

УДК 624.62

**О ПОТЕНЦИАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
ВНУТРЕННЕГО АНТИФРИКЦИОННОГО ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ
НА МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДАХ****В. О. САВЕЛЬЕВА***(Представлено: А. Н. ВОРОНИН)*

Данная статья посвящена изучению применения внутреннего антифрикционного полимерного покрытия, как способа снижения гидравлических потерь посредством понижения коэффициента гидравлического сопротивления. Были проведены расчёты для применения внутреннего альтернативного покрытия к магистральным трубопроводам, перекачивающим дизельное топливо.

Магистральные трубопроводы являются неотъемлемым и важнейшим элементом национальной экономики Беларуси. На магистральный трубопроводный транспорт приходится более 4% от общего мирового потребления энергии при транспортировке [4], что обусловлено высокими энергозатратами насосного оборудования, на долю которого по оценкам экспертов приходится до 20% мирового потребления электроэнергии [1]. Энергия затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления в трубопроводной системе. Проблема снижения гидравлических потерь является весьма актуальной.

Гидравлическое сопротивление оказывается со стороны трубопроводной системы и оценивается количеством потерянной удельной энергии, безвозвратно расходуемой на работу сил трения, где поток претерпевает деформацию. Безвозвратные потери удельной энергии в гидравлических системах обусловлены наличием вязкого трения, на преодоление которого происходит расход энергии при турбулентных колебаниях. Основные потери приходятся на трение по длине, возникающие при равномерном течении, в чистом виде — в прямых трубах постоянного сечения, они пропорциональны длине трубы.

Вид движения жидкости определяется режимом течения, который изменяется в зависимости от характеристики движения — числа Рейнольдса Re , которое характеризует отношение сил инерции к силам трения (вязкости). От величины Re движение потока может подразделяться на ламинарный и турбулентный, который в свою очередь подразделяется на режим гидравлически гладких труб, смешанного трения и квадратичного сопротивления.

Перекачка нефтепродуктов и нефти средней вязкости преимущественно проходит в режимах гидравлически гладких труб и смешанного трения. В режиме гидравлически гладких труб увеличение числа Рейнольдса приводит к тому, что от бугорков шероховатости начинают отрываться вихри. Это явление наступает тем раньше, чем больше шероховатость. В зоне смешанного трения с увеличением числа Рейнольдса его влияние на коэффициент гидравлического сопротивления λ постепенно уменьшается, а влияние абсолютной шероховатости Δ — возрастает, так как увеличивается интенсивность вихреобразования у выступов шероховатости. Таким образом при турбулентном движении жидкости коэффициент гидравлического трения зависит не только от числа Рейнольдса, но и от качества (гладкости) стенок труб. Основываясь на данных утверждениях, целесообразно уменьшить коэффициенты гидравлического сопротивления и относительной шероховатости.

Одним из способов уменьшения шероховатости поверхности труб являются антифрикционные покрытия, покрывающие внутреннюю стенку трубопровода. Антифрикционные покрытия служат для снижения трения между газовой или жидкостной смесью и внутренней поверхностью трубы и позволяют повысить пропускную способность. Технология нанесения внутренних покрытий осваивается многими компаниями, которые занимаются производством трубопроводных магистралей. Впервые данную технологию покрытия внутренней поверхности трубопровода гладкостным покрытием применили в газовой отрасли. Так, впервые использование таких внутритрубных покрытий было осуществлено в США компаниями Tennessee Gas Pipeline Co. в 1955 г. и Transcontinental Gas Pipeline Corp. в 1959 г. Опыт компаний показал, что затраты на внутреннее покрытие газопроводов многократно окупаются в процессе эксплуатации. Это решение можно адаптировать к жидким энергоносителям.

Антифрикционные покрытия, применяемые к трубопроводным системам, представляют собой полимерные и пластмассовые материалы специального назначения, выбор которых достаточно велик и основан на их химических свойствах и физико-механических характеристиках. Для внутренней изоляции труб допускается возможность использования таких материалов, как лакокрасочные на основе эпоксидных, модифицированных эпоксидных и фенолформальдегидных смол. Из порошковых полимеров широко применяются защитные покрытия на базе эпоксидных порошковых материалов, нанесенных по фенольному праймеру. Перспективным направлением разработок полимерных материалов антифрикцион-

ного назначения стало создание полимерных композиционных материалов на основе термопластов, номенклатура которых превышает сотни наименований. Представителями термопластов антифрикционного назначения являются полиэтилен, поликарбонат, полисульфон, поливинилхлорид и др. Преимущества наличия гладкостного покрытия заключаются в малом коэффициенте абсолютной шероховатости, достигающего 0,01 мм, что приводит к снижению гидравлического сопротивления. В таблице 1 приведено сравнение значений шероховатостей полимерных и стальных поверхностей.

