

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-5-69-78  
УДК 622.692.4

**Р.Г. Шагиев** (Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», г. Уфа, Российская Федерация)

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ИСТЕЧЕНИЯ ИЗ ТРУБОПРОВОДОВ С СОВМЕСТНЫМ ТЕЧЕНИЕМ НЕФТИ И ГАЗА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК

**Rustam G. Shagiev** (Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic, State Autonomous Scientific Department, Ufa, Russian Federation)

### LEAKAGE INTENSITY FROM PIPELINES TRANSPORTING OIL AND GAS USING DRAG REDUCING ADDITIVES

#### **Введение**

Ключевым моментом безопасности нефтепромысловых трубопроводов является определение интенсивности аварийных истечений нефти и газа.

#### **Цели и задачи**

Определение параметров истечения нефти и газа из трубопроводов с совместным течением нефти и газа.

#### **Методы**

Метод основан на решении уравнений движения газожидкостных смесей в одномерном приближении.

#### **Результаты**

Применение противотурбулентных присадок приводит к уменьшению интенсивности истечения ГЖС через малые дефектные отверстия в нефтепромысловых трубопроводах.

#### **Заключение**

Разработан метод расчета интенсивности истечения ГЖС из трубопроводов при использовании противотурбулентных присадок.

#### **Background**

The main factor affecting oil field pipelines safety is determination of leakage intensity from ruptured pipeline.

#### **Aims and Objectives**

Simulation of oil and gas leakage from multiphase oil field pipelines.

#### **Methods**

Method based on simulation of hydrodynamics equations of multiphase flow in one-dimensional approximation.

#### **Results**

The presence of drag reducing effect on oil and gas leakage intensity decrease from small aperture in multiphase oil field pipelines.

#### **Conclusion**

The method of gas liquid mixtures leakage simulation from small aperture in pipeline using drag reducing agents is developed.

**Ключевые слова:** трубопровод, газожидкостная смесь, дефектное отверстие, интенсивность истечения, противотурбулентные присадки

**Key words:** multiphase oil field pipeline, small aperture, leakage intensity, drag reducing additives

При разгерметизации трубопроводов, транспортирующих газожидкостные смеси (ГЖС), общее количество вытекших нефти и газа складывается из двух составляющих - до и после закрытия запорных элементов.

В настоящей статье рассматривается истечение нефти и газа через дефектное отверстие в трубопроводе до момента закрытия запорных элементов.

Для расчета гидродинамических параметров процесса истечения газожидкостной смеси на установившемся режиме можно использовать большое количество методик отечественных и зарубежных авторов [1-5].

Для оценки удельного массового расхода ГЖС будем использовать формулу [3], имеющую наибольшую точность:

During depressurization of pipelines transporting gas-liquid mixtures (GLM), the total amount of leaked oil and gas consists of two components - before and after closing of the closures.

This article deals with oil and gas leakage through a defective hole in the pipeline until the closing moment of the closure elements.

To calculate the hydrodynamic parameters of the process of gas-liquid mixture leakage in the steady state, you can use a large number of methods of domestic and foreign authors [1-5].

To estimate the specific mass flow rate of the GLM, we will use the formula [3], which has the largest accuracy:

$$G = \left( 2p_1 \rho_{m2}^2 \left[ \frac{(1-x_1)(1-y)}{\rho_{l1}} + \frac{\left(1-y^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right) x_1 \gamma}{\rho_{g1}(\gamma-1)} \right] \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \quad (1)$$

где

where

$$y = \max \left( \frac{p_2}{p_1}, y_c \right), \quad (2)$$

$$y_c = \left( \frac{\frac{\gamma}{\gamma-1} + \frac{(1-x_1)\rho_{g1}(1-y_c)}{x_1\rho_l}}{\frac{\gamma}{\gamma-1} + \frac{n}{2} + \frac{n(1-x_1)\rho_{g2}}{x_1\rho_l} + \frac{n}{2} \left[ \frac{(1-x_1)\rho_{g2}}{x_1\rho_l} \right]^2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}, \quad (3)$$

