

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование материалов плазмодинамического синтеза в системе углерод-азот в качестве катализаторов получения водорода/Study of Plasma Dynamic Synthesis Materials in the Carbon-Nitrogen System as Catalysts for Hydrogen Production.

УДК 661.961.097.3::544.556.1-13

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ0Ч	Фрэнк Марки Тему		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рахматуллин Ильяс Аминович	Кандидат технических наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А	Кандидат биологических наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Сурков Михаил Александрович	Кандидат технических наук, Доцент		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Свободно пользоваться русским и иностранным языками как средством делового общения, способностью к активной социальной мобильности
P3	Использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и производственных работ, в управлении коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности.
P4	Иметь представление о методологических основах научного познания и творчества, роли научной информации в развитии отрасли, навыки проведения работ с привлечением современных информационных технологий, синтезировать и критически резюмировать информацию.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P5	Применять углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности.
P7	Выполнять инженерные проекты с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Проводить инновационные инженерные исследования в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Проводить технико-экономическое обоснование проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Проводить монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Осваивать новое электроэнергетическое и электротехническое оборудование; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Разрабатывать рабочую проектную и научнотехническую документацию в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; составлять оперативную документацию, предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Отделение электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ М.А. Сурков
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ04	Фрэнк Марки Тему

Тема работы:

Исследование материалов плазмодинамического синтеза в системе углерод-азот в качестве катализаторов получения водорода/Study of Plasma Dynamic Synthesis Materials in the Carbon-Nitrogen System as Catalysts for Hydrogen Production.
Утверждена приказом директора ИШЭ

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Электрокатализаторы, электрохимия, система накопления энергии, бифункциональный, графитовый нитрид углерода, реакция выделения водорода, реакция выделения кислорода, электрохимическое образование, коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ).
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор литературы, методики проведения экспериментальных и аналитических исследований, результаты экспериментов и их обсуждение, финансовый менеджмент и социальная ответственность.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Спицына Л.Ю.
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
Иностранный язык	Соколова Э.Я.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Исследование материалов плазмодинамического синтеза в системе углерод-азот в качестве катализаторов получения водорода/Study of Plasma Dynamic Synthesis Materials in the Carbon-Nitrogen System as Catalysts for Hydrogen Production.	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рахматуллин Ильяс Аминович	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМОЧ	Фрэнк Марки Тему		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики
 Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
 Уровень образования магистр
 Период выполнения 2021/2022 учебный год

Форма представления работы:

магистерская диссертация (бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.10.2021	Обзор литературы	5
30.01.2022	Проведение экспериментов	15
14.02.2022	Обработка экспериментальных данных	30
27.04.2022	Написание основных частей ВКР	30
30.05.2022	Оформление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рахматуллин Ильяс Аминович	Кандидат технических наук		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника	Сурков Михаил Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 69 страниц, 30 рисунков, 3 таблиц, 22 источников и 1 приложение.

Ключевые слова: Электродокатализаторы, электрохимия, система накопления энергии, бифункциональный, графитовый нитрид углерода, реакция выделения водорода, реакция выделения кислорода, электрохимическое образование, коаксиальный магнитоплазменный ускоритель (КМПУ).

В этой исследовательской работе основное внимание уделяется электрохимическому расщеплению воды и, в частности, реакции выделения водорода (HER) для получения чистого водорода в качестве энергоносителя на основе графитоподобной углеродной структуры. Другая половина реакции расщепления воды, а именно реакция выделения кислорода (OER), исследуется во второй части этой исследовательской работы. Учитывая обилие воды-предшественника, которую можно получить путем опреснения морской воды, это очень многообещающая перспектива в области возобновляемых источников энергии.

Основной целью этой исследовательской работы была разработка наноматериалов, которые могут работать в качестве эффективных электродокатализаторов для общего расщепления воды с особым акцентом на HER. Другой важной целью этого исследовательского проекта было сосредоточиться на простом протоколе / зеленом методе синтеза электродокатализаторов при сохранении высокой активности по отношению к HER с низким перенапряжением и долгосрочной стабильностью.

Основные результаты работы:

- Представляется возможным синтезировать кристаллические фазы в системе C-N с использованием оригинальной высоковольтной

установки на основе сильноточного импульсного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ), разработанного в Томском политехническом университете. КМПУ с графитовым ускоряющим каналом обеспечивает получение высоких P, t-параметров в условиях длительной (около 10-4 с) ударной волны, возникающей в ударном фронте сверхскоростной (103-104 м/с) импульсной струи углеродной электроразрядной плазмы, текущей в атмосферу азота.

- Технология коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ), разработанная в Томском политехническом университете, оказалась более экологически чистой (не требуется химических или вредных химических веществ при синтезированном получении наноматериалов), с низким энергопотреблением, менее дорогой, требует меньше времени для синтезированных материалов и проста в эксплуатации по сравнению с другими методами получения наноматериалов. синтезированные наноматериалы обсуждаются в данной дипломной работе.
- В целом, эти катализаторы проявляют низкую каталитическую активность в кислых и щелочных условиях, о чем можно судить по значению η_{10} , которое составляет 475 мВ даже для лучшего из образцов (чистый углерод). Это значение чрезвычайно велико по сравнению с коммерческими материалами на основе Pt/C, что указывает на бесполезность использования таких систем в качестве электрокатализаторов для реакции HER в чистом виде. Однако стоит отметить, что лучшим из 3 образцов оказался углерод, не легированный азотом.
- Легирование углерода и карбида вольфрама азотом не показывает какого-либо существенного улучшения характеристик катализатора.

- Графитоподобные углерод-азотные материалы обладают свойствами, которые подходят для использования в фотокаталитических системах, в частности, для разложения воды на водород и кислород под действием излучения видимого диапазона.
- Теоретически перспективным способом получения новых материалов в системе C-N является генерация плазмы, содержащей ионы углерода и азота, в условиях высоких давлений и температур. В этом исследовании показана возможность получения кристаллических фаз в системе W-C-N с использованием КМПУ. Некоторые материалы были синтезированы с помощью этого процесса; однако этот метод является экспериментальным, и оборудование необходимо усовершенствовать для разработки научно-технических технологических основ на нем.

Table of Contents

РЕФЕРАТ	VI
Chapter 1: Introduction	1
1.1 Background Review.....	1
1.2 Research Objectives.....	4
1.3 Context.....	5
1.4 Significance, Scope, and Definitions	5
Chapter 2: Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving.	7
2.1 Project initiation	9
2.2 Project budgeting	14
2.3 Economic model development	19
2.4 SWOT-analysis.....	22
2.5 An analysis of the emissions and costs of fossil fuel based versus renewable electricity-based hydrogen	24
2.6 Conclusions.....	30
2.1 Russia’s Hydrogen Energy Strategy	31
Chapter 3: Social Responsibility	36
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА.....	36
3.1 Социальная ответственность	38
3.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	39
3.4 Производственная безопасность	42
3.4 Экологическая безопасность	52
3.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	54
ВЫВОДЫ	57
Reference:	58

List of Abbreviations

HER	Hydrogen Evolution Reaction.
OER	Oxygen Evolution Reaction.
SEM	Scanning electron Microscope.
TEM	Transmission Electron Microscope.
XPS	X-ray Photo-electron Spectroscopy.
EDS	Energy Dispersive Spectroscopy.
CA	Chronoamperometry.
CV	Cyclic Voltammetry.
CP	Chronopotentiometry.
LSV	Linear Sweep Voltammetry.
CVD	Chemical Vapor Deposition.
HFCVD	Hot filament chemical vapor deposition
ECR	Electron cyclotron resonance.
PVD	Physical Vapor Deposition.

Chapter 1: Introduction

1.1 Background Review

This chapter outlines the background, objectives, context of studies and the significance of the research program.

The fossil fuels like coal, natural gas, oil, and petroleum have been powering economies for many years and supply the world with energy [1]. When fossil fuels are burned, the stored carbon and other greenhouse gases (such as CO_2) are released into the atmosphere which contributes to climate change challenges, environmental pollution, impact on marine life, rising costs, environmental degradation, and an increase in the temperature of the earth's atmosphere is known as global warming. The increase in the world population, industrial activity in both developing and developed countries cause the increase in the global energy demand. Fossil resources begin to run out which can result in an increase/rise in the cost of this type of energy with scarcity. Scientists and researchers in the world are working on green/clean energy such as renewable energy sources (for example; solar, hydropower, geothermal, biomass, and wind energy) and hydrogen energy. The usage of green energy can help to replace/substitute fossil fuels and solve the problem of the global energy requirements/demand and mitigation of climate change. However, hydrogen recently gained a lot of attention. Hydrogen energy has a lot of advantages such as it is green energy, clean fuel, more efficiency, high reliability, and having a high energy density of almost 3 times, contrasting with other energy sources such as gasoline, petroleum, and coal, when hydrogen is consumed with oxygen in a fuel cell, produces water as waste products and energy in form of electricity or heat. Natural gas, nuclear power/energy, and alternative/renewable energy sources including solar, biomass, hydropower, geothermal, and wind can all be used to make

hydrogen. These features make it attractive as a viable fuel alternative for energy generation, storage, and distribution; electricity, heat, and cooling for buildings and households; industry; transportation; and feedstock application fabrication. Because hydrogen is an energy carrier/currency rather than a source of energy, it may be utilized to store, transport, and deliver energy generated by other sources.

Hydrogen energy can be produced through a variety of processes, including thermochemical processes (such as biomass-derived liquid reforming, biomass gasification, solar thermochemical hydrogen (STCH), and natural gas reforming), biological processes, direct solar water splitting processes (Photolytic processes), and electrolytic processes. Electrolysis processes are one of the cleanest ways to produce hydrogen energy. Water is split into its elements, oxygen, and hydrogen. This can be accomplished utilizing various technologies such as direct solar water splitting or photolytic processes in which water is split into hydrogen and oxygen elements using light energy/sunlight from the sun. These processes are currently in various phases of development, but they have great potential in the future for sustainable hydrogen production with minimal impact on the environment.

However, photolytic processes have some drawbacks, including minimal efficiency and low sensitivity to light (it is required a large amount of energy to splitting water into oxygen and hydrogen elements). One of the most advanced and promising technologies for overcoming the disadvantages mentioned above and producing hydrogen in a more efficient manner is electrochemical technology. This technology can be easily powered by electricity produced/generate from alternative/renewable energy sources (including hydropower, geothermal, tidal solar, wind, and biomass). The electrolysis process occurs in electrolyzers when water is split into hydrogen and oxygen elements using electricity. Systems that can efficiently utilize intermittent renewable power are being built using this technology, which is well developed and commercially available.

This has led the researcher to explore a suitable, efficient, low-cost electrocatalyst (such as non-noble metal and metal-free based electrocatalyst) to improve the HER performance. The Pt-based metal catalyst has been the most effective for the HER process which is expensive and has a relatively low reserve, Pt-based metal catalysts cannot be used in large-scale hydrogen production. Researchers need to solve the contradiction between high hydrogen production efficiency and low cost. For these reasons, non-precious metals based-materials include copper (Cu), lead (Pb), nickel (Ni), and zinc (Zn) or non-noble metal catalysts/groups, such as transition-metal sulfides, nitrides, carbonaceous, carbides, oxides, and phosphides materials, and their complexes, have been widely studied to replace noble metal catalysts for HER application.

The primary focus of this research is on electrochemical water splitting, particularly the HER to generate/produce green hydrogen (clean hydrogen) as an energy carrier (fuel). It is a very promising potential in the realm of renewable energy (alternative energy), given the huge amount of precursor water, which may be supplied through the seawater desalination process. The water-splitting reaction produces both hydrogen and oxygen at the same time. The production of hydrogen is an endothermic reaction, which frequently necessitates the use of high costly/expensive catalysts such as platinum to achieve a reasonable rate of production.

As a result, the issue of cost-effectiveness arises, and technology must accomplish advances in cost-effectiveness in order to become a competitive way of storing renewable energy that can compete with and eventually replace fossil fuels. Furthermore, developing a cost-effective and efficient/effective electrocatalyst for the HER processes is essential for overall water splitting efficiency. Several studies have been conducted to develop the cheapest/inexpensive water-splitting catalysts that take into account several electrocatalyst properties such as electrochemically

active surface area, resistance to charge transfer, morphology/shape, specific activity, and stability [1].

1.2 Research Objectives

The major goal of this research was to develop nanomaterials that could be used as efficient/effective electrocatalysts for the electrochemical overall water splitting process, with a focus on the HER mechanism. Another primary objective of this research was to develop a straightforward process/procedure for manufacturing/synthesizing electrocatalysts with high activity/photocatalytic activity toward the HER mechanism, minimal overpotential, and long-term stability. For this research project, a general coaxial magnetoplasma accelerator preparation method/technology (CMPA) was proposed to synthesize the catalysts. In this field of research, it is also significantly important to get detailed insight into the electrochemical behavior of graphitic carbon nitride ($g-C_3N_4$) nanomaterials during synthesis processes and their applications.

The structure, physical characterization, and electrochemical measurements properties of graphitic carbon nitride was also thoroughly investigated. It was done through different physical characterizations techniques including X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), scanning electron microscopy (SEM), transmission electron microscopy (TEM), X-ray diffraction (XRD), and Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDS) before and after electrolysis to look for any change in physical, compositional or morphological properties that could affect rate reactions [1]. Apart from these, an electrochemical analyzer (CH instrument) was also used to investigate its functionality towards the HER mechanism for hydrogen production/generation [1]. It was also tested from the commercial standpoint by mimicking a commercial setup in a small three-electrode cell for water splitting to see its viability to be used in power industries. Also,

Analyze the existing condition of the challenge of crystalline phase synthesis in the C–N system.

Properties including size, shape, porosity, crystallographic orientation, phase change, composition, and others were investigated in order to better understand the activity of graphitic carbon nitride (g – C₃N₄)-based HER electrocatalysts [1][3]. All of the previous studies focused on graphitic carbon nitride for efficient hydrogen and oxygen evolution in order to facilitate robust/efficient electrochemical water-splitting reactions.

