

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

*Свендронская Александра Филипповна*

канд. техн. наук, доцент

*Мкаушина Наталья Эдуардовна*

студентка

*Гоибова Рухионахон Юнусовна*

студентка

Ямальский нефтегазовый институт (филиал)

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»

г. Новый Уренгой, ЯНАО

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ СКОРОСТИ ГАЗОВОГО ПОТОКА В СОВРЕМЕННЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

*Аннотация:* в статье приведены результаты исследования распределения скорости газового потока по поперечному сечению трубопровода от Штокмановского месторождения. Авторами сделан вывод о целесообразности при проектировании современных трубопроводов высокого давления учета величины турбулизации потока в пристенной зоне.

*Ключевые слова:* ламинарное, турбулентное, трубы с гладкостным покрытием, потери газового потока, эпюра.

Цель работы: исследование распределения скорости потока газа в поперечном сечении трубопровода.

Объект исследования: скорость газового потока при турбулентном движении по трубам с гладкостным покрытием.

Предмет исследования: эпюра распределения продольной скорости газового потока по сечению трубы.

Методы исследования: теоретический анализ и графо-аналитические расчеты.

Первые исследования по определению потерь газового потока при различной шероховатости труб были проведены в 1932 году И.И. Никурадзе под руководством Л. Прандтля в Гетингенском университете.

Песок различной фракции приклеивали на внутреннюю поверхность труб, фиксируя изменение давления и среднюю скорость в трубопроводе. По формуле Дарси – Вейсбаха определяли потери напора на трение по длине трубопровода:

$$h_e = \lambda \frac{L}{d} \frac{\omega^2}{2g}, \quad (1)$$

где:  $L$  – длина трубопровода,  $d$  – внутренний диаметр,  $\omega$  – средняя скорость движения потока газа,  $\lambda$  – коэффициент гидравлического сопротивления.

При ламинарном режиме движения жидкости или газа по трубопроводу высота микронеровностей не оказывает существенного влияния на скорость потока. При исследовании турбулентного движения происходит разделение потока на несколько зон: у стенок трубы движение потока подчиняется ламинарному движению, образуя «вязкий» подслой, основное ядро потока движется турбулентно. Между этими потоками находится переходная зона. Ламинарный подслой взаимодействует с микронеровностями трубы и его толщина зависит от числа Рейнольдса ( $Re$ ). Для малых чисел Рейнольдса ламинарная ветвь турбулентного потока закрывает шероховатость внутренней поверхности трубы, образуя область «гидравлически гладких труб». Турбулентное ядро «скользит» по ламинарному подслою, не касаясь микронеровностей. При числах Рейнольдса превышающих 92 000 образуется «область квадратичного сопротивления шероховатых русел». Поэтому высота микронеровностей связаны с коэффициентом  $\lambda$  уравнением [1, с. 25], предложенным ВНИИГАЗ:

$$\lambda = \frac{0,383}{\left(\frac{d}{2k}\right)^{0,4}}, \quad (2)$$

где  $k$  – геометрическая шероховатость внутренней поверхности трубы.

В современных трубопроводных системах с диапазоном рабочих давлений 9,8–25,0 МПа и интервалом чисел Рейнольдса от 30 миллионов до 120 приведенные формулы расчета коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda$  дают погрешности [1, с. 25], так как толщина ламинарного подслоя уменьшается с увеличением  $Re$ , микронеровности поверхностного слоя трубы выступают над «вязким» подслоем. Для уменьшения высоты микронеровностей поверхностного слоя в настоящее время внутреннюю поверхность труб обрабатывают различными эпоксидными покрытиями. После обработки высота микронеровностей может составлять до 2 микрометров (мкм). Среднее значение находится в диапазоне 5–7 мкм. Согласно методике ВНИИГАЗ в расчетах коэффициент  $k$  рекомендуют принимать 30 мкм. Технические условия концерна Akzel Nobel регламентируют значение геометрической шероховатости для обработанных труб 6,5 мкм [1, с. 25].

Нами проведены исследования распределения продольной скорости газового потока для морского магистрального газопровода от Штокмановского месторождения. Распределение эпюры продольной скорости газового потока турбулентного движения описывается уравнением, предложенным Никирадзе:

$$\frac{\omega}{\omega_{max}} = \left(\frac{y}{r}\right)^{1/n} \quad (3)$$

где:  $\omega_{max}$  – максимальная осевая скорость потока;

$y$  – радиальное расстояние от стенки трубы до точки определения скорости;

$\omega$  – скорость газового потока по координате  $y$ ;

$n$  – показатель степени.

