

Таким образом, в результате выполненных исследований:

– произведен расчет напора и расхода жидкости и сделан анализ о влиянии расположения волокон (перпендикулярное, параллельное, радиальное) в матрице композиционного материала футеровки на скорость волны, давление и расход жидкости при гидроударе;

– представлены исследования об определении скорости волны напора и расхода воды при гидроударе для двухслойных труб из композитов методом характеристик; теоретические подходы, разработанные для расчета параметров гидроудара металлических (изотропных) труб, которые можно также применять и для композитных, но с учетом, что скорость ударной волны определяется на основе теории упругости анизотропного тела;

– созданы алгоритм и программа для реализации расчета труб с ортотропным покрытием (композитом) по зависимостям, определяющим скорость волны, повышения давления, напряженное состояние при гидроударе для различных комбинаций слоистых ортотропных (трансверсально-изотропных) свойств трубы и футеровки.

Список литературы

1 **Можаровский, В. В.** Скорость волны при гидроударе и напряженно-деформированное состояние слоистых футерованных труб из ортотропных материалов / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – № 2 (51). – С. 44–51.

2 **Можаровский, В. В.** Влияние расположения волокон в трубе из композита на параметры гидравлического удара / В. В. Можаровский, С. В. Киргинцева // Проблемы физики, математики и техники. – 2023. – № 4 (57). – С. 30–35.

3 **Volnei Titaа.** Theoretical Models to Predict the Mechanical Behavior of Thick Composite Tubes / Volnei Titaа, Mauricio Francisco Caliri Júniorа, Ernesto Massaroppi Juniorb // Materials Research. – 2012. – No. 15 (1). – P. 70–80.

УДК 662.769.21

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДА КАК ТОПЛИВА

А. И. КИРИЛЕНКО, И. Л. БУРДИН

Белорусская государственная академия авиации, г. Минск

Дальнейший прогресс нашей цивилизации связан с решением экологической проблемы. Эта проблема затрагивает все отрасли народного хозяйства, транспорт, промышленность, сельское хозяйство и прочие, исключений нет, однако основой остается энергетика. О темпах обострения экологической проблемы обычно судят по объемам выбросов парниковых газов, уже в 2022 году уровень концентрации парниковых газов превысил уровень доиндустриальной эпохи на 50 %, однако основной причиной загрязнения атмосферы является энергетика, другие отрасли экономики вносят существенный, но несколько иной вклад. Решением проблемы является внедрение альтернативных источников энергии. Цель работы – рассмотрение подходов к решению этой глобальной проблемы в разных странах. Одним из методов решения на данном этапе видится переход к водородной энергетике, не исключается и более широкое применение атомной энергии. Применение водорода во всех отраслях промышленности, включая транспорт, является также актуальным вопросом, который рассматривался и ранее [1], но в связи с современной экологической повесткой стоит наиболее остро.

25 сентября 2015 года государствами – членами ООН была принята Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года. Среди целей Повестки следует выделить те, что подразумевают обеспечение недорогими, надежными, устойчивыми и современными источникам энергии, доступными для всех, и принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями. С этой целью многие страны осуществляют активную деятельность по организации соответствующих исследований, разработке и внедрению принципиально новых технологий. Поэтому необходимо рассмотреть существующие технические решения и сделать вывод об их целесообразности и эффективности, но не только в связи с использованием водорода в химической промышленности или на транспорте, и как топливного ресурса в целом.

В Парижском соглашении по защите климата 2016 года особая роль отводится сокращению выбросов парниковых газов. В качестве одного из методов достижения этой цели рассматривается развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и производство «зеленого» топлива на основе ВИЭ. «Зеленым» топливом называется топливо, получаемое из возобновляемых источников без

использования углеводородного сырья, или, как говорят экологи, без карбонового следа. Энергий такого вида великое разнообразие, например, энергия ветра, приливов, геотермальная энергия, солнечная и другие.

