субстрата шрота зеленого гороха, полученного после повторной ультразвуковой экстракции и при исходной концентрации субстрата 50 г/л.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00336.

1. Pan X., Zhu J. An update on sulfite pretreatment of lignocellulosic biomass for effective production of cellulose ethanol // Proceeding of the 16 ISWFPC. Tianjin (2011) pp. 968-972.
2. А.П. Карманов, В.В. Володин, Л.С. Кочева, А.В. Рудковский, С.А. Кузнецова. Влияние ультразвуковой кавитации на реакционную способность лигноцеллюлозных субстратов при биоконверсии растительной биомассы // Бутлеровские сообщения – Том 39, №9 (2014), с.52-57.
3. T.Su, D. Zhao, M. Khodadadi, C. Len Lignocellulosic biomass for bioethanol: Recent advances, technology trends, and barriers to industrial development. Review article // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry - Volume 24 (2020), pp. 56-60.
4. S. Soltaniana, M. Aghbashlo, F. Almasi, H. Hosseinzadeh-Bandbafha, A. Nizami, Y. Sik, O. Su A critical review of the effects of pretreatment methods on the exergetic aspects of lignocellulosic biofuels // Energy Conversion and Management - Volume 212, 15 (2020), 112792.
5. Y. Tang, M. An, K. Liu, S. Nagai, T. Shigematsu, S. Morimura, K. Kida. Ethanol production from acid hydrolysate of wood biomass using the flocculating yeast *Saccharomyces cerevisiae* strain KF-7 // Process Biochemistry.-V. 41, Issue 4 (2006)- pp.909-914.
6. Л.В. Римарева Биологические аспекты переработки растительного сырья на топливный биоэтанол // Производство спирта и ликероводочных изделий. - № 3. (2007)- С. 4-10.
7. A.Arevalo-Gallegosa, Z. Ahmad, M. Asgher, R. Parra-Saldivar, M.N.Iqbala Lignocellulose: A sustainable material to produce value-added products with a zero waste approach. A review // International Journal of Biological Macromolecules – Vol. 99, (2017), pp. 308-318.
8. D.Q. Zheng, X.Ch. Wu, X.L. Tao, P.M. Wang, P. Li, X.Q. Chi, Y.D. Li, Q.F. Yan, Y.H Zhao. Screening and construction of *Saccharomyces cerevisiae* strains with improved multi-tolerance and bio-ethanol fermentation performance // Bioresource Technology. - V. 102, Issue 3. (2011) - pp.3020-3027.
9. B. Wang, X.M. Ge, N. Li, F.W. Bai Continuous ethanol fermentation coupled with recycling of yeast flocs // Chinese Journal of Biotechnology. - V. 22, Issue 5 (2006).- pp.816-821.
10. Патент РФ № 2665080. Способ получения крахмала из растительного сырья/ М.Г. Сульман, Е.В. Ожимкова, Э.М. Сульман.

Суфиянов Р.Ш.

Аммиак как источник водорода

*Бронницкий филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
(Россия, Бронницы)*

doi: 10.18411/trnio-10-2021-56

Аннотация

Применение водорода как топлива вызывает определенные трудности, связанные, в частности, с его транспортированием и хранением. Эти проблемы могут быть решены, если в качестве источника водорода использовать аммиак.

Ключевые слова: Водород, аммиак, транспортирование, хранение, использование, расщепление, катализатор.

Abstract

The use of hydrogen as a fuel causes certain difficulties associated, in particular, with its transportation and storage. These problems can be solved by using ammonia as a hydrogen source.

Keywords: Hydrogen, ammonia, transportation, storage, use, splitting, catalyst.

Одной из важнейших задач общественности во всем мире является решение проблемы глобального (потепления) изменения климата на Земле. ООН предусматривает

необходимость сдерживания повышения температуры, путем снижения уровня глобальных выбросов парниковых газов. В докладе ООН за 2019 год подчеркивается, что необходимо в период с 2020 по 2030 годы сдерживать рост температуры на нашей планете до 1,5 °С, ежегодно сокращая выбросы парниковых газов на 7,6% [1].

Международные эксперты полагают, переориентация отраслей всех стран на возобновляемые источники энергии, разработка устойчивых технологий, не связанных с углеводородами и выбросами их в атмосферу, позволит уменьшить мировые выбросы парниковых газов и построить зеленую экономику.