где

where

$$\gamma = C_p / C_v;$$

$$n = 1 + \frac{x_1(C_p - C_v)}{x_1 C_v + (1 - x_1) C_p};$$

$$\rho_{m2} = \left[ \frac{x_1}{\rho_g y^{\frac{1}{\gamma}}} + \frac{1 - x_1}{\rho_{l1}} \right]^{-1};$$

$$\rho_{g2} = \rho_g y^{\frac{1}{\gamma}};$$

$G_{lg}$  - удельный массовый расход ГЖС  
через дефектное отверстие, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$G_{lg}$  - specific mass flow rate of the GLM  
through the defective hole, kg / (m<sup>2</sup>·s);

$x_1$  - массовая доля газа;

$x_1$  - mass fraction of gas;

$p_2$  - давление окружающей среды, Па;

$p_2$  - ambient pressure, Pa;

$p_1$  - давление газа в трубопроводе, Па;

$p_1$  - gas pressure in the pipeline, Pa;

$\gamma$  - показатель адиабаты газа;

$\gamma$  - gas adiabatic index;

$\rho_{g1}$  - плотность газа в трубопроводе при  
давлении  $p_1$ , кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{g1}$  - gas density in the pipeline at a pres-  
sure  $p_1$ , kg / m<sup>3</sup>;

$\rho_{l1}$  - плотность жидкости в трубопроводе  
при давлении  $p_1$ , кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{l1}$  - density of the fluid in the pipeline at a  
pressure, kg / m<sup>3</sup>;

$C_p, C_v$  - соответственно теплоемкости  
газа при постоянном давлении и постоянном  
объеме, Дж/кг·К.

$C_p, C_v$  - respectively, the heat capacity of  
the gas at constant pressure and constant vol-  
ume, J / kg·K.

Массовый расход смеси через де-  
фектное отверстие определяется по форму-  
ле

The mass flow rate of the mixture through  
the defective hole is determined by the formula

$$m_{leak} = \mu \cdot G_{lg} \cdot \frac{\pi d_{leak}^2}{4}, \quad (4)$$

где  $m$  - коэффициент истечения (для круг-  
лого отверстия рекомендуется значение  
 $m = 0,85$ );

where  $m$  is the discharge coefficient  
( $m = 0,85$  a value is recommended for a  
round hole);

$d_{leak}$  - диаметр дефектного отверстия,  
м.

$d_{leak}$  - diameter of defective hole, m.

Для определения интенсивности истечения нефти и газа в работающем трубопроводе необходимо определить давление в месте дефектного отверстия. Для этого необходим расчет потерь давления до и после дефектного отверстия. Рассмотрим наиболее общий случай, включающий применение противотурбулентной присадки (ПТП) суспензионной формы. Вследствие небольшой протяженности промысловых трубопроводов, суспензионная форма ПТП не успевает в них полностью раствориться. Поэтому при анализе гидравлической эффективности суспензионной формы ПТП в многофазных промысловых трубопроводах нельзя пренебрегать начальным участком растворения суспензионной формы ПТП. Наиболее простой моделью, не принимающей во внимание внутреннюю структуру газожидкостного течения, является модель Локкарта-Мартинелли [6]. Для более адекватного анализа необходимо рассмотреть наличие конкретного режима течения ГЖС с использованием механистических моделей.

Запишем уравнения движения газожидкостной смеси в горизонтальном трубопроводе на основе модифицированной модели Локкарта-Мартинелли, приведенной в работе Чисхолма [7] с учетом растворения суспензионной формы ПТП и деструкции растворившихся полимеров [8] на участке от начала трубопровода до места утечки

To determine the intensity of the flow of oil and gas in a working pipeline, it is necessary to determine the pressure at the location of the defective hole. This requires the calculation of pressure loss before and after the defective hole. Let's consider the most common case, including the use of drag reducing additives (DRA) suspension form. Due to the small length of the field pipelines, the suspension form of DRA does not have time to be completely dissolved in them. Therefore, when analyzing the hydraulic efficiency of the suspension form of DRA in multiphase field pipelines, the initial stage of dissolution of the suspension form of DRA cannot be neglected. The most simple model, not taking into account the internal structure of the gas-liquid flow, is the Lockhart-Martinelli model [6]. For a more adequate analysis, it is necessary to consider the presence of a specific flow pattern of the GLM using mechanistic models.