1.3 Context

This research project was only dedicated to the development of graphitic carbon nitride nanomaterial electrocatalysts that are simple to make using coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA) technology yet superior in terms of hydrogen evolution reaction (HER) and overall water splitting efficiency for hydrogen production. Among many advantages of using coaxial magnetoplasma accelerator (CMPA) is more environmentally friendly and reduce the time for preparation of nanomaterials.

1.4 Significance, Scope, and Definitions

The development of a reliable way to produce, store, and release renewable energy when we need it is critical to solving the problem of fossil fuel shortages. So far, it has been well demonstrated that storing intermittent energy from alternative/renewable sources like wind and solar in a cost-effective manner is still a problem in order to eventually reduce our reliance on fossil fuels. Since the 1970s, one approach has been identified: employing non-polluting hydrogen as the primary energy carrier, and referring to the total system as the hydrogen economy. Because saltwater is plentiful, a cost-effective approach is to use it to manufacture hydrogen fuel, which is a clean fuel that can be utilized as a key component in a fuel cell to

generate energy on a massive scale. As a result, developing an affordable, robust, and stable catalyst that can endure high energy density over a long length of time is a critical determinant in solving the energy storage problem through water electrolysis [1].

Chapter 2: Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving.

«Financial management, resource efficiency and resource saving»

ASSIGNMENT FOR THE DIPLOMA PROJECT SECTION «FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING»

Student:

Group	Name
5AM04/5AM0CH	Frank Тему/ Фрэнк Тему

School	Инженерная школа энергетики / School of energy and power engineering	Department	ОЭЭ / Division of Electric power engineering and electrical engineering
Educational level	Master	Specialization	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Electric Power Engineering and Electrical Engineering

Initial data for the section “Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving”:

1. The cost of scientific research resources: material, technical, energy, financial, informational and human	Budget of research not higher than 2334533.22 rubles, salaries of executors not higher than 3000000 rubles
2. Norms and standards for spending resources	Supervisor' salary – 26652.6 rubles per month; engineer' salary – 164170.8 rubles per month
3. The system of taxation used, tax rates, volumes of payments, discounts and loans	Coefficient of incentive bonuses 0.22%, coefficient of incentives for the manager for conscientious work activity 0.22%; contributions for social funds are 0.08% totally

Problems to research, calculate and describe:

1. Assessment of the commercial potential of engineering solutions	Comparison of the possible engineer solutions
2. Planning of research and constructing process and making schedule for all periods of the project	Calendar plan of the project
3. Requirement for investments	Cost calculation
4. Budgeting an engineering project	Creation of the project budget
5. Calculation of resource, financial, social, budgetary efficiency of an engineering project and potential risks	List of resource requirements

Graphic materials

1. «Portrait» of the consumer
2. Market segmentation
3. Competitive power of the project
4. SWOT matrix
5. Assessment of the prospects of a new product
6. Plan of investments. The budget for scientific and technical research

7. <i>Project Efficiency indicators</i>
8. <i>Project risks</i>

Assignment date	
------------------------	--

Consultant:

Position	Name	Academic degree	Signature	Date
Associate Professor Division for Social Sciences and Humanities School of Core Engineering Education	Spicyna Lubov Yurievna	PhD		

Student:

Group	Name	Signature	Date
5AM0Ч/5АМОСН	Frank Temu/ Фрэнк Тему		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА / TASK FOR CHAPTER
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ» / «FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE
EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING»**

Студенту / Student:

Группа / Group	ФИО / Name
5AM0Ч	Frank Temu

Школа / School	Инженерная школа энергетики / School of energy and power engineering	Отделение школы (НОЦ) / School division	ОЭЭ / Division of Electric power engineering and electrical engineering
Уровень образования / Level of qualification	Master degree	Направление / Field of study	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника / Electric Power Engineering and Electrical Engineering

Initial data for chapter «FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING»:

1. <i>The cost of scientific research resources: material, technical, energy, financial, informational and human</i>	<i>Project budget 2334533.22 rubles: The cost of purchasing equipment - 0 rubles, the cost of a salary for a supervisor - 26 thousand rubles, the cost of a salary for a design engineer - 164 thousand rubles. etc.</i>
2. <i>The system of taxation used, tax rates, volumes of payments, discounts and loans</i>	<i>According to clause 3 of subclause 16 of Art. 149 of the Tax Code of the Russian Federation, this project is not subject to taxation. Based on Chapter 34 of the Tax Code of the Russian Federation, since 2016, the rate of 30.2% of the wage fund has been used to calculate contributions to extra-budgetary funds.</i>

Problems to research, calculate and describe:	
1. Project initiation	Project goals and results, project structure, assumptions and limitations, planning, budgeting, etc.
2. Economic model development	An analysis of the emissions and costs of fossil fuel based versus renewable electricity-based hydrogen
3. Determining the effectiveness of projects	Comparison of costs across hydrogen technologies
4. Final decision making	Selecting and evaluating criteria, weighing the criteria and calculating the most appropriate solution

Graphic materials:
1. <i>Marketing Segmentation</i>
2. <i>SWOT matrix</i>
3. <i>Assessment of the cost of hydrogen production and cost of avoidance CO₂</i>
4. <i>Impact of carbon pricing on the cost of fossil fuel-based hydrogen</i>

Assignment date	
------------------------	--

Consultant:

Должность / Position	ФИО / Name	Ученая степень, Звание / Academic degree	Подпись / Signature	Дата / Date
Доцент	СПИЦЫНА Л.Ю.	К.ЭКОН.Н		

Student:

Группа / Group	ФИО / Name	Подпись / Signature	Дата / Date
5АМОЧ	Frank Temu		

2.1 Project initiation

Initiation processes define initial goals and content and fix initial financial resources. The internal and external stakeholders of the project are determined, which will interact and influence the overall result of the scientific project.

1.1. Project goals and results

Information about the stakeholders of the project, the hierarchy of project goals and criteria for achieving goals is presented in table below.

Table 1 – Stakeholders of the project

Stakeholders of the project	Stakeholders of the project expectations
Energy industry, biomedical, transport and sensing industry, wastewater and environmental service, Energy storage materials such as Li-ion and fuel cell technologies.	Reliable source of energy supply; Low energy cost; Convenient in usage, clean and green energy; High efficiency of the energy

Information about the hierarchy of project goals and criteria for achieving goals is given in the table below.

Table 2 – Project goals and results

Project goals	To develop nanomaterials which can work as efficient electrocatalysts for overall water splitting with a special emphasis on the HER. Another major objective of this research project was to focus on a simple, clean, and green method for synthesizing electrocatalysts while maintaining high activity towards the HER with a low overpotential and long-term stability.
Expected results of the project	Based on the conducted research, analyze the sensitivity, find shortcomings, suggest the necessary measures to improve these indicators.

Acceptance criteria of the project result	Efficient electrocatalysts for overall water splitting with a special emphasis on the HER by using simple, green and clean technique and maintaining high activity towards the HER with a low overpotential and long-term stability.
Requirements to the project results	Project completion on time
	Stability of technological equipment
	The efficiency of the equipment used and efficient electrocatalysts
	Maintaining high activity towards the HER with a low overpotential and long-term stability.
	Convenience in usage, simple, clean and green

1.2. Organizational structure of the project

The organizational structure of the project is presented in the table below.

Table 3 – Project Working Group

№	Name	Position	Functions	Hours spent
1	Frank Temu.	Project Executor	Work on project implementation	750
2	Ilyas Rahmatullin	Project Manager	Coordination of work activities and assistance in project implementation	100
Total:				850

1.3. Assumptions and constraints

Limitations and assumptions are summarized in table below.

Table 4 – Limitations and assumptions

Factor	Limitations/assumptions
1. Project budget - for design	2334533.22 RUB
1.1 Source of budgeting	Own funds / bank loan
2. Project timeline:	21 January 2022 – 10 August 2022
2.1 Date of approval of the project management plan	25 January 2022
2.2 Project completion date	10 August 2022
3. Other	-

As a result of the initialization of the project, the goals and expected results were formulated, the stakeholders of the project and the financial framework were identified, which is very important for the successful completion of the project and its implementation.

1.4. Project planning

The main way to develop a design implementation schedule is called a Gantt chart.

A Gantt chart is a horizontal graph that depicts work on a topic in long time periods, described by completion dates and start dates for the assigned work.

Table 5 – Design and research timing

Task	The laboriousness of the task						Duration of the task in working days T_{pi}		Duration of the task in calendar days T_{ki}	
	t_{min} , person-days		t_{max} , person-days		$t_{o\&ci}$, person-days		Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer
	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer	Supervisor	Engineer
Drawing up the technical assignment	3		8		5		5		7	
Intensive Literature review and State of the Art		4		9		6		6		9
Selection of the research field		5		8		6		6		9
Calendar planning	10		15		12		6		9	
Preliminary Research design (process development) and justifications		5		10		7		7		10
Preparation of sample/Materials used		1		2		1		1		1
Environment potential analysis		2		3		2		2		3
Equipment research and Experiment Set up		4		5		4		4		6
Materials Characterization Techniques and Analysis		1		2		1		1		1
Electrochemical Techniques and Measurements		5		9		6		3		4
Electrochemical Data analysis		3		4		3		3		4
Evaluation of the effectiveness of the results	6		10		8		4		6	

Drawing up a final report		6		10		10		10		15
---------------------------	--	---	--	----	--	----	--	----	--	----

Table 6 – Schedule of the project design

№	Task	Executors	T_{ki} days	Duration of the task																			
				January				February				March				April					May		
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3
1	Drawing up the technical assignment	Supervisor	3	█																			
2	Intensive Literature review and State of the Art	Engineer	5		█																		
3	Selection of the research field	Engineer	9			█	█																
4	Calendar planning	Supervisor	1					█															
5	Preliminary Research design (process development) and justifications	Engineer	10						█	█													
6	Preparation of sample/Materials Used	Engineer	5								█	█											
7	Environment potential analysis	Engineer	10										█	█									
8	Equipment research and Experiment Set up	Engineer	10												█	█							
9	Materials Characterization Techniques and Analysis	Engineer	10														█	█					
10	Electrochemical Techniques and Measurements	Engineer	7															█	█				
11	Electrochemical Data analysis	Engineer	5																		█		
12	Evaluation of the effectiveness of the results	Supervisor	5																			█	
13	Drawing up a final report	Engineer	10																			█	█
 – Engineer – Supervisor																							

Thus, the duration of the task performed by the engineer and the supervisor. In general, the duration of work in calendar days for an engineer is 82 days, and for a supervisor is 8 days.

2.2 Project budgeting

The project budget must display reliable values for all types of costs associated with its implementation. The costs of this project include:

- Costs of purchasing equipment;
- Costs for materials and other products;
- Expenses for the main and additional salaries of the theme performers;
- Costs for special equipment;
- Costs of social security contributions;
- Overhead costs.

1.4.6. Costs of purchasing equipment

Table 7 – Calculation of the cost of basic equipment

Name of equipment	Number	Equipment cost, RUB
-	-	0
Total		0
Taking into account transportation costs ($k_T=5\%$)		0

1.4.6. Costs for materials and other products

These costs include office supplies, printing costs, and various equipment required for paperwork.

Table 8 – Costs for materials for the project

Name	Unit of measurement	Number	Price per unit, RUB	Expenses (E_M), RUB
Paper	Pack	1	250	250
Pens	Unit	2	50	100
Pencils	Unit	1	50	50
Ruler	Unit	1	40	40
Printing	Page	200	2	400
Folder	Unit	2	5	10
Stapler	Unit	1	150	150
Staples	Pack	1	40	40
Hole puncher	Unit	1	250	250
Total				1 290

1.4.6. Costs for specialized equipment

This item includes all costs that are associated with the purchase of special equipment (for example, instruments, instrumentation, stands, devices and mechanisms) necessary for the project.

Table 9 – Costs for specialized equipment

№	Name	Number	Price per unit, RUB	Total price of equipment, RUB
---	------	--------	---------------------	-------------------------------

1	Laptop	1	30 000	30 000
2	Microsoft Windows 10 Professional RU x64	1	4 000	4 000
3	Kaspersky Anti-Virus	1	1 320	1 320
4	Microsoft Office 2019 Home and Student	1	2 500	2 500
5	X-ray diffractometry (XRD) (Shimadzu XRD 7000)	1	5220000	5220000
6	X-ray diffractometry (XRD) (CuK α radiation)	1	4567500	4567500
7	Transmission electron microscopy (TEM) (Philips CM12)	1	15757875	15757875
8	Transmission electron microscopy (TEM) (Jeol JEM 2100F)	1	14681250	14681250
9	CH Instruments (electrochemical analyzer) model 760E	1	1013542	1013542
10	Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry (EDS)	1	2057435	2057435
11	Coaxial magnetoplasma accelerator (CAMP)	1	20000000	20000000
12	Scanning electron microscopy (SEM)	1	24468750	24468750
13	Digital Ultrasonic cleaner	1	8483	8483
14	HR-250AZ Compact Analytical Balances	1	102035	102035
Total, RUB				87876870

The cost of specialized equipment is recorded in the form of depreciation charges.

Depreciation is the gradual transfer of costs incurred to purchase or build property, plant and equipment to the cost of the finished product. With its help, money spent on the construction or purchase of property is compensated. Depreciation deductions are paid during the entire period of property exploitation.

