

УДК 622.817.4: 621.643:536.2

В.Р. Алабьев, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ПАО «Шахта им. А.Ф.Засядько»)

УСТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ «ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА – ГАЗОПРОВОД – ГАЗ ДЕГАЗАЦИИ» ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ВЛАЖНОЙ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

В.Р. Алабьев, канд. техн. наук, ст. науч. співр.
(ПАО «Шахта ім. О.Ф.Засядька»)

ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ «ОТОЧУЮЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ - ГАЗОПРІВІД – ГАЗ ДЕГАЗАЦІЇ» ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОЛОГОГО МЕТАНОПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА

V.R. Alabyev, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher
(PAS « A.F. Zasyadko mine»)

CONFORMITIES TO LAWS OF THE HEAT-MASS-EXCHANGE PROCESSES IN A SYSTEM «ENVIRONMENT - GAS PIPELINE - GAS OF DEGASSING» WHILE TRANSPORTING WET METHANE-AIR MEDIUM

Аннотация. Использование шахтного дегазационного метана требует систем трубопроводов функционирующих круглогодично на поверхности угольных шахт. Метановоздушная смесь (МВС) на выходе из вакуум-насосов шахтных дегазационных установок содержит взвешенную влагу и имеет высокую относительную влажность. При охлаждении МВС происходит конденсация водяных паров, содержащихся в МВС. При отрицательных значениях температуры атмосферного воздуха конденсат превращается в лед, что уменьшает внутреннее сечение трубопроводов вплоть до их полной закупорки. Для защиты от обмерзания на шахтах применяют, в основном, теплоизоляцию дегазационных трубопроводов. Однако вопрос применения теплоизоляции во избежание излишних расходов должен решаться на основании тепловых расчетов с учетом термодинамических параметров МВС и окружающей среды, удаленности вакуум-насосных станций от потребителей и других факторов. Однако в настоящее время методики, позволяющей выполнить такие расчеты, не существует.

Ключевые слова: дегазационный метан, метановоздушная смесь, дегазационный трубопровод.

В свете обеспечения энергетической независимости использование шахтного дегазационного метана имеет в Украине большую перспективу. Это обуславливает развитие на поверхности угольных шахт систем трубопроводов, функционирующих круглогодично. Метановоздушная смесь (далее - МВС) на выходе из вакуум-насосов шахтных дегазационных установок содержит взвешенную влагу и имеет стопроцентную относительную влажность. При охлаждении МВС происходит конденсация водяных паров, содержащихся в МВС.

© В.Р. Алабьев, 2014

При отрицательных значениях температуры атмосферного воздуха конденсат превращается в лед, что уменьшает внутреннее сечение трубопроводов вплоть до их полной закупорки. Для защиты от обмерзания на шахтах применяют, в основном, теплоизоляцию дегазационных трубопроводов. Однако в настоящее время методики, позволяющей выполнить такие расчеты, не существует.

Целью настоящей работы является разработка методических основ по расчету допустимой длины трубопроводов, транспортирующих шахтный дегазационный метан при отрицательных значениях температуры атмосферного воздуха.

Расчетная схема элементарного отрезка газопровода представлена на рисунке где: x – продольная координата, м; r – поперечная координата, м; T – температура МВС, К; T_0 – температура атмосферного воздуха, К; R – радиус газопровода, м; S – площадь поперечного сечения газопровода, м².

