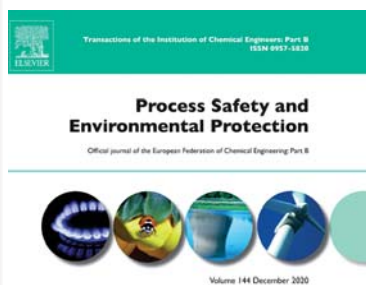


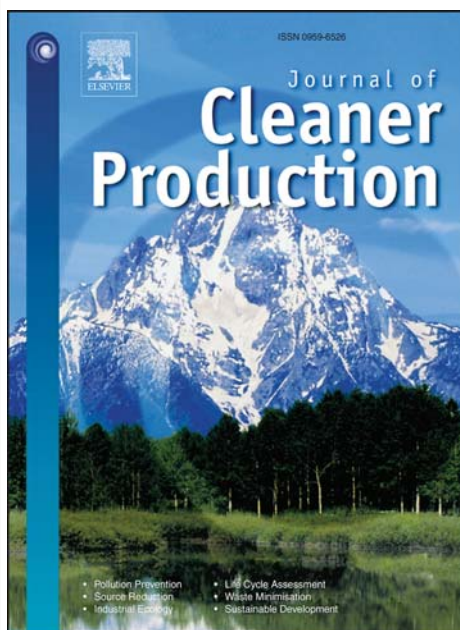
РЕФЕРАТИВНЫЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ ИЗДАНИЙ**Process Safety and Environmental Protection 143 (2020) 164–176**

**ВОДОРОДНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА – ПОДХОД, ОСНОВАННЫЙ
НА ЭФФЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ РИСКОВ И ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ,
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ И ПРАКТИЧНЫХ РЕШЕНИЙ**

Олав Роальд Хансен (Норвегия)

С целью сократить вредные выбросы от транспорта в настоящее время используется ряд транспортных средств и морских судов, работающих на водороде. Для развития этого направления существует потребность в инфраструктуре для производства и транспортировки газообразного и жидкого водорода. Проблемы безопасности, связанные с использованием водорода, а также тот факт, что его характеристики и сильно отличаются от характеристик типовых видов топлива, свидетельствуют о том, что для безопасного проектирования транспортной инфраструктуры могут потребоваться нестандартные решения. Водород обладает рядом экстремальных свойств. Он плавуч, когда находится в газообразной фазе, в то время как при распылении жидкого водорода образуется плотный шлейф. Реакционная способность водорода выше, диапазон воспламеняемости шире, а энергия воспламенения ниже, чем у обычных видов топлива. Пламя может быть невидимым, а уровень излучения низким. Эти аспекты следует учитывать при проведении оценки рисков для целей планирования территории, а также оценки безопасности бункеровки или безопасности пассажиров и экипажа. Такие свойства, как избыточная плавучесть, сильное разбавление при звуковых выбросах в воздух, а также низкая реактивность и энергосодержание при концентрациях ниже 10 % должны быть учтены при проектировании для обеспечения приемлемого уровня риска. В данной статье представлен двухуровневый подход к оценке рисков и оптимизации проектирования, в котором на этапе выбора концепции может быть выполнен скрининг рисков с быстрым вычислением последствий и оценкой частоты выбросов, рассеивания, пожара и взрыва с ориентировочными оценками опасных расстояний. Таким образом, выявляются возможные риски, на основании чего можно скорректировать проект или принять меры по смягчению последствий различных аварий. Для окончательной оценки проектных рисков и более точной оценки последствий могут быть выполнены CFD-расчеты. Подход, основанный на оценке рисков, описан в статье с иллюстрированными примерами. Также в статье уделяется внимание не только самому обеспечению безопасности, но и тому, как организовать его экономически эффективным и практичным способом.

Ключевые слова: *взрыв, водородная безопасность, дисперсия, CFD-моделирование*



Journal of Cleaner Production 248 (2020)

ПОТЕРИ ВОДОРОДА ПРИ РАБОТЕ ЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Маттео Дженовезе (Италия), Дэвид Блехман (США), Майкл Дрей (США), Петронилла Фрагакомо (Италия)