Let's calculate the amount of monthly depreciation deductions in a linear way. Equipment costs are 37 820 RUB. The operating life of the computer is 7 years, the Microsoft Windows 10 license is 4 years, the rest of the software is a year and all equipment's are 10 years. Then the annual depreciation rate for them, respectively:

$$N_D = \frac{1}{7} \cdot 100\% = 14,29\%,$$

$$N_D = \frac{1}{4} \cdot 100\% = 25\%,$$

$$N_D = \frac{1}{1} \cdot 100\% = 100\%$$

$$N_D = \frac{1}{10} \cdot 100\% = 10\%$$

Academic year depreciation (9 months) for Laptop, Microsoft Windows 10 License, and Supporting Software:

$$D_L = 30000 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 30000 \cdot \frac{14,29\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 1\,057 \text{ RUB,}$$

$$D_{Win10} = 4000 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 4000 \cdot \frac{25\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 246,6 \text{ RUB},$$

$$D_{SS} = 3820 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 3820 \cdot \frac{100\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 941,9 \text{ RUB},$$

$$D_{XRD_Shimadzu \text{ XRD } 7000} = 5220000 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 5220000 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 128712.33 \text{ RUB},$$

$$D_{XRD_CuK\alpha \text{ radiation}} = 4567500 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 4567500 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 112623.29 \text{ RUB},$$

$$D_{TEM_Philips \text{ CM}12} = 15757875 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 15757875 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 388550.34 \text{ RUB},$$

$$D_{TEM_Jeol \text{ JEM } 2100F} = 14681250 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 14681250 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 362003.42 \text{ RUB},$$

$$D_{CH \text{ Instruments}} = 1013542 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 1013542 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 24991.45 \text{ RUB},$$

$$D_{EDS} = 2057435 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 2057435 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 50731.27 \text{ RUB},$$

$$D_{CAMP} = 20000000 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 20000000 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 493150.68 \text{ RUB},$$

$$D_{SEM} = 24468750 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 24468750 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 603339.04 \text{ RUB},$$

$$D_{ULTRASONIC_CLEANER} = 8483 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 8483 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 209.17 \text{ RUB},$$

$$D_{Compact \text{ Analytical Balances}} = 102035 \cdot \frac{N_D}{100\%} \cdot \frac{T}{365} = 102035 \cdot \frac{10\%}{100\%} \cdot \frac{90}{365} = 2515.93 \text{ RUB},$$

Where T – number of working days

Total depreciation for a year:

$$D = 2169072.42 \text{ RUB}$$

1.4.6. Basic salary

The amount of expenses for wages of employees is determined based on the labor intensity of the work performed and the current system of salaries and tariff rates.

The calculation of the basic salary of the head of a scientific project is based on the sectoral wage system. The branch system of remuneration at TPU assumes the following composition of wages:

- 1) Salary - determined by the enterprise. In TPU, salaries are distributed in accordance with the positions held, for example, assistant, art. lecturer, associate professor, professor (see "Regulations on remuneration" given on the website of the Planning and Finance Department of TPU).
- 2) Incentive payments - set by the head of departments for effective work, performance of additional duties, etc.

3) Other payments; district coefficient.

Since incentive bonuses, other payments and incentives depend on the activities of the manager in particular, we will take the coefficient of incentive bonuses equal to 30%, and the coefficient of incentives for the manager for conscientious work activity is 25%.

The basic salary of a manager is determined by the formula:

$$S_b = S_r \cdot T_w, \quad (11)$$

Where S_r – worker's regular salary;
 T_p - duration of work, work days.

Additional salary:

$$S_{add} = 0,15 S_b \quad (12)$$

Average daily salary for a 5-day working week:

$$S_d = \frac{S_M \cdot M}{F_d}, \quad (13)$$

where S_M – worker's monthly salary, RUB;
 F_d – number of working days in a month, days,
 M – number of months of work without vacation during the year

Full salary can be defined as:

$$S_F = S_b + S_{add}, \quad (14)$$

Taking into account the document "Regulations on wages", associate professor, candidate of technical sciences, working at TPU has a salary equal to 26,300 rubles. A design engineer with no experience in Tomsk has an average salary of 18,000 rubles. With this in mind, we calculate the size of the total salary of the project manager and design engineer during the study.

Monthly salaries:

- For project supervisor:

$$S_b = S_r \cdot (1 + k_{pr} + k_d) \cdot k_r = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,25) \cdot 1,3 = 52\,995 \text{ RUB}$$

$$S_F = S_b + S_{add} = 52\,995 + 0,15 \cdot 52\,995 = 60\,944 \text{ RUB}$$

- For engineer developer:

$$S_b = S_r \cdot (1 + k_{pr} + k_d) \cdot k_r = 18000 \cdot (1 + 0,3 + 0,25) \cdot 1,3 = 36\,270 \text{ RUB}$$

$$S_F = S_b + S_{add} = 36270 + 0,15 \cdot 36270 = 41\,711 \text{ RUB}$$

Average daily salary:

$$S_{D.sup.} = \frac{S_{b.sup.}}{F_d} = \frac{52995}{20,58} = 2\,575,1 \text{ RUB}$$

$$S_{D.eng.} = \frac{S_{b.eng.}}{F_d} = \frac{36270}{20,58} = 1\,762,4 \text{ RUB}$$

where the average number of working days in a month was determined as:

$$F_d = \frac{T_w}{12} = \frac{247}{12} = 20,58.$$

Let's assume that the project manager spent 8 working days on it, then the design engineer was engaged in the rest of the time (82 days). Salaries of project participants for the period of work:

$$S_{sup} = S_{D.sup.} \cdot t_{sup} = 2575,1 \cdot 8 = 23\,175,9 \text{ RUB},$$

$$S_{eng} = S_{D.eng.} \cdot t_{eng} = 1762,4 \cdot 82 = 14\,2754,4 \text{ RUB}$$

Additional salaries of project participants:

$$S_{add.sup.} = 0,15 \cdot 52995 = 7\,949,3 \text{ RUB},$$

$$S_{add.eng.} = 0,15 \cdot 36270 = 5\,440,5 \text{ RUB}$$

Daily additional salaries:

$$S_{D.add.sup.} = \frac{7949,3}{20,58} = 386,3 \text{ RUB},$$

$$S_{D.add.eng.} = \frac{5440,5}{20,58} = 264,4 \text{ RUB}$$

Additional salary for the entire project period:

$$S_{add.sup.} = S_{D.add.sup.} \cdot t_{sup} = 386,3 \cdot 9 = 3\,476,7 \text{ RUB},$$

$$S_{add.eng.} = S_{D.add.eng.} \cdot t_{eng} = 264,4 \cdot 81 = 21\,416,4 \text{ RUB}$$

Full salary for the period of the project:

$$S_{F.sup.} = S_b + S_{add} = 23175,9 + 3476,7 = 26\,652,6 \text{ RUB},$$

$$S_{F.eng.} = S_b + S_{add} = 142754,4 + 21416,4 = 164\,170,8 \text{ RUB}$$

1.4.5 Contributions to social funds

Here I will consider the obligatory contributions according to the norms established by the legislation of the Russian Federation to the state social insurance bodies (FSS), the pension fund (PF) and medical insurance (FFOMS) from the costs of wages of employees. The amount of contributions to extra-budgetary funds is determined by the formula:

$$S_{exb} = k_{exb}(S_b + S_{add}), \quad (15)$$

where k_{exb} – contribution rate to extrabudgetary funds.

To date, the following contributions must be made from the amount provided as payment for labor:

- 22% towards the accrual of future pension;
- 5,1% to the Mandatory Health Insurance Fund;
- 2,9% to the Social Insurance Fund;
- from 0,2 to 8,5% for insurance against accidents that may occur at work (the exact amount depends on the risk class, which includes the profession and position of the employee).

The work of a manager and a design engineer belongs to the 1 risk class. Thus, the total deductions amount to 30,2%.

$$S_{exb} = 0,302 \cdot (23\,175,9 + 3\,476,7 + 142\,754,4 + 21\,416,4) = 57\,629 \text{ RUB}$$

1.4.6. Organization of research costs budget

In the previous subchapters, the values of the main costs of the research were calculated. Let us take them all in one table.

Table 10 – Research cost budgeting

Name	Cost, RUB.	Cost, %
Costs of purchasing equipment	0	0.00
Costs for materials and other products	1290	0.01
Costs for specialized equipment	2169072.42	0.42
Supervisor salary costs	26652.6	0.03
Design engineer salary costs	164170.8	0.24
Contributions to social funds	57629	0.08
Overheads	152659	0.22
Research budget	2334533.22	100

2.3 Economic model development

1.1 Primary project analysis

Hydrogen and energy have a long-shared history – powering the first internal combustion engines over 200 years ago to becoming an integral part of the modern refining industry. It is light, storable, energy-dense, and produces no direct emissions of pollutants or greenhouse gases. But for hydrogen to make a significant contribution to clean energy transitions, it needs to be adopted in sectors where it is almost completely absent, such as transport, buildings and power generation.

The Future of Hydrogen provides an extensive and independent survey of hydrogen that lays out where things stand now; the ways in which hydrogen can help to achieve a clean, secure and affordable energy future; and how we can go about realizing its potential. Supplying hydrogen to industrial users is now a major business around the world. Demand for hydrogen, which has grown more than threefold since 1975, continues to rise – almost entirely supplied from fossil fuels, with 6% of global natural gas and 2% of global coal going to hydrogen production. As a consequence, production of hydrogen is responsible for CO₂ emissions of around 830 million tonnes of carbon dioxide per year, equivalent to the CO₂ emissions of the United Kingdom and Indonesia combined.

The hydrogen can be produced in many ways such as renewable energy (solar and wind), and fossil fuels. Here is this project; renewable energy (wind energy and solar energy) has been selected as primary source of electricity to feed electrolyser for hydrogen production.

1.2 Focus group of research results

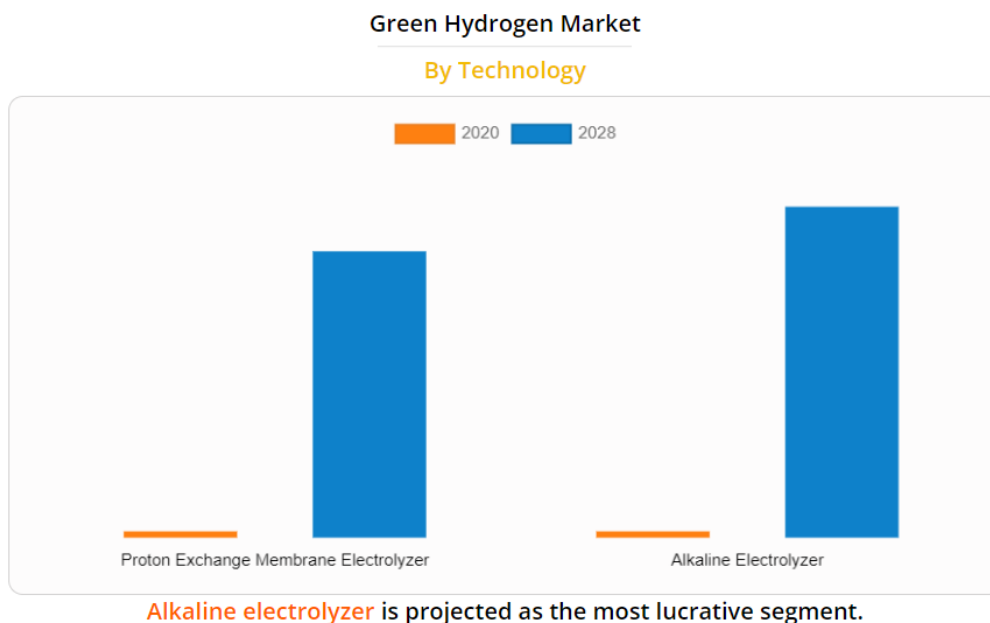
In order to conduct research on the most suitable equipment, you need to consider the target market and segment it. Segmentation is the division of a product into a homogeneous group that has a function.

The global hydrogen market is segmented on the basis of technology, application, end-use industry, and region. By technology, the market is classified into proton exchange membrane electrolyzer, alkaline electrolyzer, and solid oxide electrolyzer. By application, it is segmented into power generation, transport and others. By end-use market is analyzed across North America, Europe, Asian-pacific and LAMEA.

Some of the key players operating in the global green hydrogen market are Ballard power systems, Enapter, Engie, Green hydrogen System, Hydrogenic, Nikola Motors, Plug Power, SGH2 Energy Global LLC, Shell, and Siemens Gas and Power GmbH & Co.KG.

➤ Global Green Hydrogen Market, by Technology

By technology, the alkaline electrolyzer segment has the largest market share, owing to its higher operating time capacity and low capital cost. In addition, the segment is expected to expand at a faster pace during the forecast period.

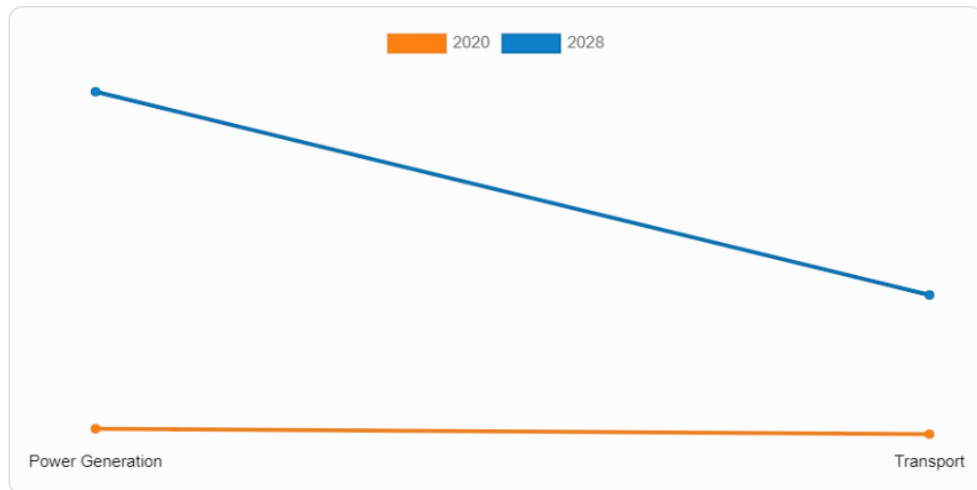


➤ Global Green Hydrogen Market, by Application

By application, the power generation segment dominated the market share for 2019, owing to demand from the industrial sector for on-site electrolyzer setup.

