

УДК 845.556

**ОБЗОР ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ
ПО СНИЖЕНИЮ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ****В. О. САВЕЛЬЕВА***(Представлено: А. Н. ВОРОНИН)*

Данная статья посвящена изучению подходов инженерной биомимикрии. Была представлена идея о применении антифрикционных покрытий, закручивании потока жидкости, пластинчатых покрытий и их преимуществ. Были сформулированы преимущества использования природных технологий в магистральном трубопроводном транспорте.

Трубопроводный транспорт оказывает решающее воздействие на формирование и развитие топливно-энергетического комплекса страны. Важнейшим элементом этого комплекса являются системы, предназначенные для транспортирования жидких и газообразных углеводородных энергоносителей – магистральный трубопроводный транспорт. 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]. Согласно статистике по энергопотреблению, оно стоит на третьем месте после городского транспорта и освещения, что является существенной проблемой.

Гидравлическое сопротивление оказывается со стороны трубопроводной системы и оценивается количеством потерянной удельной энергии, безвозвратно расходуемой на работу сил трения, где поток претерпевает деформацию. Проблема снижения гидравлических потерь в трубопроводах является весьма актуальной. Существует множество методов снижения гидравлических потерь, практическое использование которых позволяет значительно снизить гидравлические потери жидкости в напорных трубопроводах, что позволяет сократить затраты энергии на транспортировку. Одним из альтернативных подходов технических задач является биоинженерия.

Биомимикрия представляет собой область знаний, вытекающих из практики, подражает стратегиям природы, создавшей адаптивные механизмы. Учёными было проанализировано достаточно большое количество материала для перспективного применения некоторых теорий к таким системам как самолеты, подводные аппараты, надводные корабли, поезда, в том числе и трубопроводы. При анализе подходов биоинженерии наше внимание было уделено области применения в магистральном трубопроводном транспорте. Идеи инженерной бионики применимы как к площадочным, так и к линейным объектам трубопроводного транспорта.

Показательным примером биомимикрии является более обтекаемый поезд Синкансэн, который не только едет тише, но и на 10% быстрее, потребляя на 15% меньше электроэнергии [5]. Инженер и орнитолог компании JR West использовал свои знания о безбрызговом входе зимородков и тихом полете сов, чтобы уменьшить шум, издаваемый поездами. Зимородки быстро перемещаются из воздуха, среды с малым сопротивлением, в воду — среду с высоким сопротивлением. Клюв зимородка обеспечивает почти идеальную форму для такого удара. Сходство с обтекаемым клювом зимородка имеет песчаная ящерица, которая благодаря своему естественному покрытию беспрепятственно передвигается в песчаных дюнах. Применение данной идеи в линейной части магистрального трубопроводного транспорта находится в гладкостных покрытиях. Основным достоинством гладкостных покрытий является снижение трения при транспортировке уменьшением шероховатости внутренней поверхности труб, что увеличивает пропускную способность трубопроводов.

Также в отношении линейной части транспорта нефти идеи австрийского изобретателя Виктора Шаубергера, вдохновленного природой, чрезвычайно важны для проектировщиков современных газопроводов, нефтепроводов, и водоводов гидроэлектростанций [3]. Речь идет об использовании явления закрученного потока в трубопроводах, которое до сих пор не используется как положительный эффект. Такой подход может быть использован для снижения динамического сопротивления магистральных трубопроводов и водоводов гидроэлектростанций. При винтовой закрутке потока воды при подаче из водохранилища к гидротурбинам гидроэлектростанций, кинетическую энергию реального водного потока можно значительно увеличить, а значит и высоту плотины можно уменьшить при сохранении той же мощности электроагрегатов. Турбулентное движение предусматривает растрачивание кинетической энергии, превращая её в тепло, что обусловлено беспорядочно зарождающимися и исчезающими вихрями жидкости, которые хаотично сталкиваются друг с другом, а также с ограничивающими поток стенками. Естественное природное течение жидкости и газа представляет собой согласованное окружающей среде вихревое движение.

