

2. Если прочность пород высокая и состояние крепи хорошее и диаметр ствола в свету малый, то время устойчивого состояния погашенного ствола большое.

Далее был запрограммирован алгоритм так называемой машины по выводу умозаключений. Сначала определяется приведенная прочность вмещающих пород, приведенное состояние крепи по формуле (5) и диаметр ствола. Далее эти исходные данные фузифицируются с учетом случайных отклонений первых двух параметров (то есть цифровые данные переводятся в качественные, понятийные). Затем с помощью импликации и композиции "диапазон времени обрушения равен большему диапазону из меньших величин по всем исходным факторам" реализуются сформулированные правила и получают ответ на вопрос, как долго погашенный ствол будет устойчивым. Несмотря на то, что ответ получают качественный, он характеризует диапазон наиболее вероятного периода устойчивого состояния ствола. Такой метод дает возможность оценить состояние поверхности в окрестности погашенного ствола и провести ее инвентаризацию, что весьма важно с практической точки зрения.

УДК 536.246

М.П. Данилов, Г.А. Шевелев

### ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОТЯЖЕННЫХ ПУЛЬПОПРОВОДОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

На основі використання в зимовий період рівняння теплового балансу для протяжених пульпопроводів одержано дані, що дозволяють визначити ступінь впливу різних теплотехнічних факторів на процес. Це дозволить підвищити надійність транспортування цирконового концентрату на значні відстані, не вдаючись до збільшення потужності насосів, яка адекватна гідравлічним збиткам та витратам середовища.

Пульпопроводы – основное звено, связывающее карьеры и обогатительные фабрики. От надежности их работы, особенно в зимний период, непосредственно зависит эффективность работы всего ГОКа.

Опыт эксплуатации подобных объектов, в частности на Вольногорском ГО-Ке при транспортировке цирконового концентрата, свидетельствует о трудностях их работы в зимний период. Повышение мощности насосов могло быть в какой-то степени выходом из положения, однако при этом существенно растут энергозатраты. Наметьте комплекс эффективных мероприятий, снижающих теплотери, очевидно, можно после выявления степени влияния ряда теплотехнических факторов на процесс транспортировки пульпы по наземным трубопроводам.

Рассмотрим уравнение теплового баланса [1] для бесконечно малого участка трубы  $dl$  с водой:

$$\frac{\tau_l - t_{окр}}{R} dl = -Gc_p d\tau,$$

где  $t_l$  – температура пульпы по длине трубы, °С;  $t_{окр}$  – температура воздушной среды, °С;  $R$  – термическое сопротивление,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ ;  $G$  – расход воды,  $\text{кг}/\text{ч}$ .

После интегрирования получим

$$t_l = t_{окр} + (t_{нач} - t_{окр}) e^{1/RGc_w}$$

Для численного решения уравнения исходные параметры принимались равными соответствующим условиям Вольногорского ГОКа:

$$\begin{aligned} d_{тр} &= 0,6 \text{ м}; \quad l_{тр} = 5400 \text{ м}; \quad t_{нач} = 3 \text{ °С}; \\ L_{см} &= 3600 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1 \text{ м}^3/\text{с}); \quad L_{тв.ф.} = 500 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (0,139 \text{ м}^3/\text{с}); \\ L_{водн} &= 3600 - 500 = 3100 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (0,86 \text{ м}^3/\text{с}); \\ \rho_{тв.ф.} &= 2000 \text{ кг}/\text{м}^3; \quad \rho_{водн} = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3; \\ c_{водн} &= 4,187 \text{ кДж}/\text{кг} \cdot \text{°С}; \quad u_{водн} = 3,5 \text{ м}/\text{с}. \end{aligned}$$

Определим термическое сопротивление стенки трубы по известной формуле

$$R = R_n + R_{ст} + R_w,$$

заменяя в первом приближении пульпу водой [2,3], учитывая, что массовый расход воды (860  $\text{кг}/\text{с}$ ) существенно превалирует над массовым расходом твердой фазы (278  $\text{кг}/\text{с}$ ): 75 и 14 %.

В случае наземного варианта эксплуатации, при скорости ветра  $u = 1 \text{ м}/\text{с}$ , коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубы будет равен [4]

$$\alpha_n = 5,82 + 11,63\sqrt{u} = 17,45 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°С}$$

и тогда соответствующее термическое сопротивление

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n \pi d_{тр}} = 0,03 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

Термическое сопротивление металлической стенки ( $\delta_{ст} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;  $\lambda_{ст} = 20 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{°С}$ ) будет равно

$$R_{ст} = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

Пренебрегая термическим сопротивлением воды на внутренней части стенки, получим суммарное термическое сопротивление

$$R = 0,03 + 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,031 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Определим температуру воды на выходе из пульпопровода при  $t_{окр} = -25^\circ\text{C}$  (температура наиболее холодной пятидневки для Днепропетровской области) и  $\tau_{нач} = 3^\circ\text{C}$  (температура естественного источника, используемого на Вольногорском ГОКе):

$$t_l = -25 + \frac{3 + 25}{\exp\left(5400 / 0,031 \cdot 3,6 \cdot 10^6 \frac{4,2}{3,6}\right)} = -25 + \frac{28}{\exp 0,0566} = 1,5^\circ\text{C}$$

(здесь расход воды принят равным расходу пульпы –  $3,6 \cdot 10^6$  кг/час)

В таблице 1 приведены значения температуры на выходе из пульпопровода ( $l = 5400$  м) при изменении скорости ветра от состояния штиль ( $u = 0$  м/с) до  $u = 10$  м/с.