С учетом принятого Европейским союзом обязательства достичь к 2050 году минимальных выбросов оксидов углерода в ФРГ в 2019 г. принят перечень мер, направленных на защиту климата и предусматривающих сокращение к 2030 году выбросов в атмосферу парниковых газов на 55 % по сравнению с уровнем 1990 года. В связи с наличием технологических ограничений по непосредственному использованию энергии ВИЭ в Германии в последнее время уделяют повышенное внимание водороду в качестве альтернативы традиционным ископаемым видам топлива. В 2020 г. в ФРГ была принята «дорожная карта», предусматривающая оказание государством поддержки по введению на рынок зеленого водорода (полученного путем электролиза на основе электроэнергии из ВИЭ) и созданию структур производства, которые позволяют сохранять водород в жидкой и газообразной формах. Также стоит отметить, что водород, используемый в связи с ВИЭ, позволит заменить более экологически грязные источники энергии там, где прямое использование электроэнергии из ВИЭ невозможно. Также известно, что 2 млрд евро зарезервированы для реализации международных партнерских программ. Так, первый пилотный проект строительства завода по производству «зеленого» водорода в Марокко был согласован в июне 2020 года. В целях эффективного решения поставленной проблемы в ФРГ создана отдельная структура – Национальный совет по водородным ресурсам, в состав которого вошли 26 национальных и международных экспертов из научной и промышленной сфер [2].

Очевидно, что переход к максимально экологически чистому водороду (таковым считается зеленый) возможен лишь в долгосрочной перспективе, однако на промежуточном этапе вполне допустимым является использование водорода, полученного иными способами (конверсией метана, к примеру). 8 июля 2020 г. Еврокомиссия представила Европейскую водородную стратегию, предусматривающую развитие отрасли «зеленого» водорода в ЕС в три этапа:

Первый этап – 2020–2024 гг. Цель – использование существующих мощностей по производству «чистого» водорода для применения в определенных отраслях промышленности в целях их декарбонизации, а также содействие использованию водорода в новых областях применения.

Второй этап – 2024–2030 гг. водород должен стать существенной составной частью интегрированной энергетической системы с запланированной целью по установке электролизеров мощностью не менее 40 ГВт к 2030 году и производством до 10 млн тонн «зеленого» водорода. Планируется, что его использование постепенно распространится на такие новые отрасли, как производство стали, грузоперевозки, железнодорожный и морской транспорт. Водород будет по-прежнему генерироваться главным образом вблизи мест потребления или ВИЭ.

Третий этап – 2030–2050 гг. Технологии использования «зеленого» водорода должны стать более совершенными и масштабными, чтобы охватить все сектора, в которых декарбонизация затруднена, а альтернативные решения могут оказаться невозможными или неконкурентоспособными [2].

Одной из стран, принявших свою концепцию развития водородной энергетики, стал Казахстан. Предложенная им концепция определена на срок до 2040 года. Концепция отражает стремление к декарбонизации, диверсификации и переходу к более экологически устойчивым решениям, достижению целей устойчивого развития, а также выполнению международных обязательств по сохранению климата и снижению выбросов парниковых газов [3].

Основными потребителями водорода в мире по отраслям (по данным за 2022) являлись: 45 % – нефтепереработка, 36 % – производство аммиака, 14 % – производство метанола и 5 % – металлургия. На энергетические нужды и транспорт приходилось только 40 тыс. тонн (0,04 %) [3]. Для создания инфраструктуры водородной энергетики в США крупные компании объединились в коалицию и разработали соответствующую дорожную карту [3].