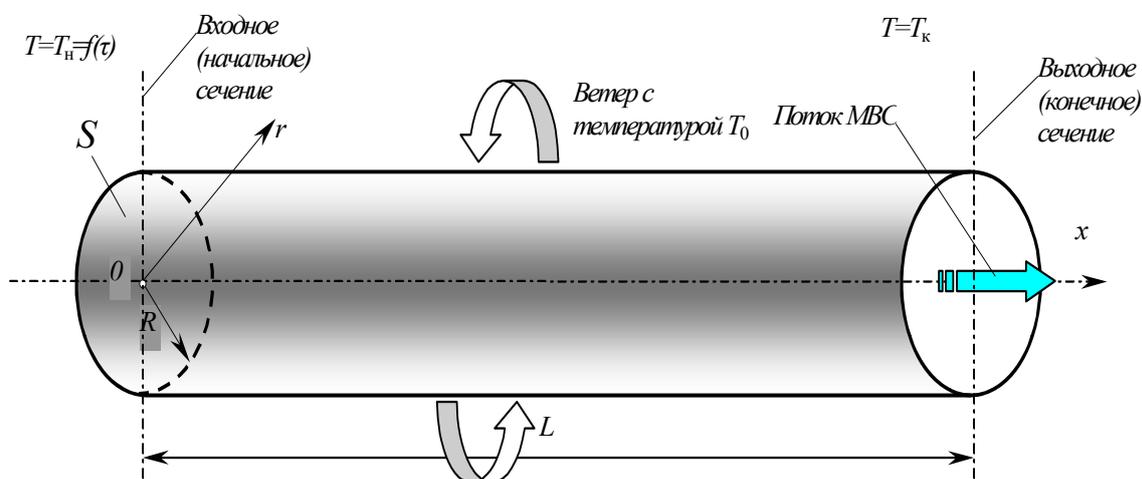


Рисунок 1 - Расчётная схема газопровода

Примем, что до момента подачи МВС в газопровод температура внутри трубопровода была такой же, как и в окружающей атмосфере T_0 , а начальная температура МВС T_n повышается с уровня T_0 до предельного T^* за определенный период времени. Удельный тепловой поток на поверхности трубопровода в окружающую среду определяется законом Фурье. Тогда, математическая формулировка задачи тепломассообмена при движении МВС в газопроводе в дифференциальной форме имеет вид уравнения конвективно-диффузионного переноса теплоты в трубе [1]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} = a \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (1)$$

с начальным условием

$$T(x, r, 0) = T_0, \quad (2)$$

и граничными условиями третьего рода:

$$T(0, r, \tau) = f(\tau); \quad (3)$$

$$-\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R} = k \cdot (T|_{r=R} - T_0), \quad (4)$$

где τ – время, с; u – скорость движения МВС в газопроводе, м/с; a – коэффициент температуропроводности МВС, $\text{м}^2/\text{с}$; λ – коэффициент теплопроводности МВС, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; k – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

В выражениях (1), (4) значения коэффициентов температуропроводности и теплопередачи определяются согласно [2]:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (5)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Gamma}} + \frac{\delta}{\lambda_{\Gamma}} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad (6)$$

где ρ – плотность МВС, $\text{кг}/\text{м}^3$; c – теплоёмкость МВС, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, α_{Γ} – коэффициент теплоотдачи между МВС и внутренней поверхностью газопровода, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; δ – толщина стенки газопровода, м; λ_{Γ} – коэффициент теплопроводности материала газопровода, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; α_a – коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности стенки газопровода к атмосферному воздуху, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Входящие в (1)-(6) теплофизические параметры МВС зависят от динамики изменения температуры и давления МВС в пространстве и времени. Примем допущение, что потеря давления МВС по длине трубопровода, за счет силы трения, незначительна, по сравнению с абсолютным давлением, при котором МВС поступает в газопровод. В этом случае согласно закону сохранения массы газа при установившемся движении, плотность МВС можно считать постоянной [3,4]. В связи с этим при практических расчётах значения теплофизических параметров МВС будем принимать при установившемся режиме по средней температуре МВС и постоянном давлении.

С учетом (5) уравнение (1) запишем в виде:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial \tau} + c\rho u \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right). \quad (7)$$

Уравнение (7) учитывает распространение тепла, как в продольном направлении, так и в радиальном. Радиус трубопровода значительно меньше его длины. Следовательно, тепловой поток в поперечном направлении значительно меньше, чем в продольном направлении. Поэтому при моделировании процесса теплопереноса МВС в газопроводе целесообразно воспользоваться осредненной температурой МВС в поперечном сечении [5]. Для этого обе части уравнения (7) умножим на r , проинтегрируем по этой координате в пределах от 0 до R и поделим на площадь поперечного сечения трубопровода S . В результате уравнение (7) примет вид:

$$c\rho \frac{\partial \bar{T}}{\partial \tau} + c\rho u \frac{\partial \bar{T}}{\partial x} = k \frac{\Omega}{S} (T_0 - \bar{T}), \quad (8)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{S} \int_0^R r \cdot T \cdot dr, \quad (9)$$

где Ω – периметр трубопровода, м.