В данной статье описывается инженерный подход к учету водорода от момента производства до распределения на водородном исследовательском и заправочном предприятии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, оснащенном электролизером для производства на месте эксплуатации. В частности, процесс учета был осуществлен путем углубленного изучения текущей практики и баз данных, а его анализ был основан на данных из ежеквартальных отчетов о параметрах производства и распределения водорода, а также из системы сбора данных станции. Описано, как станция справилась с данным анализом, исследуя несколько своих участков. Далее следует оценка возможных критических точек, сопровождаемая соображениями, расчетами, математическим моделированием и анализом базы данных. Анализ привел к заметному улучшению технологий в области эксплуатации станции. Для большинства проанализированных месяцев было установлено, что текущий средний процент потерь составляет от 2 до 10 %, тогда как ранее он составлял от 30 до 35 %. Этот текущий диапазон процентных значений (2–10) % включает в себя все проведенные эксперименты, разряжение буферных резервуаров, перезагрузку дозатора, вентиляцию трубопроводов, неопределенность массового расходомера внутри дозатора (± 5 %) и неотъемлемую неопределенность закона Фарадея для оценки производства водорода. Среди всех проанализированных областей наиболее важной оказалась деятельность по техническому обслуживанию станции, что привело к несоответствию данных при учете водорода. Целью документа также является предоставление инструкции с рекомендуемыми практиками, основанными на опыте авторов, для операторов станций и строителей, включая ряд мер для мониторинга утечек, предотвращения и устранения неполадок.

Ключевые слова: *водородная станция, рекомендуемые методы, оценка водорода, учет водорода, предотвращение утечек*



Nuclear Engineering and Design

377 (2021) 111152

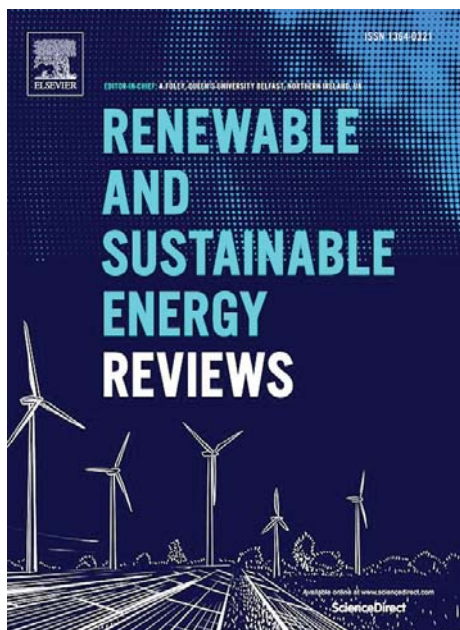
ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО МАСШТАБИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА РЕКОМБИНАЦИИ ВОДОРОДА НА ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УТЕЧЕК ВОДОРОДА

Л.Б. Гарднер, Б. Ибех, Дж. Мерфи, Дж. Аллейн, С. Енг, К. Ченард (Канада)

После многих лет экспериментов с пассивным автокаталитическим рекомбинатором (PAR) и аналитических исследований все еще существуют пробелы в понимании принципов работы PAR. Например, все еще требует изучения производительность PAR в тяжелых аварийных условиях, включая проблемы, связанные с низким содержанием кислорода, присутствием монооксида углерода и реактивных или неактивных аэрозолей.

После закрытия крупномасштабных установок для испытаний водорода в Whiteshell Laboratories (WL) AECL в Chalk River Laboratories (CRL) была введена в эксплуатацию новая установка для испытаний на безопасность водорода (HSTF) для продолжения изучения PAR и его работы при различных сценариях аварий. Установка HSTF представляет собой сферический сосуд высокого давления с внутренним объемом 0,25 м³. В данной статье представлены эксперименты, проведенные на установке HSTF, в которых исследуется масштабирование PAR при различных концентрациях H₂ и пара, а также влияние начальной температуры и давления газа. Экспериментальные данные, полученные из установки HSTF (0,25 м³), будут сопоставлены с данными, полученными на крупномасштабных установках (6,6 м³ и 60 м³). Это необходимо для расчета коэффициента масштабирования для установки HSTF с разумным соответствием диапазону испытываемых условий.

Ключевые слова: *испытательный комплекс, испытание на безопасность, рекомбинация водорода, безопасность водорода*



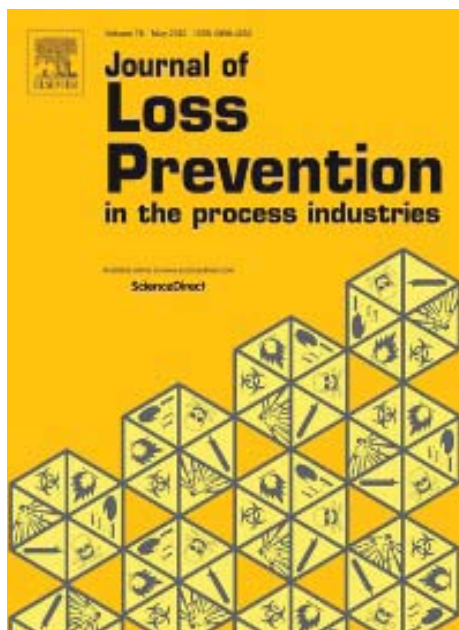
Renewable and Sustainable Energy Reviews 149 (2021) 111311

