

УДК 397.817

**О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ВНЕДРЕНИЯ МЕТОДА ГИДРОФОБИЗАЦИИ  
ВНУТРЕННИХ ПОКРЫТИЙ ТРУБОПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ  
МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА****Д. САРЕЛО, М. СТУДЕНКОВА**  
(Представлено: А. Н. ВОРОНИН)

*В статье рассмотрены и проанализированы варианты применения гидрофобных покрытий на внутренних поверхностях оборудования магистрального транспорта. Данное покрытие можно применять на трубопроводах, рабочих колёсах насосов для уменьшения энергозатрат. Сделан вывод о необходимости исследования теоретических и практических аспектов гидрофобизации и внедрения метода в масштабное производство.*

Трубопроводные системы играют важную роль во многих сферах деятельности человека. По трубопроводам осуществляется транспортировка жидких энергоносителей, без которых невозможно существование промышленных гигантов. Все трубопроводные системы от нефтепроводных до кровеносной системы человека имеют схожие проблемы – уменьшению диаметра проходного сечения вследствие появления отложений, разрушением стенок под воздействием различных процессов. Все перечисленное приводит к увеличению гидравлического сопротивления.

Анализ современных научно-технических статей показывает, что на сегодняшний день появились перспективные пути развития трубопроводных систем с точки зрения значительного улучшения гидродинамики – создание поверхностей, обеспечивающих появление эффекта проскальзывания. Появление эффекта проскальзывания при течении жидкости по трубопроводам полностью меняет традиционные подходы к расчету трубопроводных систем, в частности, в научном сообществе нет ясности относительно справедливости гипотезы «прилипания» применительно к гидрофобным и ультрагидрофобным поверхностям. Наилучшие результаты показывает сочетание методов инженерии поверхности с применением гидрофобизаторов, что позволяет значительно уменьшать гидравлическое сопротивление.

Существует три способа гидрофобизации:

- Поверхностная – нанесение гидрофобизатора на готовую поверхность;
- Объемная – внесение гидрофобизирующего средства в материал в процессе производства;
- Комбинированная – оптимальный способ, сочетание двух вариантов обработки: поверхностной и объемной.

Преимущества применения гидрофобных покрытий было экспериментально подтверждено в ряде научных исследований. Так, исследование, проведенное на насосном оборудовании [1, 2, 3], 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 м<sup>3</sup> 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 [4,5]. 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. Было отмечено, что существуют оптимальные характеристики гидрофобизирующего слоя (толщина молекулярных слоев поверхностно активных веществ, угла смачивания и скатывания), приводящие к максимальному снижению сопротивления для каждого диаметра трубопровода.

Применение гидрофобных покрытий нашло место и в отрасли добычи нефти [1]. При добыче нефти одной из наиболее распространенных причин отказа нефтепогружного оборудования является солеотложение на погружном электродвигателе, рабочих органах электроприводных центробежных насосов, в фильтрующих системах. Доля отказов установок электроцентробежных насосов достигает до 30% общего числа отказов. Эффективными методами в борьбе с солеотложениями в электроцентробежных насосах являются применением низкоадгезионных рабочих органов электроцентробежных насосов из полимерных материалов с повышенной стойкостью к солеотложению. Рабочие колёса электроцентробежных насосов с гидрофобным покры-

тием на основе полифениленсульфида успешно справляются с солеотложениями. Фильтры входных модулей электроцентробежных насосов, покрытые гидрофобным покрытием, имеют ряд преимуществ перед другими фильтрами: низкое гидравлическое сопротивление, высокая пропускная способность, регенируемость, упругие свойства материала, обеспечивающие длительную и эффективную работу оборудования, уменьшение солеотложения на фильтрующих элементах решётки увеличивая наработку. Кроме того, фильтроэлементы с гибридным гидрофобным покрытием теоретически могут быть использованы для сепарации нефтепродуктов из обводненной пластовой жидкости.

Важной особенностью является выбор определенного гидрофобного материала для каждой конкретной задачи. Материалами для гидрофобного покрытия являются фтортеломеры такие как тетрафторэтилен, фтортеломер сульфоната, фтортеломер акрилата, метилакрилат. Они обладают такими свойствами как термостойкость, низкое поверхностное натяжение, химическая стойкость, отталкивает воду и жир. Данные материалы обладают свойствами которые соответствуют требуемым для придания гидрофобности внутренним поверхностям трубопроводов, узлам и деталям насосных агрегатов, а так же для оборудования используемого в нефтедобыче [6]. Задача по выбору материала для внутренних поверхностей магистрального трубопровода может зависеть от физико-химических характеристик перекачиваемой жидкости и нуждается в дальнейшем исследовании.

В дальнейших перспективах в качестве придания гидрофобности поверхности может появиться возможность использования специальной лазерной технологии по приданию металлу супергидрофобных свойств, впервые проведенной в университете Рочестера [7]. Суть данной технологии заключается в том, что на поверхность металла с помощью фемтосекундного лазера наносятся микро- и наноразмерные структуры, которые способны захватывать и удерживать воздух. Изделия из таких материалов не тонут в воде, даже после повреждений и пробоин, что может свидетельствовать о их долговечности и стойкости к механическому воздействию. При погружении металлической пластины в воду вокруг её образуется воздушный пузырь который выталкивает его на поверхность. Процесс нанесения структуры является очень трудоёмким и дорогостоящим. Для обработки поверхности размером 2,5 см<sup>2</sup> требуется час. Данный метод гидрофобизации является очень перспективным и имеет очень огромный потенциал в трубопроводном транспорте с целью уменьшения гидравлического сопротивления, но для обработки поверхности с большой площадью требуются очень мощные и дорогостоящие лазеры, и доработка самой методики нанесения структуры, что не даёт возможность использования данного метода в масштабных целях на сегодняшний день.

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 использование 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. 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.
2. Повышение ресурса динамического оборудования путём модификации поверхностей фторосодержащими поверхностно-активных веществ / 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. – С.22-26.
4. Морозов М.А. Расчётно-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. – 134с.
5. Г.П. Хованов Исследование влияния гидрофобности поверхностей элементов проточной части на эксплуатационные качества и отдельные виды потерь центробежных насосов: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.04.13 / Г.П. Хованов – Москва, 2012 – 20 с.
6. Официальный сайт представительства компании DuPont / Фторированные ПАВ. Применение при разработке нефтяных месторождений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tio2-titan.ru/Ftor-PAV.pdf> – Дата доступа: 02.04.2021
7. Highly Floatable Superhydrophobic Metallic Assembly for Aquatic Applications / Z. Zhan [et al.] // Applied materials and interfaces – 2021. – №11. – P.12-17.