость числа Рейнольдса от безразмерного времени:

$$1 - 10^{10} \cdot \alpha = 0,5; 2 - 1,0; 3 - 1,5; 4 - 2,0$$

Как показано на рисунке 4, изменение диаметра трубопровода по времени существенно зависит от величины W_0 , что приводит к уменьшению расхода жидкости при прочих равных условиях (рисунок 5).

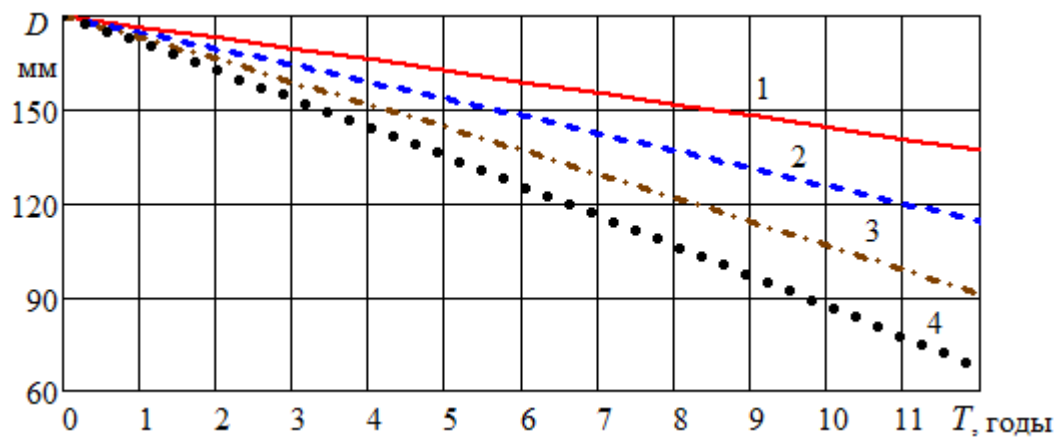


Рисунок 4 – Изменение диаметра трубы по времени при $\alpha = 10^{10}$:

$$1 - W_0 = 2 \text{ мм/год}; 2 - 3 \text{ мм/год}; 3 - 4 \text{ мм/год}; 4 - 5 \text{ мм/год}$$

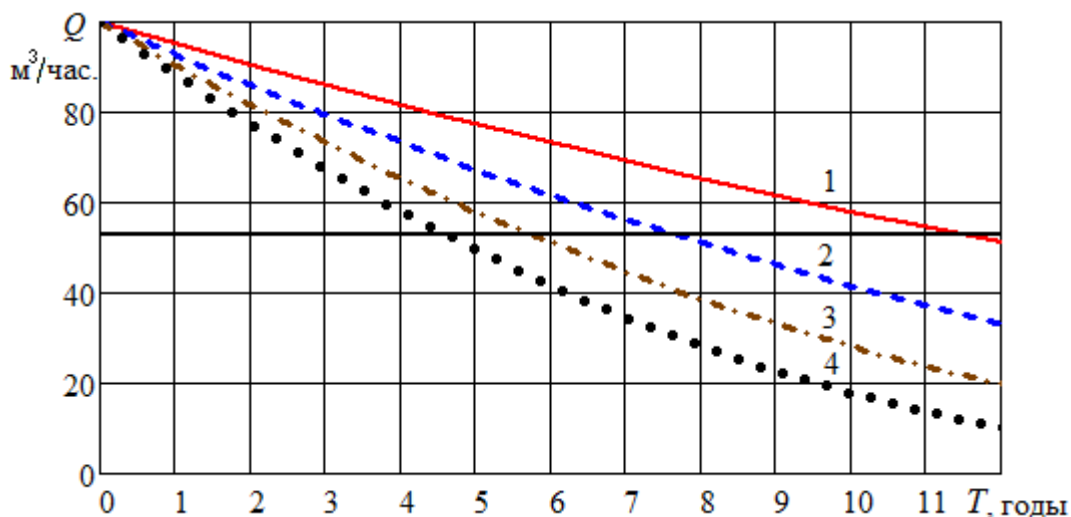


Рисунок 5 – Изменение расхода жидкости по времени при $\alpha = 10^{10}$:

1 – $W_0 = 2$ мм/год; 2 – 3 мм/год; 3 – 4 мм/год; 4 – 5 мм/год

В соответствии с гидравлической характеристикой насоса СМ150-125-315-б (рисунок 2), рабочий интервал подачи от 53 до 140 м³/час. По рис. 5 можно определить, сколько лет эксплуатации рабочая точка насосной установки будет ниже 53 м³/час. Тогда коэффициент полезного действия насоса упадет, расходы на перекачку необходимых объемов жидкости значительно увеличатся. При $W_0 = 2$ мм/год это произойдет через 11,5 лет, а при $W_0 = 5$ мм/год – через 4,5 года. Указанные расчеты позволяют оценить периодичность необходимой очистки стенок трубопровода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наливайко, Н.Г. микробиология воды: учебное пособие /Н.Г. Наливайко. – Томск: изд-во томского политехнического университета. 2006. – 139 с.
2. Тульчинская, В.П. Химическая деятельность микроорганизмов / В.П. Тульчинская. – М.: наука, 1975. – 50 с.
3. Муравьев, А.В. математическая модель процесса образования отложений в каналах теплообменников / А.В. МУравьев, И.Л. Батаронов,

И.Г. Дроздов // Вестник воронежского государственного технического университета, 2007. – т. 3, № 8. – с. 16-22.

4. Великанов, Н.Л. Уменьшение отложений в водопроводных и канализационных сетях / Н.Л. Великанов, С.И. Корягин, В.А. Наумов // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2015. – № 2 (32). – с. 20-23.

5. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник / Р.Р. Чугаев. – л.: энергоиздат, 1982. – 672 с.

6. НПО «РИМОС». Фекальные центробежные насосы см 150-125-315 [электронный ресурс]. Url: <http://www.rimos.ru/catalog/pump/12121> (дата обращения 01.09.2015).

THE INFLUENCE OF SEDIMENTS IN THE PIPELINE AT THE FLOW RATE OF THE FLUID

M. Bredihin, V. Naumov

On the basis of published experimental data the mathematical model of the flow rate dependence of the fluid from the intensity of deposits of impurities on the walls of the pipe is proposed. Posed cauchy problem is solved by a numerical method in mathcad for different values of dimensionless parameters. The dependence of the relative pipe diameter and reynolds number on the dimensionless time is investigated. Passport characteristics of centrifugal sewage pumps are used. An example of the operation of the wastewater disposal system is discussed. Methods for estimation of time for which the operating point of a pumping plant may exceed the allowable interval.