

УДК 622.692.4

А.К. Николаев, К.В. Быков, В.И. Маларев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

Выполнен сравнительный анализ точности различных методов оценки коэффициента гидравлического сопротивления в области работы магистральных нефтепроводов. Получены формулы для расчета коэффициента гидравлического сопротивления нефтепровода с наименьшей среднеквадратичной погрешностью. Ключевые слова: магистральный нефтепровод, коэффициент гидравлического сопротивления.

Одной из основных задач программы стратегического развития ОАО «АК «Транснефть» до 2020 года является повышение энергоэффективности за счет реализации мероприятий по экономии энергетических ресурсов и снижения удельного потребления электроэнергии на перекачку нефти.

Поскольку гидравлический расчет является основой математической модели нефтепровода и служит для планирования объемов перекачки нефти, погрешность при определении гидравлического сопротивления трубопровода ведет к отклонению от рациональных режимов перекачки и перерасходу электроэнергии.

В настоящее время не существует однозначного решения задачи по оценке величины коэффициента гидравлического сопротивления в переходной зоне и зоне смешанного трения. Наиболее адекватными фактическим данным считаются формулы полученные в работах [1, 2, 3, 4, 5]:

$$\text{Френкелем } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg \left(\left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} + \frac{\varepsilon}{3,7} \right); \quad (1)$$

$$\text{Черникиным } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1,83 \cdot \lg \left(\frac{8,5}{\text{Re}} + \left(\frac{\varepsilon}{3,7} \right)^{1,093} \right); \quad (2)$$

$$\text{Лобаевым } \lambda = \frac{1,42}{\left[\lg \left(\frac{\text{Re}}{\varepsilon} \right) \right]^2}; \quad (3)$$

$$\text{Филоненко } ; \quad (4)$$

$$\text{Альтшулем } \lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{\text{Re}} + \varepsilon \right)^{0,25}, \quad (5)$$

где λ — коэффициент гидравлического сопротивления, Re — число Рейнольдса, ε — относительная шероховатость.



Рис. 1. Вискозиметр Штабингера SVM3000

Для исследования гидравлического сопротивления в области работы магистральных нефтепроводов были выбраны два участка трубопроводов «Ярославль-Кириши» и «Кириши-Приморск».

При выполнении измерений применялись поточные средства измерений, показания которых выводились в систему диспетчерского контроля и управления территориального диспетчерского пункта:

- преобразователь расхода турбинный фирмы «Faure Herman» модели TZ 250–2000;
- преобразователь избыточного давления 3051TG фирмы «Fisher- Rosemount»;
- преобразователь плотности модели 7835

фирмы «Solartron»;

Определение физико-химических свойств и реологических характеристик нефти проводилось путем анализа проб в химико-аналитической лаборатории. Пробы из трубопровода отбирались с помощью автоматического пробоотборника Cliff Mock C22.

В ходе транспортировки нефти, в блоке измерений показателей качества обеспечивался непрерывный отбор проб. Эта процедура позволяет получить представительную пробу партии нефти, чтобы по результатам физико-химического лабораторного анализа можно было судить о параметрах всей партии в целом. Вязкость нефти определялась с помощью Вискозиметра Штабингера SVM3000 (рис. 1).

Сравнительный анализ экспериментальных данных с применяемыми в настоящее время общеизвестными формулами показал, что для магистральных нефтепроводов отклонение расчетного коэффициента гидравлического сопротивления от фактического может составлять до 24 %.

После обработки экспериментальных данных методом регрессионного анализа [6] установлены фактические зависимости для определения коэффициента гидравлического сопротивления на выбранных участках нефтепроводов в зоне смешанного трения турбулентного режима движения:

- для участка МН "Ярославль-Кириши"

$$\lambda = \frac{1}{\left(a \cdot \lg \left[\left(\frac{b}{\text{Re}} \right)^c + \left(\frac{\varepsilon}{d} \right)^e \right] \right)^2}, \quad (6)$$

где a, b, c, d, e — коэффициенты аппроксимации (a = -2,245, b = 19,32, c = 0,8781, d = 3,761, e = 2,287);

- для участка МН "Кириши-Приморск"

$$\lambda = a \cdot \left(\frac{b}{\text{Re}} + \varepsilon \right)^c + d, \quad (7)$$

где a, b, c, d, e — коэффициенты аппроксимации (a = 0,11, b = 70,5, c = 0,2449, d = 0,002306).

