

**ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОМИСЛОВОГО  
ВИРОБНИЦТВА ВОДНЮ****З. С. СІРКО**, кандидат технічних наук**О. С. ПРОТАСОВ**, завідувач відділом**В. А. КОРЕНДА**, заступник завідувача відділом**І. Ю. ВИШНЯКОВ**, науковий співробітник**С. М. ОХРИМЕНКО**, провідний фахівець**Д. П. ТОРЧИЛІВСЬКИЙ**, молодший науковий співробітник**Т. Л. ЄРЕМЕНКО**, молодший науковий співробітник*Український державний науково-дослідний інститут «Ресурс»*

E-mail: z.sirko@ukr.net

<https://doi.org/dopovidi2021.05.015>

***Анотація.** На сьогодні у багатьох країнах прийняті та реалізуються програми, як національного так і міжнародного спрямування із розроблення водневої енергетики, у тому числі на основі відновлювальних джерел енергії. Деякі країни повністю переходять на водневу енергетику: двигуни на основі водню встановлюють на автомобілі, катера, джерелами тепла на основі водню опалюють будинки. Перехід на водневу енергетику з використанням відновлювальних джерел енергії дає можливість суттєво зменшити залежність від постачальників нафти і газу, а також вирішити екологічні проблеми. Є декілька технологій виробництва водню. Одна із них – метод електролізу із води, яка є досить енергозатратною, а також потребує неефективного використання питної води. Інша – риформінг із метану (природного газу), у результаті якої отримують, в основному, «сірий» водень, що не відповідає екологічності. У статті автори пропонують перспективну технологію промислового виробництва «зеленого» водню із промислових та побутових відходів і біомаси.*

***Ключові слова:** водень, технологія виробництва, обладнання, властивості, споживання*

**Актуальність.** Ідея використання водню в енергетиці не нова. Ще у 80-і роки ХХ ст. були розроблені двигуни на водневому паливі. На сьогодні у всіх розвинутих країнах (США, ЄС, Японії, Китаї) прийняті та реалізуються національні й міжнародні програми із

розроблення елементів водневої енергетики, у тому числі на основі відновлювальних джерел енергії [1].

Бажання Європи і США розвивати альтернативну енергетику зрозуміле: у Європі своїх нафтогазових ресурсів немає, у США їх небагато. Перехід на водневу

Сірко З.С., Протасов О. С., Коренда В. А., Вишняков І. Ю., Охріменко С. М., Торчилевський Д. П., Єременко Т. Л.

енергетику з використанням відновлювальних джерел енергії дасть змогу їм перестати залежати від постачальників нафти й газу – Росії та країн ОПЕК (Організації країн-експортерів нафти), а також вирішити екологічні проблеми.

До розв'язання проблем, що накопилися в енергетиці, є дуже багато підходів. Насамперед – розвиток відновлювальних джерел, таких як вітро-, геліо-і гідроенергетика, а також атомної енергетики. Водночас ці джерела мають бути прив'язані до конкретних місцевостей та цілком специфічно розосереджені на цих територіях, тому вони не дають можливості вирішити задачі забезпечення енергією великих промислових підприємств та транспорту.

Воднева енергетика також відповідає світовим тенденціям автономного та локального енергоспоживання. У європейських енергетичних програмах фігурує поняття «домашня електростанція». Такі міні-електростанції потужністю не більше 5 кВт екологічні вже тому, що дають змогу виробляти стільки електроенергії, скільки необхідно споживачу, і витратити її без втрат, неминучих у великій енергетиці з її тисячокілометровими лініями електропередач.

Цілком ймовірно, саме воднева енергетика закриває актуальні питання: як зробити всі можливі джерела енергії більш поєднаними

між собою, як зробити їх сукупний вплив на довкілля мінімальним. Тому що це джерело енергії є більш універсальним, більш гнучким у використанні та екологічно більш чистим.

Існує декілька технологій виробництва водню. Одна із них – метод електролізу із води, яка є досить енергозатратною, а також потребує неефективного використання питної води. Інша – риформінг з метану (природного газу), в результаті якої отримують, в основному, «сірий» водень, що не відповідає екологічності. У статті автори пропонують перспективну технологію промислового виробництва «зеленого» водню із промислових та побутових відходів і біомаси.

**Мета досліджень** – розробити технологію промислового виробництва «зеленого» водню із промислових та побутових відходів і біомаси.

