

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ

На підставі розробленої математичної моделі, яка описує процес охолодження гідросуміші, що перекачується, у трубопроводі гідротранспортної установки, оцінюється ефективність різних методів теплозахисту трубопроводу.

RESEARCH OF EFFICIENCY OF METHODS OF A THERMAL PROTECTION OF HYDROTRANSPORT PLANT

On the ground of suggested mathematical model of transporting hydromixture cooling process in the hydrotransport plant pipeline the efficiency of various pipeline thermal protection methods is evaluated.

Гидротранспорт, используемый для перемещения сыпучих материалов от места добычи к месту переработки и обогащения обладает одним серьезным недостатком - работа гидротранспортной установки в зимний период сопряжена со значительными трудностями [1,2]. Под влиянием низких температур происходит оледенение внутренних стенок трубопровода, снижается вязкость перекачиваемой гидросмеси и, как следствие, возрастают энергозатраты [3]. В период низких температур значительно усложняется обслуживание установки, снижается ее работоспособность и ремонтпригодность. Иногда это приводит к серьезным авариям и длительным простоям обогатительного производства.

Известно несколько методов защиты трубопроводов гидротранспортных установок от низких температур и предотвращения оледенения их внутренней поверхности. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, поэтому при выборе того или иного метода для конкретной установки необходимо оценить его эффективность в данных условиях.

В статье делается попытка оценить эффективность нескольких методов теплозащиты трубопровода гидротранспортной установки на основании математической модели процесса охлаждения гидросмеси в процессе движения. За критерий эффективности принято значение температуры гидросмеси на выходе из трубопровода. Практика эксплуатации гидротранспортных комплексов в условиях низких температур показывает, что этот критерий является наиболее эффективным, поскольку самая низкая температура гидросмеси наблюдается именно в этом сечении трубопровода [1,2].

Рассмотрим установившийся процесс изменения средней по сечению потока температуры при стационарных температуре и тепловых свойствах гидросмеси и трубопровода [5]. Пренебрегаем тепловым потоком, вызванным трением частиц о стенки трубопровода. При принятых предположениях, согласно [2,4-6], изменение по длине трубопровода средней по сечению температуры гидросмеси описывается выражением

$$T = T_v + (T_o - T_v) \exp \left[- \frac{4Nu\bar{l}}{\text{Re Pr}(1 + Nu\Omega(1 + w))} \right], \quad (1)$$

где T , T_v - соответственно температура гидросмеси и температура воздуха; l - длина пройденного пути в калибрах трубопровода; Re , Pr - критерии Рейнольдса и Прандля; Nu - число Нусельда [4].

Параметры Re , Pr и Nu взаимосвязаны. В общем случае для условий теплообмена в трубопроводе эта зависимость выражается следующей формулой [4,7]:

$$Nu = C Pr^{0.4} Re^{0.8}, \quad (2)$$

где значение коэффициента C зависит от теплопроводных свойств гидросмеси.

Параметр Ω характеризует теплоизоляционные свойства материала трубопровода и условия теплообмена с окружающей средой и вычисляется по формуле

$$\Omega = \frac{f_o}{2f_i} \ln(\beta) + \frac{f_o}{Nu_v}; \quad (3)$$

$$f_i = \frac{\lambda_t}{\lambda_v}; \quad f_o = \frac{\lambda_o}{\lambda_v} \frac{2\lambda_o + \lambda_t - 2S(\lambda_o - \lambda_t)}{2\lambda_o + \lambda_t + 2S(\lambda_o - \lambda_t)},$$

где β - отношение внешнего и внутреннего диаметров трубопровода; λ_o , λ_v , λ_t - соответственно коэффициенты теплопроводности воды, воздуха и трубопровода; Nu_v - число Нусельда для теплообмена на внешней поверхности трубопровода; S - концентрация гидросмеси.

