

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ АДМІРАЛА МАКАРОВА
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ
ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ
МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ІННОВАЦІЇ В СУДНОБУДУВАННІ ТА ОКЕАНОТЕХНІЦІ

XV Міжнародна науково-технічна конференція

МАТЕРІАЛИ

26–27 вересня 2024 рік

*Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9*



2024

УДК 001.895:629.5
I-66

ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛАСНА ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І
НАУКИ МИКОЛАЇВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Міністерство освіти і науки України, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України; ДП «Адміністрація морських портів» (Україна); ДП «Адміністрація річкових портів» (Україна); ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» (Україна); Південний науковий центр НАН України і МОН України (Україна); Головне управління Державної служби з надзвичайних ситуацій України у Миколаївській області (Україна); Національний університет «Одеська національна академія» (Україна); Одеський національний морський університет (Україна); Черкаський державний технологічний університет (Україна); Національний авіаційний університет (Україна); Компанія «АМІКО ГРУПП» (Україна); Морське інженерне бюро (Україна); АТ «Завод «Екватор» (Україна); Асоціація ветеранів Військово-морських сил України (Україна); Харбінський інженерний університет (КНР); Університет науки і технологій Цзянсу (КНР); Таджикиський технічний університет ім. академіка М.С. Осими (Таджикистан); Кошалінський технічний університет, ректор (Польща); Гданьський технологічний університет (Польща); Празький університет хімії і технології (Чеська республіка); Батумський навчально-навігаційний університет (Грузія); ДУ Національний антарктичний науковий центр.

ІНФОРМАЦІЙНІ ПАРТНЕРИ

ТОВ «Видавничий дім «Гельветика»; науковий журнал «Shipbuilding & marine infrastructure»; журнал «Судноплавство»

Відповідальний за випуск
Павлов Геннадій Вікторович

*Редакційна колегія не несе відповідальності за достовірність наведених даних та посилань.
Матеріали публікуються в авторській редакції*

Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : XV Міжнародна науково-технічна
I-66 конференція : матеріали. – Миколаїв : НУК, 2024. – 1032 с.

ISBN 978-966-321-473-3

У збірнику наведені матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці». Збірник становить інтерес для наукових працівників, викладачів, інженерів та студентів.

УДК 001.895:629.5

ISBN 978-966-321-473-3

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024

ADVANCED INSTRUMENTATION FOR HYDROGEN PRODUCTION AND STORAGE: ENHANCING SAFETY IN THE HYDROGEN ECONOMY

Zivenko O.V.¹

Assistant Professor, PhD. oleksii.zivenko@nuos.edu.ua

Zhukov Yu.D.^{1,2}

Full Professor, DSc. yuriy.zhukov@nous.edu.ua

¹ - Maritime Instrumentation Department,

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

² – “C-Job Nikolayev” LLC, Mykolaiv, Ukraine

Abstract. This paper examines hydrogen's potential as a key energy carrier, focusing on the challenges and advancements in its storage and control. Hydrogen's role in decarbonization and energy storage necessitates the development of advanced instrumentation. The research highlights the importance of innovative sensor systems, including polymetric sensors based on time domain reflectometry and thermal dispersion, to ensure accurate monitoring and safety. Integrating these technologies is vital to overcoming the technical challenges for reliable hydrogen measurement.

Keywords: instrumentation and control, hydrogen, control systems, sensors.

The Role of Hydrogen as a Potential Future Energy Carrier. The quest for sustainable and efficient energy carriers has intensified in recent years, driven by the need to mitigate climate change and reduce dependence on fossil fuels. As the global energy landscape evolves, hydrogen becomes pivotal in transitioning to a cleaner and more resilient energy system. Its unique properties as a lightweight, high-energy-density fuel make it a prime candidate for various applications, including transportation, power generation, and industrial processes. The potential of hydrogen as an energy carrier is further amplified by its ability to be produced from various sources, including water through electrolysis, hydrocarbons via reforming, and as a by-

product of nuclear and renewable energy systems [1]. Hydrogen is considered as a critical energy vector for decarbonization.

This *research aims* to provide an overview of promising hydrogen production processes as a future essential energy carrier, analyse the instrumentation and control needs, and suggest hardware/software solutions in the context of existing/prominent hydrogen production processes.