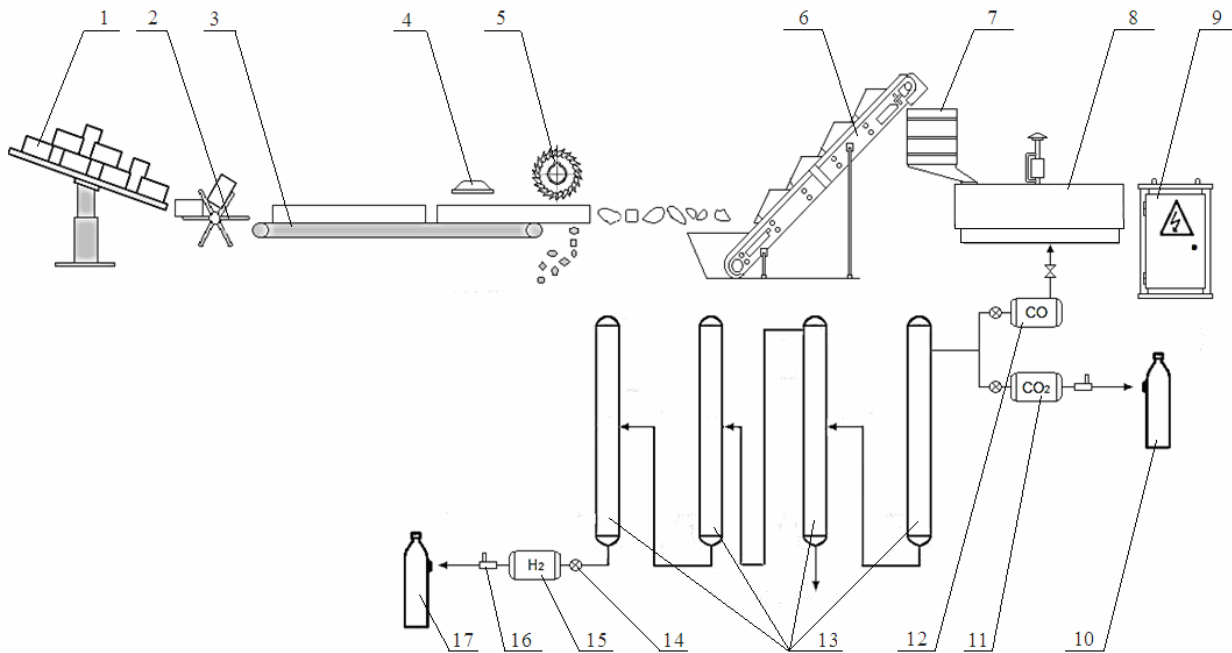
**Матеріали та методи дослідження.** Для досліджень використовували відходи лісозаготівель та деревооброблювальних виробництв, які подрібнювали або за допомогою рубальних машин, або розробленим авторами пристроєм для подрібнення деревини [2]. Перед подрібненням металошукачем виявляли металеві включення в деревині, які вирізали дисковою пилкою. Також з цією метою розроблений спосіб видалення

Сірко З.С., Протасов О. С., Коренда В. А., Вишняков І. Ю., Охріменко С. М., Горчилевський Д. П., Єременко Т. Л.

ферромагнітних включень з деревини, у якому за допомогою металошукача визначають місце знаходження ферромагнітного (металевого) включення в деревині, нагрівають його в цьому місці, наприклад в індукційній печі, до високої температури, потім розміщують в магнітне поле соленоїда, під дією якого розпечене металеве включення, пропалюючи отвір, виходить з деревини [3]. Синтезгаз отримували розробленим способом [4], за якого подрібнена сировина потрапляє в піролізний реактор в шнековий гомоні затор, де відбувається процес підготовки сировини до піролізу (рівномірного підігріву до  $200^{\circ}\text{C}$  і додаткового підсушування з виділенням парів води). У шнековому піролі заторі підігріта до  $200^{\circ}\text{C}$  сировина за температури  $850^{\circ}\text{C}$  піролізується з виділенням синтезгазу і отриманням пірокарбону. Синтезгаз, який виділяється у процесі середньотемпературного піролізу, просувається в піролізному реакторі шнековим піролі затором і шнековим гомонізатором проти потоку сировини, що забезпечує використання парів води у процесі генерації синтезгазу, «загартування»