Let us write the equations of motion of a gas-liquid mixture in a horizontal pipeline based on the modified Lockhart-Martinelli model given in Chisholm paper [7] taking into account the dissolution of the suspension form of DRA and destruction of dissolved polymers [8] in the section from the beginning of the pipeline to the leak

$$\frac{d\rho_1}{dx} = -2f_{dra} \frac{\rho_2}{RTd} u_2^2 \left[ 1 + \frac{20}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)^{1/2}} + \frac{1}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)} \right], \quad (5)$$

$$\frac{dp}{dx} = -2f_{dra} \frac{\rho_2}{d} u_2^2 \left[ 1 + \frac{20}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)^{1/2}} + \frac{1}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)} \right], \quad (6)$$

$$\frac{dM_w}{dx} = -ac^{-1}M_w^2 \left(\frac{f_{dra}}{2}\right)^2 u_2^3, \quad (7)$$

$$\frac{df_{dra}}{dx} = \frac{\left\{ \log(\text{Re}_2 f_{dra}^{1/2}) - \log \left[ \frac{\sqrt{2} \Omega \left( a \left( \frac{M_w}{M_0} \right)^{1/2} \right)^{-3} D}{\rho v} \right] - \frac{-3}{4 \ln 10} \right\}}{\left\{ -\frac{1}{2} f_{dra}^{-3/2} - \left( 4,0 + \frac{\varpi M_w c^{1/2}}{M_0^{3/2}} \right) \frac{1}{2 \ln 10 f_{dra}} \right\}} \left( -\frac{\varpi c^{1/2}}{M_0^{3/2}} ac^{-1} M_w^2 \left( \frac{f_{dra}}{2} \right)^2 u_2^3 + \frac{1}{2} \frac{M}{M_0^{3/2}} c^{-1/2} \beta \frac{dc}{dx} \right), \quad (8)$$

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{dC_s}{dt}, \quad (9)$$

$$\frac{dC_s}{dt} = -3C_{s0}^{1/3} \frac{J}{R_0 \rho_s} C_s^{2/3}. \quad (10)$$

Аналогичные уравнения можно записать для участка от места утечки до конца трубопровода:

Similar equations can be written for the section from the leak to the end of the pipeline:

$$\frac{d\rho_1}{dx} = -2f_{dra} \frac{\rho_2}{RTd} u_2^2 \left[ 1 + \frac{20}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)^{1/2}} + \frac{1}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)} \right], \quad (11)$$

$$\frac{dp}{dx} = -2f_{dra} \frac{\rho_2}{d} u_2^2 \left[ 1 + \frac{20}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)^{1/2}} + \frac{1}{\left( \frac{f_{dra} \rho_2 u_2^2}{f_1 \rho_1 u_1^2} \right)} \right], \quad (12)$$

$$\frac{dM_w}{dx} = -ac^{-1}M_w^2 \left(\frac{f_{dra}}{2}\right)^2 u_2^3, \quad (13)$$

$$\frac{df_{dra}}{dx} = \frac{\left\{ \log(\text{Re}_2 f_{dra}^{1/2}) - \log \left[ \frac{\sqrt{2} \Omega \left( a \left( \frac{M_w}{M_0} \right)^{1/2} \right)^{-3} D}{\rho v} \right] - \frac{-3}{4 \ln 10} \right\}}{\left\{ -\frac{1}{2} f_{dra}^{-3/2} - \left( 4,0 + \frac{\varpi M_w c^{1/2}}{M_0^{3/2}} \right) \frac{1}{2 \ln 10 f_{dra}} \right\}} \left( -\frac{\varpi c^{1/2}}{M_0^{3/2}} ac^{-1} M_w^2 \left( \frac{f_{dra}}{2} \right)^2 u_2^3 + \frac{1}{2} \frac{M}{M_0^{3/2}} c^{-1/2} \beta \frac{dc}{dx} \right), \quad (14)$$

$$\frac{dc}{dt} = -\frac{dC_s}{dt}, \quad (15)$$

$$\frac{dC_s}{dt} = -3C_{s0}^{1/3} \frac{J}{R_0 \rho_s} C_s^{2/3}, \quad (16)$$

где  $f_{dra}$  - коэффициент трения при течении жидкости по полному сечению, удовлетворяет уравнению Вирка [9]

where  $f_{dra}$  is the coefficient of friction during the flow of fluid over the full cross section, satisfies the Virk equation [9]

$$f_{dra}^{-1/2} = (4,0 + \Delta) \cdot \log(\text{Re} \cdot f_{dra}^{1/2}) - 0,4 - \Delta \cdot \log\left(\left(\text{Re} \cdot f_{dra}^{1/2}\right)^*\right), \quad (17)$$