Запасы водорода на Земле огромны, благодаря формированию им ковалентных связей с большинством неметаллов. Он является самым легким и наиболее распространенным химическим элементом на Земле и во Вселенной. Водород в промышленном масштабе получают в частности электролизом воды, конверсией природного газа, газификацией угля [2,3]. Водород содержит в 2,5 раза больше энергии на единицу массы, по сравнению с природным газом и бензином, но его недостаток - гораздо более низкая плотность энергии на единицу объема в его газообразной форме в условиях окружающей среды.

С начала 70-х годов топливный кризис заставил обратить более пристальное внимание на использование водорода для тепловых двигателей и во многих странах стали проводить комплексные исследования по вопросам декарбонизации выбросов и распространению водородной энергетики. Было созвано первое совещание по водородной энергетике в СССР в марте 1975 года в Минске и, благодаря руководству М.А. Стыриковича и Рабочей консультативной группе при Президиуме АН СССР, начаты широкие исследования по актуальным проблемам развития энергетики мира и его регионов. Затем прошли первые Всемирные конференции в США - 1976 году (Майами-Бич), в Швейцарии - 1978 году (Цюрих), в Японии - 1980 году (Токио) и в СССР - 1982 году [4].

По данным Международного энергетического агентства (МЭА) с 1975 года спрос на водород возрос более чем в три раза — с 18 до более 70 млн т в год. Из этого количества использовали: в нефтепереработке - 38 млн т, в химической промышленности для производства аммиака - около 32 млн т, другие отрасли - 4 млн т (из них около половины в производствах метанола и стали) [5].

Крупнотоннажные системы производства водорода имеют единичную объёмную производительность от 10 до 100 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$. Малотоннажным называют производство водорода с уровнем единичной объёмной производительности в диапазоне от 10 до 1000 $\text{нм}^3/\text{ч}$. От 1 до 5 % получаемого водорода находит применение в малотоннажных, наукоёмких отраслях промышленности: электронной, электротехнической, стекольной, фармацевтической, пищевой; выплавке металлов и сплавов высокой чистоты; синтезе химически высокоактивных веществ и других отраслях [6].

Для перехода на зеленую энергетику в последнее время разрабатывается еще одно сырье для получения экологически чистого водорода – «голубой» аммиак. Голубым считается аммиак, получаемый из природного газа (а в некоторых случаях и из угля), если при его производстве применяется система улавливания и связывания углерода (CCS). Аммиак (NH_3) - бинарное неорганическое химическое соединение азота и водорода, которое содержит три молекулы водорода и одну молекулу азота, и также как водород, он не выделяет углекислый газ при сжигании. Плотность аммиака почти вдвое меньше, чем у воздуха, а при нормальных условиях это бесцветный газ с резким характерным запахом.

Аммиак намного легче сжижать, чем водород, проще хранить и транспортировать. Поэтому его можно использовать в качестве носителя для хранения и транспортировки водорода. В отличие от водорода аммиак можно сжижать при комнатной температуре при давлении 8-10 бар и хранить также как пропан. В то же время для хранения водорода требуется специальное более дорогое криогенное оборудование. Еще одним преимуществом аммиака как источника топлива является то, что в сжиженном аммиаке содержится по объему на 50 % больше водорода, чем в сжиженном водородном топливе [7]. Работа с аммиаком, несмотря на его токсичность, является более безопасной, так как его запах при

утечке можно определить даже при самых небольших и безопасных концентрациях. Кроме того, жидкий аммиак по сравнению с водородом характеризуется узким интервалом воспламенения и является практически негорючим и взрывобезопасным, а водород это горючий газ, который горит невидимым пламенем.

Saudi Aramco и Институт энергетической экономики Японии (IEEJ) в партнерстве с гигантом химической промышленности SABIC выпустили сорок тонн «высококачественного» «голубого» аммиака, который будет использоваться в Японии для выработки электроэнергии с нулевыми выбросами углерода. Многие ведущие энергетические сектора нефтяных компаний все больше полагаются на природный газ и возобновляемые источники энергии [8].

Международные ведущие компании автопрома и российские планируют запуск линеек электромобилей. У многих в планах к 2030 году прекратить выпуск автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, чтобы сократить выбросы углекислого газа в атмосферу и темпы глобального потепления.

Одним из перспективных направлений применения аммиака является использование его в топливных элементах в качестве источника водорода. В аммиаке содержится 17 % масс. водорода, для извлечения которого используют метод термокаталитического разложения или электрокисления.