Таблица 1 – Температура на выходе из пульпопровода при различных значениях скорости ветра, температуры окружающей среды и начальной температуры смеси

$u, \text{ м/с}$	$t_l, \text{ °C}$		
0	2,60	2,70	3,70
1	1,50	1,99	2,90
5	1,12	1,72	2,60
10	0,45	1,27	2,18
	$t_{окр} = -25^\circ\text{C}$ $\tau_{нач} = 3^\circ\text{C}$	$t_{окр} = -16^\circ\text{C}$ $\tau_{нач} = 3^\circ\text{C}$	$t_{окр} = -16^\circ\text{C}$ $\tau_{нач} = 4^\circ\text{C}$

Анализ полученных результатов наглядно свидетельствует о существенном влиянии скорости обтекания пульпопровода ветровым потоком на температурные параметры.

Наиболее простым и дешевым средством, предотвращающим снижение температуры пульпы до отрицательных значений, могут быть ветрозащитные щиты, устанавливаемые с учетом “розы ветров” и рельефа местности.

Еще более эффективно использование утеплителей с низким значением коэффициента теплопроводности  $\lambda$ . Оборудование пульпопровода пенополиуретановым утеплителем толщиной 50 мм ( $\lambda_{ym} = 0,05$  Вт/м·°C) позволяет существенно увеличить суммарное термическое сопротивление

$$R = 0,031 + \frac{0,05}{0,05} = 1,031 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Тогда температура на выходе из пульпопровода (при  $t_{окр} = -25^\circ\text{C}$  и  $\tau_{нач} = 3^\circ\text{C}$ ) будет равна

$$t_1 = -25 + \frac{3 + 25}{\exp\left(5400 / 1,031 \cdot 3,6 \cdot 10^6 \frac{4,2}{3,6}\right)} = 2,9^\circ\text{C}$$

Весьма важна также теплотехническая ситуация в начальной стадии транспортирования. В таблице 2 приведены средние значения температуры смеси на входе в пульпопровод -  $t_{нач(см)}$  при отрицательных температурах твердой фазы  $t_{тв.ф.}$  для двух теплосодержаний используемой из естественного источника воды. Применялась формула [5]

$$t_{нач(см)} = \frac{G_{тв.ф.} \cdot t_{тв.ф.} + G_{вод.} \cdot t_{вод.}}{G_{тв.ф.} + G_{вод.}}$$

Таблица 2 – Начальная температура смеси (пульпы) в зимний период

$t_{тв.ф.}, ^\circ\text{C}$	-1	-5	-10	-20
$t_{нач(см)}$ при $t_{вод.} = 5^\circ\text{C}$	3,53	2,56	1,20	-1,10
$t_{нач(см)}$ при $t_{вод.} = 3^\circ\text{C}$	2,02	1,04	-0,18	-2,60

Анализ этих данных свидетельствует о возможной целесообразности подогрева воды при низких температурах наружного воздуха (твердой фазы). Здесь могут быть использованы низкопотенциальные тепловые ВЭР, которые имеются в избытке на подобных предприятиях.

Выполненные расчеты и рекомендации на их основе позволят повысить надежность транспортировки пульпы в зимний период. Но для каждого конкретного случая необходимо выполнять соответствующие теплотехнические расчеты по изложенной методике, а принимаемые инженерные решения обосновываться технико-экономическим сравнением вариантов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаченко В.П., Осипов В.А., Сукомел А.С. Теплопередача.-М.: Энергоиздат, 1981.-С.173-189.
2. Данилов М.П., Дьяченко Ю.Я., Бирюкова Ю.А. Расчет понижения температуры в инженерных коммуникациях, расположенных в подвалах зданий, при аварийных ситуациях в системах теплогазоснабжения // Збірник доповідей VIII Всеукраїнської наук. конф. "Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів".-Т.2.-Донецьк: ДонДТУ.-1998.-С.144-145.
3. Шевелев Г.А., Данилов М.П., Дьяченко Ю.Я. Особенности снижения температуры в коммуникациях водяных систем инженерного оборудования зданий, при аварийных ситуациях в системах теплогазоснабжения // Материалы 4-й Всеукраїнської науково-практичної конференції "Вода – проблеми и решения".-Днепропетровск: Гамалія.-1998.-С.169-171.
4. СНиП П-3-79<sup>хх</sup>. Строительная теплотехника.-М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.-С.12.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.-М.: Изд. "Химия", 1971.-С.327-334.