Таблица 1. – Шероховатость полимерной и стальной поверхностей

Поверхность трубы	Абсолютная шероховатость, мм
Новая углеродистая сталь	0,05-0,15
Углеродистая сталь, бывшая в эксплуатации	0,5-2,0
Полимерное покрытие	0,01-0,04

При реализации нанесения гладкостного антифрикционного покрытия, имеющего уменьшенную абсолютную шероховатость поверхности по отношению к прежней абсолютной шероховатости внутренней поверхности трубы, произойдет смещение критических значений числа Рейнольдса перекачиваемой жидкости, тогда как фактическое значение числа Рейнольдса останется неизменным при постоянной скорости. Вследствие этого может измениться режим движения жидкости в трубопроводе.

Исходя из того, что в соответствии с практикой эксплуатации нефтепроводов перекачка нефти средней вязкости преимущественно проходит в режиме гидравлически гладких труб режим течения вне зависимости от значения коэффициента абсолютной шероховатости останется в зоне гидравлически гладких труб, в котором при расчёте коэффициента гидравлического трения шероховатость не участвует. Перекачка бензина и дизельного топлива преимущественно проходит в режиме смешанного трения. При перекачке бензина применение данной технологии может привести к возрастанию скорости движения жидкости выше предельно допустимой. Основываясь на вышесписанном, целесообразно рассматривать использование антифрикционных покрытий применительно к магистральным трубопроводам, перекачивающим дизельное топливо.

Расчёт потерь напора на трение по длине проводится с использованием формулы Дарси-Вейсбаха, в которой наиболее выражен коэффициент абсолютной шероховатости:

$$h_r = \lambda \cdot \frac{w^2}{2g} \cdot \frac{L}{D} \tag{1}$$

С применением внутреннего гладкостного покрытия в случае с десятикратным уменьшенным коэффициентом абсолютной шероховатости по отношению к случаю со стальной трубой с базовым коэффициентом шероховатости для трубопровода, перекачивающего дизельное топливо, произойдет сдвиг критических значений числа Рейнольдса. Вследствие этого характеристика движения жидкости с режима смешанного трения перейдет в режим гидравлически гладких труб. Сопоставив значения гидравлических сопротивлений в режиме смешанного трения λ_2 и гладкого трения λ_1 , выраженных в буквенной форме, для двух случаев – стальной трубы и с полимерным покрытием можно выразить процентное соотношение гидравлических сопротивлений, а соответственно и разности потерь напора для данных случаев движения жидкости. Данное соотношение после проведения математических преобразований представляется выражением в виде:

$$\% = 1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = 1 - 2,88 \cdot \left(\frac{v}{68v + w\Delta_1} \right)^{0,25} \tag{2}$$

где

$$\lambda_1 = 0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta_1}{d} \right)^{0,25},$$

$$\lambda_2 = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}.$$

Подставляя в формулу (2) различные значения скоростей, характерных для режимов эксплуатации нефтепродуктопроводов, полученный результат вычислений можно представить графически в виде функции зависимости процентной разницы потерь напора от скорости движения дизельного топлива:

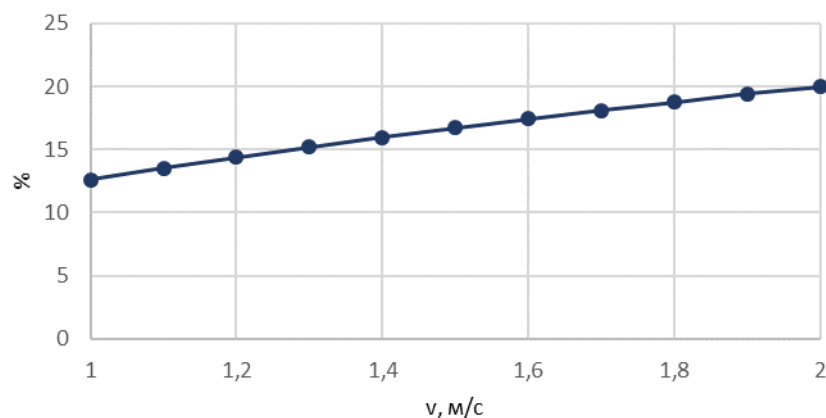


Рисунок 1. – Зависимость процентной разницы потерь напора от скорости движения

Опираясь на расчёты, можно сделать вывод о том, что при применении антифрикционного внутреннего покрытия трубопровода возможно снижение сопротивления до 20% в зависимости от скорости перекачиваемой жидкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт информационного агентства «Деловой Петербург» / Энергетическая эффективность бизнеса: работа на будущее [Электронный ресурс] / Информационное агентство «Деловой Петербург». — Режим доступа: https://www.dp.ru/a/2020/09/28/ENergojeffektivnij_biznes – Дата доступа: 16.02.2020.
2. Шероховатость полиэтиленовых труб. Расчет гидравлических потерь давления в трубопроводе из пластмасс / Владимир Швабауэр, Игорь Гвоздев, Мирон Горюловский // Журнал "Полимерные трубы".
3. Е. А. Серкова, В. В. Хмельницкий, О. Б. Застрогина // Полимерные материалы для антифрикционных покрытий (обзор) // Электронный научный журнал «Труды ВИАМ», 2021.
4. Official webpage of the American Information Energy Agency [Electronic resource] / American Information Energy Agency. — Mode of access: http://www.un.org/en/development/desa/policy/wesp/wesp_archive/2012chap2.pdf — Date of access: 16.11.2020