Рисунок 1. Условная принципиальная схема работы топливного элемента на водороде и кислороде [10]

Известно, что топливные элементы предназначены для выработки электроэнергии и их различают несколько типов. Одними из перспективных топливных элементов, являются водород-воздушные топливные элементы с протонообменными мембранами PEMFC. Мембраны разделяют катод и анод в топливном элементе, и обладают свойством пропускать только катионы водорода (протоны) [9]. Катод и анод представляют собой угольные матрицы, покрытые катализатором. На аноде молекулярный водород диссоциирует и отдает электроны, которые передаются на внешнюю электрическую сеть. На катоде молекулярный кислород образует молекулу воды, соединяясь с протоном, прошедшим мембрану и электроном из электрической сети (рис. 1). Перемещение (поток) электронов в сети приводит к возникновению электрического тока в сети.

Для того чтобы получить водород из аммиака электрохимическую ячейку с протонпроводящей мембраной дополняют катализатором расщепления, на котором происходит разделение аммиака на азот и водород.

Исследования в настоящее время направлены на получение новых видов катализаторов, позволяющих расщеплять аммиак при относительно низких температурах. Ученые из Токийского технологического института в результате проведенных исследований получили, что добавление имида кальция (CaNH) позволяет снизить температуру каталитического расщепления аммиака на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем температура при которой аммиак разлагается при использовании обычных катализаторов на основе никеля [11]. По утверждению ученых им удалось получить высокоактивный и долговечный катализатор Ni/CaNH , который может успешно использоваться для разработки эффективных катализаторов нового поколения, способствующих низкотемпературному расщеплению аммиака с получением чистого водорода.

Таким образом, аммиак на современном этапе стремления к безуглеродной экономике, может сыграть ключевую роль в широкомасштабном внедрении водородной энергетики, решая при этом основные ее проблемы, связанные с транспортированием и хранением водорода.

1. Доклад ООН: странам мира надо сокращать выбросы парниковых газов ежегодно на 7,6% до 2030 г. Электронный ресурс: <https://ru.investing.com/news/economy/article-1931770>.
2. Суфиянов Р.Ш. Получение водорода электролизом //Тенденции развития науки и образования. 2021. № 71-2. С. 64-68.
3. Суфиянов Р.Ш. Конверсия природного газа //Тенденции развития науки и образования. 2021. № 69-1. С. 142-145.
4. Варшавский И.Л., Мищенко А.И., Макаров А.А., Талда Г.Б. Анализ работы поршневого двигателя на водороде. Известия вузов. Машиностроение. 1977. № 10. С.110-114.
5. Водород: эпоха возрождения? Электронный ресурс: <https://oilcapital.ru/article/general/10-09-2020/vodorod-epoha-vozrozhdeniya>.
6. Крупнотоннажные системы производства водорода имеют единичную объёмную производительность от 10 до 100 тыс. $\text{Нм}^3/\text{ч}$. Электронный ресурс: <https://www.c-o-k.ru/articles/novye-tehnologii-razlozheniya-vody-v-ssha-i-rossii>.
7. Аммиак нам в помощь для перехода к водородной экономике. Электронный ресурс: <https://naukatehnika.com/ammiak-kak-istochnik-vodoroda-dlya-toplivnyix-elementov.html>.
8. Голубой аммиак: еще один крупный прорыв в водородной энергетике. Электронный ресурс: <https://energосmi.ru/archives/46207>.
9. Топливный элемент на водороде: описание, характеристики, принцип работы, фото. Электронный ресурс: <https://fb.ru/article/405730/toplivnyi-element-na-vodorode-opisanie-harakteristiki-printsip-raboty-foto>.
10. Электронный ресурс: https://yandex.ru/images/search?text=njgkbdysq%20%27ktvtyn&family=yes&from=tabbar&pos=2&img_url=https%3A%2F%2Fgazpronin.ru%2Fpicto%2FFuelCell.png&rpt=simage.
11. Новый катализатор способен выделять водород из аммиака при невысоких температурах. Электронный ресурс: <https://news.rambler.ru/science/47125180-novyy-katalizator-sposoben-vydelyat-vodorod-iz-ammiaka-pri-nevysokih-temperaturah/>.

Ханжина Е.Г.

Влияние катализаторов на олигомеризацию ϵ -капролактама под действием спиртов

*Вятский Государственный Университет
(Россия, Киров)*

doi: 10.18411/trnio-10-2021-57

Аннотация

Доказана эффективность применения солей редкоземельных металлов: лантана, церия и диспрозия в качестве катализаторов образования олигомеров на основе ϵ -капролактама и спиртов. Сравнительный анализ позволил определить, что применяемый катализатор напрямую влияет на степень олигомеризации: для солей свинца характерно образование