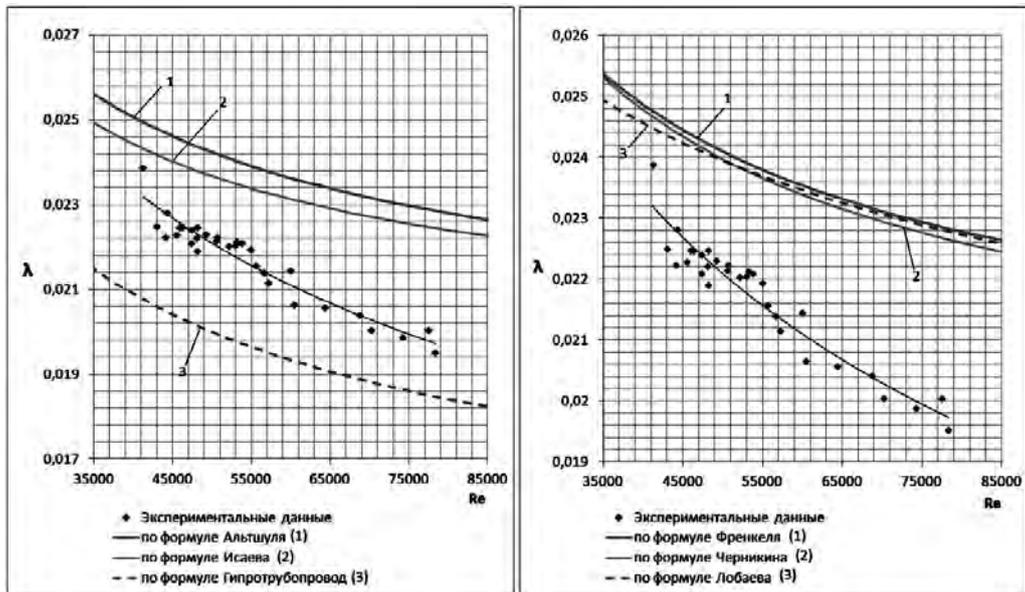


Рис. 2. Сравнение данных, рассчитанных по различным формулам, с экспериментальными данными по МН "Ярославль-Кириши"