ТЕХНОЛОГИИ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА ДЛЯ СТАЦИОНАРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ: ОБЗОР, АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

И.А. Хассан (Египет, Франция), Хайтам С. Рамадан (Египет, Франция), Мохаммед А. Салех (Египет),
Даниэль Хиссель (Франция)

Системы хранения водорода (HSS) являются основой реальной водородной экономики. Чтобы обеспечить надежную систему возобновляемых источников энергии, необходима безопасная, экономичная и компактная система HSS. Системы хранения в физической форме включают в себя технологию сжатого газа, жидкости и криосжатия, в то время как системы хранения на основе материалов включают в себя адсорбирующие материалы, гидриды металлов и химические материалы для хранения. В этой статье беспристрастно рассматриваются особенности различных систем HSS. Технический сравнительный анализ различных физических и материальных типов HSS иллюстрирует присущие этим системам парадоксальные характеристики, в том числе гравиметрические и объемные плотности хранения и параметры, связанные с процессами хранения и высвобождения. Соответственно, ни один метод хранения водорода не может считаться идеальным для всех видов стационарного и мобильного применения водорода. Таким образом, нет единого решения проблемы систем HSS одним единственным способом, однако комбинация систем HSS предлагает разработчикам больше вариантов. В данном обзоре представлены критические выводы и рекомендации относительно подходящего применения различных систем хранения. Приведены различные стандарты и своды правил наряду с соответствующими тестами для разных технологий хранения. Кроме того, приведен обзор исследовательской работы, касающейся сосудов для различных технологий хранения водорода. Дополнительно в работе исследуется поведение при отказе, а также критерии и модели прогнозирования для композитных сосудов, подвергающихся воздействию высокого давления и экстремальных температур, ухудшающих их механические характеристики и устойчивость к отказам.

Ключевые слова: *технологии хранения водорода, композитные сосуды высокого давления, стандарты и своды правил, хранение водорода в физической форме, хранение водорода с использованием материалов, носитель водорода*



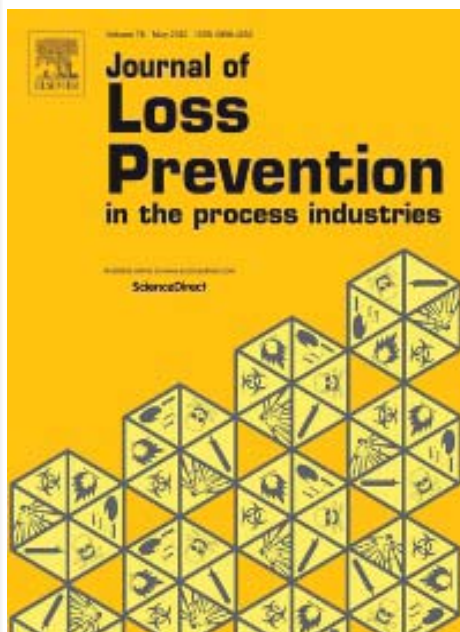
**Journal of Loss Prevention in
the Process Industries 71 (2021)
104479**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЦЕНАРИЕВ АВАРИЙ, ВЫЗВАННЫХ ВНУТРЕННИМИ ФАКТОРАМИ,
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИССЛЕДОВАНИЯ HAZOP
ДЛЯ ОЦЕНКИ СТАНЦИИ ЗАПРАВКИ ОРГАНИЧЕСКИМ ГИДРИДНЫМ ВОДОРОДОМ
С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТИЛЦИКЛОГЕКСАНА**

Томоя Судзуки, Юитиро Изато, Ацуми Миякэ (Япония)