Hydrogen's versatility is one of its greatest strengths. It can be used directly as a fuel in internal combustion engines, combusted in turbines, or employed in fuel cells to generate electricity with water as the only by-product. This makes it an attractive option for sectors that are difficult to decarbonize, such as heavy industry and long-haul transportation [2-4]. Moreover, hydrogen can serve as a medium for storing energy generated from intermittent renewable sources like wind and solar, addressing one of the key challenges in integrating renewables into the energy grid. By converting surplus electricity into hydrogen during periods of low demand, energy can be stored and converted back into electricity or used as a fuel when demand peaks.

One of the most promising methods for hydrogen production is through the electrolysis of water, where electrical energy is used to split water molecules into hydrogen and oxygen. This process can be powered by renewable energy sources, resulting in "green hydrogen," or by nuclear power plants in a co-generation mode, often referred to as "nuclear hydrogen". The latter approach, highlighted by recent advancements in nuclear technology, allows for the simultaneous generation of electricity and hydrogen, offering a low-carbon and efficient pathway for hydrogen production. This method leverages the consistent output of nuclear reactors, making it a reliable and scalable solution for hydrogen generation. Furthermore, integrating nuclear energy with hydrogen production can enhance the economic viability of nuclear power by providing an additional revenue stream and stabilizing the grid with a steady supply of electricity and hydrogen while optimizing costs for energy production, storage, etc.

Despite its potential and the latest significant efforts and stimulations from governments, hydrogen faces significant production, storage, and distribution

challenges. The efficiency of electrolysis, the high costs of infrastructure, and the technical difficulties associated with storing and transporting hydrogen are critical barriers that must be addressed. The efficiencies of current water electrolysis systems vary from 70 to 90% [1], but the cost of electrolysis systems is still high due to the high cost of catalysts and complex production cycle. Storage and distribution of hydrogen also require specialized infrastructure due to its physical properties.

However, the latest advancements in the field and solutions open diverse perspectives for the maritime industry (one of the hardest to decarbonize). As an example, one of the concepts of a hydrogen generation hub (platform) is demonstrated in Figure 1:

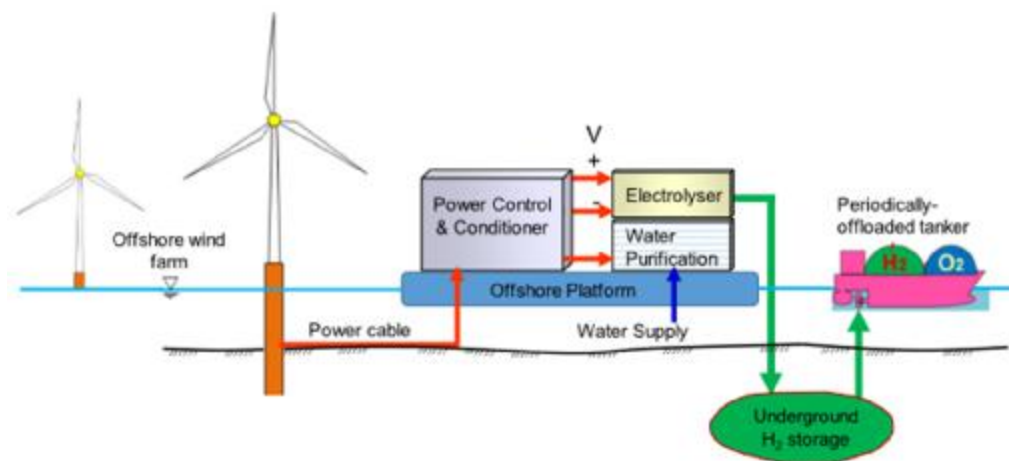


Fig. 1 – Hydrogen Production System Configured for Offshore Wind Farm [1]

Two key concerns need to be highlighted: 1) A wide range of system configurations and options are being proposed, with many still in the testing phase ([4] provides an example). 2) Hydrogen can be used directly in chemical processes or combined with CO₂ to produce substitutes for fossil fuels, such as methane, methanol, ethane, and ammonia, which are easier to store and transport.