синтезгазу та очищення його від попелу. Авторами розроблений також газогенератор [5] для отримання генераторного газу високої калорійності. Паливо (деревина та її відходи) згорає та обвуглюється у вигляді деревинного вугілля. У зоні газоутворення відбувається розкладання води до атомарного складу та утворення інших вуглеводневих сполук та конверсія  $\text{CO}_2$  в  $\text{CO}$ . Паливні гази, що утворилися в нижній частині камери горіння газогенератора ( $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{H}$  та ін.), згорають у зоні остаточного спалювання. Для досліджень використовували також і інше існуюче обладнання, зокрема: буферні ємності, балони, запорну арматуру, компресор, установку розділення синтезгазу на водень та ін.

**Результати досліджень.** На основі аналізу існуючих технологій промислового виробництва водню та проведених власних досліджень авторами запропонована технологія промислового виробництва «зеленого» водню із промислових та побутових відходів і біомаси. Принципова схема технологічного процесу виготовлення водню показана на рис. 1.



**Рис. 1. Принципова схема технологічного процесу виготовлення водню:**

1 – майданчик для відходів; 2 – пристрій поштучної видачі; 3 – стрічковий транспортер; 4 – металошукач; 5 – вирізка металевих включень та подрібнення; 6 – нахилений транспортер; 7 – оперативний бункер; 8 – піролізний газогенератор; 9 – пульт керування; 10 – балон для вуглекислого газу; 11 – буферна ємність з вуглекислим газом; 12 – буферна ємність з чадним газом; 13 – установка отримання водню; 14 – запорна арматура; 15 – буферна ємність водню; 16 – компресор; 17 – ємність для зберігання стислого водню.

Відходи лісозаготівель та деревооброблювальних виробництв із майданчика 1 пристроєм для поштучної видачі 2 подаються на стрічковий транспортер 3. Металошукач 4, який знаходиться над транспортером 3 у випадку виявлення металевих включень, зупиняє транспортер і пилкою 5 вирізається металеве включення, а потім всі відходи направляються на подрібнення. Потім нахиленим транспортером 6 подрібнені відходи (тріска) подаються в оперативний

бункер 7 і від нього в шнековий піролізний газогенератор 8. Сировина поступово просувається в шнековому гомонізаторі, розігрітому до 850°C. Температура в шнековому гомонізаторі контролюється датчиком температури. Підігріта маса пересипається зі шнекового гомонізатора в шнековий піролізний затор, де за температури 850°C піролізується з виділенням синтезгазу та отриманням пірокарбону. Синтез-газ розкладають на чадний газ CO і вуглекислий газ CO<sub>2</sub>, який

Сірко З.С., Протасов О. С., Коренда В. А., Вишняков І. Ю., Охріменко С. М., Торчильєвський Д. П., Єременко Т. Л.

акумуляють у балоні 10. Із чадного газу СО за допомогою мембранних технологій 13 виділяють водень, який поступає в буферну ємність 15, а звідти компресором 16 в ємність для зберігання водню 17.

Наведена технологія дає можливість отримати «зелений» водень – водень, що генерований із промислових відходів деревообробки.

### Список використаних джерел

1. Радченко Р.В., Мокрушин А.С., Тюльпа В.В. Водород в энергетике: учеб. пос. Екатеринбург, 2014. 234 с.
2. Сірко З.С., Кохан В.О., винахідники. Пристрій для подрібнення деревини. Український патент, № 132817, 2019.
3. Сірко З.С., Головач В.М., Грабар І.Г., Запталов Б.Й., Пінчевська О.О., Баранова О.С., винахідники. Спосіб видалення феромагнітних включень з деревини. Український патент, № 140937, 2020.
4. Кохан В.О., Бондарчук О.В., Вишняков І.Ю., винахідники. Спосіб одержання синтезгазу. Український патент, № 137248, 2019.
5. Сірко З.С., Кохан В.О., Запталов Б.Й., Протасов О.С., Вишняков І.Ю., винахідники. Газогенератор. Український патент, № 136258, 2019.

### ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз технологій промислового виробництва водню, показав його перспективність, ефективність та екологічність.

2. Розроблена технологія промислового виробництва «зеленого» водню із промислових та побутових відходів і біомаси.