Станции заправки органическим гидридным водородом были отмечены как станции, на которых можно использовать практически осуществимый способ заправки, основанный на системе органического химического гидрида, включающей метилциклогексан (MCH) для транспортировки водорода. Такая станция имеет преимущество в том, что для хранения и транспортировки метилциклогексана не требуется большого количества энергии по сравнению со сжатым и сжиженным водородом, поэтому станция может использовать существующую инфраструктуру. Такой тип станции включает в себя ряд опасных материалов, поэтому авторы провели идентификацию аварийных сценариев и оценку рисков. Однако в выборке доступных исследований использовалась концептуальная модель проектирования, поэтому в них не были определены конкретные аварийные сценарии, вызванные внутренними факторами. Исходя из этого, целью данного исследования является выявление аварийных сценариев, вызванных внутренними факторами, которые могут повлиять на станцию заправки органическим гидридным водородом. В этой работе авторы использовали исследование опасности и работоспособности (HAZOP) и изучили меры безопасности для различных сценариев. В результате исследования HAZOP было выявлено 105 аварийных сценариев, которые были разделены на две следующие группы; (I) в сценариях предполагалось, что вещества воспламенились после их выброса в атмосферу, и (II) в сценариях предполагалось, что вещества воспламенились до их выброса. Значимыми сценариями в группе (I) были пожары в бассейнах с метилциклогексаном или толуолом, пожары струй водорода, взрывы паров газа или внезапные пожары. Важные сценарии, попавшие в группу (II), были недавно определены в текущем исследовании. Таким сценарием стал взрыв взрывоопасной смеси, образованной газовой фазой толуола и кислорода из вентиляционной линии, подсоединенной к резервуару, из-за статического электрического заряда в резервуаре. Для каждого сценария были рассмотрены меры безопасности для предотвращения развития аварии со ссылкой на действующие законы и правила Японии.

Ключевые слова: *водородная заправочная станция, органический гидрид, идентификация сценария, исследование HAZOP*



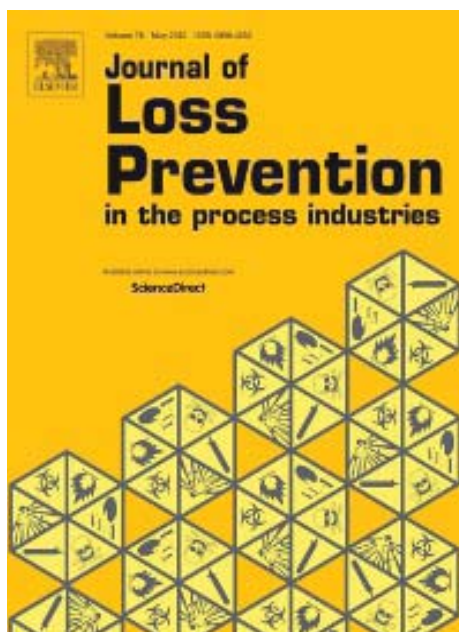
**Journal of Loss Prevention in
the Process Industries 72 (2021)
104569**

**ОБЗОР ПО ВОПРОСАМ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЦЕССАХ ХРАНЕНИЯ,
ТРАНСПОРТИРОВКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА**

Эльхам Абохамзе (Иран), Фатеме Салехи (Австралия), Мохсен Шейхолеслами (Иран), Рузбе Абасси (Иран),
Фейсал Хан (Канада)

Водород считается отличным чистым топливом с потенциальным применением в различных областях. Существуют серьезные проблемы безопасности, связанные с процессом получения водорода. Эти проблемы необходимо тщательно изучить и устранить, чтобы обеспечить его безопасную эксплуатацию. Чтобы лучше понять проблемы безопасности, связанные с использованием, применением и процессом производства водорода, важно провести подробный анализ рисков. Здесь может помочь выполнение детального моделирования последствий и оценки риска с использованием подхода вычислительной гидродинамики (CFD). В этом исследовании всесторонне рассматриваются и анализируются проблемы безопасности, связанные с водородом, уделяется особое внимание процессам хранения, транспортировки и применения водорода. Для анализа связанных с этим опасностей исследуется ряд сценариев выброса и рассеивания водорода. Также кратко обсуждаются подходы к количественной оценке рисков.

Ключевые слова: *дисперсионное моделирование, пожар и взрыв, вычислительная гидродинамика (CFD), водородная безопасность, хранение и доставка водорода*



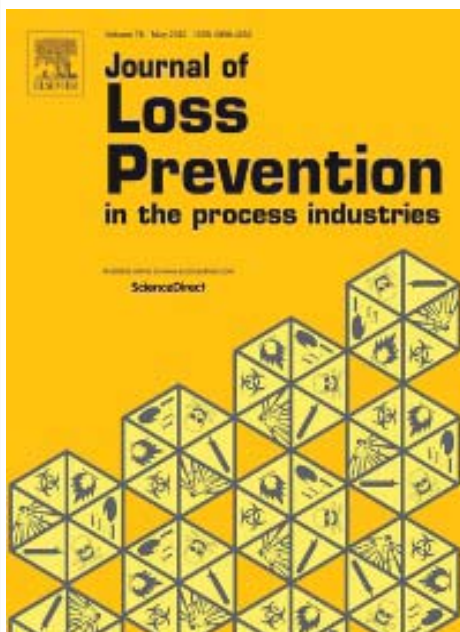
**Journal of Loss Prevention in
the Process Industries 73 (2021)
104612**

