

УДК 347.842

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
ГИДРОФОБНЫХ И СУПЕРГИДРОФОБНЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ
ВНУТРЕННИХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ В ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ****Д. САРЕЛО, М. СТУДЕНКОВА**
(Представлено: А. Н. ВОРОНИН)

В статье рассмотрена возможность применения гидрофобных покрытий на внутренних поверхностях оборудования магистрального транспорта для снижения площади смачиваемости и гидравлической шероховатости. Проведен теоретический расчет для рассмотрения последующей возможности применения данной методики на практике. Сделан вывод о необходимости дальнейшего исследования преимуществ метода гидрофобизации в трубопроводном транспорте.

Одним из основных технологических процессов энергетических систем нефтяного комплекса является транспорт углеводородного сырья по трубопроводным системам, на функционирование которых затрачивается большое количество электроэнергии. Вопросы энергосбережения широко рассматриваются в разных нормативных документах, в том числе в СТБ 1771–2010 Энергопотребляющее оборудование. Так одним из важнейших и актуальных вопросов для мирового научного сообщества был и остается вопрос об исследовании структуры потока жидкости вблизи гидрофобных поверхностей и в особенности в пристенной зоне.

Основными причинами, увеличивающими износ и снижающими степень надежности различных трубопроводных систем, являются образование отложений на внутритрубных поверхностях и коррозионные процессы, обусловленные агрессивностью транспортируемых сред. Коррозионные процессы увеличивают шероховатость поверхности трубопроводов и влияют на увеличение коэффициент гидравлического трения, ускоряя накопление слоя отложений на внутренней поверхности. Образование асфальтосмолопарафинистых отложений приводит к сужению проходного сечения трубопроводов, что в свою очередь приводит к необходимости постоянно повышать входное давление перекачиваемой среды для обеспечения расчетного расхода. Так повышение магистрального давления приводит к снижению надежности и эффективности работы магистрального трубопровода как за счет увеличения количества аварий, связанных с разрывом трубопроводов и образованием свищей, так и за счет работы перекачивающих станций не в номинальном режиме, приводящей к увеличению скорости износа насосных агрегатов и снижению их КПД. В нефтепроводах для снижения гидравлических потерь в основном применяются депрессорные присадки, являющиеся ингибиторами образования асфальтосмолопарафиновых отложений, противотурбулентные присадки, изменяющие коэффициент гидравлической эффективности, и подогрев транспортируемой жидкости. В результате применения данного метода оказывается влияние на физико-химические свойства транспортируемого сырья.

В то же время для дополнительного эффективного уменьшения гидравлического сопротивления необходимо учитывать исходное состояние поверхности трубопроводов. Таким образом, можно использовать другой метод, оказывая влияние на внутреннюю поверхность трубопровода. В ходе данного способа применяются защитные гладкие эпоксидные и силикатно-эмалевые покрытия со сниженным коэффициентом абсолютной шероховатости, а также гидрофобные покрытия с уменьшенной площадью смачиваемости поверхности. Применение модифицированных внутренних покрытий с гидрофобными свойствами является перспективным и еще недостаточно изученным направлением. Представляется возможным использовать внутренние гидрофобные покрытия в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов, что требует дополнительных исследований и уточнений при расчете гидравлических параметров с учетом гидрофобности поверхностей и изменений особенностей движения потока транспортируемой среды.

Основные подходы к снижению гидравлического сопротивления, обусловленные гидрофобностью поверхностей, были предложены Р.Н. Вензелем (1936 г.), Б.Д. Кассье и С. Бакстером (1944 г.). Данные подходы основаны на использовании имеющихся в природе подобных явлений, в частности, на имитации свойств листа лотоса [1]. Механика процесса эффекта лотоса заключается в том, что благодаря высокому поверхностному натяжению капли воды стремятся уменьшить поверхность, собираясь с сферическую форму. При контакте жидкости с поверхностью силы сцепления приводят к смачиванию поверхности. Степень смачивания зависит от структуры поверхности и от натяжения жидкости капли. Степень смачивания зависит от структуры поверхности и от натяжения жидкости капли [2].