Величина w учитывает изменение теплозащитных свойств магистрали за счет нанесения на внешнюю поверхность трубопровода слоя теплоизоляционного материала:

$$w = \frac{f_i}{f_z} \frac{Nu_v \ln((1 + \gamma)\beta)}{Nu_v \ln(\beta) + 2f_i}; \quad (4)$$

$$f_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_v},$$

где γ - отношение толщины слоя теплоизоляционного материала к внешнему диаметру трубопровода; λ_z - коэффициенты теплопроводности теплоизоляции.

Анализ зависимостей (1)-(4) показывает, что возможны следующие методы воздействия на температуру гидросмеси. Первый - увеличение начальной температуры гидросмеси (T_o). Второй - повышение производительности установки (Re). Третий - нанесение на внешнюю поверхность трубопровода теплоизолирующего слоя (w).

Наиболее важной задачей при эксплуатации гидротранспортных установок в зимний период является недопущения переохлаждения гидросмеси до критической температуры. Из анализа уравнения (1) следует, что наиболее низкой является температура гидросмеси на выходе из трубопровода установки. Исходя из этого, в качестве критерия эффективности анализируемых методов выберем следующую величину:

$$E = \frac{T_l - T_v}{T_v} = \tau_l - 1, \quad (5)$$

где T_l - температура гидросмеси на выходе из трубопровода.

Запишем выражение критерия эффективности через характеристики процесса для каждого из рассматриваемых методов.

При повышении начальной температуры гидросмеси

$$E_1 = (\tau_o t - 1) \exp \left[- \frac{4CL}{\text{Pr}^{0.6} \text{Re}^{0.2} + C \text{Pr} \text{Re} \Omega} \right], \quad (6)$$

где t – коэффициент, учитывающий изменение начальной температуры гидросмеси; L - длина трубопровода в калибрах.

При увеличении производительности установки

$$E_2 = (\tau_o - 1) \exp \left[- \frac{4CL}{\text{Pr}^{0.6} \text{Re}^{0.2} r^{0.2} + C \text{Pr} \text{Re} r \Omega} \right], \quad (7)$$

где r – коэффициент, учитывающий изменение числа Рейнольдса.

При нанесении теплоизоляционного слоя на внешнюю поверхность трубопровода

$$E_3 = (\tau_o - 1) \exp \left[- \frac{4CL}{\text{Pr}^{0.6} \text{Re}^{0.2} + C \text{Pr} \text{Re} \Omega (1 + w)} \right]. \quad (8)$$

Результаты расчетов по формулам (7)-(9) для различных длин трубопроводов приведены на рисунках 1-3. Для наглядности зависимости изменений критериев эффективности отнесены к их начальному значению

$$dE_i = (E_i - E_0) / E_0.$$

Из графиков видно, что каждый из исследуемых методов увеличивает температуру гидросмеси на выходе из трубопровода. При этом максимальное значение критерия, как и наибольший диапазон его изменения, достигается при использовании внешнего теплоизоляционного покрытия.

