

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ

Науковий журнал

Засновник і видавець: Вінницький національний технічний університет

Виходить 6 разів на рік

Заснований у грудні 1993 року

№ 2 (155) 2021

Схвалено Вченою радою
Вінницького національного технічного університету,
протокол № 13 від 29.04.2021 р.

© Вінницький національний технічний університет, 2021

Вінниця · ВНТУ · 2021

Журнал «Вісник Вінницького політехнічного інституту» є виданням, яке входить до Переліку наукових фахових видань України у галузі технічних наук (**категорія Б**) за спеціальностями: 121, 122, 123, 124, 125, 126, 131, 132, 133, 141, 144, 151, 152, 163, 172, 183, 275, а також 01.05.00, 05.02.02, 05.02.10, 05.03.05, 05.09.03, 05.11.00, 05.13.05, 05.13.06, 05.12.13, 05.12.20, 05.14.02, 05.14.06, 05.22.20, 05.23.02, 05.23.05 (накази Міністерства освіти і науки України: від 11.07.2019 р. та № 975, від 15.10.2019, № 1301);

Журнал входить у міжнародні наукометричні бази Index Copernicus International та Google Scholar і реферується в Українському реферативному журналі «Джерело».

Журнал публікує статті, які містять нові теоретичні та практичні результати в галузях технічних, економічних, природничих та гуманітарних наук. Публікуються також огляди сучасного стану розв'язання важливих наукових проблем, огляди наукових та методичних конференцій, які відбулися у ВНТУ, статті з педагогіки вищої освіти.

Розділи журналу:

- ☒ автоматика та інформаційно-вимірювальна техніка;
- ☒ будівництво;
- ☒ гуманізація і гуманітаризація технічної освіти;
- ☒ застосування результатів досліджень;
- ☒ екологія та екологічна безпека;
- ☒ економіка та менеджмент;
- ☒ енергетика, електротехніка та електромеханіка;
- ☒ інформаційні технології та комп'ютерна техніка;
- ☒ машинобудування і транспорт;
- ☒ радіоелектроніка та радіоелектронне апаратобудування;
- ☒ стратегія, зміст та нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою;
- ☒ рецензії;
- ☒ ювілеї і ювіляри.

Сайт журналу <http://visnyk.vntu.edu.ua/>

DOI журналу <https://doi.org/10.31649/1997-9266>

Адреса редакції:
ВНТУ, к. 204 ГНК,
вул. Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, Україна, 21021

Контакти:
Тел.: (0432) 65-18-06
E-mail: visnykvpi@gmail.com

Головний редактор

Мокін Б. І., академік НАПН України, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

Заступники головного редактора

Грабко В. В., д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Василевський О. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

Відповідальний секретар редколегії

Дерібо О. В., канд. техн. наук, доцент (ВНТУ).

Члени редакційної колегії

технічні науки:

Азаров О. Д., д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Багацький В. О.**, д-р техн. наук, професор (ІК); **Білинський Й. Й.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Біліченко В. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Біскало О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Боровська Т. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Василенко В. Б.**, д-р філософії, професор (Новий університет Лісабона, Португалія); **Войцек В.**, д-р техн. наук, професор (Державний університет «Люблінська Політехніка», Польща); **Григорова К.**, д-р філософії (Русенський університет «Ангел Кинчев», Болгарія); **Грушко О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Губінський М. В.**, д-р техн. наук, професор (НМетАУ); **Данилов В. Я.** д-р техн. наук, професор (НТУУ «КПІ»); **Дінь Тхань Вьет**, д-р філософії, доцент, (Університет м. Дананг, В'єтнам); **Друкований М. Ф.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Дубовой В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Іскович-Лотоцький Р. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Квстний Р. Н.**, член-кор. НАПН України, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Кичак В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Козлов Л. Г.** д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Кулик В. В.**, д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Кучерук В. Ю.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Кухарчук В. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Лежнюк П. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Лужецький В. А.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Майєр Г.**, д-р наук хабілітований, професор, (Інститут Макса Планка (структури і динаміки матерії), Гамбург, Німеччина); **Мартинюк Т. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Михалевич В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Мокін В. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Мокін О. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Моргун А. С.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Огородніков В. А.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Осадчук В. С.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Осадчук О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Павлов С. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Петрук В. Г.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Поліщук Л. К.**, д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Поляков А. П.**, д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Постолатій В. М.**, академік АН Молдови, д-р техн. наук (Інститут енергетики АН Молдови, Молдова); **Ранський А. П.**, д-р хім. наук, професор (ВНТУ); **Романюк О. Н.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Русу Іоан**, д-р інженерії, професор (Технічний університет ім. Георге Асакі, м. Ясси, Румунія); **Савуляк В. І.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Семенов А. О.**, д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Стратан Іон**, д-р техн. наук, професор (Технічний університет Молдови, Молдова); **Ткаченко С. Й.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Трофимчук О. М.**, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор (ІТГП); **Штовба С. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ), **Яремчук Ю. Є.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

педагогічні науки:

Денисюк С. Г., д-р політ. наук, професор (ВНТУ); **Джеджула О. М.**, д-р пед. наук, професор (ВНАУ); **Клочко В. І.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ); **Корнієнко В. О.**, д-р політ. наук, професор (ВНТУ); **Куцевол О. М.**, д-р пед. наук, професор (ВДПУ); **Петрук В. А.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ); **Ратніков В. С.**, філос. наук, професор (ВНТУ); **Хома О. І.**, д-р філос. наук, професор (ВНТУ); **Хом'юк І. В.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ).