Green Hydrogen Market

By Application



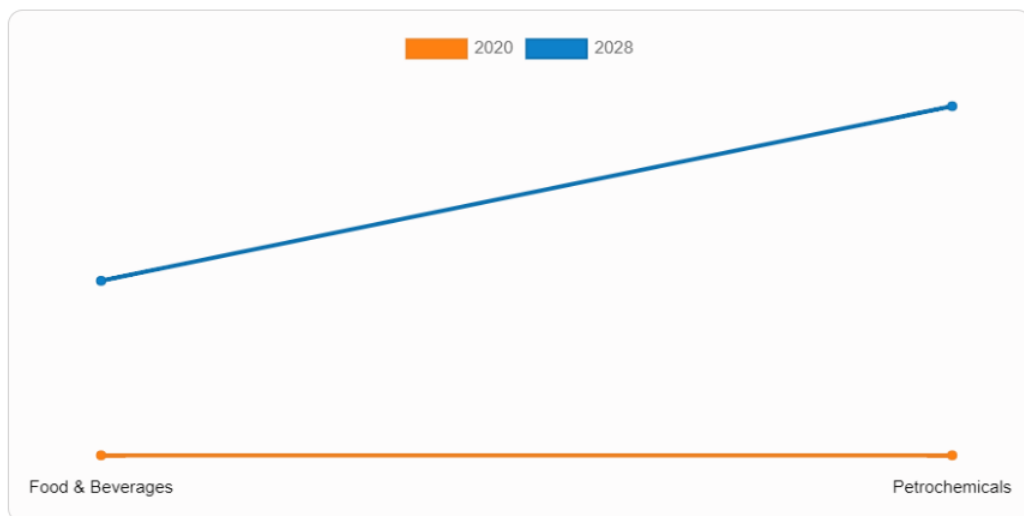
Power generation is projected as the most lucrative segment.

➤ Global Green Hydrogen Market, by End-use industry

By end use industry, the chemical sector is a major producer of by-product hydrogen, which is consumed within the sector as well as distributed for industrial use.

Green Hydrogen Market

By End-Use Industry



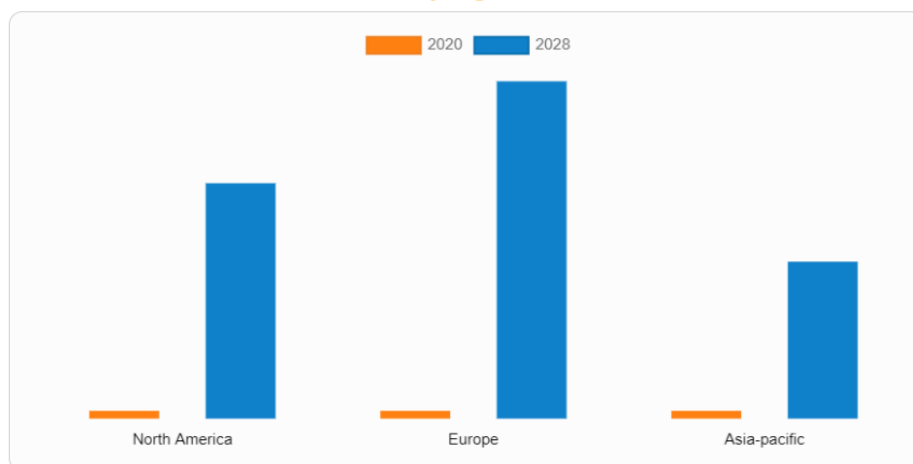
Petrochemicals is projected as the most lucrative segment.

➤ Global Green Hydrogen Market, by region

By region, among all regions, the global market is dominated by Europe. A large number of green hydrogen project in the area are supporting business development. The area emphasizes renewable energy generation and has a large supply of hydrogen.

Green Hydrogen Market

By Region



Europe holds a dominant position in 2020 and would continue to maintain the lead over the forecast period.

Table 11 – Key of Global Green Hydrogen Market

Global Green Hydrogen Market			
By Technology	By Application	By End-Use industry	By Region
Proton exchange membrane	Power generation	Food and beverage	North American (US, Canada, Mexico)
Alkaline electrolyzer	Transport	Medical and Chemical	Europe (Germany, France, Italy, Spain, UK, Rest of Europe)
Solid oxide electrolyzer	Energy storage	Petrochemical and Glass	Asian-Pacific (China, Japan, India, South Korea and rest of Asian-pacific)
Steam Methane Reforming (SMR)	Others	Others	LAMEA (Brazil, Saudi Arabia, south Africa, rest of LAMEA)

2.4 SWOT-analysis

SWOT analysis is used to determine the strengths and weaknesses of the project.

Table 12 – SWOT analysis

	Strengths (S)	Weaknesses (W)
	S1: Abundant resource reserves S2: Great development potential S3: Benefits for environmental protection	W1: High cost W2: Lack of key technologies W3: Incomplete hydrogen infrastructure
Opportunities (O)	SO strategies	WO strategies
O1: Government support O2: High social acceptability O3: Deepened cooperation	SO1: Developing large scale Coal-hydrogen technologies with CO ₂ capture and storage (CCS)	WO1: Government subsidies and tax allowance WO2: Foreign capital importation

	SO2: Popularizing fuel cell vehicles SO3: Establishing hydrogen market and industry standards	
Threats (T)	ST strategies	WT strategies
T1: Deficiency of investment channel T2: Competition with other Renewable resources T3: Unconfirmed market potential	ST1: Encouraging private participation of Industrialization and Commercialization of hydrogen energy ST2: Establishing hydrogen development priority strategy in worlds	WT1: Developing new and sustainable hydrogen technologies WT2: Improving hydrogen infrastructure

In addition, you need to identify the strengths and weaknesses of the research project to the external environmental conditions to determine the need for strategic changes. For this it is necessary to build the project matrices.

Table 13 - Strengths and Opportunities Project Matrix

	S1	S2	S3
O1	+	+	-
O2	-	+	+
O3	+	-	+

Analysis of this interactive spreadsheet showed correlated strengths and opportunities: O1S1S2, O2S2S3, O3S1.

Table 14 - Weaknesses and Opportunities Project Matrix

	W1	W2	W3
O1	+	+	-
O2	-	+	+
O3	+	-	-

The correlations of weaknesses and opportunities are as follows: O1W2, O2W2W3, O3W1. The next step in project analysis is to identify the correlation of strengths and threats.

Table 15 - Strengths and Threats Project Matrix

	S1	S2	S3
T1	+	+	-
T2	+	+	-
T3	+	+	+

The correlations of threats and strengths are as follows: T1S1, T2S2S3. The next step in project analysis is to identify the correlation of weaknesses and threats.

Table 16 - Weaknesses and Threats Project Matrix

	W1	W2	W3
T1	+	+	+
T2	-	-	+
T3	+	+	+

The correlations of threats and strengths are as follows: T1W1W2W3, T2S2S3.

2.5 An analysis of the emissions and costs of fossil fuel based versus renewable electricity-based hydrogen

2.1.1 Determinants of the production cost of hydrogen

1) Costs of producing hydrogen from fossil fuels

The production cost of hydrogen from fossil fuels is heavily determined by two factors: capital expenditure and the cost of the feedstock. CG has higher capital costs (\$2670/kW) than SMR (\$910/kW), but lower fuel costs for coal mean that these options will have a similar production cost in certain scenarios. For CG processes, capital costs account for around 50% of production costs and fuel is between 15-20% depending on the cost of coal. For SMR processes, the IEA estimated that fuel costs are likely to be between 45%-75% of hydrogen production costs. The IEA estimates that adding CCS to CG would increase capital and fuel costs by 5% and increase operation costs by 130%. Adding CCS to an SMR plant will also increase costs, which the IEA has estimated to be, on average, a 50% increase in capital costs, an additional 10% for fuel costs and a doubling of operational costs for CO₂ transport and storage.

2) CO₂ avoidance cost

The CO₂ avoidance cost is the difference between producing hydrogen with and without emissions capture. It is equivalent to the carbon price that would need to be applied for these two options to have the same production cost. There are multiple methods for calculating the CO₂ avoidance cost, but the most valid approach is to compare a given facility with a fixed level of production with and

without CCS. This requires detailed techno-economic modelling as in the reports used for the analysis in section 3. As well as the costs of CO₂ capture, it should include costs of transport and storage at suitable geological formations. Many studies do not include transport and storage costs, which will differ based on location and whether storage is onshore or offshore. Some studies do not use an exhaustive approach and only account for the costs of CO₂ capture without CO₂ transport and storage, which is consistent with a ‘cost of CO₂ captured’. Assessments also commonly do not account for the costs of long-term storage and monitoring to ensure that the carbon captured remains underground. Accordingly, the actual costs of carbon avoided will usually be likely to be higher than existing studies suggest.

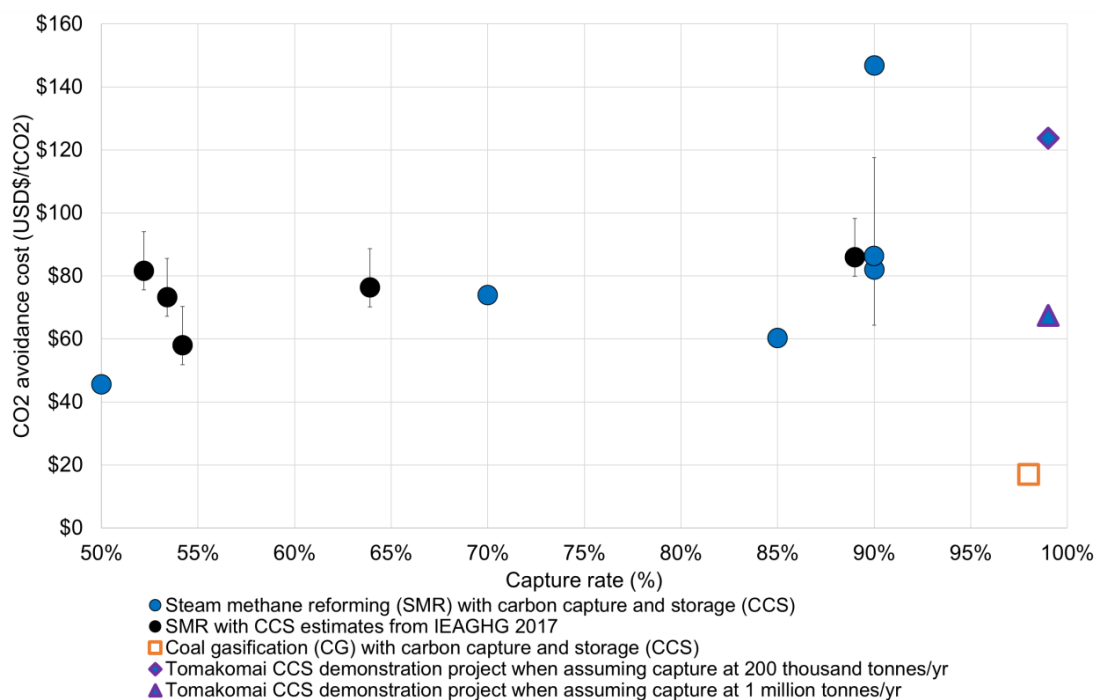
CO₂ avoidance costs differ greatly and depend on the capture rate due to the process used and additional energy needs (Figure 2). The median estimates from the range of studies³ included in this analysis are \$17/tCO₂ for CG with CCS and \$76/tCO₂ for SMR with CCS. While there is large variation in capture costs, it is clear that higher capture rates will be more expensive.

The IEAGHG study provides the most comprehensive techno-economic comparison between technologies with different capture rates. Assuming relatively low transport and storage costs of \$11/tCO₂, this work found that CCS at a 56% capture rate increases the cost of hydrogen by 18%, while 90% capture rates increase the cost by 45%.

At the recent Tomakomai CCS demonstration project in Japan, CO₂ avoidance costs for a high capture rate of 99% were \$127/tCO₂. This cost was for 200,000 tons of CO₂ captured between April 2016 and November 2019. Increasing the size of that demonstration project by a factor of five would decrease CO₂ avoidance costs by approximately 50% (from \$124/tCO₂ to \$67/tCO₂). Most of this projected cost reduction was attributed to reductions in the relative magnitude of capital costs and operation costs of the injection wells and storage. CO₂ transportation costs were not included in this analysis. This means that the CO₂ avoidance cost below \$80/tCO₂ for a capture rate of 99% quoted in that study has not been demonstrated but was extrapolated using assumptions.

The estimates for transport and storage are particularly uncertain as very few CCS plants sequester the gases in long term underground storage and the magnitude of these costs will be highly site-dependent. The studies that we reviewed have transport and storage costs as low as \$5/tCO₂ and as high as \$29/tCO₂. A recent study provided ranges for transport and storage costs when the storage site was assumed to be onshore (\$3-18/tCO₂) or offshore (\$5-50/tCO₂). The error bars in Figure 2 show the impact of doubling or halving the transport and storage costs for those studies that report them.

Figure 2: Cost of avoiding CO₂



Note: the error bars show the impact of doubling or halving the transport and storage costs for those studies that report them.

2.1.2 Determinants of the production cost of hydrogen using electrolysis and renewables

1) Costs of producing hydrogen using renewables

The largest factor determining the cost of producing hydrogen using electrolysis is the cost of electricity. With electricity costs between \$61/MWh and \$69/MWh, the magnitude of electricity expenditure has been estimated at 65-80% of total hydrogen production costs. The other defining cost components are the capital cost of electrolyzers and the capacity utilisation of electrolyzers. Other costs, such as labour, land and water, are a minor determinant of the production cost of hydrogen by electrolysis.

Recent decreases in the cost of electricity generation from solar photovoltaic (PV) and wind have lowered the cost of producing hydrogen using electrolysis. Capital costs for solar PV installations fell by 79% from 2010 to 2019 and by 24% for onshore wind generators. This results in lower average costs of generating electricity over the lifetime of assets. The levelised cost of electricity (LCOE) for solar PV installations was \$35/MWh in 2020 and has been projected to decrease to \$20/MWh by 2030. For wind, the equivalent numbers are \$33/MWh and \$31/MWh.

Electrolyser manufacturing costs are expected to fall substantially as deployment of electrolyzers increases. The capital cost of alkaline electrolyzers is between \$500-1400/kW in 2019 and projected to fall to \$400-850/kW by 2030. Polymer electrolyte membrane (PEM) electrolyzers are between \$1100-1800/kW in 2019 and projected to be between \$650-1500/kW by 2030. However, lower capital costs

have been reported. The electrolyser producing company Nel has reported an alkaline electrolyser cost of \$700/kW for 2015 and a projection of a little over \$490/kW for the near-term future.