Rigorous control of all associated processes is a significant challenge in improving hydrogen production efficiency and ensuring safety. Reliable measurement instrumentation is crucial across the hydrogen value chain, from production to storage and end-use. Hydrogen storage and distribution presents unique challenges, whether as compressed gas at high pressures (350-700 bar) or as cryogenic liquid at extremely low

temperatures (-253°C). Both methods require stringent safety protocols, including the control of key parameters like pressure, temperature, and liquid levels (for cryogenic storage). Ensuring proper leak detection is also vital to prevent explosive hazards.

Advances in sensing technologies, materials science, and cryogenics are essential for the safe and efficient storage and handling of hydrogen. Figure 2 illustrates the structure of a proposed instrumentation system for monitoring hydrogen storage, whether liquid or gaseous: 1 – thermally isolated reservoir; 2,3 – liquid and gaseous hydrogen; 4 – reservoir inlet/outlets; 5 – pressure sensor for leakage and insulation integrity; 6 – overfill level sensor; 7 – multiparameter sensor head for temperature gradient and level measurement; 8 – temperature sensing elements; 9 – differential pressure sensor for hydrogen level/mass calculation; 10 – wiring lines; 11 – electrical cabinet for signal acquisition.

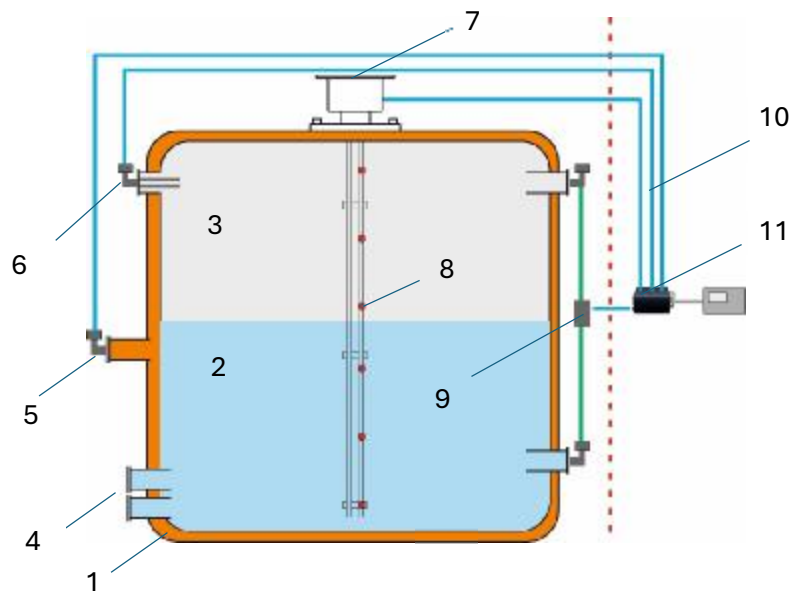


Fig. 2 – Instrumentation for Control of the Tank with Liquid/Gaseous Hydrogen

The system also monitors absolute pressure in the reservoir and can include inlet/outlet valve position sensors, flow sensors, and flow meters. Coriolis meters, in combination with the level sensors similar to the solution described in [5], provide accurate measurements of hydrogen transferred. The red dotted line in Fig. 2 indicates the boundary between the potentially explosive atmosphere and the zone with the electrical cabinet used for signal acquisition and sensor power (normal conditions).

A key engineering challenge is the continuous level measurement of generated and pressurized hydrogen/oxygen. Among the available measurement techniques [6], only a few are suitable due to the specific requirements of measuring gaseous and liquid hydrogen at low temperatures. The hydrostatic principle, based on differential pressure measurement, is the most common and straightforward method.

A critical future research direction involves the development of advanced sensing techniques such as polymetric sensing [7-8] based on Time Domain Reflectometry (TDR) and thermal dispersion techniques [9], both of which are applicable to a wide range of liquids and gases. The integration of these methods has the potential to create a highly intelligent sensor system, where TDR provides continuous level measurement and temperature diagnostics, while thermal dispersion serves as a reliable alternative in challenging conditions with low reflectivity. Furthermore, optimizing the design of waveguides and sensing elements for low-reflectivity liquids and high-loss gaseous phases presents a pivotal second research direction, poised to enhance the precision and reliability of hydrogen measurement systems.