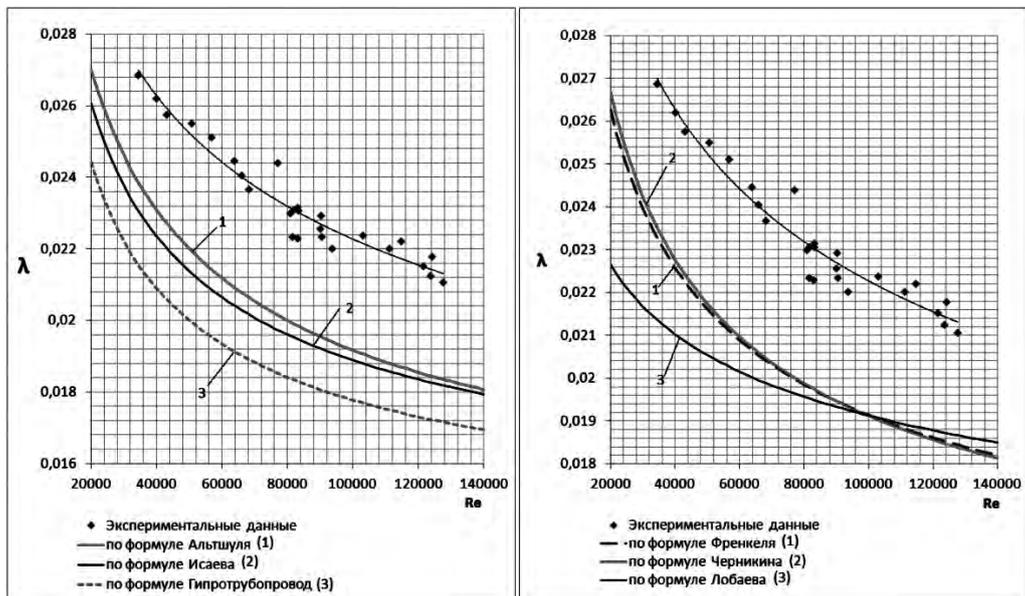


Рис. 3. Сравнение данных, рассчитанных по различным формулам, с экспериментальными данными по МН "Кириши-Приморск"

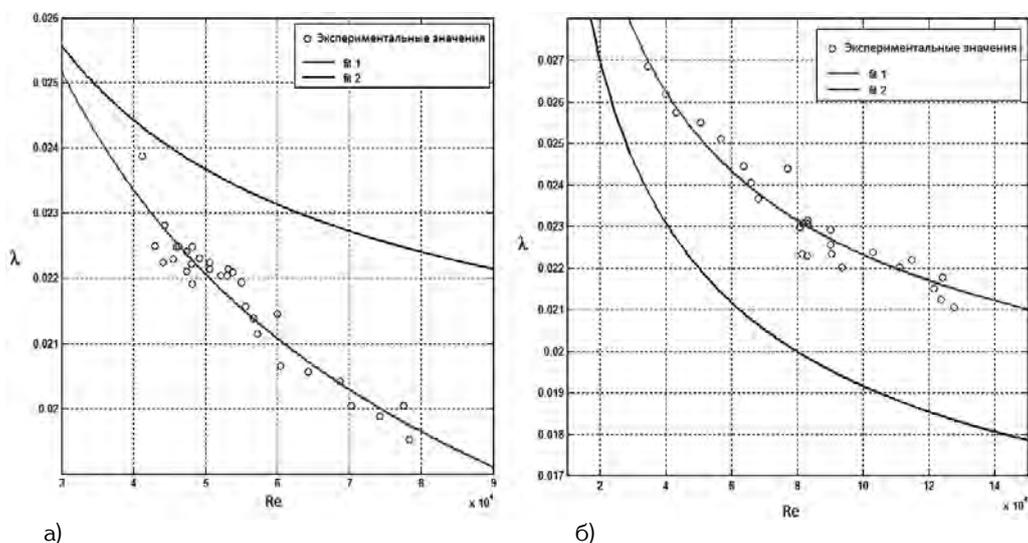


Рис. 3. Графики зависимости $f = \lambda(Re)$, полученные по экспериментальным данным: а) для участка МН "Ярославль-Кириши", б) для участка МН "Кириши-Приморск"

Таким образом, экспериментальные данные показали, что для магистральных нефтепроводов отклонение значений коэффициента гидравлического сопротивления, рассчитанных по формулам 1-5, от фактических значений составляет до 24 %.

Обработка экспериментов с помощью регрессионного анализа позволяет получить формулы (6) и (7), которые наиболее точно описывают суть процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т.* Гидравлика. – М.: Энергия, 1964. – 352 с.
2. *Черников В.И.* Гидравлические соединения сварных трубопроводов//Труды академии нефтяной промышленности. – 1956.
3. *Лобаев Б.Н.* Новые формулы для расчета труб в переходной области. – М.: Санитарная техника. – 1954. – 121 с.
4. *Филоненко Г.К.* Гидравлическое сопротивление трубопроводов//Теплоэнергетика. – 1954.
5. *Альтшуль А.Д.* Гидравлические сопротивления, – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра. – 1982. – 224 с.
6. *Драйпер Н., Смит Г.* Прикладной регрессионный анализ. – М.: «Финансы и статистика», 1986. – 368 с. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Быков Кирилл Владимирович – аспирант, bykov_kv@mail.ru
Николаев Александр Константинович – доктор технических наук, профессор,
Маларев Вадим Игоревич – кандидат технических наук, доцент,
 Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