2) Specification of the production cost of hydrogen from electrolysis

To assess the cost of producing hydrogen via electrolysis a multivariate specification is needed to account for the three main determining factors. We developed a simple equation that accurately captures the IEA estimations for hydrogen production costs using electrolysis. The equation that estimates a hydrogen production cost (PC) for a given electricity cost (EC), capital cost (CC) and operating capacity factor (CF) is:

$$PC = \beta_0 + \beta_1 EC + \beta_2 \frac{CC}{CF}$$

Where β_0 is an intercept and β_1, β_2 are parameters that define the impact of electricity costs and the ratio of capital cost and capacity factor. To specify equation above we used 24 data points from the IEA hydrogen cost relationship to estimate an Ordinary Least Squares regression. The high level of model fit (i.e., R-squared statistic) confirms that the other components of cost, such as labour, land and water, can be accurately estimated using a constant (Table 2).

We use these regression estimates to specify six cost curves for two levels of electrolyser capital costs (CC), i.e., \$1000/kW and \$500/kW, and three levels of capacity factors (CF), i.e., 90%, 45%, and 30% (Figure 3). The higher capital cost point proxies the costs of Alkaline electrolysers today and possible cost levels of PEM electrolysers in the near future. The lower capital cost point proxies' costs that might be able to be achieved over the next decade. Note that considerable capital cost reductions could occur as a learning rate of 18% has been estimated for electrolysers.

The operating capacity factor for electrolysers will depend on the energy sources. An electrolyser run from the grid or from stand-alone renewable energy sources firmed with deep storage will be able to be run at high-capacity rates, possibly exceeding 90%. Note that grid connection will generally mean some use of fossil fuel-based electricity and emissions associated with the production of hydrogen. We focus on the case of using renewable electricity as a feedstock and assume that an electrolyser run off a wind farm could operate at capacity factors close to 45%, and a standalone solar farm at around 30%. We developed production costs of hydrogen using the LCOEs for solar PV and wind in 2020 and 2030 sourced from IRENA and discussed in section 4.3.1. These hydrogen production costs are \$2.43-3.05/kg and \$1.76-2.37/kg using the solar LCOEs for 2020 and 2030. The equivalent estimates are \$2.13-2.54/kg and \$2.04-2.44/kg for wind (Figure 3).

We have used low LCOE estimates and higher capacity utilization factors, as it is likely that these will be more relevant in practice as hydrogen production would be run on the lowest cost renewable energy generation opportunities. We also emphasize the uncertainty regarding future cost estimates, and

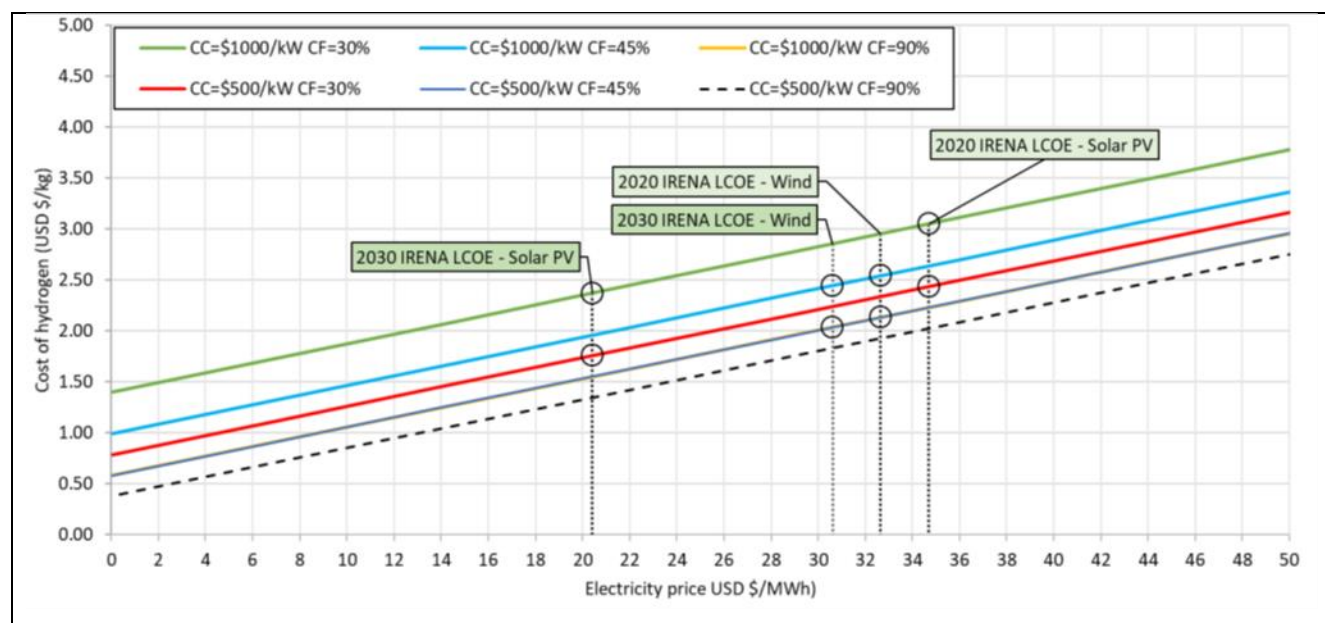
the possibility of large and rapid cost reductions as the industry scales up.

Table 17: Regression estimates for the production cost of hydrogen (PC) using data sourced from IEA model

Variable	Coefficients
Electricity cost (EC)	0.475*** (0.00)
Ratio of capital cost (CC) and capacity factor (CF)	0.037*** (0.00)
Constant	0.174*** (0.01)
R-squared	0.999
Number of observations	24

Standard errors in parentheses. Statistical significance: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1.

Figure 3: Production cost of hydrogen via electrolysis using renewable electricity



3) Comparison of costs across hydrogen technologies

We complete the analysis by comparing estimates from 16 studies (listed in the appendix6) for the different hydrogen production technologies considered in section 3: SMR and CG with and without CCS. We also include the selected estimates for renewable energy powered electrolysis from section 4.3.2 (Figure 3). Currently, producing hydrogen with fossil fuels costs less than producing it with renewable energy powered electrolysis (Figure 4). The additional cost of CCS is significant and increases the median (or central) estimates from \$1.66-1.84/kg without CCS to \$2.09-2.23/kg with CCS. These median estimates increase by a considerable amount when a carbon penalty on remaining emissions of

\$50/tCO₂ is assumed. This increases the median estimates for fossil fuels with CCS from \$2.09-2.23/kg to \$2.24-2.70/kg. In comparison, the median estimate for renewables-based electrolysis would decrease from \$3.64/kg for the present day to \$1.85/kg when capital and/or electricity costs are lower. The assumptions used differs by study and these are provided in the appendix. They include estimates that use an LCOE as low as \$10/MWh and the lowest level of capital costs is \$200/kW.

A range of target prices have been set in various strategies and \$2/kg is a common benchmark for cost-competitive hydrogen. It has been set as a target by the US Department of Energy for the levelized cost of hydrogen at the plant gate. A comparable figure (20 yen/Nm³) was also included in the Japanese Hydrogen Strategy as a target for the landed cost of imports of hydrogen. Australia has a \$2/kg (AUD) production cost target for ‘clean’ hydrogen, which is equivalent to \$1.4/kg (USD).

While the cost of producing hydrogen via electrolysis is expected to fall, fossil fuel and carbon capture options are mature technologies. Likewise, it is unlikely that there will be significant reductions in carbon transport and storage as cost improvements from economies of scale will be limited. The inclusion of realistic CO₂ transport, storage and monitoring costs would lead to higher costs than currently projected.

From our analysis, we can extract an implied carbon price that would be required to make low emission fossil-fuel technologies (i.e., SMR and CG with 90% CCS) break even with current fossil-fuel hydrogen costs. Using the median estimates from Figure 4, a carbon price of \$22/tCO₂ (CG) and \$46/tCO₂ (SMR) would be required to make hydrogen production from fossil fuels with CCS achieve cost parity with the non-CCS option. This occurs at a production cost of \$2.23/kg (SMR) and \$2.43/kg (CG) (Figure 5). This is due to a high carbon abatement cost and reflects the costliness of CCS as an option to decarbonize hydrogen production. Achieving capture rates above 85% is expensive, the residual emissions are notable, and CCS has no impact on fugitive emissions, which are included in this analysis. So, it only takes a moderate increase in costs, either a carbon price or revised costs of transport, storage and monitoring, to shift the median CCS estimates away from the example target price of \$2/kg.

These increases in cost also make these technological options less favorable compared to electrolysis with lower capital cost or low-cost electricity.

Figure 4: Production cost of hydrogen by type

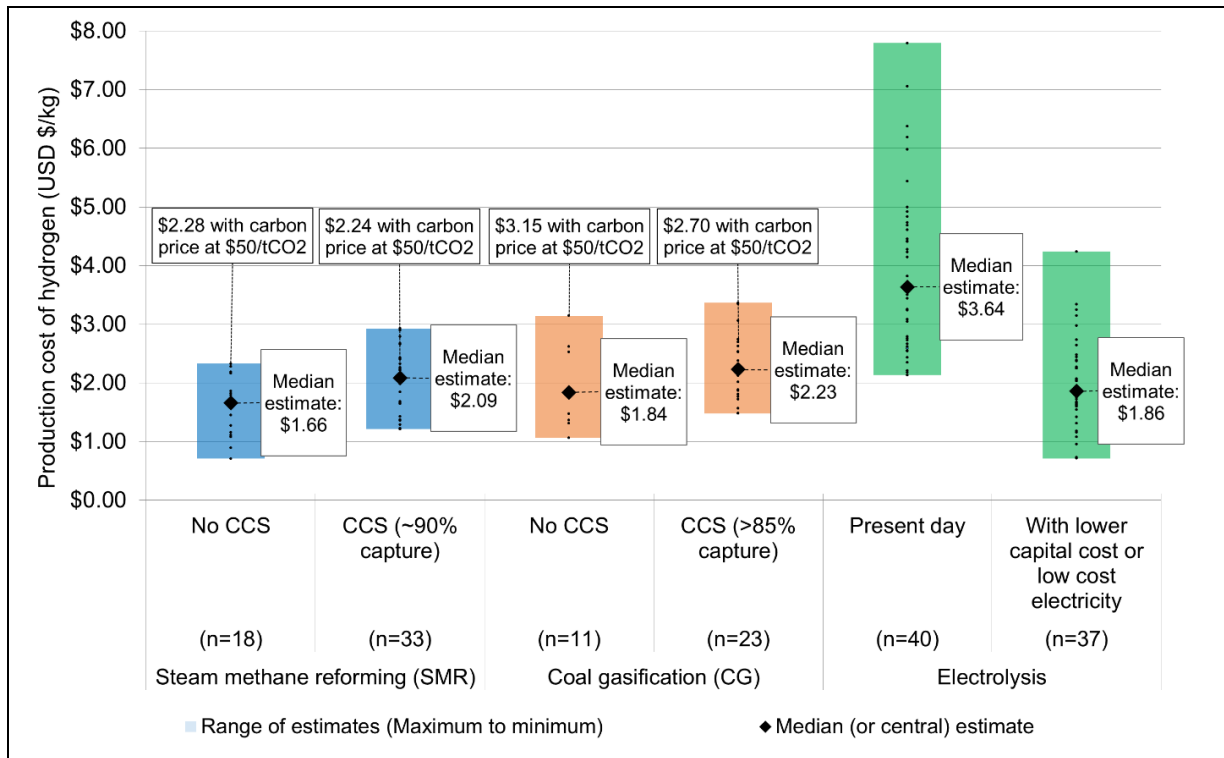
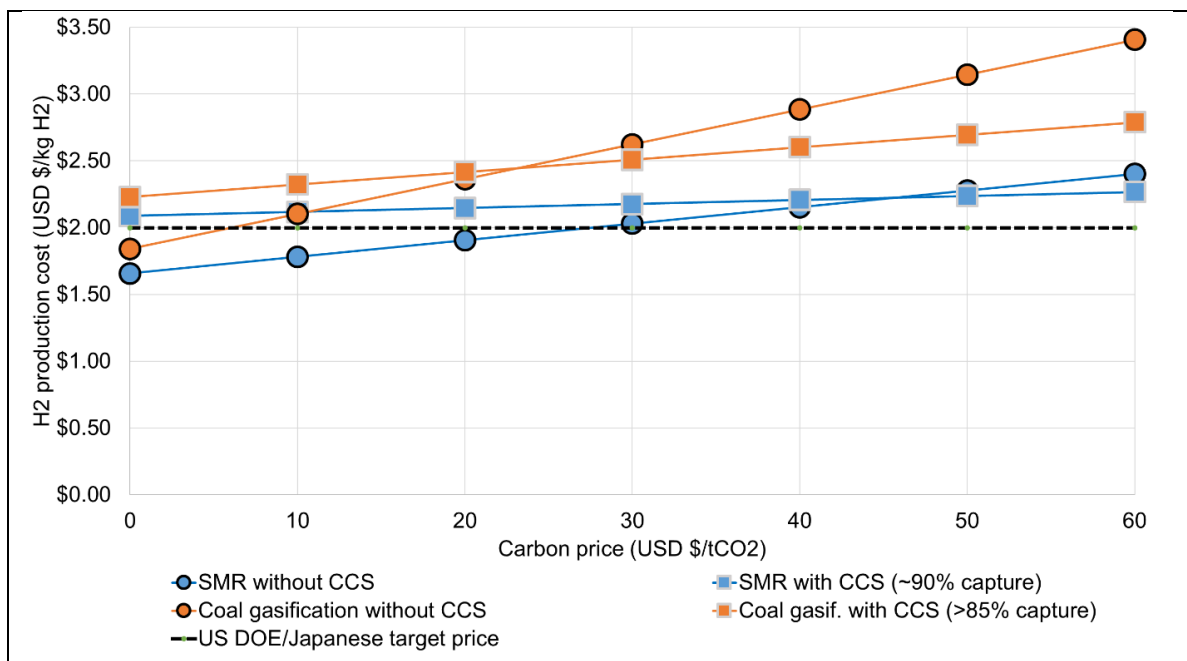


Figure 5: Impact of carbon pricing on the cost of fossil fuel-based hydrogen



Note: this graphic is based on the median estimates Shown in Figure 4 and does not incorporate the range of estimates for fossil fuel-based hydrogen. The emission intensity used in the calculation are those shown as bars in Figure 1 and include both process and fugitive emissions.