В Китае водородная энергетика является одной из шести отраслей будущего развития. Политика страны дает стратегические инвестиционные возможности для иностранных компаний в целях развития водородной энергетики в стране. В 2020 г. китайский производитель водородных топливных элементов Beijing SinoHytec создала совместное предприятие с японской компанией «Тойота». Важно отметить, что КНР является крупнейшим производителем водорода в мире – около 25 млн тонн водорода (четверть мирового производства) [3]. Также свою концепцию развития водородной энергетики предложила Российская Федерация. Концепция охватывает основные вопросы страте-

гического развития отрасли в целом. Такие страны, как Россия и Китай, делают упор на производство водорода за счет применения ядерной энергии. Это обусловлено тем, что «зеленой» энергетике не отдают предпочтение, как в странах западной Европы, а также есть особенности ее применения. Теперь многие государства разработали программы перехода к водородной экономике. В 2021 г. программу развития водородной энергетике до 2050 г. приняла Россия, в 2023 г. – Беларусь.

Итак, все крупные экономики мира озабочены проблемой декарбонизации. Единственный эффективный путь решения этой проблемы – более широкое использование водорода, причем именно на всех видах транспорта, альтернатива только одна – использование ядерной энергии. По такому пути идут государства, не имеющие достаточных ресурсов для альтернативной энергетике, например Монголия. Такие страны планируют строительство атомных электростанций. Представляется, что такими способами экологическая проблема будет разрешима.

Список литературы

- 1 Brewer, G. D. Hydrogen aircraft technology / G. D. Brewer. – Boca Raton : CRC Press Int, 1991. – 431 p.
- 2 Департамент по энергоэффективности Государственного комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://energoeffect.gov.by/news/news_2020/20200805_news1. – Дата доступа : 10.09.2024.
- 3 Концепция развития водородной энергетике в Республике Казахстан до 2040 года : утв. постановлением Правительства Респ. Казахстан, 30 мая 2024 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://legalacts.egov.kz/npa/view?id=15028374>. – Дата доступа : 10.09.2024.

УДК 539.3, 539.372, 539.62, 51-74

ЧИСЛЕННО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «РОЛИК – ВАЛ» НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ

Н. М. КЛИМКОВИЧ, М. А. НИКОЛАЙЧИК
Белорусский государственный университет, г. Минск

Процесс изнашивания заключается в отделении частиц материала с поверхности твердого тела при трении и/или увеличении остаточных деформаций, которые сопровождаются постепенным изменением размеров этого тела [1]. Испытания на износ проводятся с целью опытного определения способности конкретного материала сопротивляться разрушению, деформации и другим повреждениям в условиях трения. Так, в настоящее время разрабатываются новые материалы, имеющие высокие износоусталостные показатели [2–4]. В свою очередь, компьютерное численное моделирование процесса изнашивания позволяет значительно сократить сроки исследования свойств рассматриваемых материалов и материальные затраты, необходимые для проведения износоусталостных испытаний.

Таким образом, цель данного исследования заключается в проведении численного моделирования напряженно-деформируемого состояния (НДС) системы «вал (образец) – ролик (контробразец)» в динамической постановке, возникающего в ходе проведения испытаний на износостойкость в условиях качения без проскальзывания (рисунок 1).

Численное моделирование проводилось на базе метода конечных элементов (МКЭ), реализованного в расчетном программном пакете Ansys Mechanical APDL. Задача рассматривалась в динамической постановке. Процесс изнашивания описывался моделью Арчарда [5]

$$\dot{w} = \frac{C_1 p^n v^m}{h}, \quad (1)$$

где \dot{w} – скорость изнашивания материала; C_1 , n , m – некоторые константы; p – контактное давление; v – скорость скольжения; h – твердость материала (равна трети от предела прочности на сжатие).

В качестве материала образца использовался алюминиевый сплав Д16, материала контробразца – сталь 18ХГТ. Кроме того, учитывалось нанесение различных покрытий на поверхность вала в области контакта путем изменения констант C_1 , n , m модели (1). Верификация полученных результатов проводилась по данным экспериментальных исследований [6].

Для сокращения вычислительных затрат, необходимых для проведения численного эксперимента, геометрическая модель ролика, размеры которого значительно больше размеров вала, была заменена некоторой его частью (рисунок 2). В ходе численного моделирования считалось, что данный участок ролика может перемещаться только в вертикальном направлении.