Conclusions. Governments, industries, and researchers worldwide increasingly recognize hydrogen's role as a versatile, clean, and efficient energy carrier. However, realizing its full potential requires significant advancements in hydrogen production, storage, and distribution technologies. Particularly, innovation in instrumentation and control systems is essential for ensuring safe and efficient hydrogen processes. As the industry progresses, the development of advanced sensor systems and optimized measurement techniques will be crucial in overcoming current technical challenges and enabling hydrogen to become a cornerstone of the future energy landscape.

References

1. V. N. Dinh, P. Leahy, E. McKeogh, J. Murphy, and V. Cummins, "Development of a viability assessment model for hydrogen production from dedicated offshore wind farms," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 46, no. 48, pp. 24620-24631, 2021. doi: [10.1016/j.ijhydene.2020.04.232](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.232).

2. T. Xu, "Hydrogen Electrolysis Can Give Nuclear Power a Boost: Machine learning shows ways to make nuclear more profitable and reliable," *IEEE Spectrum*, 19 Oct. 2023. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/nuclear-power-plant-2666016688> Accessed: 24-Aug-2024.
3. "Floating Offshore Wind Shot," *Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, U.S. Department of Energy*, 19-Aug-2023. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/wind/floating-offshore-wind-shot>. Accessed: 24-Aug-2024.
4. M. Mueller and R. Dittmeyer, "Wind-to-Hydrogen Tech Goes to Sea: Is electrolysis cheaper offshore?" *IEEE Spectrum*, 19 Aug. 2023. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/green-hydrogen-2663997448>. Accessed: 24-Aug-2024.
5. Y. Zhukov and O. Zivenko, "Ship Operation Analysis and Optimization via Mobile Application", *JMM*, vol. 20, no. 03, pp. 627–650, May 2024. DOI: <https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.2034>.
6. A. Zivenko, A. Nakonechniy, and D. Motorkin, "Level measurement principles & sensors," in *Proc. IX Mezinárodní Vědecko-Prac. Conf. "Věda a technologie: krok do budoucnosti-2013"*, Vol. 28, 2013.
7. Yu. Zhukov Polymetric Sensing in Intelligent Systems [Text] // Yu. Zhukov, B. Gordeev, A. Zivenko and A. Nakonechniy / Chapter 10, "Advances in Intelligent Robotics and Collaborative Automation", The River Publishers Series in Automation, Control and Robotics, 2015 - pp. 211-234. doi: [10.1201/9781003337119-10](https://doi.org/10.1201/9781003337119-10)
8. Yu. D. Zhukov and O. V. Zivenko, "Intelligent Polymetric Systems Industrial Applications," in *Proc. 2nd Int. Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems (ICTES 2020)*, Mykolaiv, Ukraine, 2020, pp. 122-137. Available: <https://www.ceur-ws.org/Vol-2762/paper8.pdf>.
9. A. Hashemian, S. Tyler, and R. Skifton, "Multi-Parameter Sensor for Next-Generation Nuclear Reactors," in *Proc. 13th Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human-Machine Interface Technologies (NPIC and HMIT 2023)*, Knoxville, United States, Jul. 2023, pp. 21-33. doi: 10.13182/NPICHMIT23-40427.

ПРИЛАДОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ТА ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ: ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ В ВОДНЕВІЙ ЕКОНОМІЦІ

Зівенко О.В.¹

Доцент, кандидат технічних наук, oleksii.zivenko@nuos.edu.ua

Жуков Ю.Д.^{1,2}

Професор, доктор технічних наук, yuriy.zhukov@nous.edu.ua

¹ - Кафедра морського приладобудування, Національний університет
кораблебудування імені Адмірала Макарова, Миколаїв, Україна

² – ТОВ «Сі-Джоб Миколаїв», Миколаїв, Україна

Анотація. Наведено огляд дослідження потенціалу водню як ключового енергетичного носія, зосереджуючись на викликах та досягненнях у його зберіганні та контролі. Роль водню у декарбонізації та зберіганні енергії вимагає розробки вдосконаленого приладового забезпечення. Дослідження підкреслює важливість інноваційних сенсорних систем, зокрема поліметричних сенсорів на основі рефлектометрії у області часу і термальної дисперсії. Інтеграція цих технологій підвищить надійність вимірювання водню, та дозволить отримати принципово нові якості сенсорів, подолати технічні виклики у вимірюваннях в інших галузях.

Ключові слова: інструментальне забезпечення та контроль, водень, системи контролю, сенсори.