### References

1. Radchenko R.V., Mokrushin A.S., Tyulpa V.V. (2014). Vodorod v energetike: vcheb. pos. Ekatiirenburg, 234.
2. (2019). Sirko Z.S., Kokhan V.O., vynakhidnyky. Prystriy dlya podribnennya derevyny. Ukrainskyi patent, № 132817.
3. (2020). Sirko Z.S., Golovach V.M., Grabar I.G., Zaptalov B.Y., Pinchevska O.O., Baranova O.S., vynakhidnyky. Sposib vydalennya feromagnetnykh vkluchen z derevyny. Ukrainskyi patent, № 140937.
4. (2019). Kokhan V.O., Bondarchuk O.V., Vyshnyakov I.Yu., vynakhidnyky. Sposib oderzhannya syntezgazu. Ukrainskyi patent, № 137248.
5. (2019). Sirko Z.S., Kokhan V.O., Zaptalov B.Y., Protasov O.S., Vyshnyakov I.Yu., vynakhidnyky. Gazogenerator. Ukrainskyi patent, № 136258.

## ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА

**З. С. Сирко, А. С. Протасов, В. А. Коренда, И. Ю. Вишняков, С. М. Охрименко, Д. П. Торчильевский, Т. Л. Єременко**

*Аннотация. На сегодняшний день во многих странах приняты и реализуются программы как национального так и международного направления по разработке водородной энергетики, в том числе на основе возобновляемых источников энергии. Некоторые страны полностью переходят на водородную энергетику: двигатели на основе водорода устанавливаются на автомобили, катера, источниками тепла на основе водорода отапливаются дома. Переход на водородную энергетику с использованием возобновляемых источников энергии*

Сірко З.С., Протасов О. С., Коренда В. А., Вишняков І. Ю., Охріменко С. М., Торчильський Д. П., Еременко Т. Л.

*позволит существенно уменьшить зависимость от поставщиков нефти и газа, а также решить экологические проблемы. Существует несколько технологий производства водорода. Одна из них – метод электролиза из воды, которая является достаточно энергозатратной, а также требует неэффективного использования питьевой воды. Другая - риформинг из метана (природного газа), в результате которой получают, в основном, «серый» водород, который не соответствует экологичности. В статье авторы предлагают перспективную технологию промышленного производства «зеленого» водорода из промышленных и бытовых отходов и биомассы.*

**Ключевые слова:** водород, технология производства, оборудование, свойства, потребление.

## COMPLIANCE OF FIRE-PROTECTIVE CELLULOSE-CONTAINING MATERIALS WITH ENVIRONMENTAL SAFETY

Z. Sirko, O. Protasov, V. Korenda, I. Vishnyakov, S. Okhrimenko,  
D. Torchilevskyi, T. Eremenko

**Abstract.** *Search for new highly efficient agents for wood fire retardant treatment in the construction has been conducted more and more intensively. But fire retardant treatment nowadays should not only ensure specified fire resistance of wood but preserve its performance as well as ensure its environmental safety and durability. Therefore a significant problem of ensuring vital activities and safe functioning of building facilities lies in the development of intumescent coatings for building structures taking into consideration economical, processing and environmental aspects; these coatings shall be used not only on a par with existing similar ones but be highly efficient in special spheres of construction which makes it possible to prevent occurrence of man-caused accidents. The paper shows results of the studies purposed at raising efficiency of the facilities protection by conversion of the cellulose containing materials used at them to the group of hardly combustible materials; it was revealed that application of appropriate composition converted the wood into hardly combustible material that did not spread flame across its surface and had moderate smoke production ability. Taking into account these fire hazard indices the wood having been subjected to fire retardant treatment as construction material could be allowed for application for the internal lining of rooms including those at the escape routes. Hydrogen energy also meets global trends in autonomous and local energy consumption. The concept of "home power plant" appears in European energy programs. Such mini-power plants with a capacity of not more than 5 kW are environmentally friendly because they allow you to produce as much electricity as the consumer needs, and consume it without the losses inevitable in large energy with its thousands of kilometers of power lines. It is likely that hydrogen energy closes the topical issues: how to make all possible energy sources more interconnected, how to minimize their overall impact on the environment. Because this energy source is more universal, more flexible to use and more environmentally friendly.*

Сірко З.С., Протасов О. С., Коренда В. А., Вишняков І. Ю., Охріменко С. М., , Торчилевський Д. П.,  
Єременко Т. Л.

**Keywords:** *wood; fire retardant coating of wood; volatile combustion products; burning of wood; smoke formation*