

DOI: 10.17122/ntj-oil-2018-4-32-37
УДК 622.692.4:532.529.5

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

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУСПЕНЗИОННОЙ ФОРМЫ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК В ТРУБОПРОВОДАХ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

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

OPTIMIZATION ISSUES OF DRAG REDUCING AGENTS SLURRIES IN HYDROCARBONS PIPING

Введение

Оптимальное использование противотурбулентных присадок является важным фактором обеспечения плановых показателей перекачки нефти и нефтепродуктов. В этой связи актуальным является расчет дозировки противотурбулентных присадок в зависимости от различных режимов перекачки. Некоторые вопросы оптимизации использования противотурбулентных присадок необходимо и нужно решать на стадии получения суспензионной формы противотурбулентных присадок, в частности при определении размеров твердых полимерных частиц.

Цели и задачи

Разработка методов расчета оптимальной дозировки гидравлической эффективности противотурбулентных присадок в зависимости от дисперсности суспензии.

Методы

Математическое моделирование и численные расчеты определения гидравлической эффективности суспензионной формы противотурбулентных присадок с различной дисперсностью твердых полимерных частиц.

Background

Optimal use of drag reducing agents is an important factor in ensuring planned rates of oil and oil products pumping. In this regard, it is important to calculate the drag reducing agents dosage depending on the various pumping regimes. Some questions of optimizing drag reducing agents use are necessary and should be solved at the stage of getting drag reducing agents slurries, in particular when determining the dimensions of solid polymer particles.

Aims and Objectives

Development of methods for calculating the optimal dosage of the hydraulic efficiency of drag reducing agents as a function of the slurry dispersion.

Methods

Mathematical modeling and numerical calculations of the hydraulic efficiency determination of drag reducing agents slurries with different solid polymer particles dispersity.

Результаты

Численными расчетами на основе разработанной математической модели выявлен эффект влияния начального размера частиц суспензионной формы противотурбулентных присадок на интегральную гидравлическую эффективность. Наибольшую гидравлическую эффективность демонстрируют противотурбулентные присадки с наименьшим начальным размером частиц суспензии.

Results

Numerical calculations on the basis of the developed mathematical model revealed the effect of the influence of the initial particle size of the drag reducing agents slurries on the integral hydraulic efficiency. The greatest hydraulic efficiency is demonstrated by drag reducing agents additives with the smallest initial particle size of the slurry.

Ключевые слова: противотурбулентные присадки, оптимизация, суспензионная форма, гидравлическая эффективность, трубопроводы, углеводородное сырье, математическая модель

Key words: drag reducing agents, optimization, slurry, hydraulic efficiency, pipelines, hydrocarbons, mathematical model

Разработка методов расчета оптимальной дозировки противотурбулентных присадок (ПТП) в нефте- и нефтепродуктопроводах при различных режимных и теплофизических параметрах является актуальной задачей.

Математическая модель течения жидкости в трубопроводе с учетом деградации полимерных добавок представлена в работах [1, 2], применительно к нефтепроводам аналогичные модели были разработаны в работах [3-7].

Проблема оптимального использования ПТП содержит несколько аспектов:

1) при использовании суспензионной формы ПТП существует расстояние, на котором частицы полимеров в стекловидной фазе полностью растворяются;

2) интенсивность растворения стекловидных частиц полимера определяется начальным размером частиц, а также интенсивностью перемешивания в турбулентном течении растворителя;

3) некоторые вопросы оптимизации использования ПТП необходимо и нужно ре-

шать на стадии получения суспензионной формы. Большое значение имеет распределение стекловидных частиц по размерам. Частицы малых размеров растворяются быстрее, чем частицы больших размеров, но зато и раньше подвергаются деградации. Таким образом, существует некоторый оптимальный начальный размер частиц суспензионной формы ПТП.

Запишем математическую модель расчета гидравлической эффективности ПТП.

Уравнение потерь давления на трение:

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{2f_{dra}}{d} \rho v^2, \quad (1)$$

где f_{dra} - коэффициент трения Фаннинга;
 d - диаметр трубы, м;
 ρ - плотность жидкости, кг/м³;
 v - скорость потока, м/с.

