

ПЕРСПЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОФОБНЫХ ВНУТРЕННИХ ПОКРЫТИЙ В ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

А. Н. ВОРОНИН, Д. М. САРЕЛО

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой
Новополоцк, Беларусь

Одним из основных технологических процессов энергетических систем нефтяного комплекса является транспорт углеводородного сырья по трубопроводным системам, на функционирование которых затрачивается большое количество электроэнергии. При работе трубопроводных систем важное значение имеет минимизация гидравлических потерь. Одним из перспективных направлений, повышающих транспортную способность трубопроводов, является применение гидрофобных покрытий с уменьшенной площадью смачиваемости поверхности.

Данные подходы основаны на использовании имеющихся в природе подобных явлений [1]. Механика процесса взаимодействия жидкости и гидрофобной поверхности заключается в том, что благодаря высокому поверхностному натяжению капли воды стремятся уменьшить поверхность, собираясь сферическую форму. При контакте жидкости с поверхностью силы сцепления приводят к смачиванию поверхности. Степень смачивания зависит от структуры поверхности и от натяжения жидкости капли [2].

Гидрофобизация при использовании во внутренних поверхностях трубопроводов может достигаться путем модификации рельефа поверхности с последующей ее гидрофобизацией, в частности, посредством поверхностно активных веществ в транспортируемой жидкости либо с помощью гидрофобных химических 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, что способствует снижению гидравлического сопротивления.

Сопротивление трубопроводов с модифицированной гидрофобной поверхностью не может быть корректно рассчитано по формуле Дарси-Вейсбаха 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_3 , характеризующие гидравлические свойства поверхности. При постоянных параметрах d , l , ρ гидравлическое сопротивление определяется значением коэффициента λ , который является функцией характеристик смачивания, т.е. $\lambda = f(\theta, \alpha, K_3)$ [1]. В связи с этим большой интерес представляет установление зависимости снижения гидравлического сопротивления от состояния смачивания поверхности, в частности, на основе результатов экспериментальных физических исследований или компьютерного моделирования.

Преимущества применения гидрофобных покрытий было экспериментально подтверждено в ряде научных исследований. Так, исследование, проведенное на насосном оборудовании [2–4], показало, что модифицированное покрытие оказало положительное влияние на гидродинамическое воздействие элементов проточной части центробежных насосов и отдельные виды потерь в центробежных насосах. За счёт гидрофобизации элементов проточной части центробежных насосов было отмечено снижение вибрации на 25–30%, акустического шума на 10–15%, износа механизмов в 2–5 раз, а также снижение потребляемой мощности в среднем на 7–10 Вт

на 1 м³ перекачиваемой жидкости. Представляется целесообразным данный подход также применить на насосном оборудовании магистрального трубопроводного транспорта.

Возможность применения гидрофобных покрытий в сетях водоснабжения была предложена в работе [5, 6]. Модификация внутренней поверхности трубопровода осуществлялась путем введения поверхностно активных веществ с формированием молекулярных слоев. В результате экспериментов на лабораторном стенде были получены оптимальные значения снижения гидравлического сопротивления для трубопровода Ду50 длиной l=4м при угле смачивания $\theta=141^\circ$ и угле скатывания $\alpha=32^\circ$. При увеличении внутреннего диаметра трубопровода величина максимального снижения гидравлического сопротивления уменьшается, для Ду50 оно максимально составило приблизительно 30% в зависимости от скорости потока.

Важной особенностью является выбор определенного гидрофобного материала для каждой конкретной задачи. Материалами для гидрофобного покрытия являются фортеломеры такие как тетрафтороэтилен, фортеломер сульфоната, фортеломер акрилата, метилакрилат. Они обладают такими свойствами как термостойкость, низкое поверхностное натяжение, химическая стойкость, отталкивает воду и жир. Например, коэффициент трения тефлона в 4 раза меньше коэффициента трения стали [6]. Задача по выбору материала для внутренних поверхностей магистрального трубопровода может зависеть от физико-химических характеристик перекачиваемой жидкости и нуждается в дальнейшем исследовании.

При анализе работ, касающихся применения метода модификации поверхностей с помощью нанесения гидрофобных покрытий и создания микро- и наноразмерных структур, можно сделать вывод об эффективности данного метода в отрасли трубопроводного транспорта и нефтедобычи. Для внедрения гидрофобизации в масштабное импользование нужно произвести дополнительные исследования с помощью компьютерного моделирования и произвести дополнительные расчёты по уточнению коэффициента гидравлического сопротивления, который оказывает влияние на гидравлическое сопротивление трубопровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчёт трубопроводных систем с учётом степени гидрофобности внутренних поверхностей / М. А. Морозов [и др.] // Трубопроводный транспорт нефти. – 2016. – № 4. – 131–134 с.
2. Повышение ресурса динамического оборудования путём модификации поверхностей фторосодержащими поверхностно-активными веществами / К. А. Путиев, А. А. Случаев // Вестник арматурщика. – 2015. – № 8. – 42–48 с.
3. О возможности снижения гидравлического сопротивления трубопроводов систем теплоснабжения / В. А. Рыженков, А. С. Седлов, А. В. Рыженков // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 5. – 22–26 с.
4. Морозов М. А. Расчёто-экспериментальные исследования гидравлических характеристик трубопроводов систем теплоснабжения с учётом степени гидрофобности функциональных поверхностей: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.14.04 / М. А. Морозов. – Москва, 2016. – 134 с.
5. Волошин В. В. Использование политетрафторэтилена для уменьшения гидравлического сопротивления проточной части погружных насосов // Доклады III Международной Научно-Технической Конференции "Механика жидкости и газа", 7–9 декабря 2004г., Донецк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://masters.donntu.ru/2005/fema/voloshin/lib/stat1.htm?ysclid=mhg0g72lru539670482>. – Дата доступа: 04.11.2025.