

of the LED lighting on the staff's visual performance creates a basis for further investigation of interdependence between work intensity and quality of artificial light environment.

Key words. working conditions, work intensity, light environment, LED lighting.

Статья поступила в редакцию

Рекомендована к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько

УДК [622.817.47:533.6].001.24

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

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЧАСТКОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СО СКОПЛЕНИЯМИ КОНДЕНСАТА

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

ГАЗОДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ДІЛЬНИЧНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ЗІ СКУПЧЕННЯМИ КОНДЕНСАТУ

Novikov L.A., Master of Science
(IGTM NAS of Ukraine)

GAS-DYNAMIC PARAMETERS OF THE DISTRICT PIPELINES WITH CONDENSATE ACCUMULATIONS

Аннотация. Рассмотрено изменение объемного расхода газовой смеси и концентрации метана на участках вакуумной газопроводной сети и в ее узлах с учетом подсосов воздуха через фланцевые соединений труб. Рассмотрено соотношение для определения плотности газовой смеси по известным значениям объемных долей ее компонентов. Предложена зависимость площади проходного сечения трубопровода в местах образования скоплений конденсата от уровня жидкости в наиболее суженной части трубопровода. При проведении газодинамических расчетов дегазационных трубопроводов со скоплениями конденсата предложено величину абсолютной эквивалентной шероховатости внутренней поверхности трубопровода принимать такой же, как и у труб после длительного периода эксплуатации. Показан характер изменения абсолютного давления газовой смеси по длине негерметичного трубопровода с местными отложениями, а также представлена зависимость турбулентной составляющей аэродинамического сопротивления этого трубопровода от абсолютной эквивалентной шероховатости его внутренней поверхности.

Ключевые слова: газовая смесь, дегазационный трубопровод, газопроводная сеть, аэродинамическое сопротивление, скопление конденсата.

При длительной эксплуатации шахтных дегазационных трубопроводов возникает необходимость в замене их отдельных участков, что связано с образованием скопления пыли и влаги, коррозией внутренней поверхности трубопровода, а также меняющимися во времени горно-геологическими и горнотехническими условиями. В частности, образование скоплений конденсата на участках

© Л.А. Новиков, 2016

вакуумной газопроводной сети приводит к колебаниям объемного расхода газовой смеси, потерям разряжения и увеличению аэродинамического сопротив-

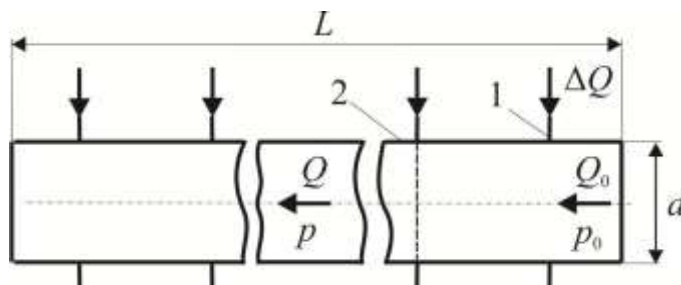
ления [1].

Вакуумная газопроводная сеть имеет сложную структуру с неустойчивым характером движения газовой смеси (как правило, переходной и турбулентный режимы движения) и соответственно различными гидравлическими сопротивлениями участков. В связи с этим точность расчета рациональных параметров дегазационных систем (ДС) и степень достоверности полученных результатов находятся в прямой зависимости от правильного понимания процессов теплообмена, конденсации и массопереноса [2].

Отвод конденсата из дегазационных трубопроводов, как правило, осуществляется с помощью устройств для автоматического отвода влаги (водоотводчиков), монтируемых как на скважинах, так и на самом трубопроводе. При недостаточной эффективности этих устройств или при их отсутствии уровень жидкости в месте скопления конденсата повышается, что может привести к снижению эффективности дегазации и возникновению аварийных ситуаций.