Характеристики морского газопровода от Штокмановского месторождения:

- наружный диаметр трубопровода 42" (1052,6 мм);

- внутренний диаметр трубопровода 980,0 мм;

- толщина стенки трубы 36,3 мм;

- кинематическая вязкость газового конденсата  $\nu = 14,3 \cdot 10^{-6}$ , [ $\frac{m^2}{c}$ ];

- число Рейнольдса находится в диапазоне  $Re = 49\text{--}86$  миллионов (максимальное значение принимают при полной проектной загрузке);
- показатель степени  $n=26$  – среднее расчетное значение [ 1, с. 26].

Определяем максимальную скорость движения потока по оси трубы:

$$\omega = \frac{Re \cdot v}{d} = \frac{86000000 \cdot 14.3}{1000000 \cdot 0.98} = 1254,9 \text{ м/с} = 348,583 \text{ км/ч}$$

Результаты расчетов скорости газового потока в зависимости от координаты  $y_i$  представлены в таблице 1 и рассчитаны по формуле 4.

$$\omega = \left(\frac{y}{r}\right)^{\frac{1}{n}} \omega_{max} \quad (4)$$

Таблица 1

Изменение скорости газового потока в зависимости от координаты  $y_i$

$y_i, \text{ м}$	0,098	0,196	0,294	0,392	0,490
$\omega_i, \text{ м/с}$	1179,5	1211,4	1230,77	1244,2	1254,9

Эпюра распределения продольной скорости газового потока по оси трубопровода от Штокмановского месторождения показана на рисунке 1.

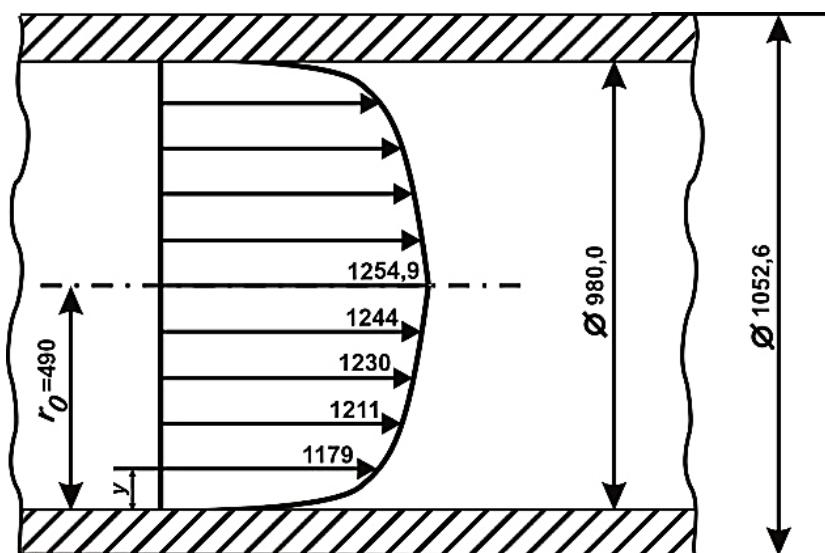


Рис. 1. Эпюра распределения продольной скорости газового потока по сечению трубы

Рассчитываем по формуле (5) толщину «вязкого» подслоя.

$$\delta = \frac{5d}{Re} \sqrt{\frac{8}{\lambda}} \quad (5)$$

По зависимостям ВНИИГАЗ:  $\lambda=0,0032$ ;  $\delta=14,2$  мкм. По уточнённой формуле (6) [ 1, с. 26] для протяженных газопроводов высокого давления и труб большого диаметра с гладкостным покрытием имеем:  $\lambda=0,0068$ ;  $\delta=1,953$  мкм.

$$\lambda = 0,00619 + \frac{53,1}{Re^{0,622}} \quad (6)$$

Выводы:

- коэффициенты гидравлического сопротивления и толщина «вязкого» подслоя, рассчитанные по различным методикам, значительно отличаются;
- выполненные расчеты и графические построения эпюры распределения скорости газового потока для трубопроводов высокого давления показывают, что толщина «вязкого» подслоя составляет 2–3 микрометра;
- для эффективной работы современных трубопроводов высокого давления при проектировании необходимо учитывать величину турбулизации потока в пристенной зоне.

### *Список литературы*

1. Сулейманов В.А. Особенности газовой гидравлики в трубопроводах с гладкостным покрытием [Текст] / В.А. Сулейманов // Трубопроводный транспорт. Теория и практика. – 2010. – №1 (17) – с. 24–27.