економічні науки:

Карачина Н. П., д-р екон. наук, професор (ВНТУ); **Мороз О. В.**, д-р екон. наук, професор (ВНТУ); **Мороз О. О.**, д-р екон. наук, професор (ВНТУ).

Використані скорочення:

ВДПУ — Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Україна;

ВНАУ — Вінницький національний аграрний університет, Україна;

ВНТУ — Вінницький національний технічний університет, Україна;

ІК — Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна;

ІТГП — Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна.

НМетАУ — Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.

НТУУ «КПІ» — Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна;

Відповідальний за випуск Дерібо О. В.

ЗМІСТ

DOI випуску <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2>

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

- Білинський Й. Й., Книш Б. П.** Аналіз характеристик та обґрунтування індексів рослинності 7
- Кухарчук В. В., Коваль А. М.** Автоматизований контроль механічних параметрів дводвигунового електропривода похилого дифузійного апарата 15

БУДІВНИЦТВО

- Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г., Гудзь Д. В.** Використання золи виносу Бурштинської ТЕС в технології виробництва автоклавного газобетону 24

ЕКОЛОГІЯ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

- Березюк О. В., Лемешев М. С.** Динаміка охоплення населених пунктів Вінницької області впровадженням роздільного збирання твердих побутових відходів 32

ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Горенюк В. В.** Синтез та ідентифікація моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом по схилах і підйомах дороги 37
- Романюк Ю. Ф., Соломчак О. В., Грабчук Б. Л., Савчин О. І.** Вибір системи живлення низьковольтних однофазних електроприймачів повітряних ліній напругою 220/380 В 45
- Бардик Є. І., Болотний М. П., Бондаренко О. Л.** Визначення ризику порушення нормального режиму енергосистеми при плановому і аварійному виведенні з експлуатації електрообладнання 54
- Кутін В. М., Шпачук О. О., Кутіна М. В.** Оцінювання вірогідності контролю параметрів ізоляції обмотки статора блока «генератор–трансформатор» 63
- Бурбело М. Й., Лобода Ю. В., Лебедь Д. Ю.** Система прямого керування струмом активного фільтра 69
- Рубаненко О. Є., Рубаненко О. О., Грищук М. О.** Аналіз отриманих частотних характеристик силового трансформатора та визначення його технічного стану з їхньою допомогою 76

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

- Щербіна Є. С., Месюра В. І.** Механізми інтеграції блокчейнів між собою 85
- Малініч І. П., Месюра В. І., Арсенюк І. Р.** Аналіз використання трафіку при скануванні комп'ютерних мереж різними версіями Nmap 92
- Марковець О. В., Синько А. І.** Формування якісної технічної документації до програмного забезпечення 98

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

- Дерібо О. В.** Вплив схеми базування на похибку базування як складову мінімального проміжного припуску для механічної обробки 107
- Карпеченко А. А., Бобров М. М., Лимар О. О.** Електродугове напилення композиційних металополімерних покриттів 114

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

- Месарош Л. В., Чучман М. П.** Зміна оптичних характеристик води внаслідок обробки розрядом 120
- Кичак В. М., Барабан І. О.** Розробка математичної моделі перемикання електричної поляризації у сегнетоелектричному конденсаторі 126

СОДЕРЖАНИЕ

DOI выпуска <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2>

АВТОМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- Билинский И. И., Кныш Б. П.** Анализ характеристик и обоснование индексов растительности 7
- Кухарчук В. В., Коваль А. М.** Автоматизированный контроль механических параметров двухдвигательного электропривода наклонного диффузионного аппарата 15

СТРОИТЕЛЬСТВО

- Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г., Гудзь Д. В.** Использование золы уноса Бурштынской ТЭС в технологии производства автоклавного газобетона 24

ЭКОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Березюк О. В., Лемешев М. С.** Динамика охвата населенных пунктов Винницкой области внедрением раздельного сбора твердых бытовых отходов 32

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

- Горенюк В. В.** Синтез и идентификация моделей оптимального движения электромобиля с асинхронным электроприводом по склонам и подъемам дороги 37
- Романюк Ю. Ф., Соломчак О. В., Грабчук Б. Л., Савчин О. И.** Выбор системы питания низковольтных однофазных электроприемников воздушных линий напряжением 220/380 В 45
- Бардик Е. И., Болотный Н. П., Бондаренко О. Л.** Определение риска нарушения нормального режима энергосистемы при плановом и аварийном выводе из эксплуатации электрооборудования 54
- Кутин В. М., Шпачук А. А., Кутина М. В.** Оценка достоверности контроля параметров изоляции обмотки статора блока «генератор–трансформатор» 63
- Бурбело М. И., Лобода Ю. В., Лебедь Д. Ю.** Система прямого управления током активного фильтра 69
- Рубаненко А. Е., Рубаненко А. А., Грищук М. А.** Анализ полученных частотных характеристик силового трансформатора и определение его технического состояния с их помощью 76

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНИКА

- Щербина Е. С., Месюра В. И.** Механизм интеграции блокчейнов друг с другом 85
- Малинич И. П., Месюра В. И., Арсенюк И. Р.** Анализ использования трафика при сканировании компьютерных сетей различными версиями Nmap 92
- Марковец А. В., Синько А. И.** Формирование качественной технической документации для программного обеспечения 98