Нарушение технического состояния дегазационного трубопровода, а также неточности в определении его пропускной способности приводят к снижению показателей эффективности функционирования, как отдельных фрагментов дегазационной системы (ДС), так и всей ДС в целом [2, 3]. В связи с этим актуальной задачей при проведении расчетов вакуумной газопроводной сети является учет влияния загрязненности на пропускную способность ее участков, а также характера протекания газодинамических процессов в дегазационном трубопроводе.

Рассмотрим движение газовой смеси на участке трубопровода (рис. 1).



1 – фланцевые соединения труб; 2 – трубопровод; L , d – длина и внутренний диаметр трубопровода, соответственно, м; ΔQ – подсосы воздуха $\text{м}^3/\text{с}$; Q_0 , Q – расходы газовой смеси, соответственно начальный и текущий, $\text{м}^3/\text{с}$; p_0 , p – абсолютные давления газовой смеси, соответственно начальное и текущее, Па

Рисунок 1 – Схема движения газовой смеси на горизонтальном участке вакуумного трубопровода

Характер изменения расхода газовой смеси и концентрации метана по длине трубопровода можно представить в виде:

$$Q(x) \approx Q_0 + x\Delta Q_y; \quad c = I Q(x)^{-1},$$

где $x = 0 \div L$ – текущее расстояние, отсчитываемое от начального сечения трубопровода, м; L – длина трубопровода, м; ΔQ_y – удельные подсосы воздуха,

$\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{м})$; $I = \text{const}$ – дебит метана, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_0 – начальный расход газовой смеси, $\text{м}^3/\text{с}$.

Учитывая, что расход и концентрация метана изменяются по длине негерметичного трубопровода, можно воспользоваться их осредненными значениями, определяемыми соответственно по формулам:

$$Q = \frac{1}{L} \sum_{x=0}^L Q(x); \quad c = I \left[\frac{1}{L} \sum_{x=0}^L Q(x) \right]^{-1}.$$

Подсосы воздуха в вакуумный трубопровод через фланцевые соединения труб приводят к снижению концентрации метана, увеличению расхода и плотности газовой смеси. С учетом подсосов воздуха расход газовой смеси и концентрация метана в конечном сечении ветви определяются по формулам:

$$Q_{k,i} = Q_{n,i} + \Delta Q_{\Sigma,i}; \quad c_{k,i} = I_{n,\Sigma} Q_{k,i}^{-1},$$

где $\Delta Q_{\Sigma,i}$ – суммарные подсосы воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{n,i}$ – расход газовой смеси в начальном сечении ветви, $\text{м}^3/\text{с}$; $I_{n,\Sigma}$ – суммарный дебит метана в начальном сечении ветви, $\text{м}^3/\text{с}$.

Дебит метана, его концентрация и расход газовой смеси при ее подводе к узлу сети определяются как [3]:

$$Q_N = \sum_{i=1}^m Q_i; \quad I_N = \sum_{i=1}^m I_i; \quad c_N = \sum_{i=1}^m Q_i \left(\sum_{i=1}^m I_i \right)^{-1} = \sum_{i=1}^m c_i,$$

где $N = 1, 2, \dots, p$ – номер узла; $i = 1, 2, \dots, m$ – номера ветвей входящих в узел; Q_i , I_i – расход газовой смеси и дебит метана во входящих ветвях непосредственно перед узлом, $\text{м}^3/\text{с}$; c_i – концентрация метана во входящих ветвях непосредственно перед узлом, д.е.

При расчете участков шахтной газопроводной сети, как правило, используется обобщенный квадратичный закон аэродинамического сопротивления [2, 4]

$$h = R_l Q + R_t Q^2, \quad (1)$$

где h – депрессия, Па; R_l – ламинарная составляющая аэродинамического сопротивления, $\text{Па}\cdot\text{с}/\text{м}^3$; R_t – турбулентная составляющая аэродинамического сопротивления, $\text{Па}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$.