где  $\left(\text{Re} \cdot f_{dra}^{1/2}\right)^* = \frac{\sqrt{2} \cdot v_{\tau}^* \cdot D}{v_s}$ ;

where  $\left(\text{Re} \cdot f_{dra}^{1/2}\right)^* = \frac{\sqrt{2} \cdot v_{\tau}^* \cdot D}{v_s}$ ;

$$\Delta = \varpi N^{3/2} \left(\frac{C}{M_w}\right)^{1/2};$$

$$\Delta = \varpi N^{3/2} \left(\frac{C}{M_w}\right)^{1/2};$$

$N$  - степень полимеризации;

$N$  - degree of polymerization;

$M_w$  - средневесовой молекулярный вес полимера;

$M_w$  - average molecular weight of the polymer;

$\varpi = 70 \cdot 10^{-6}$  - численный параметр;

$\varpi = 70 \cdot 10^{-6}$  - numerical parameter;

$C$  - концентрация растворенного полимера, ppm;

$C$  - concentration of the dissolved polymer, ppm;

$C_s$  - концентрация полимера в суспензионной форме, ppm;

$C_s$  - polymer concentration in suspension form, ppm;

$$v_{\tau}^* = \sqrt{\frac{\tau_w^*}{\rho}} \text{ - критическая динамическая скорость;}$$

$$v_{\tau}^* = \sqrt{\frac{\tau_w^*}{\rho}} \text{ - critical dynamic speed;}$$

критическая скорость;

$\tau_w^*$  - критическое касательное напряжение;

$\tau_w^*$  - critical shear stress;

$D$  - диаметр трубы;

$D$  - pipe diameter;

$\rho$  - плотность нефти;

$\rho$  - oil density;

$\nu$  - кинематическая вязкость жидкости;

$\nu$  - kinematic viscosity of the fluid;

$C_{s0}$  - начальная концентрация твердой фазы полимера, ppm (млн<sup>-1</sup>);

$C_{s0}$  - the initial concentration of the solid phase of the polymer, ppm;

$R_0$  - начальный радиус твердых полимерных частиц, м;

$J$  - интенсивность растворения твердой полимерной частицы, кг/м<sup>2</sup>с;

$\rho_s$  - плотность твердых полимерных частиц, кг/м<sup>3</sup>.

Касательное напряжение начала проявления эффекта Томса

$R_0$  - the initial radius of the solid polymer particles, m;

$J$  - the rate of dissolution of the solid polymer particles, kg / m<sup>2</sup>s;

$\rho_s$  - density of solid polymer particles, kg / m<sup>3</sup>.

Tangential stress of the onset of the Toms effect

$$\tau_{w,onset} = \Omega_T R_G^{-n}, \quad 2 < n < 3,$$

где  $R_G \approx aN^{1/2}$  - радиус гирации молекул полимера;

$\Omega_T$  - параметр, зависящий от видов полимера и растворителя;

$a$  - параметр, определяющий кинетику деградации полимерной добавки;

$$u_1 = \frac{4m_1}{\pi D^2 \rho_1}, u_2 = \frac{4m_2}{\pi D^2 \rho_2} - \text{соответственно скорости по полному сечению газовой и жидкой фазы;}$$

$m_1, m_2$  - соответственно расходы газовой и жидкой фаз;

$\rho_1 = \frac{p}{RT}, \rho_2 = const$  - плотности газовой и жидкой фаз;

$Re$  - число Рейнольдса жидкой фазы по полному сечению;

$R$  - газовая постоянная;

$T$  - температура.