В традиционных трубах круглого сечения жидкость стремится к естественной закрученной сужающейся форме потока. Однако эта форма потока не соответствует форме трубы. В связи с этим, при движении жидкости в круглой трубе в периферийных зонах возникает интенсивная турбулентность, которая приводит к дополнительным гидравлическим потерям. Закручивание потока по центральной оси с использованием устройств из полимерных покрытий, таких как элементарные вставки-бабочки или закрученная пружина внутри трубы, позволяет значительно снизить энергетические затраты на перемещение содержимого любой транспортной трубы до 7 процентов [2]. Это обусловлено более выгодным энергетическим состоянием естественного вихревого течения жидкости по сравнению с прямолинейным. Установка завихрителя перед трубопроводом круглого сечения позволяет придать потоку жидкости эту естественную форму потока и снизить гидравлические потери. Положительный эффект от устройства можно объяснить тем явлением, что любое тело или вещество, будучи предоставлено само себе, стремится принять наиболее энергетически выгодное состояние, и перемещается по наиболее выгодной траектории, обеспечивающей минимальные потери энергии. Данная установка может иметь вид вихревого выреза в полимерном покрытии, что существенно упрощает процесс изготовления и уменьшает себестоимость.

Следующим эффективным примером биомимикрии является структура рыбьей чешуи, так как благодаря ей исследователи из Лондонского и Штутгартского университетов нашли возможность снизить лобовое сопротивление самолетов и, как следствие, увеличить их скорость [6]. Ученые изучили топологию чешуи европейского морского окуня и карпа. Проведенное исследование позволило сформулировать вывод о том, что перекрывающиеся области на поверхности рыбьей чешуи при контакте приводят к зигзагообразному движению. Зигзагообразное движение жидкости создает так называемый «полосатый поток». Данный вид движения нейтрализует неустойчивые колебания, приводящие к турбулентности. Применение такого экспериментального подхода в авиации способствовало уменьшению аэродинамического сопротивления более чем на 25%. Данное открытие может повлиять на форму полимерных покрытий внутренней поверхности трубопровода, что приведет к ещё большему снижению гидравлических потерь.

Дополнительным примером о возможности применения природного подхода в технических системах является изучение акулы Мако, которая считается самой быстрой из всех существующих акул [7]. Данный вид акулы способен развивать скорость до 100 км/ч. Один из секретов такой подвижности заключается в чешуйках, которые уменьшают сопротивление их тела с водой. Чешуя акул Мако имеет три «зуба». Было выявлено, что чешуйки создают небольшие вихри. В ходе исследования был раскрыт секрет "суперскорости" этого вида акул, заключающийся в способности поднимать чешую, меняя угол наклона ее пластинок. Использование структуры чешуи акулы Мако уже нашло применение в покрытии плавательных костюмов. Эта идея может применяться в адаптивной внутренней поверхности трубопровода, как покрытие с мелкими пластинками, которое так же приведёт к уменьшению гидравлического сопротивления.

Отличительным свойством чешуи является отсутствие задержки на ней бактерий. Так, покрытие, скопированное с чешуи галапагосской акулы фирмой Sharklet [5], представляет собой пластиковый листовый продукт, структурированный для предотвращения роста бактерий. Это изобретение применяется в больницах и других местах с относительно высоким потенциалом распространения бактерий и возникновения инфекций. При эксплуатации нефтепроводов существует проблема асфальтосмолопарафиновых отложений на стенках трубопровода. Данная технология является потенциальным решением данной проблемы.

Касаемо площадочных сооружений наиболее важной частью являются основные насосы, которым требуется много электроэнергии для преобразования энергии вращения в кинетическую энергию. В этом случае наблюдение за природой может помочь решить инженерную задачу улучшения рабочих параметров насоса.

Было замечено, что у китов на краю плавника имеются специальные бугорки, которые помогают им разделять воду на несколько потоков. Исследования установили, что добавление бугорков к передним краям аэродинамических поверхностей напрямую устраняет фундаментальные ограничения обычных аэродинамических характеристик. Такие поверхности имеют такое преимущество, при котором аэродинамические поверхности бугорков обладают повышенной стабильной подъемной силой.

Бугорчатые аэродинамические поверхности обеспечивают стабильную работу в непревзойденном диапазоне углов сваливания и, когда они действительно сваливаются, они останавливаются постепенно, что делает эту технологию ещё лучше. Они буквально революционизируют низкоскоростные характеристики, намного превосходящие любые обычные лезвия. Основываясь на этом, WhalePower Corporation готова применять данную технологию на турбинах, компрессорах, насосах и вентиляторах [8].