Уравнение для расчета коэффициента трения при использовании ПТП:

$$\frac{1}{\sqrt{f_{dra}}} = -4 \log \left[\frac{1,26}{\text{Re} \sqrt{f_{dra}}} + \frac{\varepsilon}{3,7d} \right] - \delta \log \left[\frac{1}{\text{Re} \sqrt{f_{dra}}} \right] - \delta \log \left[\sqrt{2} dv_* \right], \quad (2)$$

где ε - шероховатость поверхности трубы, м;

$$\delta = \varpi N^{3/2} \left(\frac{c}{M_w} \right)^{1/2} - \text{параметр,}$$

определяющий угол наклона функции

$$f_{dra}^{-1/2} \left(\log(\text{Re} f_{dra}^{1/2}) \right) \quad (\varpi = 70 \cdot 10^{-6});$$

f_0 - коэффициент трения Фаннинга течения без полимерной добавки;

c - концентрация полимера, ppm;

M_w - средний молекулярный вес;

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu} - \text{число Рейнольдса};$$

ν - кинематическая вязкость жидкости;

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

порога снижения гидравлического сопротивления, м/с;

$\tau_w^* = \Omega_T R_G^{-n}$, $2 < n < 3$ - касательное напряжение порога снижения гидравлического сопротивления;

$R_G = aN^{1/2}$ - радиус гирации макромолекул (Флори);

a - длина звена полимера, м;

$\Omega_T \sim \nu^{5/4}$ - параметр, зависящий от вида полимера и растворителя.

Уравнения переноса растворенного полимера с молекулярной массой M_i с учетом растворения суспензии полимера и деградации растворенных макромолекул без учета конвективной диффузии имеют следующий вид:

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{\partial c_i}{\partial t} + v \frac{\partial c_i}{\partial x} = -\frac{dc_{is}}{dt} + k_{2i} c_{2i} - k_{i/2} c_i,$$

$$k_{i/2} = \begin{cases} -\alpha \left(\frac{2f_{dra}}{d} \right) \nu^3 (M_i - M_{scis}), & \text{if } M_i > M_{scis}, \\ 0, & \text{if } M_i \leq M_{scis} \end{cases}, \quad (3)$$

где M_i - молекулярная масса i -ой фракции полимера в растворе;

c_i - концентрация молекул i -ой фракции в жидкой фазе, имеющей молекулярный вес M_i , ppm (млн⁻¹);

c_{is} - концентрация молекул i -ой фракции в твердой фазе, имеющей молекулярный вес M_i , ppm (млн⁻¹);

m_l - массовый расход жидкой фазы;

$k_{ii/2}$ - скорость обрыва молекул i -ой фракции полимера;

$M_{scis} = M_0 L_{scis} / a$ - критический молекулярный вес обрыва полимерных молекул;

M_0 - молекулярный вес мономера;

α - параметр, определяемый из эксперимента на одном из режимов;

L_{scis} - критическая длина молекулы полимера, м.

Вопросам растворения полимерных частиц посвящены работы [8-11].

Предполагая скорость растворения твердых полимерных частиц на единицу

поверхности сферической частицы постоянной [11], нетрудно получить

$$\frac{dC_s}{dt} = -3C_{s0}^{1/3} \frac{J}{R_0 \rho_s} C_s^{2/3}, \quad (4)$$

где C_{s0} - начальная концентрация твердой фазы полимера, ppm (млн⁻¹);

R_0 - начальный радиус твердых полимерных частиц, м;

J - интенсивность растворения твердой полимерной частицы, кг/м²с;

ρ_s - плотность твердых полимерных частиц, кг/м³.

При растворении твердых полимерных частиц предполагалось, что они состоят из макромолекул полиальфагексена одинакового молекулярного веса $\mu = 10^7$.

Интегрируя систему уравнений (1)-(4), получим распределения гидравлической эффективности, а также других параметров по длине трубопровода.

На рисунке 1 приведены стационарные распределения интегральной гидравлической эффективности ПТП с равными начальными концентрациями суспензионной формы ПТП с начальным радиусом суспензионных частиц 200 и 600 мкм.