Система дифференциальных уравнений (5) - (16) решается со следующими граничными условиями:

При  $x = 0$

$$p = p_0, \rho = \rho_{10}, M_w = M_{w0}, f_{dra} = f_{dra0}, C_s = C_{s0}, c = c_0 = 0, \\ m_1 = m_{10}, m_2 = m_{20}.$$

where  $R_G \approx aN^{1/2}$  is the radius of gyration of polymer molecules;

$\Omega_T$  - parameter depending on the types of polymer and solvent;

$a$  - a parameter that determines the kinetics of degradation of the polymer additive;

$$u_1 = \frac{4m_1}{\pi D^2 \rho_1}, u_2 = \frac{4m_2}{\pi D^2 \rho_2} - \text{according to the speed over the full cross section of the gas and liquid phase;}$$

$m_1, m_2$  - respectively, the expenditures of gas and liquid phases;

$\rho_1 = \frac{p}{RT}, \rho_2 = const$  - density of the gas and liquid phases;

$Re$  - Reynolds number of the liquid phase over the total cross section;

$R$  - gas constant;

$T$  - temperature.

The system of differential equations (5) - (16) is solved with the following boundary conditions:

At  $x = 0$

При  $x = x_{leak}$

At  $x = x_{leak}$

$$p = p_{leak}, \rho = \rho_{10}, M_w = M_{wleak}, f_{dra} = f_{draleak}, C_s = C_{sleak}, c = c_{leak},$$

$$m_1 = m_{10} - m_{leak}, m_2 = m_{20} - m_{2leak}.$$

*Пример определения интенсивности истечения ГЖС из нефтепромыслового трубопровода со следующими геометрическими и режимными параметрами:*

*An example of determining the intensity of the expiration of the GLM from the oil field pipeline with the following geometrical and regime parameters:*

- диаметр трубопровода  $D = 0,2$  м;
- длина трубопровода  $L = 13000$  м;
- давление в конце трубопровода  $p_{exit} = 1,5$  МПа;
- давление окружающей среды  $p_2 = 0,1$  МПа;
- температура смеси  $T_0 = 293$  К (20 °С);
- молекулярный вес попутного газа  $m_g = 16$  кг/кмоль;
- газовая постоянная газа  $R_g = \frac{R}{m_g} = \frac{8314}{16} = 519,6$  Дж/кг·К;
- теплоемкость газа при постоянном давлении  $C_p = 2191$  Дж/кг·К;
- показатель адиабаты газа  $g = 1,4$ ;
- теплоемкость газа при постоянном объеме  $C_v = 1565$  Дж/кг·К;
- объемный расход нефти  $Q_l = 39,7$  м<sup>3</sup>/ч;
- объемный расход газа  $Q_g = 6054$  м<sup>3</sup>/ч;
- весовой расход смеси  $m_0 = 10,522$  кг/с;
- дефектные отверстия  $d_{leak} = 0,005$  и  $0,01$  м;
- концентрация ПТП  $C_s = 0; 5$  и  $20$  ppm (млн<sup>-1</sup>).

- diameter of the pipeline  $D = 0.2$  m;
- pipeline length  $L = 13000$  m;
- pressure at the end of the pipeline  $p_{exit} = 1.5$  MPa;
- ambient pressure  $p_2 = 0.1$  MPa;
- mixture temperature  $T_0 = 293$  K (20 °C);
- molecular weight of associated gas  $m_g = 16$  kg / kmol;
- gas constant of gas  $R_g = \frac{R}{m_g} = \frac{8314}{16} = 519,6$  J / kg·K;
- heat capacity of gas at constant pressure  $C_p = 2191$  J / kg·K;
- gas adiabatic index  $g = 1.4$ ;
- gas heat capacity at constant volume  $C_v = 1565$  J / kg·K;
- volumetric oil flow  $Q_l = 39.7$  m<sup>3</sup> / h;
- gas flow rate  $Q_g = 6054$  m<sup>3</sup> / h;
- weight flow of the mixture  $m_0 = 10,522$  kg/s;
- defective holes  $d_{leak} = 0.005$  and  $0.01$  m;
- concentration of DRA  $C_s = 0; 5$  and  $20$  ppm.



На рисунке 1 приведена относительная интенсивность утечки  $\frac{m_{leak}}{m_0}$  в зависимости от диаметра дефектного отверстия, его локализации и концентрации противотурбулентной присадки.