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

- Дерибо А. В.** Влияние схемы базирования на погрешность базирования как составляющую минимального промежуточного припуска для механической обработки 107
- Карпеченко А. А., Бобров М. Н., Лимарь А. А.** Электродуговое напыление композиционных металлополимерных покрытий 114

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ АППАРАТОСТРОЕНИЕ

- Месарош Л. В., Чучман М. П.** Изменение оптических характеристик жидкости в результате обработки разрядом 120
- Кичак В. М., Барабан И. А.** Разработка математической модели переключения электрической поляризации в сегнетоэлектрическом конденсаторе 126

CONTENTS

Issue DOI <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-155-2>

AUTOMATION AND INFORMATION-MEASURING EQUIPMENT

Bilynskyi Yo., Knysh B. Analysis of Characteristics and Justification of Vegetation Indices	7
Kukharchuk V., Koval A. Mechanical Parameters Automated Control for a Two-motor Electric Drive of an Inclined Diffusion Apparatus	15

CIVIL ENGINEERING

Serdiuk V., Rudchenko D., Hudz D. Use of Removal Ash Burshtynskaya TPP in Technology of Autoclave Concrete Production.....	24
--	----

ECOLOIGY AND ENVIRONMENTAL SECURITY

Bereziuk O., Lemeshev M. Dynamics of Settlements Coverage of Vinnytsia Region by Introduction of Separate Collection of Municipal Solid Waste	32
---	----

ENERGY GENERATION, ELECTRIC ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

Horeniuk V. Synthesis and Identification of Optimal Motion Models of an Electric Car with an Induction Traction Motor on the Slopes and Rises of the Road	37
Romaniuk Yu., Solomchak O., Grabchuk B., Savchyn O. Determination of Power Supply System for Low Voltage Single Phase Electric Consumers of Overhead Power Lines 220/380 V	45
Bardyk Ye., Bolotnyi M., Bondarenko O. Determination of Disruption Risk of the Normal Regime of the Electric Power System under Planned and Emergency Decommissioning of Electrical Equipment	54
Kutin V., Shpachuk O., Kutina M. Evaluation of the Probability Parameters of Insulation Control of the Stator Windings “Generator-Transformer” Unit	63
Burbelo M., Loboda Yu., Lebed D. Active Filter Current Direct Control System	69
Rubanenko O., Rubanenko O., Hryshchuk M. Analysis of the Obtained Frequency Characteristics of Power Transformers and Determination of its Technical Conditions with their Help.....	76

INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTER SCIENCE

Shcherbina E., Mesyura V. Mechanisms of Blockchains Integration with Each Other	85
Malinich I., Mesyura V., Arseniuk I. Analysis of Traffic Usage by Scanning Computer Networks with Different Versions of Nmap	92
Markovets O., Synko A. Formation of High-Quality Technical Documentation for Software	98

MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT

Deribo O. Influence of the Basing Scheme on the Basing Error as a Component of the Minimum Intermediate Allowance for Machining	107
Karpechenko A., Bobrov M., Lymar O. Electric Arc Spraying of Composite Metal-Polymer Coatings	114

RADIOELECTRONICS AND RADIOELECTRONIC EQUIPMENT MANUFACTURING

Mesarosh L., Chuchman M. Changing in the Optical Properties of Water by Discharge Treatment.....	120
Kychak V., Baraban I. Development of a Mathematical Model of Electrical Polarization Switching in a Ferroelectric Capacitor.....	126

ЗМІНА ОПТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДИ ВНАСЛІДОК ОБРОБКИ РОЗРЯДОМ

¹Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці ІІ, Берегово;

²Ужгородський національний університет

На сьогоднішній день актуальними є питання про екологічний стан довкілля, зокрема води. Якість води визначається домішками, які вона містить, та рівнем рН. Чиста вода — це вода, якість якої достатня для здорового життя людей, тварин та рослин, які споживають воду. У природі хімічно чистої води (H₂O) практично немає. Для очистки води можна застосувати тліючий розряд за атмосферного тиску в повітрі між металічним і рідинним електродами. Також актуальним питанням постає вивчення наночистинки та можливостей їхнього застосування. Наноструктурні матеріали мають розміри від 1 до 100 нм і можуть бути виготовлені з різних речовин, яким притаманні унікальні властивості та функції. Наночастинкам приділяють велику увагу, через їхню високу стабільність у біологічних рідинах, а також тривалий час зберігання. Метою роботи є вивчення дії розряду на воду методом поглинання випромінювання. Як джерело випромінювання використовувалась вольфрамова лампа. Порівнювались інтенсивність випромінювання, що пройшло через порожню кювету, та інтенсивність випромінювання, що пройшло через кювету з рідиною. Вода, оброблена розрядом, отримана запалюванням тліючого розряду над водою в кюветі, виготовленій з органічного скла. Одним з електродів була голка з міді, а іншим — поверхня дистильованої води. Анодом була голка з міді діаметром 2 мм, а катодом — мідна пластина. Відстань між кінчиком анода і поверхнею дистильованої води складала 7 мм, а товщина розчину над поверхнею металевго катода — 5 мм. Подано результати дослідження оптичних характеристик рідини. Наведено залежності інтенсивностей випромінювання від довжини хвилі з використанням різних водних розчинів та води різної чистоти. Досліджено коефіцієнти пропускання випромінювання для різних розчинів. Обговорено роль сполук на основі O, S, H, N у поглинанні. Встановлено, що пропускання випромінювання чистою водою максимальне в діапазоні довжин хвиль 450...550 нм. Спектри поглинання дистильованої води до і після обробки розрядом дуже подібні, якщо довжина хвиль менша за 500 нм, а із зростанням довжини хвилі дія розряду викликає збільшення поглинання. Поглинання домішками в діапазоні 400...650 нм вказує на переважну роль у поглинанні сполук на базі атомів O, S.