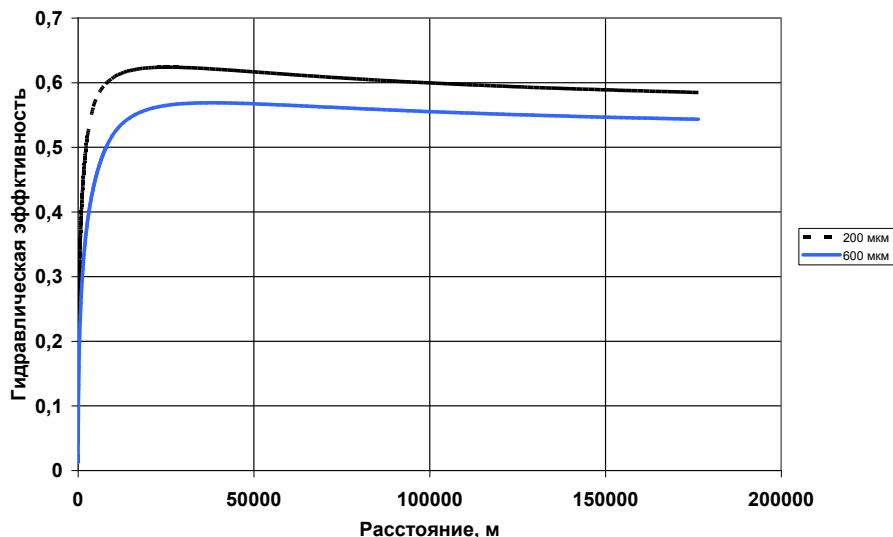


Рисунок 1. Распределения интегральной гидравлической эффективности ПТП с равными концентрациями суспензионной формы ПТП с учетом растворения стекловидной формы полимеров с начальным радиусом 200 и 600 мкм

Из приведенных расчетных данных следует, что наибольшую гидравлическую эффективность при прочих равных условиях демонстрируют ПТП с наименьшим начальным размером частиц. Интегральные гидравлические эффективности суспензионных форм ПТП с дисперсностью 200 и 600 мкм с начальной концентрацией 5 ppm на нефтепроводе длиной 176 км и диаметром 0,8 м, перекачивающим 2800 м³/ч нефти с кинематической вязкостью 57·10⁻⁶ м²/с, составили соответственно 0,585 и 0,540. Интенсивность растворения твердых полимерных частиц была принята 1·10⁻⁴ кг/м²с [10].

Таким образом, регулируя дисперсность суспензионной формы ПТП, можно достичь увеличения интегральной гидравлической эффективности на 8,3 %, что эквивалентно экономии 5 % ПТП.

Список литературы

1. Седов Л.И., Васецкая Н.Г., Иоселевич В.А. О расчетах турбулентных пограничных слоев с малыми добавками полимеров // Турбулентные течения. М.: Наука, 1974. С. 205-219.
2. Sedov L.I., Ioselevich V.A., Pilipenko N.N., Vasetskaya N.G. Turbulent Diffusion and Degradation of Polymer Molecules in a Pipe and Boundary Layer // Journal of Fluid Mechanics. 1979. Vol. 94, No. 3. P. 561-576.
3. Шагиев Р.Г., Гареев М.М., Альмухаметова Д.А. Прогноз гидравлической эффективности и расчет дозировки противотурбулентных присадок в нефте- и нефтепродуктопроводах // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. Вып. 3 (97). С. 129-134.
4. Шагиев Р.Г., Гареев М.М., Альмухаметова Д.А. Проблемы применения противотурбулентных присадок в трубопроводах с ограничениями по давлению // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. Вып. 1 (99). С. 39-45.
5. Шагиев Р.Г., Гареев М.М., Альмухаметова Д.А. Построение математической модели снижения гидравлического сопротивления с учетом деградации на основе опытно-промышленных испытаний // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. Вып. 3 (101). С. 140-148.
6. Шагиев Р.Г., Худякова Л.П., Альмухаметова Д.А. Масштабный переход при прогнозе гидравлической эффективности полимерных добавок с учетом деградации // Проблемы сбора, под-

Выводы

1. Разработана математическая модель расчета гидравлической эффективности ПТП с учетом растворимости суспензионной формы ПТП.
2. Выявлен эффект влияния начального размера частиц суспензионной формы ПТП на интегральную гидравлическую эффективность.
3. Наибольшую гидравлическую эффективность демонстрируют ПТП с наименьшим начальным размером частиц суспензии.