После решения уравнения (8) при граничном условии (3) с начальным условием $T(x,0) = T_0$ получена формула для расчета длины газопровода, на которой отсутствует процесс оледенения его внутренней поверхности [6]:

$$L = \frac{1}{4} d \frac{1}{St} \ln \frac{T_n - T_0}{T_k - T_0}, \quad (10)$$

где: d - диаметр газопровода, м; T_n, T_k - температура МВС в начале и конце трубопровода, °С; T_0 - температура атмосферного воздуха, °С; St – число Стантона.

Как видно из (10), расчет предельной длины газопровода сводится к расчёту величины числа Стантона St , которое связано с числом Нуссельта (Nu) и Пекле (Pe) соотношением [2]:

$$St = \frac{Nu}{Pe}. \quad (11)$$

Число Пекле рассчитывается по формуле [2]:

$$Pe = \frac{u \cdot d}{a}, \quad (12)$$

в которой скорость движения МВС в трубопроводе рассчитывается по формуле:

$$u = \frac{Q}{S}, \text{ м/с}, \quad (13)$$

где: Q - расход МВС в трубопроводе, м³/с; S - сечение трубопровода.

Коэффициент теплопроводности МВС в формуле (5) для расчета коэффициента температуропроводности МВС можно определить как средневзвешенный для коэффициентов теплопроводности воздуха и метана:

$$\lambda = (1 - \psi) \cdot \lambda_{\text{в}} + \psi \cdot \lambda_{\text{м}}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°К)}, \quad (14)$$

где $\lambda_{\text{в}}$ - коэффициент теплопроводности воздуха; $\lambda_{\text{м}}$ - коэффициент теплопроводности метана; ψ - концентрация метана в МВС, д.е.

Коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda_{\text{в}}$ зависит от температуры и принимается по табл. 1 или с достаточной степенью точности рассчитывается по эмпирической формуле:

$$\lambda_{\text{в}} = \frac{2,44 + 0,0078 \cdot T}{100}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°К)}. \quad (15)$$

Таблица 1. Коэффициент теплопроводности воздуха

Температура, °К	243	253	263	273	283	293	303	313	323	333
$\lambda_{\text{в}} \cdot 10^2$, Вт/(м · °К)	2,20	2,28	2,36	2,44	2,51	2,59	2,67	2,76	2,83	2,90

Коэффициент теплопроводности метана $\lambda_{\text{м}}$ также зависит от температуры и принимается по табл. 2 или рассчитывается по эмпирической формуле:

$$\lambda_{\text{м}} = \frac{3,06 + 0,0139 \cdot T}{100}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°К)}. \quad (16)$$

Таблица 2. Коэффициент теплопроводности метана

Температура, °К	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340
$\lambda_M \cdot 10^2$, Вт/(м · °К)	2,64	2,76	2,88	3,00	3,13	3,28	3,42	3,57	3,72	3,87	4,02

В выражениях (15) и (16) T - среднелогарифмическая температура МВС в газопроводе, которая рассчитывается по формуле [6]:

$$T = T_0 + \frac{T_H - T_K}{\ln \frac{T_H - T_0}{T_K - T_0}}, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (17)$$

Плотность МВС в формуле (5) для расчета коэффициента температуропроводности МВС с учетом того, что МВС состоит из смеси сухого воздуха, водяного пара и метана с общими значениями температуры и давления можно определить согласно рекомендациям [7]:

$$\rho = (1 - \psi) \cdot (\rho_B + \rho_{\text{п}}) + \psi \rho_M, \text{ кг/м}^3, \quad (18)$$

где ρ_B - плотность сухого воздуха; $\rho_{\text{п}}$ - плотность водяных паров; ρ_M - плотность метана.

Плотности сухого воздуха, водяных паров и метана вычисляются по формулам:

$$\rho_B = 3,488 \cdot \frac{P - \varphi \cdot P_{\text{п}}}{T + 273}, \text{ кг/м}^3; \quad (19)$$

$$\rho_{\text{п}} = 2,168 \cdot \varphi \cdot \frac{P_{\text{п}}}{T + 273}, \text{ кг/м}^3; \quad (20)$$

$$\rho_M = 1,928 \cdot \frac{P}{T + 273}, \text{ кг/м}^3, \quad (21)$$

где φ - относительная влажность МВС, д.е.; P - абсолютное давление МВС в газопроводе, кПа; $P_{\text{п}}$ - парциальное давление насыщенных водяных паров при средней температуре МВС, определяемое по справочной литературе или по эмпирической зависимости:

$$P_{\text{п}} = 0,516 \cdot E^{0,0591 \cdot T}, \text{ кПа} \quad (22)$$

Абсолютное давление МВС в газопроводе можно рассчитать по формуле:

$$P = P_0 + P_M, \text{ кПа} \quad (23)$$

где P_0 - атмосферное давление, кПа; P_M - давление МВС в газопроводе, кПа.