В соответствии с [2]

$$R_t = \frac{h}{Q^2} = \frac{p_k - p_0}{Q^2} = \left(\frac{\lambda L}{d} + \sum_{j=1}^m \zeta_j \right) \frac{\rho}{2S^2}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент Дарси [4, 5]; d – гидравлический диаметр трубопровода, м; ρ – средняя плотность газовой смеси, $\text{кг}/\text{м}^3$; $S = 0,25\pi d^2$ – площадь проходного сечения трубопровода, м^2 ; ζ_j – коэффициент местного гидравлического сопро-

тивления; m – число местных гидравлических сопротивлений; p_0, p_k – абсолютные давления газовой смеси соответственно в начальном и конечном сечениях трубопровода, Па.

Считая режим движения газовой смеси турбулентным ($R_l = 0$), из выражения (2) после преобразований получим [2]

$$p_k = \sqrt{p_0^2 - 2p_0 R_l Q^2} = \sqrt{p_0^2 - 2p_0 \left(\frac{\lambda L}{d} + \sum_{j=1}^m \zeta_j \right) \frac{\rho}{2S^2} Q^2}. \quad (3)$$

Зная абсолютное давление газовой смеси в конечном сечении трубопровода, а также задаваясь осредненными значениями ее плотности и объемного расхода, можно из выражения (3) приближенно оценить величину условной эквивалентной шероховатости внутренней поверхности трубопровода. В особенности это касается случаев образования скоплений конденсата, когда величина условной эквивалентной шероховатости изменяется во времени и не соответствует своей физической сущности.

Газовая смесь в трубопроводе, как правило, является влажной. В связи с этим для определения ее плотности можно воспользоваться зависимостью

$$\rho = \rho_v y_v + \rho_m y_m + \rho_{\text{п}} y_{\text{п}},$$

где $\rho_v, \rho_m, \rho_{\text{п}}$ – плотности, соответственно воздуха, метана и водяного пара, кг/м³; $y_m, y_v, y_{\text{п}}$ – объемные доли соответственно метана, воздуха и водяного пара, д.е.

При определении коэффициента местного гидравлического сопротивления (в месте скопления конденсата) необходимо учитывать площадь проходного сечения наиболее суженной части трубопровода. Величину указанной площади можно определить по формуле [4]

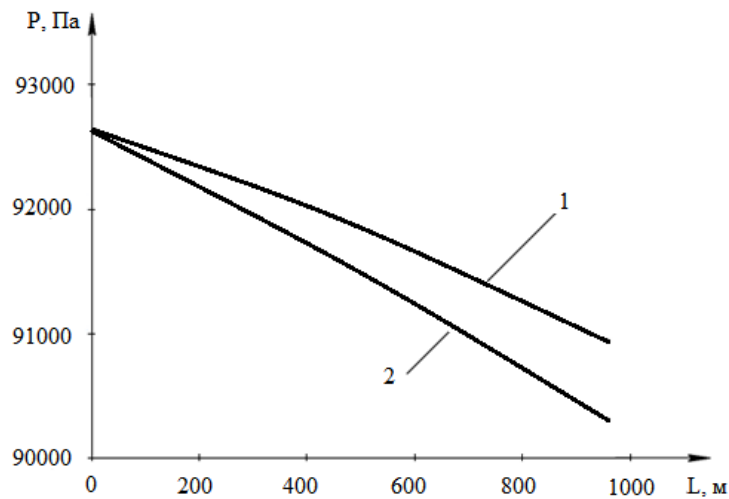
$$S_0 = \frac{\pi d^2}{4} - \frac{d^2}{4} \arccos\left(1 - \frac{2H}{d}\right) - \frac{d^2}{8} \sin\left[2\pi - 2\arccos\left(1 - \frac{2H}{d}\right)\right].$$

где H – уровень жидкости в наиболее суженной части трубопровода, м.

Изменения абсолютного давления газовой смеси по длине негерметичного трубопровода длиной 960 м с гидравлическим диаметром $d = 309$ м, полученные по формуле (3) приведены на рис. 1.