Ключові слова: вода, коефіцієнт пропускання, розсіювання та поглинання, наночастинки, розряд, технічна вода.

Вступ

Вода необхідна для здійснення господарської та промислової діяльності людей, для багатьох технологічних процесів в промисловості та у виробництві. Основними джерелами забруднення поверхневих водних об'єктів є стічні води. Вода з річок очищується до питної та транспортується до будинків і підприємств, а потім каналізаційні стоки після очистки повертаються знову до річок [1]. Тліючі розряди за атмосферного тиску, які запалюються між твердим металевим електродом і поверхнею води чи електроліту, широко застосовуються для очистки питної води [2]. Засоби очищення технічної води детально розглянуті в [3]. Іншим актуальним питанням ХХІ століття є вивчення наночистинки та можливостей їхнього застосування для збереження довкілля. Наночастинки створюють нові можливості в фармакології та терапії захворювань. Наноматеріали мають перспективу як основа засобів спрямованого впливу на біологічні процеси, доставки лікарських сполук та діаг-

ностики, тому вивчення властивостей наночастинок та можливих побічних ефектів є одними з основних проблем для нанофармакології, нанотоксикології та медицини. Особливий інтерес до наноматеріалів пов'язаний з тим, що з переходом в нанорозмірний стан відбуваються зміни низки фундаментальних властивостей речовини. Водночас, питання щодо зв'язку біологічної активності наноматеріалів з їхніми фізико-хімічними властивостями, а також особливостей взаємодії з мікрооточенням в біосистемах залишаються дискусійними [4], зокрема застосування наночастинок Al_2O_3 потребує детального вивчення.

Одним із сучасних застосувань тліючого розряду з рідинними електродами є одержання наночастинок оксидів металів, перспективних для використання в оптиці і в сонячній енергетиці [5]. Під час запалювання тліючого розряду над поверхнею водного розчину $Al_2(SO_4)_3$ виявлено утворення білого дрібнодисперсного порошку, який випадав у осад. Попередні результати дослідження спектрів поглинання таких розчинів у діапазоні довжин хвиль 400...700 нм вказують на суттєве збільшення поглинання при обробці розчинів з більшою концентрацією розчиненої речовини, порівнюючи 1% та 10% розчини. З аналізу даних роботи [6], повинен проявлятися плазмонний пік, спричинений наявністю наночастинок Al_2O_3 .

Мета роботи — дослідити зміну спектральних характеристик коефіцієнта поглинання водних розчинів $Al_2(SO_4)_3$ після обробки розрядом. Подальші дослідження можуть виявити можливі сфери використання цих результатів у промисловості та екології.

Техніка та методика експерименту

Спектри поглинання світла визначають інтенсивність випромінювання, яке поглинається в речовині при пропусканні через неї світла. Для проведення досліджень використовувалась експериментальна установка, блок-схема якої показана на рис. 1. Як джерело випромінювання використовувалась вольфрамова лампа СИ-8-200 (для спектральної зони 350...800 нм).

Випромінювання попадало в кювету діаметром 25 мм та довжиною 150 мм через кварцові вікна. Випромінювання, яке пройшло крізь розчин аналізувалося системою реєстрації: за допомогою монохроматора МДР-2 (1200 штр/мм), фотопомножувача ФЕУ-106, підсилювача У5-9 та системи для автоматичної реєстрації спектрів на базі аналогово-цифрового перетворювача і ПЕОМ.

Для порівняння використовувалась інтенсивність джерела випромінювання, отримана при проходженні через порожню кювету I_0 , та інтенсивність випромінювання, отримана при проходженні через кювету з рідиною I (див. рис. 1).

Для усунення ефекту розсіювання світла проводилось нормування площі світної плями, яка одержувалась на вході монохроматора з рідиною та без неї. Таким чином, маємо змогу отримати спектри поглинання рідини. Віднімаючи від інтенсивності спектра поглинання дистильованої води інтенсивність спектра поглинання води обробленої розрядом та технічної води, отримуємо характерний спектр поглинання речовин, які містяться в воді.

Спектр поглинання визначається властивостями молекул речовини, яка поглинає світло. Характерні смуги поглинання виникають при переходах електронів молекули з нижнього на верхній енергетичний рівень, що відбувається на характерній для молекули довжині хвилі. У випадку розчинів на поглинання впливає взаємодія молекул між собою, що проявляється в зсуві довжин хвиль поглинання.