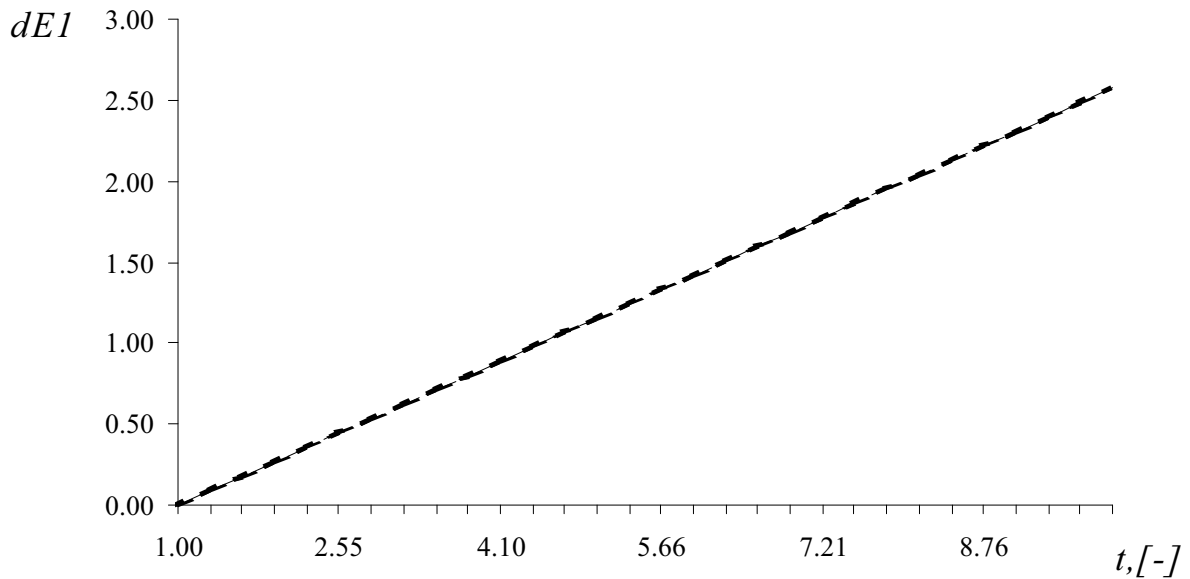


Рис. 1 – Зависимость изменения критерия эффективности E_1 от t при $L=1851, E_0=1.34, L=13756, E_0=1.03$

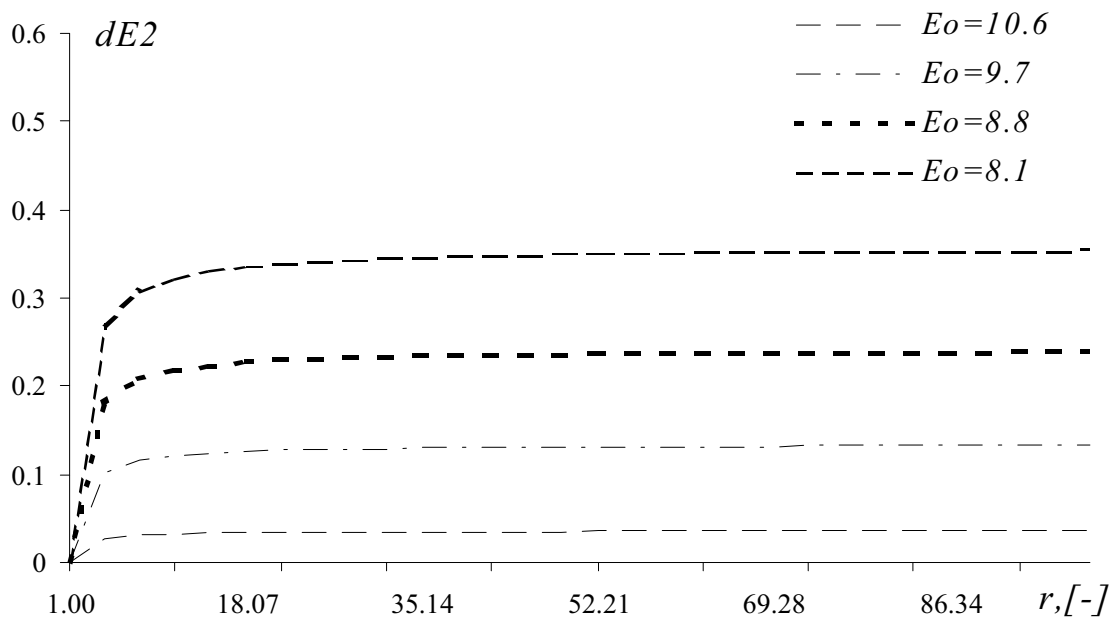


Рис. 2 – Зависимость изменение критерия эффективности E_2 от r

Самой низкой эффективностью обладает метод повышения начальной температуры гидросмеси. Наименьший диапазон изменения критерия эффективности имеет место при повышении производительности установки.

Из рисунка 2 видно, что предотвращение оледенения трубопровода путем увеличения производительности эффективно только до $r=30$, так как при больших значениях r значительного изменения критерия эффективности не происходит.