Figure 1 shows the relative intensity of leakage  $\frac{m_{leak}}{m_0}$  depending on the diameter of the defective hole, its localization and the concentration of the drag reducing additive.

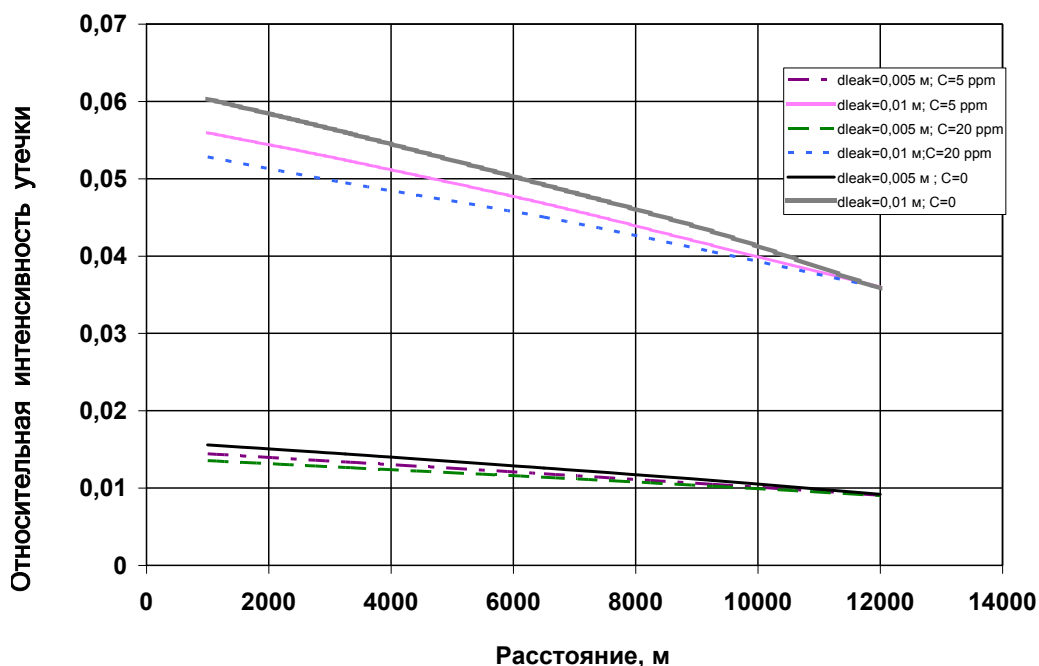


Рисунок 1. Относительная интенсивность утечки в зависимости от диаметра дефектного отверстия, его локализации и концентрации противотурбулентной присадки

Figure 1. Relative leakage intensity depending on the diameter of the defective hole, its localization and concentration of the anti-turbulent additive

#### Выводы

1. Разработана методика расчета интенсивности истечения нефти и газа через дефектное отверстие при перекачке газожидкостной смеси с учетом растворения суспензионных частиц полимеров и деградации растворившихся макромолекул.
2. Применение противотурбулентных присадок приводит к уменьшению интенсивности истечения ГЖС через малые дефектные отверстия в нефтепромысловых трубопроводах.

Публикация подготовлена в рамках выполнения Государственного задания Центра нефтегазовых технологий и новых материалов ГАНУ ИСИ РБ за 2018 г.

#### Conclusion

1. A method for calculating the intensity of oil and gas outflow through a defective opening when pumping a gas-liquid mixture, taking into account the dissolution of suspension particles of polymers and the degradation of dissolved macromolecules has been developed.
2. The use of drag reducing additives leads to a decrease in the intensity of the outflow of GLM through small defective holes in the oilfield pipelines.