Пропускання T визначається як відсоток відношення інтенсивності світла, що проходить через зразок, та світла, яке падає на нього

$$T = 100 I / I_0. \quad (1)$$

Для проведення експериментів використовувались: дистильована вода, оброблена розрядом, 1% розчин солі $Al_2(SO_4)_3$, та технічна вода. Обробка розрядом отримувалась шляхом запалювання тліючого розряду над водою у кюветі, виготовленої з оргскла, одним електродом служила голка з

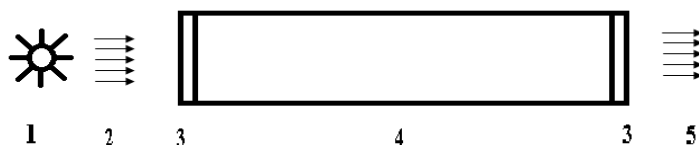


Рис. 1. Блок-схема експериментальної установки для вивчення оптичних властивостей рідин: 1 — джерело випромінювання, 2 — випромінювання, яке попадає в кювету, 3 — кварцові вікна, 4 — пластикова кювета діаметром 25 мм та довжиною 150 мм, 5 — випромінювання, яке пройшло крізь розчин, та аналізується системою реєстрації та запису спектрів

міді, а другим — поверхня дистильованої води. Для живлення розряду використаний високовольтний випрямляч ($U = 1 \dots 25$ кВ; $I = 1 \dots 100$ мА) з баластним опором $R = 434$ кОм. Анодом служила голка з міді діаметром 2 мм, а катодом — мідна пластина. Експерименти проводилися за відстані між кінчиком анода і поверхнею дистильованої води 7 мм і товщини розчину над поверхнею металевого катода — 5 мм. Детальніше умови отримання води, обробленої розрядом, та схема експериментальної установки описані у роботі [3]. Базова похибка вимірювань для спектрів — 3%, а з урахуванням зміни інтенсивності через зміну площі світної плями складала до 15%.

Результати дослідження

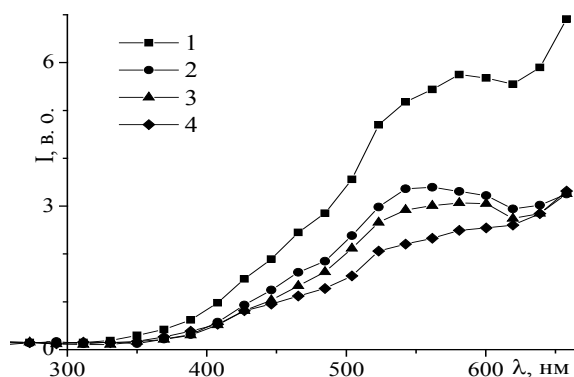


Рис. 2. Інтенсивність джерела випромінювання (1) та інтенсивність випромінювання, яке пройшло через кювету з дистильованою водою, обробленою розрядом (2), 1% розчином солі $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (3) та технічною водою (4)

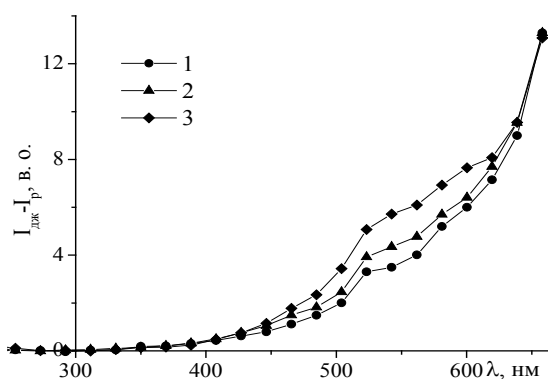


Рис. 3. Інтенсивність випромінювання, поглинута дистильованою водою, обробленою розрядом (1), 1% розчином солі $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (2) та технічною водою (3)

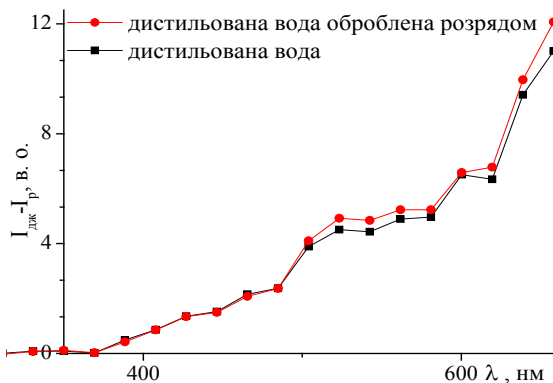


Рис. 4. Інтенсивність випромінювання, поглинута дистильованою водою та дистильованою водою, обробленою розрядом

На рис. 2 показано спектр джерела випромінювання та спектри, отримані внаслідок пропускання світла через кювету, наповнену водою різної чистоти та водним розчином сульфату алюмінію. На основі таких експериментальних даних отримано відповідні спектри поглинання, які показані на рис. 2 з урахуванням спектральної чутливості фотоприймача, інтенсивності випромінювання на графіках вказані у відносних одиницях (в.о.).

Як видно з рис. 3 поглинута інтенсивність найбільша у випадку технічної води, поглинання 1% розчину сульфату алюмінію наближається до технічної води лише в діапазоні довжин хвиль більше 650 і менше 450 нм, так само як і для дистильованої води.

Розсіювання світла водою та розчином приводило до зміни діаметра плями випромінювання, яке пройшло через кювету. Для усунення цього ефекту виконане калібрування інтенсивності на площу. Площа плями обробленого розрядом розчину сульфату алюмінію найбільша, відповідно в ньому містяться частки, які найефективніше розсіюють випромінювання. Відносно джерела випромінювання співвідношення площ для технічної води, води обробленої розрядом, та 1% розчину сульфату алюмінію таке: 1,35 : 1,45 : 1,55.