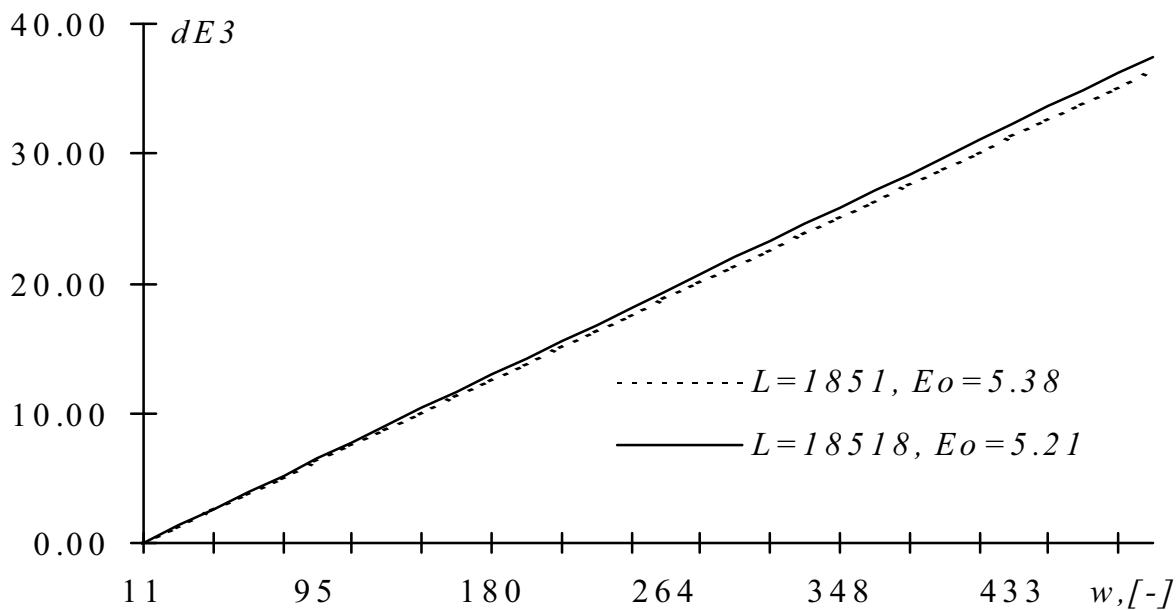


Рис. 3 – Зависимость изменения критерия эффективности от w
 E_3 $L=1851$, $E_o=5.38$, $L=18518$, $E_o=5.21$

Таким образом, наиболее эффективным, способом предотвращения оледенения трубопровода является нанесение на внешнюю поверхность теплоизоляционного материала. В отличие от других методов, этот метод позволяет предотвратить переохлаждение гидросмеси не только при напорном течении, но и при безнапорном опорожнении трубопровода в случае аварийной остановки.

Окончательное решение о рациональности использования того или иного метода можно принять только после сравнения вариантов с учетом экономических и энергетических затрат на их осуществление.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. - М.: Недра, 1980. - 390 с.
2. Нурок Г.А. Гидромеханизация открытых разработок. - М.: Недра, 1970. - 578 с.
3. Семенов Е.В. Зависимость параметров гидротранспорта от температуры гидросмеси // Геотехническая механика. - Днепропетровск, 1998. - Вып. 2. - С. 80 - 84.
4. Покровская В.Н. Трубопроводный транспорт в горной промышленности. - М.:Недра,1985.-191с.
5. Беляев Н.М. Основы теплопередачи. - К.: Вища школа, 1989. - 343 с.
6. Надежность и долговечность напорных гидротранспортных систем / Л.И. Махарадзе, Т.Ш. Гочиташвили, Д.Г. Сулаберибзе, Л.А. Алехин. - М.: Недра, 1984. - 119 с.
7. Семенов Е.В., Смоленский Е.С. Оценка возможности тепловой защиты трубопровода гидротранспортной установки внешним покрытием // Обогащение полезных ископаемых, 2002, №14(55). - С. 68 - 74.