Расчет массовой теплоемкости МВС в выражении (5) вычисляется по формуле, Дж/(кг·К) [8]:

$$c = \frac{(1 - \psi) \cdot \rho_B \cdot c_B + \psi \cdot \rho_M \cdot c_M}{\rho} \quad (24)$$

где c_B - массовая теплоемкость влажного воздуха, Дж/(кг·°К); c_M - массовая теплоемкость метана, Дж/(кг·°К).

Массовая теплоемкость влажного воздуха рассчитывается по формулам:

$$c_B = 1005 + 1880 \cdot d_B, \quad (25)$$

$$d_B = 0,622 \cdot \varepsilon \cdot \frac{\varphi \cdot P_{\Pi}}{P - \varphi \cdot P_{\Pi}}, \quad (26)$$

где d_B - влагосодержание влажного воздуха, кг/кг; ε - поправочный коэффициент учета концентрации метана в МВС, принимаемый по табл.3 [7].

Таблица 3. - Поправочный коэффициент учета концентрации метана в МВС

Содержание метана в МВС, %	Поправочный коэффициент	Содержание метана в МВС, %	Поправочный коэффициент
25	1,20	60	1,48
30	1,24	65	1,52
35	1,28	70	1,56
40	1,32	75	1,61
45	1,36	80	1,65
50	1,40	85	1,69
55	1,44	90	1,73

Для инженерных расчетов получена эмпирическая зависимость для расчета поправочного коэффициента, учитывающего содержание метана в МВС:

$$\varepsilon = 0,99 + 0,82 \cdot \psi. \quad (27)$$

Массовая теплоемкость метана в формуле (16) определяется по табл.4 [9] или рассчитывается по эмпирической формуле:

$$c_{\text{м}} = 2170 + 2,8 \cdot T. \quad (28)$$

Таблица 4. - Теплоемкость метана

Температура, °К	255	273	298	300	323	373
$c_{\text{м}}$, кДж/(кг·°К)	2,144	2,174	2,227	2,231	2,293	2,445

Расчет эквивалентного числа Нуссельта в формуле (11) рассчитывается по формуле [2]:

$$\text{Nu} = \frac{k}{\lambda} d. \quad (29)$$

По данным [2], число Нуссельта при теплообмене газового потока с внутренней поверхностью трубы равно:

$$\text{Nu}_r = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,80} \cdot \text{Pr}^{0,43} \cdot \left(\frac{\text{Pr}}{\text{Pr}_r} \right)^{0,25}, \quad (30)$$

где Pr_r – число Прандтля при температуре МВС, равной температуре внутренней поверхности трубы.

Учитывая, что для воздуха $\text{Pr}/\text{Pr}_r \approx 1$, формула (30) примет вид:

$$\text{Nu}_r = 0,021 \cdot \text{Re}^{0,80} \cdot \text{Pr}^{0,43}. \quad (31)$$

При обтекании трубопровода атмосферным воздухом число Нуссельта составляет [2]:

$$\text{Nu}_a = 0,245 \cdot \text{Re}_a^{0,60}; \quad (32)$$

$$\text{Re}_a = \frac{u_a \cdot d}{\nu_a}, \quad (33)$$

где u_a и ν_a – скорость и кинематическая вязкость атмосферного воздуха (ветра).

Формула (33) относится к случаю наибольшей теплоотдачи, когда ветер направлен поперёк трубы.

Используя (31) и (32), определим величину эквивалентного числа Нуссельта. Из (29) следует:

$$\alpha_r = \frac{\lambda}{d} \text{Nu}_r; \quad \alpha_a = \frac{\lambda_a}{d} \text{Nu}_a, \quad (34)$$

где λ_a – коэффициент теплопроводности атмосферного воздуха, Вт/(м·К).