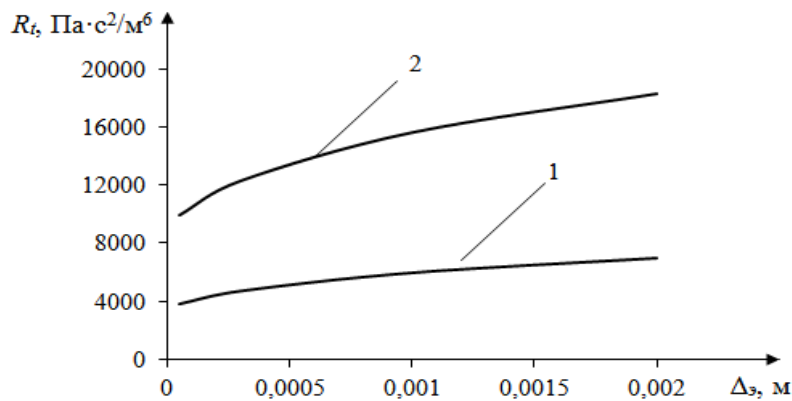
Для трубопровода после нескольких лет эксплуатации абсолютная эквивалентная шероховатость его внутренней поверхности принята равной $\Delta_s = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м, а со скоплениями конденсата – $\Delta_s \approx 2 \cdot 10^{-3}$ м (как для труб после длительной эксплуатации [5]).

Зависимость аэродинамического сопротивления трубопровода длиной 960 м от абсолютной эквивалентной шероховатости его внутренней поверхности приведена на рис 2.



1 – после нескольких лет эксплуатации; 2 – со скоплениями влаги

Рисунок 1 – Изменение абсолютного давления газовой смеси по длине негерметичного трубопровода



1 – $d = 0,309$ м; 2 – $d = 0,257$ м

Рисунок 2 – Зависимость аэродинамического сопротивления трубопровода от абсолютной эквивалентной шероховатости его внутренней поверхности

Из него следует, что аэродинамическое сопротивление трубопровода прямо пропорционально абсолютной эквивалентной шероховатости его внутренней поверхности и обратно пропорционально внутреннему диаметру.

Таким образом, при проведении газодинамических расчетов дегазационных трубопроводов со скоплениями конденсата условную эквивалентную шероховатость можно принять такой же, как и в трубах после длительной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, Л.А. Определение потерь давления на загрязненных участках вакуумного дегазационного трубопровода / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 92. – С. 258-263.

2. Новиков, Л.А. Влияние дисперсной фазы на гидравлическое сопротивление участков дегазационных трубопроводов / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 114. –

C. 154-161.

3. Бокий, Б.В. Выбор рациональных параметров для проектирования системы транспортирования метана угольных месторождений / Б.В. Бокий, Е.Е. Дудля, Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 125. – С. 189-201.

4. Новиков, Л.А. Газодинамика обводненных участков дегазационного трубопровода и методы расчета их параметров / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 120. – С. 234-243.

5. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / под ред. А.С. Юрьева. – Санкт-Петербург: АНО НПО "Мир и семья", 2001. – 1154 с.

REFERENCES

1. Novikov, L.A. (2011), "Determination of the losses pressure on polluted area of vacuum degassing pipeline", *Geo-Technical Mechanics*, no. 92, pp. 258-263.

2. Novikov, L.A. (2014), "Impact of disperse phase on hydraulic resistance of district degassing pipelines", *Geo-Technical Mechanics*, no. 114, pp. 154-161.

3. Bokiyy, A.V., Dudlya, Ye.Ye. and Novikov, L.A., (2015), "Decision of rational parameters for designing of methane transportation within coal deposits", *Geo-Technical Mechanics*, no. 125, pp. 189-201.

4. Novikov, L.A. (2015), «Gas-dynamics of water intrusion areas of decontamination pipeline and methods of calculation of its parameters», *Geo-Technical Mechanics*, no. 120, pp. 234-243.

5. Yurev, A.S. (ed.) (2001), *Spravochnik po raschetam hidravlicheskih i ventilyatsionnyih sistem* [Reference book upon settlement of hydraulic and ventilation systems], Mir i semya, St.- Petersburg, Russia.