2.6 Conclusions

A number of government strategies foresee ‘low-emission’ hydrogen production from fossil fuels with CCS as an element of their hydrogen strategies. We find that these ‘low-carbon’ production

methods create significant greenhouse gas (GHG) emissions when realistic capture rates and fugitive emissions from feedstock extraction are taken into account. The extent of the emissions is often downplayed or ignored in governments' public statements about future hydrogen supply chains, with many treating low-emission and zero-emission production as functionally equivalent or interchangeable. The high rates of carbon capture typically posited in government strategies are likely to be both difficult to achieve in practice and costly. CCS is an inherently expensive option for decarbonizing hydrogen production. Our analysis shows that carbon prices of \$22-46/tCO₂e would be required to make hydrogen from fossil fuels with CCS competitive with hydrogen produced from fossil fuels without CCS. In contrast, the cost of producing zero-carbon hydrogen from electrolysis could fall in the foreseeable future, and be cost-competitive with fossil fuel options.

Hydrogen can help achieve decarbonization of global energy systems; however, the use of oil or natural gas would come with significant remaining emissions even if relatively high carbon capture rates were achieved. Using emission intensities that include fugitive emissions means that if SMR with CCS at a capture rate of 90% were to occupy 40% of total hydrogen production, the amount of GHG emissions generated annually would equal 2.5% of 2019 energy related CO₂ emissions. Hydrogen produced from fossil fuels without CCS would result in much higher emissions compared to unmitigated combustion of fossil fuels. Setting up new fossil fuel-based hydrogen supply chains using fossil fuels without CCS would be detrimental.

As CCS and fossil fuel-based facilities have long lifetimes, early investment in fossil fuel-based hydrogen production creates a risk of lock-in. Tightening carbon constraints combined with decreases in the cost of hydrogen from electrolysis will raise the possibility that natural gas and coal-based hydrogen production assets could become stranded. Meanwhile, many national hydrogen strategies define both fossil fuel with CCS and renewable based options as 'clean' and/or 'low-emission'. The current framing of these options suggests that there is a risk of government support for an option incompatible with stated objectives of energy system decarbonization and net-zero emissions outcomes.

2.1 Russia's Hydrogen Energy Strategy

Vision

In June 2020, the Russian Federation released its Energy Strategy to 2035. This document outlines Russia's overarching, medium-term plans for its energy sector, a vital segment of its economy. The strategy includes a broad overview of its plan for hydrogen: to export 0.2 million metric tons of hydrogen by 2024 and 2 million by 2035. For context, global hydrogen production was approximately 70 million metric tons in 2019.

Russia's hydrogen strategy was further fleshed out with the October 2020 release of the Roadmap for Hydrogen Development until 2024. The document outlines, still in broad terms but with some detail,

a multi-year action plan for the development of a hydrogen energy sector in Russia. The Russian government's most recent and most detailed release, the Concept for the Development of Hydrogen Energy in Russia (August 2021), is the first step in the lengthy action plan outlined in the roadmap.

Russia's energy strategy spells out two broad goals: (1) increasing socioeconomic development and (2) maintaining a commanding position in global energy. The strategy outlined in the document includes structural diversification, doubling down on domestic fossil fuel energy infrastructure in key regions, growing Russia's presence in Asia-Pacific markets, and non-committal calls for climate action.

Russia's hydrogen strategy echoes these goals and strategic aspects, but how this strategy will materialize remains unclear. Many key questions—what the priority areas will be, how much money will be dedicated to developing this sector, how many clusters will be created, what the role(s) of the private sector will be, etc.—have yet to be answered.

Russia believes it has a competitive advantage in hydrogen because of its vast fossil fuel resource endowment coupled with a global, mature oil and gas industry. Natural gas is currently the dominant feedstock for hydrogen energy production globally; Russia remains the second-largest producer globally, a potential boon in terms of cost competitiveness. Furthermore, conventional wisdom ranks the oil and gas sector (and its workforce) among the highest in terms of transferable skills for hydrogen energy production. The roadmap also lists Russia's already-existent expertise in hydrogen fuel—in production, transportation, and storage—as a boon.

Russia's hydrogen strategy is not solely based on the country's strengths. All strategy documents acknowledge changing global demand in the face of the energy transition, and Russia's hydrogen strategy is clearly an attempt to adapt. As a major hydrocarbon producer, Russia also faces compounding risks in a decarbonizing global economy.

Both the concept and the roadmap highlight the defensive aspects of Russia's plans, with nods to climate change, the global energy transition, and rising demand for low-carbon products. A variety of action items/tactics named in the documents demonstrate a recognition that emissions from future hydrogen fuel production may receive greater scrutiny from foreign buyers. For example, Russia's strategy explicitly outlines the creation of low-carbon, export-oriented hydrogen production facilities within the Northwest cluster (or "hub"), with an eye toward low-carbon demand from Europe. While it is unclear how much effort will be put into green hydrogen, it is mentioned numerous times in both the roadmap and the concept as a likely priority.

Strategy

The concept spells out three phases of development:

- ✓ Stage 1 (2021–2024): Reach 0.2 million metric tons of exports by creating hydrogen clusters and a research ecosystem, developing technologies and manufacturing of

industrial products for hydrogen, implementing pilot projects, and creating domestic demand for hydrogen.

- ✓ Stage 2 (2025–2035): Reach 2 million metric tons of exports by launching commercial projects for hydrogen production, particularly large, export-oriented production facilities. Continue to expand and integrate hydrogen energy into the domestic market. Scale up the production and export of domestically produced hydrogen equipment.
- ✓ Stage 3 (2036–2050): Develop, and be a major player in, a global hydrogen energy market on a large scale. Export 15–50 million metric tons to the global market by 2050.

The crux of the strategy seems to lie in developing hydrogen clusters. Strategic documents have so far avoided defining these clusters. Beyond inferred export and production facilities, and an explicit mention of leveraging university systems, it is unclear what other institutions and facilities mentioned will be part of these clusters. (More on the clusters below.)

Aside from these clusters, the concept is more a lengthy menu of tactics than a coherent set of guiding principles, goals, or instructions. There is little sense of priority, or even a discernible strategy, within the laundry list of potential actions.

The roadmap offers more structure, including distinct steps and timelines for various aspects of the strategy. The eight aspects include strategic planning, state support, production capacity, pilot projects, research and development, regulatory development, workforce development, and international engagement.

That said, the roadmap's timelines only go to 2024, and much of the document is essentially a plan to make a plan. Most steps simply require government entities to report on various broad aspects of the strategy (e.g., the state of the workforce) to better define priorities, feasibility, and actual steps needed to be taken.

Responsibility for executing these and future aspects remains ambiguous. The roadmap lists the entities involved in each step—sometimes at great length—but does not provide a sense of hierarchy or assignment for fleshing out the development of the hydrogen sector. The Ministry of Energy may be the most vital actor in this strategy, as it has been made responsible for annual reporting on the sector's development.

The concept repeatedly references or alludes to mobilizing the private sector (largely unmentioned in the roadmap), but without much specificity. However, in July 2021 the government founded a working group, involving large companies including Novatek, Sibur, and Sistema. State-owned enterprises in the group include Rosatom, Rosneft, Gazprom and Gazpromneft, Kamaz and Rostec, as well as Rosnano.

Russia clearly intends to be a global, geopolitical leader on hydrogen energy. The concept

emphasizes international cooperation, including working with other countries on pilot projects, industry standards, and trade regulation. (Interestingly, Russia’s strategy includes the promotion of “technological neutrality,” an effort to safeguard hydrogen energy produced from fossil fuels and, notably, from nuclear power.) The roadmap lists the following potential international partners: Germany, Japan, Denmark, Italy, Australia, the Netherlands, and South Korea. Outside these documents, Russian officials have also expressed interest in joint projects with Saudi Arabia.

Russia has recently signed bilateral cooperation agreements on hydrogen energy with the United Arab Emirates (UAE) and Japan. The extent of cooperation with either country remains vague, though the agreement with the UAE includes a working group on issues pertaining to hydrogen energy development.

Geography

Per the concept, Russia plans to create three hydrogen clusters, or hubs: a Northwest cluster, an Eastern cluster, and an Arctic cluster. The document also leaves the possibility for a fourth Southern cluster.

The Northwest and Eastern clusters are in direct response to anticipated demand centers for hydrogen. Russia intends to use the Northwest cluster to export to European markets—with an eye toward low-carbon (and, theoretically, zero-carbon) products—and the Eastern cluster for exportation to Asian markets. The Arctic cluster aligns with supply; the cluster would likely correspond with new gas resource development. This cluster also fits clearly within Russia’s broader strategic interest in maintaining a strong economic (and military) presence in the Arctic. (A Southern cluster would presumably be contingent upon demand growth for hydrogen fuel, but the concept offers little on this, geographically or otherwise.)

Precisely where these clusters will be located is yet to be determined. The definitional ambiguity of the clusters, combined with the lack of geographic specificity in the document, leaves this an open question. However, it is strongly implied that the geography of these clusters will mirror the current geography of Russia’s natural gas sector. (Russia is already exploring the use of Nord Stream 2 for hydrogen.) Based on current economic and infrastructure realities, one can infer likely candidates for the Northwest, Eastern, and Arctic clusters: the Leningrad Oblast, Primorsky Krai, and Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, respectively.

The concept also mentions the creation of a domestic research ecosystem and local and regional markets—domestic demand creation and research hubs are mentioned throughout the strategy. But beyond the clusters and hydrogen-fueled urban transport, the geographic picture for Russia’s research ecosystem and domestic demand remains unclear.

References:

1. Longden, T., Beck, F.J., Jotzo, F., Andrews, R. and Prasad, M., 2021. 'Clean'hydrogen? An analysis of the emissions and costs of fossil fuel based versus renewable electricity-based hydrogen. Australian National University, p.6.
2. <https://www.alliedmarketresearch.com/green-hydrogen-market-A11310>

Chapter 3: Social Responsibility

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
5АМ04		Фрэнк Марки Тему	
Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	ОЭЭ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Исследование материалов плазмодинамического синтеза в системе углерод-азот в качестве катализаторов получения водорода/Study of Plasma Dynamic Synthesis Materials in the Carbon-Nitrogen System as Catalysts for Hydrogen Production.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования: Разработать наноматериалы, которые могут работать как эффективные электрокатализаторы для общего расщепления воды с особым акцентом на HER. Другой важной целью этого исследовательского проекта было сосредоточиться на простом протоколе синтеза электрокатализаторов при сохранении высокой активности по отношению к HER с низким перенапряжением и долгосрочной стабильностью.</i></p> <p><i>Область применения: технологии производства, преобразования и хранения энергии, реакции выделения водорода и реакции выделения кислорода, а также производство водородной энергии.</i></p> <p><i>Рабочая зона: офис/лаборатория/производственное помещение/полевые условия : Лаборатория 05 (8-й корпус, цокольный этаж) для проведения экспериментов по теме ВКР</i></p> <p><i>Размеры помещения климатическая зона*): Микроклимат, производственные шумы и вибрации, освещение и электромагнитные поля. Электрический ток. Название факторов по госту 2015 Защиты and Проведены расчеты по уровню шума и освещению одной из комнат лаборатории.</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: 6 Количество и прибор SEM, TEM, XPS, XRD, CAMP и CH (электрохимический анализатор)</i></p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: анализ характеристик материалов и синтез наноматериалов.</i></p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации :</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; 	<p>ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
<p>2. Производственная безопасность <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора 	Микроклимат, производственные шумы и вибрации, освещение и электромагнитные поля. 2.1. Электрический ток. 2.2. Название факторов по ГОСТ 12.0.003-2015 Защиты Проведены расчеты по уровню шума и освещению одной из комнат лаборатории.
<p>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></p>	Имеется ограниченное количество публикаций о влиянии сконструированных наночастиц на животных и растения в окружающей среде. На сегодняшний день доступно лишь несколько методов количественного анализа для измерения наночастиц в природных системах, что приводит к серьезному дефициту информации об их присутствии в окружающей среде. Основная проблема будет заключаться в том, являются ли какие-либо наночастицы, попадающие в окружающую среду, токсичными или могут стать токсичными для живых организмов в окружающей среде. Например, существует вероятность того, что наночастицы могут быть токсичными для микроорганизмов в почве и грунтовых водах. Следствием этого могут быть возможные опасности от наночастиц или от потребления микроорганизмов, пораженных наночастицами, для рыб, насекомых или млекопитающих. Существует также риск для растений от наночастиц, которые снова могут оказать последующее воздействие на пищевую цепь. Например, отложение атмосферных частиц на сельскохозяйственных культурах может обеспечить еще один путь для токсичных или реакционноспособных наночастиц в пищевую цепь. Высвобождение наночастиц может происходить из точечных источников, таких как производственные объекты, свалки или очистные сооружения, или из неточечных источников, таких как износ из материалов, содержащих NP. Также возможен случайный выброс во время производства или транспортировки. В дополнение к непреднамеренному выбросу наночастицы также преднамеренно выбрасываются в окружающую среду.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения/при эксплуатации</u></p>	Пожар или взрыв во время эксперимента.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Антоневич Ольга Алексеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ04	Фрэнк Марки Тему		

3.1 Социальная ответственность

Социальной ответственностью является ответственность организации за воздействия ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества, учитывает ожидания заинтересованных сторон, соответствует применяемому на данный момент законодательству и согласуется с международными нормами поведения, а также интегрировано в деятельность организации и применяется в ее взаимоотношениях.

Исследование основано на получении графитоподобных углерод-азотных материалов методом плазмодинамического синтеза/коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ). Экспериментальная часть всех исследований проводится в лаборатории 05 (рис. 3.1), расположенной на первом этаже 8-го учебного корпуса, где персонал находится на протяжении всего времени (от подготовки до эксперимента).