После подстановки (34) в (6) имеем

$$k = \frac{1}{\frac{d}{\lambda} \frac{1}{\text{Nu}_r} + \frac{\delta}{\lambda_r} + \frac{d}{\lambda_a} \frac{1}{\text{Nu}_a}} = \frac{\lambda}{d} \frac{\text{Nu}_r}{1 + \frac{\lambda}{\lambda_r} \frac{\delta}{d} \text{Nu}_r + \frac{\lambda}{\lambda_a} \frac{\text{Nu}_r}{\text{Nu}_a}}, \quad (35)$$

и в соответствии с (29)

$$\text{Nu} = \frac{\text{Nu}_2}{1 + \frac{\lambda}{\lambda_m} \cdot \frac{\delta}{d} \text{Nu}_2 + \frac{\lambda}{\lambda_a} \cdot \frac{\text{Nu}_2}{\text{Nu}_a}} \quad (36)$$

где Nu_2 - число Нуссельта для МВС; λ_m - эквивалентный коэффициент теплопроводности газопровода, Вт/(м·°К); δ - эквивалентная толщина трубопровода, м; λ_a - коэффициент теплопроводности атмосферного воздуха, Вт/(м·°К); Nu_a - число Нуссельта для атмосферного воздуха.

Расчет эквивалентной толщины газопровода осуществляется по формуле:

$$\delta = \delta_0 + \delta_u, \text{ м}, \quad (37)$$

где δ_0 - толщина стенки трубопровода, м; δ_u - толщина изоляции, м.

Расчет эквивалентного коэффициента теплопроводности газопровода осуществляется по формуле:

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0 \cdot \delta_0 + \lambda_u \cdot \delta_u}{\delta_0 + \delta_u}, \text{ Вт/(м·°К)}, \quad (38)$$

где λ_0 - коэффициент теплопроводности трубопровода, Вт/(м·°К); λ_u - коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·°К).

Коэффициент теплопроводности атмосферного воздуха принимается по табл. 1 или рассчитывается по формуле:

$$\lambda_a = \frac{2,44 + 0,0078 \cdot T_a}{100}, \text{ Вт/(м·°К)}. \quad (39)$$

Расчет числа Нуссельта для МВС в выражении (36) осуществляется по формуле [6]:

$$Nu_r = 0,0237 \cdot Re^{0,80} \quad (40)$$

где Re - число Рейнольдса для МВС.

Расчет числа Рейнольдса для МВС осуществляется по формуле:

$$Re = \frac{u \cdot d}{\nu}, \quad (41)$$

где ν - коэффициент кинематической вязкости МВС. Принимается по табл. 5 [8] или рассчитывается по эмпирической формуле:

$$\nu = (17,44 + 0,06 \cdot T - 0,038 \cdot P) \cdot 10^{-6} \quad (42)$$

Таблица 5. - Коэффициент кинематической вязкости МВС, $\nu \cdot 10^6$

Температура, °К	Давление, кПа			
	100	200	400	600
240	11,43	5,73	2,87	1,92
250	12,35	6,19	3,10	2,08
260	13,29	6,66	3,34	2,23
270	14,26	7,14	3,58	2,39
280	15,26	7,65	3,83	2,56
290	16,29	8,15	4,08	2,73
300	17,33	8,67	4,34	2,90
310	18,41	9,21	4,61	3,08
320	19,54	9,77	4,89	3,26
330	20,65	10,35	5,17	3,46
340	21,80	10,91	5,46	3,65
350	22,96	11,49	5,75	3,84

Расчет числа Нуссельта для атмосферного воздуха в выражении (36) осуществляется по формуле:

$$Nu_a = 0,245 \cdot Re_a^{0,6} \quad (43)$$

где Re_a - число Рейнольдса для атмосферного воздуха, определяемое по формуле:

$$Re_a = \frac{\omega \cdot d}{\nu_a} \quad (44)$$

где ω - скорость атмосферного воздуха, м/с; ν_a - кинематическая вязкость атмо-

сферного воздуха. Принимается по табл. 6 [8] или рассчитывается по эмпирической формуле:

$$\nu_a = (13,36 + 0,092 \cdot T_a) \cdot 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}. \quad (45)$$

Таблица 6. Коэффициент кинематической вязкости воздуха

Температура, °С	$\nu_a \cdot 10^6$	Температура, °С	$\nu_a \cdot 10^6$
-30	10,8	30	16,00
-20	12,79	40	16,96
-10	12,43	50	17,95
0	13,28	60	18,97
10	14,16	70	20,02
20	15,06	80	21,09