Об авторе

Новиков Леонид Андреевич, инженер, младший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, lnov71@yandex.ru

About the author

Novikov Leonid Andreevich, engineer, Junior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, lnov71@yandex.ru

Анотація. Розглянута зміна об'ємної витрати газової суміші і концентрації метану на ділянках вакуумної газопровідної мережі та у її вузлах з урахуванням підсмоктувань повітря через фланцеві з'єднань труб. Розглянуте співвідношення для визначення щільності газової суміші за відомими значенням об'ємних часток її компонентів. Запропонована залежність площі прохідного перетину трубопроводу в місцях утвору скупчень конденсату від рівня рідини в найбільш звуженій частині трубопроводу. При проведенні газодинамічних розрахунків дегазаційних трубопроводів зі скупченнями конденсату запропоновано величину абсолютної еквівалентної шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу ухвалювати такий самий, як і у труб після тривалого періоду експлуатації. Показаний характер зміни абсолютного тиску газової суміші по довжині негерметичного трубопроводу з місцевими відкладаннями, а також представлена залежність турбулентної складовій аеродинамічного опору цього трубопроводу від абсолютної еквівалентної шорсткості його внутрішньої поверхні.

Ключові слова: газова суміш, дегазаційний трубопровід, газопровідна мережа, аеродинамічний опір, скупчення конденсату.

Abstract. The change in volumetric flow rate of the gas mixture and concentration of methane in the areas of vacuum gas-pipeline network and its assemblies is considered with taking into account air inflow through the flanged pipe connections. Correlation is presented for determining the gas mixture density by known values of volume fractions of the mixture components. Interdependence is established between the flow sections of the pipeline in the areas with condensate accumulations and liquid level in the most constricted part of the pipeline. In order to compute gas dynamics

of the gas-drainage pipeline with condensate accumulations, it is proposed to assume the same value of absolute equivalent surface roughness of the pipeline inner surface as of the pipe after a long period of operation. The article describes character of changes in the absolute pressure of the gas mixture along the length of unpressurized pipe with local sediments, as well as interdependence between turbulent component of aerodynamic resistance of the pipeline and absolute equivalent roughness of the pipeline inner surface.

Keywords: gas mixture, gas-drainage pipeline, gas pipeline network, aerodynamic drag, condensate accumulation.

Статья поступила в редакцию 24.04. 2016

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

УДК 622.28.04: 622.81

Халимендик Ю.М., д-р техн. наук, профессор,

Барышников А.С., канд. техн. наук,

Халимендик В.Ю., магистр

(ГВУЗ «НГУ»)

БЕЗОПАСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАМКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРОЧНОЙ ПОДАТЛИВОЙ КРЕПИ

Халимендик Ю.М., д-р техн. наук, профессор,

Барышников А.С., канд. техн. наук,

Халимендик В.Ю., инженер

(ДВНЗ «НГУ»)

БЕЗПЕЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЗАМКОВИХ З'ЄДНАНЬ АРКОВОГО ПОДАТЛИВОГО КРІПЛЕННЯ

Khalimendik Yu.M., D. Sc. (Tech.), Professor,

Baryshnikov A.S., Ph.D. (Tech.),

Khalimendik V.Yu, M.S (Tech)

(SHEI "NMU")

SAFE USAGE OF JOINT CLAMPS FOR THE ARCH YIELDING SUP- PORTS

Аннотация. Целью исследований является изучение работы замковых соединений арочной податливой крепи из спецпрофиля. Проанализированы деформации замковых соединений в шахтных условиях в виде их перекоса и отрыва. Для углубления понимания работы замковых соединений проведены стендовые испытания. Они заключались в нагружении на прессе прямолинейного отрезка крепи из спецпрофиля СВП с узлом податливости. Установлено, что при работе замкового соединения чередуется взаимное сцепление и скольжение элементов податливого узла с перекосом скоб. Резкий переход из сцепления в скольжение сопровождается скачком скоб с искрообразованием. Теоретические исследования показали, что температура и время жизни искр достаточны для воспламенения метановоздушной смеси. Таким образом, впервые практически доказано, что арочная податливая крепь может послужить источником аварии в горной выработке.