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

References

1. Sedov L.I., Vasetskaya N.G., Ioselevich V.A. O raschetakh turbulentnykh pogranychnykh sloev s malymi dobavkami polimerov [On the Calculation of Turbulent Boundary Layers with Small Additions of Polymers]. *Turbulentnye techeniya* [Turbulent Flow]. Moscow, Nauka Publ., 1974, pp. 205-219. [in Russian].
2. Sedov L.I., Ioselevich V.A., Pilipenko N.N., Vasetskaya N.G. Turbulent Diffusion and Degradation of Polymer Molecules in a Pipe and Boundary Layer. *Journal of Fluid Mechanics*, 1979, Vol. 94, No. 3, pp. 561-576.
3. Shagiev R.G., Gareev M.M., Al'mukhametova D.A. Prognoz gidravlicheskoj effektivnosti i raschet dozirovki protivoturbulentnykh prisadok v nefte- i nefteproduktoprovodakh [Predictions of Hydraulic Efficiency and Calculation of Drag Reducing Agent Dosage for Oil and Product Pipelines]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2014, Issue 3 (97), pp. 129-134. [in Russian].
4. Shagiev R.G., Gareev M.M., Al'mukhametova D.A. Problemy primeneniya protivoturbulentnykh prisadok v truboprovodakh s ogranicheniyami po davleniyu [Implementation Problems of Drag Reducing Agent in Pressure Limited Pipelines]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2015, Issue 1 (99), pp. 39-45. [in Russian].
5. Shagiev R.G., Gareev M.M., Al'mukhametova D.A. Postroenie matematicheskoi

готовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 4 (106). С. 102-111.

7. Альмухаметова Д.А., Шагиев Р.Г. Прогнозирование гидравлической эффективности противотурбулентных присадок на нефте- и нефтепродуктопроводах с промежуточной подкачкой // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. Вып. 4 (106). С. 112-117.

8. Devotta I., Ambeskar V.D., Mandhare A.B., Mashelkar R.A. The Life Time of a Dissolving Polymeric Particle // *Chem Engng Science*. 1994. Vol. 49, No. 5. P. 645-654.

9. Ranade V.V., Mashelkar R.A. Convective Diffusion from a Dissolving Polymeric Particle // *AIChE Journal*. 1995. Vol. 41 (3). P. 666-676.

10. Абдусалымов А.В., Манжай В.Н. Антитурбулентные присадки суспензионной формы для трубопроводного транспорта нефти // Нефть и газ. 2013. № 4. С. 102-106.

11. Parker A., Reed W.F., Vigouroux F. Dissolution Kinetics of Polymer Powders // *AIChE Journal*. 2000. Vol. 46, No. 7. P. 1290-1299.

modeli snizheniya gidravlicheskogo soprotivleniya s uchetom degradatsii na osnove opytno-promyshlennykh ispytaniy [Drag Reduction Mathematical Model Development with Drag Degradation Using Trial Tests]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2015, Issue 3 (101), pp. 140-148. [in Russian].

6. Shagiev R.G., Khudyakova L.P., Al'mukhametova D.A. Masshtabnyi perekhod pri prognoze gidravlicheskoj effektivnosti polimernykh dobavok s uchetom degradatsii [Scale-Up in Estimating Hydraulic Efficiency of Polymer Additives with Account for Their Degradation]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 4 (106), pp. 102-111. [in Russian].

7. Al'mukhametova D.A., Shagiev R.G. Prognozirovaniye gidravlicheskoj effektivnosti protivoturbulentnykh prisadok na nefte- i nefteproduktoprovodakh s promezhutochnoi podkachkoi [Estimation of Drag Reducing Additives in Oil and Product Pipelines with Intermediate Inflow]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2016, Issue 4 (106), pp. 112-117. [in Russian].

8. Devotta I., Ambeskar V.D., Mandhare A.B., Mashelkar R.A. The Life Time of a Dissolving Polymeric Particle. *Chem Engng Science*, 1994, Vol. 49, No. 5, pp. 645-654.

9. Ranade V.V., Mashelkar R.A. Convective Diffusion from a Dissolving Polymeric Particle. *AIChE Journal*, 1995, Vol. 41 (3), pp. 666-676.

10. Abdusalyamov A.V., Manzhay V.N. Antiturbulentnye prisadki suspenzionnoi formy dlya truboprovodnogo transporta nefi [Anti-Turbulent Additives in the Suspension Form for Pipeline Transportation of Oil]. *Neft' i gaz - Oil and Gas*, 2013, No. 4, pp. 102-106. [in Russian].

11. Parker A., Reed W.F., Vigouroux F. Dissolution Kinetics of Polymer Powders. *AIChE Journal*, 2000, Vol. 46, No. 7, pp. 1290-1299.

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

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