Спектри поглинання дистильованої води до і після обробки розрядом дуже подібні в діапазоні довжин хвиль менше 500 нм. Зі зростанням довжини хвилі від 500 нм до 650 нм дія розряду спричиняє деяке збільшення поглинання. Для виявлення специфіки поглинання речовинами, розчиненими у воді, побудовано рис. 4.

Інтенсивність випромінювання, поглинута домішками, отримана відніманням від відповідних залежностей інтенсивності поглинання чистої води (рис. 5). Як видно з рис. 5, поглинання в зонах 400 нм та 650 нм дуже близькі для технічної води, розчину, обробленого розрядом, та дистильованої води, обробленої розрядом. Основні відмінності проявляються в діапазоні 450...600 нм. У дистильованій воді при обробці розрядом в малій кількості з'являються домішки з максимумом поглинання на довжині хвилі

520...540 нм. Для розчину характерні максимуми поглинання знаходяться на довжинах хвиль 465; 542; 620 нм. Технічна вода краще поглинає на довжинах хвиль 465; 504; 542; 600 нм. Підвищення поглинання на довжинах хвиль 542 та 465 нм проявляється як для технічної води, так і для розчину. Це може бути наслідком поглинання однаковими структурними елементами домішок, присутніми в воді.

Згідно з дослідженнями [7] в діапазоні хвиль 500...620 нм поглинання спричиняється комплексами на основі Н, С, О, а в діапазоні 400...500 нм — S, O, якими є в основному кислотні залишки HCO_3 , SO_4 . В областях 430, 520, 570...620 нм можливий вплив розчиненого у воді кисню. Максимум поглинання спостерігається на довжині хвилі 542 нм, а співвідношення поглинутих інтенсивностей можна представити так:

технічна вода : 1% розчин $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$: дистильована вода, оброблена розрядом = 1,16 : 0,44 : 0,2.

У випадку розчину — це молекули на основі SO, NO, O_2 , HNO, HSO, AlO, які утворюються під дією розряду на розчин. Згідно з результатами досліджень [8], підвищення поглинання в діапазоні 450...600 нм спричинене наявністю в воді вільних вуглеводів та амінокислот.

Пропускання випромінювання показано на рис. 6. Виявлено, що пропускання максимальне в діапазоні хвиль 450...550 нм для чистої води, та максимум може суттєво зміщуватися за наявності домішок.

У чистій воді розсіювання та поглинання відбувається тільки на рівні молекул. Згідно з [7] поглинання чистою водою мінімальне для хвиль довжиною близько 470 нм. У діапазоні довжин хвиль більше 600 нм та менше 400 нм воно значно збільшується.

Домішки у воді, які впливають на її оптичні властивості, можна об'єднати в три групи:

1. Органічні сполуки. Поглинання зменшується зі збільшенням довжини хвилі;
2. Тверді частинки, які зависли в рідині, — вони спричиняють сильне розсіювання світла, яке мало залежить від довжини хвилі. Це мінерали (найчастіше пісок, кварц) та скелети планктону і інших організмів;
3. Фітопланктон завдяки хлорофілу сильно поглинає на довжинах хвиль 440 та 675 нм.

У цілому домішки різних видів спричиняють сильне поглинання в діапазоні 500...600 нм. У видимому діапазоні спектра неорганічні солі монотонно впливають на вигляд спектральної залежності поглинання, тому особливості можуть виникати через збагачення молекулами органічної речовини на базі атомів O, H, N, C, Ca, S. Основними макродомішками природних вод є Ca, Na, Mg, Si, Cl та аніони SO_4^{2-} , HCO_3^- [9]. Поглинання в видимому діапазоні є наслідком збудження електронів, які утворюють зв'язки між цими атомами.

Під дією розряду в плазмі найефективніше проходять хімічні реакції з утворенням молекул NO, NO_3 , O_3 , H_2O_2 , HNO, O_2 , H_2 . УФ випромінювання приводить до накопичення молекул HO_2 , N_2O , які виступають окисником, крім того хімічні процеси приводять до утворення H_2O_2 , O_3 [10], [11].

В діапазоні довжин хвиль 500...600 нм на рис. 5 проявляється чіткий максимум, який крім конкретних сполук може спричинити розсіювальна дрібнодисперсна фаза. Під дією розряду домішки у воді розкладатимуться внаслідок електродисоціативних процесів. Позитивні іони агрегуюватимуться у вигляді макрочасток, які з часом випадають в осад. Негативні — кисне- та сірковмісні виділятимуться у вигляді газу. Через збільшення розмірів макрочасток пік поглинання зсувається в зону більших довжин хвиль через особливості розсіювання на них.

Дослідження поглинання води, висвітлені в літературі [12], вказують на значний розкид значень, отриманих в короткохвильовій зоні видимого діапазону ($10^{-3} \dots 10^{-4} \text{ см}^{-1}$ при 400 нм), тоді як з перехо-

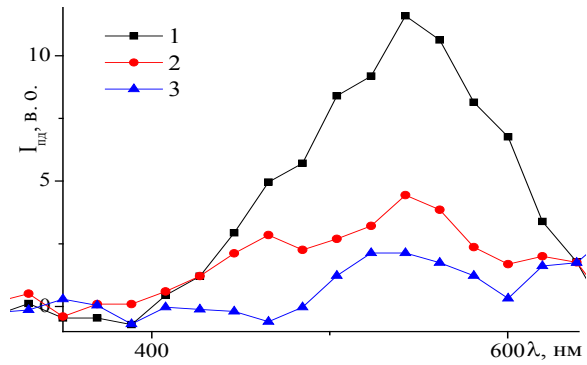


Рис. 5. Інтенсивність випромінювання, поглинута частинками та речовинами $I_{нд}$, які знаходяться в рідині: 1 — технічній воді, 2 — 1% розчині сульфату алюмінію, 3 — дистильованій воді, обробленій розрядом