Выводы. Разработана методика расчета допустимой длины газопровода, на которой отсутствует процесс оледенения его внутренней поверхности при транспортировке влажной МВС, извлекаемой шахтными дегазационными системами. Методика может быть использована инженерно-техническими работниками при проектировании шахтных газотранспортных систем, что позволит повысить безопасность их эксплуатации в зимний период года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цой, П.В. Методы расчёта задач теплопереноса. / П.В. Цой – М.: Энерго-атомиздат, 1984. – 416 с.
2. Михеев, М.А. Основы теплопередачи. / М.А. Михеев, И.М. Михеева.- М.: Энергия, 1973.-343 с.
3. Баскаков, А.П. Теплотехника. / А.П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.
4. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лойцянский - М.: Недра, 1970. – 904 с.
5. Бобровский С.А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором. / С.А. Бобровский, С.Г. Щербаков, М.А. Гусейн-заде.– М.: Наука, 1972.– 192 с.
6. Алабьев, В.Р. Аналитическое решение задачи теплообмена при транспортировке метановоздушной смеси в трубопроводах в зимний период года / В.Р.Алабьев // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: ПП Сувальдо В.Р., т2006. – № 6(100). – Ч.2. – С. 44-53.
7. Черниченко, В.К. Метод расчета термодинамических параметров метановоздушной смеси в газовых процессах / В.К. Черниченко, Н.Е. Подгорный //Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. научн. тр.- Макеевка: МакНИИ, 2003.- С. 200-206.
8. Разработать (ГСТУ) „Руководство по обогреву воздухоподающих стволов и скважин на базе огневых калориферов, использующих в качестве топлива шахтный метан”: Отчет о НИР (промежуточн.) / МакНИИ.- №ГР 0102U002870.- Макеевка, 2002.- 138 с.
9. Зачерученко, В.А. Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана. / В.А. Зачерученко, А.М. Журавлев - М., Издательство стандартов, 1969.- 236 с.

REFERENCES

1. Tsoy, P.V. (1984), *Metodyi raschyota zadach teplomassoperenosa* [Methods of calculation of tasks of heat-mass transfer], Energo-atomiszdats, Moscow, SU.
2. Mikheev M.A. and Mikheeva I.M. (1973), *Osnovi teploperedachi*. [Foundations of heat-transfer] – Energy, Moscow, SU.
3. Baskakov A.P., Berg B.V. and Vitt O.K. (1982), *Teplotekhnika* [Heating engineering] – Energiizdat, Moscow, SU.
4. Loytsyansky L.G. (1970), *Mekhanika zhidkosti i gaza* [Mechanics of liquid and gas], Nedra, Moscow,

SU.

5. Bobrovsky S.A., Shcherbakov S.G. and Guseyn-zade M.A. (1972), *Dvizhenie gaza v gazoprovodakh s putevym otborom* [Motion of gas in gas pipelines with the ground selection], Nauka, Moscow, SU.

6. Alabiyev V.R. (2006), "Analytical decision of task of heat-mass transfer at transporting of methane-air mixture in pipelines in a winter period of year", *Visnik Shidnoukraynskogo natsionalnogo universiteta of Vladimir Dal: naukoviy zhurnal*, PP Suvaldo V.R., Lugansk, Ukraine.

7. Chernichenko V.K. and Podgorniy N.Ye. (2003), "Method of calculation of thermodynamics parameters of methane-air mixtures in gas processes", *Sposoby i sredstva sozdaniya bezopasnykh i zdorovykh uslovij truda v ugolnikh shakhtakh*: Sb. nauchn. tr. MakNII, Makeevka, Ukraine.

8. Razrobotat (GSTU) (2002), *Rukovodstvo po obogrevu vozduhopodayuschih stvolov i skvazhin na baze ognivyih kaloriferov, ispolzuyuschih v kachestve topliva shahtnyiy metan* : account about SIV (intermediate) / MakNII - №SR 0102U002870.- Makeevka, Ukraine.

9. Zacheruchenko V.A. and Zhuravlev A.V. (1969), *Teplofizicheskie svoystva gazoobraznogo i zhidkogo metana* [Heat-physical properties of gaseous and liquid methane], Izdatelstvo standartov, Moscow, SU.