**ИНГИБИРОВАНИЕ ВОДОРОДА В СИСТЕМАХ МОКРОГО ПЫЛЕУДАЛЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ L-АСПАРАГИНОВОЙ КИСЛОТЫ:
ВОЗМОЖНЫЙ СПОСОБ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВЗРЫВА ВОДОРОДА**

Ююань Чжан, Кайли Сюй, Мэньюань Ли, Бо Лю, Бен Ван, Цзяхуань Ли, Синьюэ Пей (Китай)

Пыль сплава, образующаяся при шлифовании ступиц автомобильных колес, после попадания в мокрый пылеуловитель вступает в реакцию с водой с образованием водорода, тем самым подвергая всю систему вентиляции и пылеудаления потенциальному риску взрыва водорода. В данной работе был изучен механизм ингибирования, а также кинетические характеристики различных концентраций L-аспарагиновой кислоты (L-Asp) при реакции сплава $Al_{0,9}Mg_{0,1}$ с водой в части морфологии адсорбции, химического кинетического моделирования и молекулярной динамики с использованием L-Asp в качестве экологически безопасного ингибитора водорода. Результаты показывают, что в пределах заданного температурного интервала скорость образования водорода из пыли сплава $Al_{0,9}Mg_{0,1}$ уменьшается с увеличением концентрации L-Asp. Когда концентрация L-Asp превышает 1,0 г/л, скорость выделения водорода практически равна нулю. Рассчитанные результаты химической кинетики согласуются с моделью адсорбции Ленгмюра, подтверждая, что L-Asp является идеальной однослойной физической адсорбционной системой на поверхности частиц сплава. Результаты ИК-Фурье спектроскопии и метода классической молекулярной динамики показывают, что группы $-NH_2$ и $-COOH$ в молекулах L-Asp значительно участвуют в адсорбции. Результаты исследований, представленные в данной статье, помогут избежать образования водорода во влажных пылеуловителях и гарантировать искробезопасность.

Ключевые слова: *L-Asp, молекулярная динамика, модель адсорбции, энергия водорода, сплав Al-Mg*



Journal of Loss Prevention in the Process Industries 75 (2022) 104679

ВЛИЯНИЕ ДЛИНЫ ГАЗОВОГО ОТСЕКА И УСЛОВИЙ СБРОСА ДАВЛЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЗРЫВА ПРИРОДНОГО ГАЗА В ИНЖЕНЕРНЫХ ТОННЕЛЯХ

Имен Чжао, Цзяньсун Ву, Жуй Чжоу, Цзитао Цай, Ипин Бай, Лэй Панг (Китай)

С развитием урбанизации строительство служебных тоннелей облегчает жизнь людей, но оно также связано с новыми потенциальными угрозами. Например, взрыв газа, происходящий в отсеке для природного газа, может представлять серьезную угрозу для безопасной эксплуатации служебных тоннелей. В данной работе идет речь о созданной экспериментальной установке для моделирования процесса взрыва природного газа в служебных тоннелях с целью исследования влияния длины газового отсека и условий сброса давления на характеристики пламени. Кроме того, в работе всесторонне изучены несколько параметров, связанных с последствиями взрыва газа. Результаты показывают, что вспомогательные сооружения в отсеке для природного газа (рассматриваемые как препятствия) не могут создать крупномасштабную зону рециркуляции, но создают турбулентность небольшого размера. Максимальное избыточное давление сначала увеличивается, а затем уменьшается вместе с увеличением длины газового отсека. Также установлено, что различные места сброса давления оказывают большое влияние на характеристики взрыва в служебных тоннелях. Данное исследование может предоставить техническую поддержку для безопасного управления служебными тоннелями. При этом в работе выдвигаются некоторые предложения относительно методов подавления взрыва, а также конструкции отверстий для сброса давления в служебном тоннеле.

Ключевые слова: *служебный тоннель, взрыв газа, длина газового отсека, условия сброса давления, избыточное давление*

Материал (поступил в редакцию 18.05.2022 г.) подготовили:

Ю.В. МЕЛЬНИКОВА, инж.;
Н.В. САЙГИНА, ст. науч. сотр.;
Е.О. СМИРНОВА, науч. сотр.;
А.И. МИРОНОВА, науч. сотр.
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России)