Суть гидрофобизации при перспективном использовании во внутренних поверхностях трубопроводов заключается в достижении эффекта лотоса в технических системах путем модификации рельефа поверхности с последующей ее гидрофобизацией, в частности, посредством поверхностно активных ве-

ществ в транспортируемой жидкости либо с помощью гидрофобных соединений во внутреннем покрытии. Площадь контакта капли жидкости в обычном трубопроводе много больше площади контакта капли жидкости в трубопроводе с гидрофобным покрытием. Предположительно, свободная область под жидкостью предположительно заполняется газом. Всё это способствует снижению гидравлического сопротивления.

Известно, что гидравлическое сопротивление трубопровода определяется по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{L}{d} \quad (1)$$

где ΔP – перепад давления, Па;

λ - безразмерный коэффициент гидравлического трения, зависящий в общем случае от числа Рейнольдса и относительной величины шероховатости внутренней поверхности трубопровода;

L - длина трубопровода, м;

d – диаметр трубопровода, м;

ρ - плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

v – скорость движения перекачиваемой жидкости, м/с.

Из данной формулы следует, что основное влияние на гидравлическое сопротивление оказывают плотность и скорость перекачиваемой среды, диаметр трубопровода, его длина и шероховатость внутренней поверхности.

Сопротивление трубопроводов с модифицированной гидрофобной поверхностью не может быть корректно рассчитано по формуле (1) из-за изменения условий смачивания поверхности и структуры потока в пристенной зоне. Общепринятой характеристикой смачиваемости поверхности является угол смачивания θ между каплей и плоскостью поверхности. Однако для поверхности трубопроводов более важную роль играют угол скатывания α и эквивалентная шероховатость k_a , характеризующие гидравлические свойства поверхности. Исходя из формулы (1) можно сделать вывод о том, что при постоянных параметрах d , L , ρ гидравлическое сопротивление определяется значением коэффициента λ , который является функцией характеристик смачивания, т.е. $\lambda = f(\theta, \alpha, k_a)$ [1]. Анализ литературных источников, содержащих проведенные физические и расчетные эксперименты по целенаправленному повышению эффективности эксплуатации и совершенствованию гидравлического расчета трубопроводов с гидрофобизированными функциональными поверхностями позволил выявить в рамках исследования общий алгоритм действий, состоящий из следующих этапов [3]:

- Определение исходного гидравлического сопротивления системы;
- Определение общего коэффициента потерь на трение по длине λ (при этом необходимо знать длины трубопроводов различных диаметров, входящих в систему)
- Определение исходной эквивалентной шероховатости;
- Определение исходных характеристик функциональных поверхностей трубопроводной системы, состоящих из труб различного диаметра;
- Определение необходимой оптимальной толщины гидрофобизирующего слоя и максимально возможного снижения сопротивления для труб различного диаметра соответственно.

Для трубопроводов с большим количеством отложений различной плотности требуется предварительное их удаление тем или иным способом, в том числе за счет применения тех же поверхностно-активных веществ, применяющихся для формирования гидрофобизирующего покрытия. В связи с этим большой интерес представляет рассмотрение преимуществ внедрения метода гидрофобизации внутренних покрытий магистрального трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. 1.Расчёт трубопроводных систем с учётом степени гидрофобности внутренних поверхностей / М.А. Морозов [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти – 2016. – №4. – 131-134 с.
2. 2.Гибридные гидрофобные поверхности в борьбе с солеотложениями на деталях нефтепогружного оборудования / С.В. Ладанов [и др.] // Добыча нефти и газа – 2020. – №6. – 52-55 с.
3. М.А. Морозов Расчетно-экспериментальные исследования гидравлических характеристик трубопроводов систем теплоснабжения с учетом степени гидрофобности функциональных поверхностей: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.04.16 / М.А. Морозов – Москва, 2016 – 134 с.