The publication was prepared in the framework of the State Task of the Center of Oil and Gas Technologies and New Materials of SASD ISR RB for 2018

Список литературы

1. Чисхолм Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках. М.: Недра, 1986. 204 с.
2. Гужов А.И. Совместный сбор и транспорт нефти и газа. М.: Недра, 1973. 280 с.
3. Sachdeva R., Schmidt Z., Brill J.P., Blais R.M. Two-Phase Flow Through Chokes // SPE 15657, presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Oct. 5-8, 1986. 1986.
4. Антипов В.Н., Миронов В.В. Расчет процесса истечения нефти через порывы трубопровода при упругом режиме // Нефтяное хозяйство. 1978. № 9. С. 55-56.
5. Шагиев Р.Г., Бажайкин С.Г., Кириллов Д.А. Истечение нефти из многофазных промысловых трубопроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. Вып. 1 (91). С. 100-107.
6. Lockhart R.W., Martinelli R.C. Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase Two-Component Flow in Pipes // Chem. Eng. Progr. 1949. Vol. 45. No. 1. P. 39-48.
7. Chisholm D.A. Theoretical Basis for Lockhart-Martinelli Correlation for Two Phase Flow // Int. J. Heat Mass Transfer. 1967. Vol. 10. P. 1767-1778.
8. Шагиев Р.Г., Гумеров А.Г. Математическая модель газоожидкостного течения с учетом растворения суспензионной формы противотурбулентных присадок и деструкции растворившихся полимеров // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Уфа: ООО Монография, 2017. С. 268-272.
9. Virk P.S. Drag Reduction Fundamentals // AIChE Journal. 1975. Vol. 21. No. 4. P. 625-656.

Автор

• Шагиев Рустам Гиндуллович, канд. техн. наук  
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»  
Центр нефтегазовых технологий и новых материалов  
Ведущий научный сотрудник  
Российская Федерация, 450075, г. Уфа,  
пр. Октября, 129/3  
тел. (347) 284-36-95  
e-mail: rggshag@mail.ru

References

1. Chisholm D. *Dvukhfaznye techeniya v truboprovodakh i teplobmennikakh* [Two-Phase Flows in Pipelines and Heat Exchangers]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 204 p. [in Russian].
2. Guzhov A.I. *Sovmestnyi sbor i transport nefti i gaza* [Oil and Gas Joint Gathering and Transportation]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 280 p. [in Russian].
3. Sachdeva R., Schmidt Z., Brill J.P., Blais R.M. Two-Phase Flow through Chokes. *SPE 15657, presented at SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Oct. 5-8 (1986)*.
4. Antip'ev V.N., Mironov V.V. Raschet protsessa istecheniya nefti cherez poryvy truboprovoda pri uprugom rezhime [Calculation of the Process of Oil Outflow through Gusts of the Pipeline under the Elastic Regime]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 1978, No. 9, pp. 55-56. [in Russian].
5. Shagiev R.G., Bazhaikin S.G., Kirillov D.A. Istechenie nefti iz mnogofaznykh promyslovykh truboprovodov [Oil Leakage from Multiphase Upstream Pipelines]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2013, Issue 1 (91), pp. 100-107. [in Russian].
6. Lockhart R.W., Martinelli R.C. Proposed Correlation of Data for Isothermal Two-Phase Two-Component Flow in Pipes. *Chem. Eng. Progr.*, 1949, Vol. 45, No. 1, pp. 39-48.
7. Chisholm D.A. Theoretical Basis for Lockhart-Martinelli Correlation for Two Phase Flow. *Int. J. Heat Mass Transfer.*, 1967. Vol. 10. P. 1767-1778.
8. Shagiev R.G., Gumerov A.G. Matematicheskaya model' gazozhidkostnogo techeniya s uchetom rastvoreniya suspenzionnoi formy protivoturbulentnykh prisadok i destruktssii rastvorivshikhsya polimerov [Mathematical Model of Gas-Liquid Flow with Allowance for Dissolution of the Suspension form of Anti-Turbulent Additives and Degradation of Dissolved Polymers]. *Neftegazovye tekhnologii i novye materialy - Oil and Gas Technologies and New Materials*, Ufa, Monografiya Publ., 2017, pp. 268-272. [in Russian].
9. Virk P.S. Drag Reduction Fundamental. *AIChE Journal*, 1975, Vol. 21, No. 4, pp. 625-656.

The Author

• Shagiev Rustam G., Candidate of Technical Sciences  
Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic,  
State Autonomous Scientific Department  
Centre of Oil and Gas Technologies and New Materials  
Leading Researcher  
129/3, October ave., Ufa, 450075,  
Russian Federation  
tel: (347) 284-36-95  
e-mail: rggshag@mail.ru