Об авторе

Алабьев Вадим Рудольфович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», Донецк, Украина, avr.09@mail.ru

About the author

Alabiyev Vadim Rudolfovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Reseacher, Deputy Director of PAS «Mine named A.F. Zasadko», Donetsk, Ukraine, avr.09@mail.ru

Анотація. Використовування шахтного метану дегазації вимагає систем трубопроводів функціонуючих цілорічно на поверхні вугільних шахт. Метановоздушная суміш (МВС) на виході з вакууму-насос шахтних установок дегазації містить зважену вологу і має високу відносну вологість. При охолодженні МВС відбувається конденсація водяної пари, що міститься в МВС. При негативних значеннях температури атмосферного повітря конденсат перетворюється на лід, що зменшує внутрішній перетин трубопроводів аж до їх повної закупорки. Для захисту від обмерзання на шахтах застосовують, в основному, теплоізоляцію трубопроводів дегазації. Проте питання вживання теплоізоляції щоб уникнути зайвих витрат повинне розв'язуватися на підставі теплових розрахунків з урахуванням термодинамічних параметрів МВС і навколишнього середовища, віддаленості вакуум-насосних станцій від споживачів і інших чинників. Проте в даний час методики, що дозволяє виконати такі розрахунки, не існує.

Ключові слова: дегазаційний метан, метаноповітряна суміш, дегазаційний трубопровід.

Abstract. The use of mine decontamination methane requires the systems of pipelines of coal mines functioning kruglogodychno on a surface. The Metanovozdushnaya mixture (MVS) on an exit from the vacuum-pumps of mine decontamination options contains the weighed moisture and has high relative humidity. At the MVS cooling there is condensation of the aquatic steams contained in MVS. At the negative values of temperature of atmospheric air kondensat grows into ice, that diminishes the internal section of pipelines up to their complete corking. For defence from obmerzanyya on mines apply, mainly, teployzolyatsyyu of decontamination pipelines. However much the question of application of teployzolyatsyyu in order to avoid superfluous charges must decide on the basis of thermal calculations taking into account the thermodynamics parameters MVS and environment, remoteness of the вакуум-насосных stations from users and other factors. However presently a method allowing to execute such calculations does not exist.

Keywords: methane drainage, methane-air mixture, degasification pipeline.

Статья поступила в редакцию 22.01.2014

Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук Т.В. Бунько

Л.А. Новиков, магистр
(ИГТМ НАН Украины)

**ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ УЧАСТКОВЫХ ДЕГАЗАЦИОННЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Л.А. Новіков, магістр
(ИГТМ НАН України)

**ВПЛИВ ДИСПЕРСНОЇ ФАЗИ НА ГІДРАВЛІЧНИЙ
ОПІР ДІЛЬНИЧНИХ ДЕГАЗАЦІЙНИХ
ТРУБОПРОВІДІВ**

L.A. Novikov, M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine)

**IMPACT OF DISPERSE PHASE ON HYDRAULIC
RESISTANCE OF DISTRICT DEGASSING PIPELINES**

Аннотация. Представлены зависимости для коэффициентов гидравлических сопротивлений при течении однофазных и двухфазных сред в трубопроводах. Указанные зависимости предложено использовать при определении потерь давления метановоздушной смеси в участковых дегазационных трубопроводах. Показано, что поток метановоздушной смеси, содержащий взвешенные частицы влаги, можно рассматривать как двухфазную среду с дисперсной, кольцевой и дисперсно-кольцевой структурой. Установлено, что при наличии конденсата на стенках дегазационного трубопровода потери давления на трение характеризуются коэффициентом межфазного трения, величина которого зависит от толщины и относительной скорости течения жидкостной пленки. При этом местные потери давления зависят от скорости жидкой дисперсной фазы, ее объемного содержания в газовом потоке, а также от характера изменения проходного сечения трубопровода.

Ключевые слова: Коэффициенты гидравлического трения, коэффициенты местных гидравлических сопротивлений, жидкая дисперсная фаза, дегазационный трубопровод, метановоздушная смесь.

Снижение эффективности работы шахтной дегазационной системы (ДС) связано с нарушением герметичности устьев скважин и фланцевых соединений труб, скоплениями конденсата, углепородной пыли и продуктов коррозии в пониженных участках дегазационного трубопровода [1]. Это приводит к снижению концентрации капируемого метана, увеличению гидравлического сопротивления участковых трубопроводов и требует использования дополнительных вакуум-насосов.

Вакуумная газопроводная сеть имеет сложную топологическую структуру с неустойчивым характером движения метановоздушной смеси (МВС) и соответственно различными гидравлическими сопротивлениями участков.