В основе ветряных турбин лежит проблема корневой утечки, которая лишает их мощности. Чтобы решить эту проблему, ученые обратились к двум наиболее эффективным естественным способам передвижения в жидкостях: зимородку и кленовым семенам. Зимородок, как отмечалось ранее, обязан своей репутацией благодаря тому, как его клюв позволяет ему нырять в воде с едва заметной рябью, фактиче-

ски перемещая жидкость вокруг себя с точной скоростью. Когда семя клена падает на землю, оно движется по воздуху с наименьшим сопротивлением.

PowerCone основывается на данных принципах зависящей от времени энергоэффективности, он поглощает порывы ветра и плавно направляя ветер от основания к внешним промежуткам лопастей (сглаживает входящие порывы ветра и выравнивает воздушный поток относительно лопастей турбины), увеличивая крутящий момент, уменьшая скорость вращения и увеличивая коэффициент мощности турбины. Это снижает турбулентность, вибрацию и связанные с ними нагрузки на ротор, подшипники и трансмиссию.

Инженерные решения WhalePower и PowerCone могут найти применение в устройстве колёс насосов, которые являются существенным местным сопротивлением. Благодаря технологии PowerCone на лопасти насоса может направляться поток вещества, что стремительно уменьшит показатель местного сопротивления насоса. В связи с высокими энергозатратами увеличение коэффициента полезного действия на каждую сотую долю процента является выигрышным.

Приведенные случаи применения природных адаптивных механизмов окружающей среды и живых организмов показали, что естественный отбор, который происходил в течение 4 миллиардов лет, создал в экосистемах оптимальные инженерные приспособления с лучшими техническими решениями. Исследование существующих адаптивных природных конструкций было проведено с акцентом их экстраполяции на объекты магистрального трубопроводного транспорта.

Проведенный обзор показал, что такие природные механизмы можно использовать, как на линейных, так и на площадочных объектах. Так, для снижения гидравлических потерь в стальных трубопроводах можно применять гладкостные антифрикционные покрытия, закручивание потока с помощью изменения геометрии внутренних полимерных поверхностей, пластинчатое внутреннее полимерное покрытие с мелким размером каждого элемента и адаптивное внутреннее покрытие. Для снижения потерь в магистральном насосном оборудовании можно применить структуру специальных диагональных вырезов на лопатках рабочего колеса и внутренней поверхности корпуса насоса, а также конструкцию, направляющую перекачиваемый поток от центра к периферии рабочего колеса. Данные предложения носят теоретический характер и требуют дальнейших исследований на физическом экспериментальном оборудовании либо в специальных комплексах для моделирования.

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. Иншаков Р.С., Балабуха А.В., Анисимова Е.Ю., Цырендациев Н.Б., Панасенко Н.Л., Цыбуля И.И. / Применение завихрителя потока движущейся среды для снижения гидравлических потерь в трубопроводах // Вестник Евразийской науки, 2018 №3 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/36SAVN318.pdf> – Дата доступа: 11.05.2020
3. В.Шаубергер. Энергия воды. – М.: Яуза-Эксмо, 2007
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
5. Official website of the American Institute of Biomimicry [Electronic resource] / Institute of Biomimicry. — Mode of access: <https://biomimicry.org/biomimicry-examples/>. — Date of access: 05.04.2021
6. Muthukumar Muthuramalingam, Dominik K. Puckert, Ulrich Rist&Christoph Bruecker / Transition delay using biomimetic fish scale arrays [Electronic resource] / – Press Agency «Nature Portfolio». — Mode of access: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-71434-8> – Date of access: 22.01.2021
7. Zhang, Hao Yan, Minghui Zhang, Qingshan Wu, Mingjie Liu, Lei Jiang, Cunming Yu, Mengfei Liu / Bio-inspired drag reduction: From nature organisms to artificial functional surfaces [Electronic resource] / – Press Agency «Elsevier». — Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.giant.2020.100017> – Date of access: 18.02.2021
8. Official website of the international consulting engineering company [Electronic resource] / – Consulting engineering company «WhalePower». — Mode of access: <https://whalepower.com/examples> – Date of access: 05.02.2021