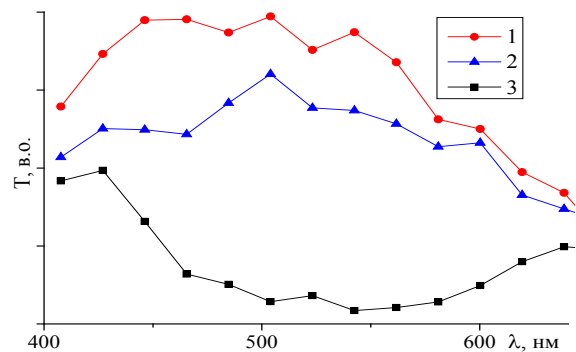


Рис. 6. Пропускання випромінювання: 1 — дистильованої води, обробленої розрядом; 2 — 1% водного розчину $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; 3 — технічної води

дом до червоної зони значення коефіцієнта поглинання складає $2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ при 600 нм. Подані в літературі мінімальні значення коефіцієнта поглинання води знаходяться в межах $5 \cdot 10^{-5} \dots 7 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$, а положення мінімумів знаходиться в діапазоні 400...500 нм.

Висновки

Пропускання випромінювання чистою водою максимальне в діапазоні довжин хвиль 450...550 нм. При цьому може суттєво зсуватися за наявності домішок. Спектри поглинання дистильованої води до і після обробки розрядом дуже подібні в діапазоні довжин хвиль менше 500 нм. З ростом довжини хвилі від 500 нм до 650 нм дія розряду викликає збільшення поглинання. Поглинання домішками в діапазоні 400...650 нм також дуже подібне для технічної води та 1% розчину солі $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, що вказує на переважну роль у поглинанні особливостей взаємодії випромінювання з макрочастками, які агломеруються в дрібнодисперсну фазу. Кисне- та сірковмісні радикали сполук, розчинені у воді, переходять у газову фазу (сірководень, радикали оксиду сірки). В околі 620 нм можливий прояв збільшення кількості кисню у воді внаслідок обробки розрядом. Отримані результати важливі з огляду на використання тліючого розряду з рідким електродом для очищення води. Проведені експерименти можуть стати основою подальших досліджень для використання їхніх результатів у промисловості та екології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] В. И. Нарыков, Ю. В. Лизунов, и М. А. Бокарев, *Гигиена водоснабжения*. СПб., РФ: СпецЛит, 2011, 120 с.
- [2] Ф. М. Гайсин, и Э. Е. Сон, *Электрофизические процессы в разрядах с твердыми и жидкими электродами*. Свердловск: изд-во Уральского университета, 1989, 432 с.
- [3] А. К. Шуайбов, Л. В. Месарош, М. П. Чучман, і І. А. Грабова, «Ультрафіолетова газорозрядна лампа з рідинним катодом». *Патент України 88219 МПК Н 01 S 3/097 (2006. 01)*, з 11.03.2014.
- [4] M. Yu. Malyukina, L. V. Piliai, O. O. Sedih, V. K. Klochkov, and N. S. Kavok, «Aggregation stability of nanoparticles based on rare-earth elements in different microenvironment and biological media,» *Biophysical bulletin*, pp. 5-16, 2018.
- [5] А. К. Шуайбов, М. П. Чучман Л. В. Месарош, и И. А. Грабова, «Источник неканцерогенного ультрафиолетового излучения с накачкой тлеющим разрядом в системе электродов “металлическая иглока–поверхность воды”,» *Приборы и техника эксперимента*, с. 90-94, 2013.
- [6] В. В. Шелковников, *Расчеты ионных равновесий в химии*. Томск, РФ: изд-во Том. ун-та, 2006, 70 с.
- [7] А. К. Pikaev, and В. G. Ershov, “Primary products of the radiolysis of water and their reactivity,” *Usp. Khim.*, 36:8 (1967), 1427-1459; *Russian Chem. Reviews*, 36:8 (1967), 602-620.
- [8] П. Кронберг, *Дистанционное изучение земли*. Москва: Мир, 1988, 343 с.
- [9] А. И. Перельман, *Геохимия природных вод*. Москва: Наука, 1982. 154 с.
- [10] Н. А. Аристова, И. М. Пискарев, А. В. Ивановский, В. Д. Селемир, Г. М. Спириков, и С. И. Шлепкин, «Иницирование химических реакций под действием электрического разряда в системе твердый диэлектрик-газ-жидкость,» *Журнал Физической химии*, с. 1326-1331, 2004.
- [11] И. М. Пискарев, И. П. Иванова, и С. В. Трофимова, «Химические эффекты самостоятельного искрового разряда. Моделирование процессов в жидкости,» *Химия высоких энергий*, с. 152-156, 2013.
- [12] W. S. Pegau, D. Gray, J. Ronald, and V. Zaneveld, «Absorption and attenuation of visible and near-infrared light in water: dependence on temperature and salinity,» *Applied optics*, pp. 6035-6046, 1997.