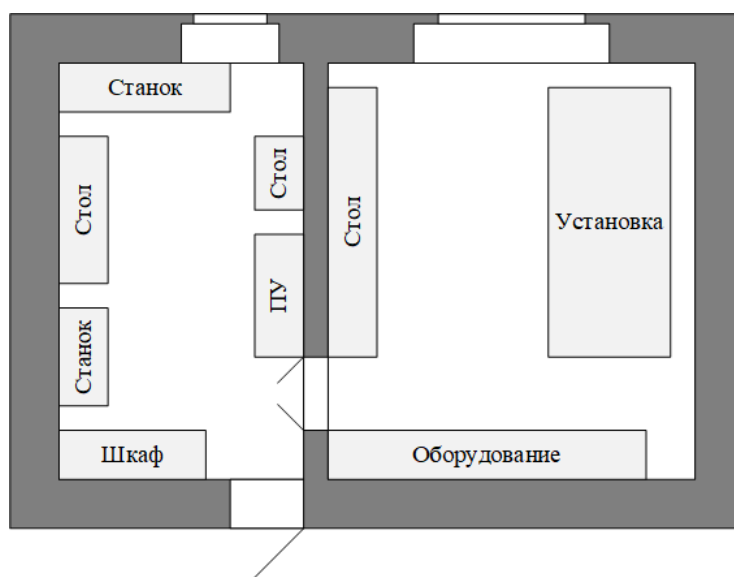


Рисунок 3.1 – Схема лаборатории 05

В лаборатории находятся высоковольтная экспериментальная установка на основе КМПУ, различное электрооборудование (токарный, настольный сверлильный, шлифовальный и отрезной станки) и баллоны с газами аргона, азота и кислорода.

Таким образом, глава будет посвящена правовым и организационным вопросам обеспечения безопасности, выявлению и анализу вредных и опасных факторов, которые могут воздействовать на персонал и окружающую среду, а также разработка мер и методов по проведению безопасных работ.

3.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Лаборатория, как и другие рабочие зоны, имеет свои характерные правовые нормы трудового законодательства [1]. Таким образом, студент имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- получение достоверной информации об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда;
- личное участие в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте.

В комнате с установкой имеется рабочий стол для выполнения работ сидя по подготовке к экспериментальным работам. Для создания комфортной рабочей среды в лаборатории соблюдены основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя согласно [2]:

- высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах 680-800 мм; при отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна составлять 725 мм;
- рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм;
- рабочий стул должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию;
- рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°; поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Остальные работы (работа за станками, сборка и разборка экспериментальной установки) в лаборатории выполняются стоя. Для создания комфортной рабочей среды стоя в лаборатории соблюдены основные эргономические требования согласно [2, 3]:

- выполнение частых трудовых операций обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля;
- организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более чем на 15°;
- для обеспечения удобного, возможно близкого подхода к столу, станку или машине должно быть предусмотрено пространство для стоп размером не менее 150 мм по глубине, 150 мм по высоте и 530 мм по ширине;
- при работе двумя руками органы управления размещают с таким расчетом, чтобы не было перекрещивания рук;

○ места возможных контактов органов управления с руками и ногами работающего должны быть выполнены из нетоксичных, а в необходимых случаях и из нетеплопроводных и электроизоляционных материалов.

В лаборатории для тщательной чистки внутренней камеры экспериментальной установки на последнем этапе используется ацетон или бензин. Хранение таких жидкостей допускается в толстостенных, снабженных герметичными пробками бутылках. Предельно допустимые объемы ацетона и бензина, разрешенные к хранению в рабочих помещениях, составляют 0,5 и 0,3 дм³ соответственно [4].

Помещение лаборатории должно соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками согласно [4, 5]:

- все электрооборудование с напряжением свыше 36 В, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, должны быть надежно заземлены;
- для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается [4, 5]:

- работать на неисправных электрических приборах и установках;
- перегружать электросеть;
- переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
- работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;
- загромождать подходы к электрическим устройствам.

После окончания работы необходимо отключить электроэнергию, газ и воду во всех помещениях [4].

3.4 Производственная безопасность

На персонал лаборатории могут воздействовать следующие вредные факторы: микроклимат в помещении лаборатории, производственные шумы и вибрации от электрооборудования, освещение помещения лаборатории, электромагнитные поля от высоковольтных оборудований. Большинство электрооборудования находятся под напряжением, следовательно, главным опасным производственным фактором может являться воздействие электрическим током, вторым опасным фактором – взрыв баллона с газом по причине неправильного его хранения или эксплуатации (таблица 7.1).

Таблица 3.1 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ		Нормативные документы
	Подготовка эксперимента	Проведение эксперимента	
Отклонение показателей микроклимата	+	+	СанПиН 2.2.4.548-96 [59]
Превышение уровня шума	+		СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [60]
Превышение уровня вибрации	+		ГОСТ 12.1.012-2004 [62] СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [63]
Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	СП 52.13330.2016 [64]
Превышение уровня напряженности периодического магнитного поля	+		СанПиН 2.2.4.1191-03 [65]
Электрический ток	+		ГОСТ Р 12.1.009-2009 [67]
Взрыв баллона с газом	+		ПБ 03-576-2003 [68]

3.3.1 Анализ вредных факторов, оказывающих влияние на персонал

На протяжении всего времени микроклимат в лаборатории оказывает воздействие на персонал. Для оценки воздействия этого фактора есть ряд метеорологических условий, которые отслеживаются в помещении [6]:

- температурой воздуха t (°C);
- относительной влажностью φ (%);
- скоростью движения воздуха на рабочем месте v (м/с);
- интенсивность теплового излучения (Вт/м²).

При определенном сочетании перечисленных выше условий микроклимата в лабораторном помещении человек будет испытывать ощущение теплового комфорта на протяжении всего времени проведения экспериментальных работ. Состояние теплового комфорта оказывает положительное влияние на работоспособность, не вызывает отклонение в состоянии здоровья работающего. В таблице 7.2 представлены оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата в рассматриваемой лаборатории согласно [6].

При отклонениях от нормы параметров микроклимата их можно регулировать с помощью использования системы кондиционирования воздуха и системы отопления. В зимний период в лаборатории используется система регулируемого центрального водяного отопления.

Таблица 3.2 – Оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха	
		ниже опт. величины	выше опт. величины			ниже опт. величины	выше опт. величины
Оптимальные величины							
Холодный	Іб (140-174)	21–23		20–24	60–40	0,1	
Теплый	Іб (140-174)	22–24		21–25			
Допустимые величины							
Холодный	Іб (140-174)	19-20,9	23,1-24	18-25	15–75	0,1	0,2
Теплый	Іб (140-174)	20-21,9	24,1-28	19-29		0,1	0,3

Шум достаточно сильно ухудшают условия труда и оказывают вредное воздействие на организм человека, его самочувствие и внимательность, что может привести к травмам при работе на станках. Источниками шумов выступают электрооборудование, имеющие двигатели: компрессор, вентиляция, станки и электроинструмент. Длительное воздействие шума на организм приводит к потере или ухудшению слуха, снижению остроты зрения, ухудшается внимание, повышается давление крови. Сильное шумовое воздействие может вызвать серьезные заболевания сердечно-сосудистой и нервной систем.

Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука в лаборатории следует принимать исходя из таблицы 3.3 согласно [4].

Таблица 3.3 – Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

Среднегеометрические частоты, Гц	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Нормативные значения, дБ	103	91	83	77	73	70	68	66	64
Уровень звука и эквивалентный уровень звука (в дБА)	75								

Нормативные значения, приведенные в таблице 5.2, применяются при работе за пультами в кабинах наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону, в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, в помещениях для размещения шумных агрегатов вычислительных машин [5].

Уровни шума источников, находящихся в лаборатории, представлены в таблице 3.4 согласно [8].

Таблица 3.4 – Уровни звукового давления различных источников

Источник шума	Уровень шума, дБ
Система приточно-вытяжной вентиляции	45
Токарный станок	76
Настольный сверлильный станок	89
Шлифовальный станок	76
Отрезной станок	80

Для расчета уровня шума L , возникающего от нескольких источников, используется принцип энергетического суммирования излучений отдельных источников по выражению (1):

$$L = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} =$$

$$= 10 \cdot \lg(10^{0,145} + 10^{0,176} + 10^{0,189} + 10^{0,176} + 10^{0,180}) = 89,89 \text{ дБА}, \quad (1)$$

где L_i – уровень звукового давления i -го источника шума; n – количество источников шума.

Таким образом, для снижения воздействия производственных шумов на рабочих в лаборатории необходимо пользоваться индивидуальными средствами защиты: противошумными наушниками или вкладышами.

Вибрация относится к числу факторов, обладающих высокой биологической активностью. Длительное воздействие вибрации на рабочего может привести к возникновению у него головокружения, расстройству координации движений, вестибулярной неустойчивости, укачиванию, нарушению зрения. Источниками вибрации являются токарный, настольный сверлильный, шлифовальный и отрезной станки.

Существует два вида нормирования вибрации: санитарно-гигиеническое и техническое. Санитарно-гигиеническое нормирование регламентирует параметры производственной вибрации и правила работы с виброопасными механизмами и оборудованием. Такие параметры регламентируются согласно [9] и [10].

Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории III–технологической типа «В» представлены в таблице 7.5.

Вибрации в лаборатории относятся к технологической вибрации 3 категории – технологического типа «В», так как общая вибрация 3 категории – технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации (станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна, оборудование промышленности стройматериалов, установки химической и нефтехимической промышленности и др. Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют на следующие типы:

Таблица 3.5 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест категории III – технологической типа «В»

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X ₀ , Y ₀ , Z ₀							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с·10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт	1/3 окт	1/1окт
1,6	0,0130		82		0,130		88	
2,0	0,0110	0,020	81	86	0,089	0,180	85	91
2,5	0,0100		80		0,063		82	
3,15	0,0089		79		0,045		79	
4,0	0,0079	0,014	78	83	0,032	0,063	76	82
5,0	0,0079		78		0,025		74	
6,3	0,0079		78		0,020		72	
8,0	0,0079	0,014	78	83	0,016	0,032	70	76
10,0	0,0100		80		0,016		70	
12,5	0,0130		82		0,016		70	
16,0	0,0160	0,028	84	89	0,016	0,028	70	75
20,0	0,0200		86		0,016		70	
25,0	0,0250		88		0,016		70	
31,5	0,0320	0,056	90	95	0,016	0,028	70	75
40,0	0,0400		92		0,016		70	
50,0	0,0500		94		0,016		70	
63,0	0,0630	0,110	96	101	0,016	0,028	70	75
80,0	0,0790		98		0,016		70	
Корректированные и эквивалентные значения и их уровни		0,014		83		0,028		75

А – на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий; Б – на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию; В – на рабочих местах в помещениях заводууправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещений, рабочих комнат и других помещений для работников умственного труда.

Для обеспечения вибрационной безопасности можно использовать виброизоляцию.

Освещение рабочих областей также является важным фактором. При неправильной организации может повлечь травмы или порчу оборудования по причине искажения получаемой визуальным путем картины. Помимо этого, плохое освещение приводит к утомлению зрения, а также организма в целом.

Неправильное освещение может стать причиной возникновения чрезвычайной ситуации из-за некорректных действий персонала. Нормы к освещению научно-технических лабораторий представлены в таблице 3.6 [11].

Таблица 3.6 – Нормы к освещению научно-технических лабораторий

Освещаемые объекты	Средняя горизонтальная освещенность не менее, лк
Лаборатории научно-технические (кроме медицинских учреждений): термические, физические, спектрографические, стилометрические, фотометрические, микроскопные, рентгеновские, рентгено-структурного анализа, механические, радиоизмерительные, электронных устройств	400

В качестве количественной характеристики освещенности принята наименьшая освещенность рабочей поверхности E_{min} . Для лабораторий и аудиторий высших учебных заведений минимально допустимый уровень освещенности равен 400 лк [11]. Схема размещения светильников в лаборатории представлена на рисунке 3.2.

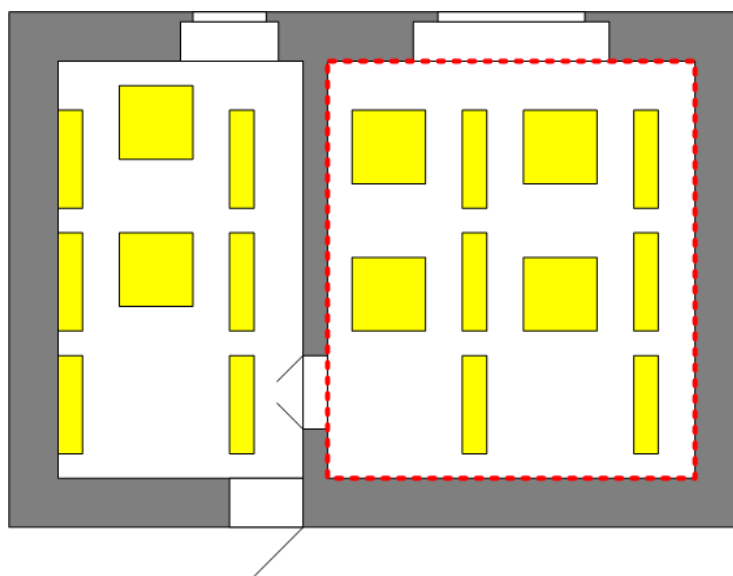


Рисунок 3.2 – Схема размещения светильников в лаборатории. Определяем индекс помещения i по выражению (2):

$$i = \frac{S}{(A+B) \cdot h} = \frac{A \cdot B}{(A+B) \cdot h} = \frac{6,2 \cdot 6}{(6,2+6) \cdot 2,3} = 1,33, \quad (2)$$

где S – площадь помещения; A и B – длина и ширина помещения соответственно; h – расстояние между светильником и горизонтальной поверхностью, на которой рассчитывается освещенность.

Из рисунка 3.3 определяем коэффициент использования светового потока η для потолочных светильников.

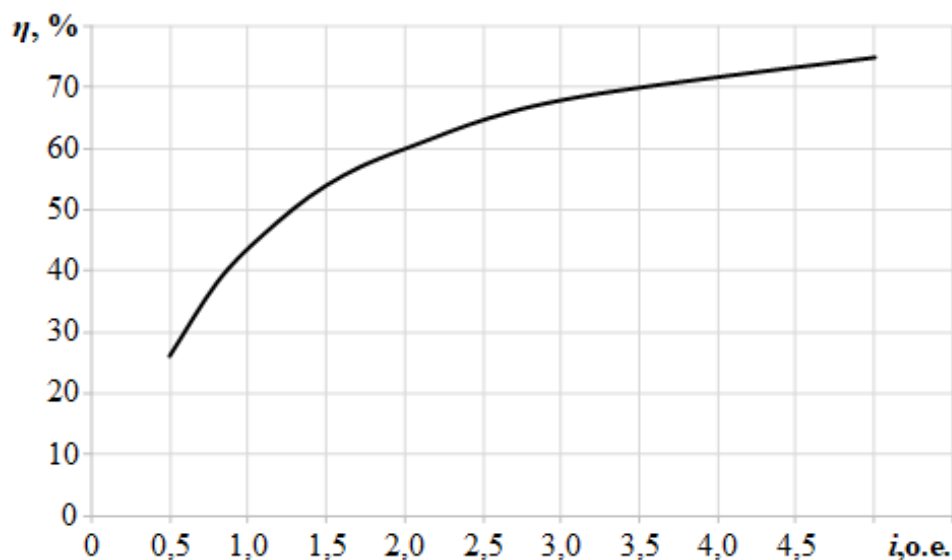


Рисунок 3.3 – График зависимости коэффициента использования светового потока для потолочных светильников от индекса помещения $\eta = f(i)$. Определяем освещенность в лаборатории E по выражению (3):

Определяем освещенность в лаборатории E по выражению (3):

$$E = \eta \cdot \frac{F}{S} = \eta \cdot \frac{F}{A \cdot B} = 0,49 \cdot \frac{35760}{6,2 \cdot 6} = 471,03 \text{ лк}, \quad (3)$$

где F – общий световой поток в лаборатории с экспериментальной установкой, определяемый по выражению (4):

$$F = \sum_{i=1}^n f_i = f_1 \cdot n_1 + f_2 \cdot n_2 = 2760 \cdot 6 + 1200 \cdot 16 = 35760 \text{ лм}, \quad (4)$$

где f_1 и f_2 – световые потоки люминесцентных ламп OSRAM L36W/765 и OSRAM L18W/640 соответственно; n_1 и n_2 – общее количество люминесцентных ламп OSRAM L36W/765 и OSRAM L18W/640 соответственно.

Таким образом, освещение в лаборатории соответствует нормам, представленных в СП 52.13330.2016.

Для проведения эксперимента в установке используются различные высоковольтное оборудование (емкостные накопители энергии, электрическая система управления и зарядки) на рабочий персонал будет воздействовать такой вредный фактор, как электромагнитные поля. Интенсивное воздействие электромагнитного поля промышленной частоты вызывает у работающих нарушение работы центральной, нервной и сердечно-сосудистой систем.

Воздействие электромагнитного поля на человека принято оценивать количеством поглощаемой электромагнитной энергии. Величина электромагнитных полей (таблица 7.7) нормируется согласно [12].

Таблица 3.7 – Предельно допустимые уровни напряженности периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, ч	Допустимые уровни МП/МИ, [А/м]/[мкТл]	
	Общее воздействие	Локальное воздействие
<1	1600/2000	6400/8000
2	800/1000	3200/4000
4	400/500	1600/2000
8	80/100	800/1000

Для территорий, где установлено электрооборудование, согласно [13], установлены нормы на предельно допустимые напряженности электрического поля промышленной частоты. Данные нормы приведены ниже:

- при значениях свыше 25 кВ/м – пребывание в электрическом поле без средств защиты не допускается;

- при значениях $20 \div 25$ кВ/м – пребывание в электрическом поле не более 10 минут;
- при значениях $5 \div 20$ кВ/м – допустимое время пребывания в электрическом поле вычисляют по формуле: $T = (50/E) - 2$, ч;
- при значениях менее 5 кВ/м – пребывание в электрическом поле подпускается в течение полного рабочего дня.

Если напряженность электрического поля превышает предельно допустимые уровни, применяются различные меры по ее снижению. Для снижения влияния полей на персонал в лаборатории во время проведения экспериментов необходимо применять средства коллективной защиты. Таковыми являются экранирующие устройства. В случае рассматриваемой лаборатории в момент запуска экспериментальной установки весь персонал находится вне помещения, где располагается экспериментальная установка и управление процессом проводится дистанционно.

К организационным относятся мероприятия, обеспечивающие соблюдение требований ограничения продолжительности пребывания возле электроустановок, организация рабочих мест на расстоянии от токоведущих частей или соблюдение внимательности при приближении к ним.

3.3.1 Анализ опасных факторов, оказывающих влияние на персонал

К опасным факторам можно отнести наличие в помещении большого количества аппаратуры, использующей однофазный электрический ток напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

В соответствии с ПУЭ [5] по степени опасности электропоражения лаборатория относится к помещениям с повышенной опасностью, так как присутствует возможность одновременного соприкосновения с имеющимися соединениями с землей металлическими предметами и металлическими корпусами оборудования.

К организационным мероприятиям, обеспечивающим безопасность работ в электроустановках согласно [4] относятся:

- оформление работ нарядом, распоряжением или перечнем работ, выполняемым в порядке текущей эксплуатации;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерывов в работе, перевода на другое место, окончания работы.

Данные организационные мероприятия в полном объеме применимы на промышленных предприятиях. При проведении очередного эксперимента оформляется опыт-лист, где помимо параметров эксперимента указывается персонал, находящийся во время подготовки и выполнения эксперимента. Допуски и надзор во время этого осуществляет научный руководитель.

При подготовке рабочего места для работ со снятием напряжения оперативным персоналом должны быть выполнены в указанном порядке следующие мероприятия [5, 14]:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения к месту работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационной аппаратуры;
- на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационной аппаратурой вывешены запрещающие плакаты («Не включать, работают люди», «Не включать работа на линии») и при необходимости установлены ограждения;
- присоединены к «земле» переносные заземления, проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, на которых должно быть наложено защитное заземление для защиты людей от поражения электрическим током;
- непосредственно после проверки отсутствия напряжения должно быть наложено заземление;
- вывешены предупреждающие плакаты и предписывающие плакаты.

Поражения электрическим током при прикосновении к незащищенным токоведущим частям можно избежать соблюдением правил техники безопасности (ТБ), обеспечением хорошего освещения высоковольтного оборудования в

лаборатории, применением защитного заземления, сооружением контура заземления и защитных ограждений.

Также в лаборатории располагаются газовые баллоны, находящиеся под давлением для заполнения камер при экспериментах в различных средах. Эксплуатация, хранение и транспортировка баллонов должны производиться в соответствии с требованиями инструкции [15]. Основные положения правил:

- баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях, должны находиться на расстоянии не менее 1 м от радиаторов отопления и других отопительных приборов, и печей и не менее 5 м от источников тепла с открытым огнем;
- складское хранение в одном помещении баллонов с кислородом и горючими газами запрещается;
- при эксплуатации баллонов находящийся в них газ запрещается расходовать полностью. Остаточное давление газа в баллоне должно быть не менее 0,05 МПа (0,5 кгс/см²);
- выпуск газов из баллонов в емкости с меньшим рабочим давлением должен производиться через редуктор, предназначенный для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет;
- проведение опытов с применением данного оборудования должно выполняться в присутствии научного руководителя или другого ответственного лица во избежание неправильных действий.

3.4 Экологическая безопасность

При проведении серии опытов на установке изнашиваются расходные материалы – ствол-электрод и таблетка в изолируемом корпусе. При подготовке к экспериментам возникает большое количество различного мусора: металлическая стружка и изоляционный материал. Этот материал необходимо правильно утилизировать или подвергать повторному использованию. Металлические отходы необходимо отправлять на переплавку, изоляционный материал повторно использовать на производстве.

В лаборатории используется большое количество вспомогательного оборудования, например, трансформаторы, ЕНЭ, осциллографы и персональный

компьютер. В случае выхода из строя оборудования, происходит списание с последующим отправлением специальным предприятиям для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Причинами, по которой оборудования могут выйти из строя, являются атмосферные перенапряжения и загрязнения. От перенапряжения может спасти использование защиты или резервного источника. Основной причиной загрязнения оборудования в лаборатории является пыль. Во избежание поломки рекомендуется проводить чистку оборудования не менее одного раза в месяц. Для общей чистоты лабораторной аудитории рекомендуется проводить влажную уборку один раз в день.

К жидким отходам относятся бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки лаборатории при пользовании водопроводом, которые сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях [16]. При подготовке к выполнению эксперимента некоторые процедуры сопровождаются нагревом, дымообразованием и выделением в атмосферу через вентиляцию загрязняющих веществ.

К газообразным отходам, загрязняющих воздух, относятся естественные выделения – углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения (альдегиды, кетоны, азотистые соединения) и пыль. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает загрязнение атмосферы. К основным мероприятиям по уменьшению загрязнения воздуха относятся [17]:

- правильный выбор материалов для оборудования, средств КИПиА, герметизация системы;
- применение систем автоматических блокировок и аварийной остановки, обеспечивающих отключение оборудования и установок при нарушении технологического режима.

3.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями является пожар и взрыв оборудования в лаборатории, что может привести к возникновению пожара. Причинами могут быть неисправная электропроводка, неисправное электрооборудование или несоблюдение техники пожарной безопасности. В связи с этим необходимо принимать меры, направленные на повышение взрыва- и пожаробезопасности.

Основными мерами для предотвращения пожаров являются соблюдение всех стандартов по проектированию и строительству зданий и сооружений, своевременная проверка и ремонт электрооборудования, а также соблюдение правил пожарной безопасности.

В целях обеспечения пожарной безопасности проводятся технические и организационные мероприятия.

К техническим мероприятиям относятся:

- соблюдение правил технической эксплуатации электротехнического оборудования;
- контроль изоляции электрооборудования;
- надлежащая планировка территории вуза и размещения на ней технических зданий и сооружений;
- соблюдение противопожарных разрывов в стенах зданий и сооружений;
- правильное размещение выходов и аварийного освещения.

Организационные мероприятия – это комплекс мероприятий, связанных с устранением причин, способных вызвать самовозгорание. К ним относятся:

- запрещение пользоваться открытым огнем при производстве работ в пожароопасных помещениях;
- удаление из помещений легко воспламеняющихся материалов и веществ, способных к самовозгоранию;
- разработка плана эвакуации людей и имущества из помещений;
- обучение рабочих и служащих мерам пожарной безопасности.

При возникновении пожара на объекте первый заметивший очаг пожара

должен немедленно сообщить руководителю лаборатории, а при наличии связи – в пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения [18].

Для предотвращения возникновения чрезвычайной ситуации в помещении лаборатории установлена пожарная сигнализация со звуковым оповещением. На рисунке 7.4 представлен план эвакуации из лаборатории.

Первичные средства пожаротушения (ПСПТ) – неотъемлемая часть пожаротушения, которым должны оснащаться все места и сооружения с массовым скоплением людей на случай тушения возгорания.

Состав ПСПТ [19][20]:

- пожарные щиты различной комплектации;
- вода из сетей противопожарных водопроводов, водоемов;
- песок;
- негоряемые полотнища;
- огнетушители (жидкостные, порошковые, углекислотные, воздушно-пенные);
- инструмент, применяемый при тушении (ломы, ведра, багры, лопаты).

Также к чрезвычайным ситуациям относится внезапное обрушение здания, где находится лаборатория с персоналом. Строения изнашиваются из-за долгой эксплуатации.

В ряде случаев причинами обрушения являются взрывы вследствие утечки газа, неправильная эксплуатации бытовых газовых приборов, неосторожное обращение с огнем, хранение в помещении легко воспламеняющихся жидкостей и взрывчатых веществ.

Кроме того, обрушение сооружения возможно вследствие техногенной ЧС. Во время стихийных бедствий (в первую очередь, при землетрясении), но в Томской области это маловероятно. Также обрушение может произойти по причине большого количества осадков в виде снега на крыше здания. Разрушения могут быть следствием не только силы стихии, но и плохого качества строений и их технического износа.



Рисунок 3.4 – План эвакуации

Выводы

В главе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности в лаборатории, выявлены и проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут воздействовать на персонал и окружающую среду. Также разработаны меры и методы по проведению безопасных работ.

Определены характерные для лаборатории правовые нормы трудового законодательства, основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны при работах сидя и стоя, а также рассмотрены правила хранения ацетона и бензина в лаборатории и меры для предотвращения электротравматизма.

Выявлены вредные и опасные факторы (таблица 7.1), которые могут воздействовать на персонал лаборатории. Проведен расчет уровня шума, возникающего от нескольких источников ($L = 89,89$ Дб). Расчет показал, что при работе на станках необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты. Также рассчитана освещенность в комнате с установкой для сравнения с теоретическим значением ($E \approx 470$ лк $> E_{\min} = 400$ лк). Расчет показал, что освещение соответствует нормам СП 52.13330.2016.

В разделе экологической безопасности рассмотрены виды отходов, возникающие при работе в лаборатории, их влияние на литосферу, гидросферу и атмосферу, а также методы и мероприятия по уменьшению загрязнения окружающей среды.

В работе также проанализирована безопасность в чрезвычайных ситуациях в лаборатории. Рассмотрены комплекс мероприятий по устранению причин самовозгорания, состав первичных средств пожаротушения, а также разработан план эвакуации из лаборатории.

Reference:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 16.12.2019).
2. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
3. ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
4. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
5. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).
6. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). – М.: Госторгиздат, 2018. – 503 с.
7. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
8. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.
9. Снижение шума в зданиях и жилых районах / Г. Л. Осипов, Е. Я. Юдин, Г. Хюбнер, М. В. Сергеев. – М.: Стройиздат, 1987. –

558 с.

10. ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.
11. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданиях.
12. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение.
13. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы.
14. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 июля 2013 г. №328н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» (с изменениями и дополнениями).
15. ГОСТ Р 12.1.009-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения.
16. ПБ 03-576-2003. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
17. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
18. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест.
19. Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21 декабря 1994г. №69-ФЗ (ред. от 27.12.2019).
20. О противопожарном режиме (с изменениями на 20 сентября 2019 года). Правительство Российской Федерации. Постановление от 25