Рекомендована кафедрою екології та екологічної безпеки ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 9.03.2021

Месарош Лівія Василівна — канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри математики та інформатики, e-mail: liviamesarosh@gmail.com

Закарпатський угорський інститут імені Ференца Ракоці II, Берегово;

Чучман Михайло Петрович — канд. фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник кафедри квантової електроніки.

Ужгородський національний університет, Ужгород

L. V. Mesarosh¹
M. P. Chuchman²

Changing in the Optical Properties of Water by Discharge Treatment

¹Ferenc Rákoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Beregovo;

²Uzhgorod National University

Presently the ecological state of the environment, in particular water is an actual task. Water quality is determined by the impurities it contains and the pH level. Clean water is water whose quality is sufficient for the healthy life of people, animals

and plants that consume water. There is practically no chemically pure water (H_2O) in nature. Glow discharge of atmospheric pressure in the air between the metallic and liquid electrodes is used for the purification of water. Also an urgent issue is the study of nanoparticles and the possibilities of their application. Nanostructured materials range in size from 1 to 100 nm and can be made from a wide range of materials with unique properties and functions. Nanoparticles are given a lot of attention due to their high stability in biological fluids, as well as long shelf life. The purpose of the work was to study the effect of discharge on water by the method of radiation absorption. A tungsten lamp was used as the radiation source. For comparison, the intensity of the radiation source obtained by passing through an empty cuvette and the radiation intensity obtained by passing through a cuvette with liquid were used. Discharge-treated water obtained by igniting a glow discharge over water in a cuvette made of plexiglass, one electrode was a copper needle, and the other — the surface of distilled water. The anode was a copper needle with a diameter of 2 mm, and the cathode was a copper plate. The experiments were performed at a distance between the tip of the anode and the surface of distilled water of 7 mm and the thickness of the solution above the surface of the metal cathode 5 mm. The transmission of pure water is maximum in the wavelength range 450...550 nm. The absorption spectra of distilled water before and after discharge treatment are very similar in the wavelength range less than 500 nm, and as the wavelength increases, the action of the discharge causes an increase in absorption. The absorption of impurities in the region of 400...650 nm indicates a predominant role in the absorption of compounds based on O, S atoms. The results of the research of optical characteristics of the liquid are presented. There has been shown the wavelength dependence of emission intensity for various aqueous solutions and varying purity water. For different water solutions the transmittance coefficient is investigated. The role of the O, S, H, N compounds in absorption is discussed.

Keywords: water, transmittance, scattering and absorption, nanoparticles, discharge, technical water.

Mesarosh Livia V. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Associate Professor of the Chair of Mathematics and Informatics, e-mail: liviamesarosh@gmail.com ;

Chuchman Mykhailo P. — Cand. Sc. (Phys.-Math.), Senior Scientist Researcher of the Chair of Quantum Electronics

Л. В. Месарош¹
М. П. Чучман²

Изменение оптических характеристик воды в результате обработки разрядом

¹Закарпатский венгерский институт имени Ференца Ракоци II;

²Ужгородский национальный университет

На сегодняшний день актуальны вопросы об экологическом состоянии окружающей среды, в частности воды. Качество воды определяется примесями, которые она содержит и уровнем pH. Чистая вода — это вода, качество которой достаточно для здоровой жизни людей, животных и растений, потребляющих эту воду. В природе химически чистой воды (H_2O) практически нет. Для очистки воды можно применить тлеющий разряд при атмосферном давлении в воздухе между металлическим и жидкостным электродами. Также актуальным вопросом является изучение наночастиц и возможностей их применения. Наноструктурные материалы имеют размеры от 1 до 100 нм и могут быть изготовлены из широкого круга веществ, обладающих уникальными свойствами и функциями. Наночастицам уделяют большое внимание, за их высокую стабильность в биологических жидкостях, а также длительное время хранения. Цель работы — изучить действие разряда на воду методом поглощения. В качестве источника излучения использовалась вольфрамовая лампа. Для сравнения использовалась интенсивность источника излучения, полученная при прохождении через пустую кювету и интенсивность излучения, полученная при прохождении через кювету с жидкостью. Вода, обработанная разрядом, получена путем зажигания тлеющего разряда над водой в кювете, изготовленной из оргстекла, одним электродом служила игла из меди, а вторым — поверхность дистиллированной воды. Анодом служила игла из меди диаметром 2 мм, а катодом медная пластина. Эксперименты проводились с расстоянием между кончиком анода и поверхностью дистиллированной воды 7 мм и толщиной раствора над поверхностью металлического катода 5 мм. Представлены результаты исследования оптических характеристик жидкости. Приведены зависимости интенсивностей излучения от длины волны с использованием разных водных растворов и воды разной чистоты. Исследованы коэффициенты пропускания для разных растворов. Проанализирована роль соединений O, S, H, N в поглощении. Установлено что пропускание излучения чистой водой максимальное в диапазоне длин волн 450...550 нм. Спектры поглощения дистиллированной воды до и после обработки разрядом очень похожи в области длин волн менее 500 нм, а с ростом длины волны действие разряда приводит к увеличению поглощения. Поглощение примесями в диапазоне 400...650 нм указывает на большую роль в поглощении соединений на базе атомов O, S.

Ключевые слова: вода, коэффициент пропускания, рассеяние и поглощение, наночастицы, разряд, техническая вода.

Месарош Ливия Васильевна — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры математики и информатики, e-mail: liviamesarosh@gmail.com ;

Чучман Михаил Петрович — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник кафедры квантовой электроники