

УДК 537.612; 543.3

## ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОПТИЧНУ ГУСТИНУ ДИСТИЛЬОВАНОЇ ВОДИ

**В. Г. Михайленко,**

канд. техн. наук

[port342017@gmail.com](mailto:port342017@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-3082-6148

**Є. Ф. Лук'янов**

ORCID: 0000-0001-8839-091X

**О. І. Лук'янова**

ORCID: 0000-0001-7235-7293

**Т. С. Вітковська**

ORCID: 0000-0001-6890-0441

**О. Є. Хінецьвіч**

ORCID: 0000-0003-1902-534X

Інститут проблем

машинобудування

ім. А. М. Підгорного НАН України,

61046, Україна, м. Харків,

вул. Пожарського, 2/10

*Розглянуто воду як робоче тіло паротурбінних установок. Позначена важливість цілеспрямованої зміни теплофізичних властивостей води, що використовується для потреб енергетики. Запропоновано безреагентний спосіб (поперечне магнітне поле постійних магнітів) впливу на воду. Наведено літературні дані про наявні в даний час роботи, присвячені дослідженню властивостей води. Показано, що на сьогоднішній день не з'ясовані механізми впливу зовнішніх фізичних полів на фізико-хімічні та теплофізичні властивості води. Наголошено, що властивості дистильованої води під час впливу і після впливу фізичних полів ще менш вивчені. Розглянуто наявні на сьогодні протиріччя між теоретичними уявленнями про властивості води та експериментальними результатами. З'ясовано, що натеper відсутні коректні методи її обладнання, здатне в режимі реального часу здійснювати індикацію зміни властивостей води. Як рішення запропоновано апаратуру і методику аналізу оптичної густини дистильованої води. Проаналізовано недоліки більшості наявних експериментальних робіт з вивчення впливу фізичних полів на оптичну густину води. Сформульовано вимоги до пристроїв, призначених для вимірювання оптичної густини дистильованої води. Виготовлено стенд і проведено експериментальні роботи з дослідження залежності оптичної густини дистильованої води від індукції магнітного поля, що на неї впливає. Доказано, що магнітне поле впливає на оптичну густину дистильованої води в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль як у бік збільшення (4,1%), так і в бік зменшення (1,7%) залежно від індукції магнітного поля та швидкості потоку води через робочий переріз магнітного апарата. Запропоновано гіпотезу, що пояснює отриманий результат.*

**Ключові слова:** магнітне поле, оптична густина, індукція магнітного поля, дистильована вода.

### Вступ

Вода є робочим тілом паротурбінних установок. Її властивості значною мірою визначають конструкцію парової турбіни та інших елементів паротурбінних установок для досягнення максимального ККД. Робоче тіло паротурбінної установки в рідкій фазі повинно мати якомога меншу теплоємність, що максимально наближає ізобари в  $T, S$  діаграмі до вертикалі, а його критичні параметри до максимально можливих значень. У цьому разі коефіцієнт заповнення циклу Ренкіна буде досить високим [1]. З огляду на це цілеспрямована зміна властивостей робочого тіла (зокрема, теплоємності) у разі реагентного або безреагентного впливу має вирішальне значення.

Зменшення теплоємності води під час розчинення в ній різних фізичних речовин наочно ілюструють довідники з термодинамічних властивостей розчинів [2]. Грунтуючись на цьому факті, ще наприкінці 70-х років 20-го століття А.І. Калина запропонував новий термодинамічний цикл, що передбачає використання суміші аміаку й води як робочого тіла. Перевагами такої комбінації є екзотермічність реакції розчинення аміаку у воді, низька теплоємність розчину аміаку, висока ендотермічність десорбції аміаку з водного розчину. За твердженням науковця, цикл дає можливість перетворити приблизно 45% тепла, використаного для виробництва електроенергії, тоді як відомий цикл Ренкіна перетворює близько 35%. При цьому ефективність виробництва електроенергії в перерахунку на паливо зростає на 20–28% [3]. Проте при практичному використанні циклу Калини виникає низка технічних складнощів, які збільшують вартість реалізації цієї ідеї.

Беручи сказане до уваги, кращою як з економічної, так і з екологічної точок зору, на наш погляд, є безреагентна зміна властивостей робочого тіла паротурбінних установок. Один із видів такого впливу – це магнітне поле постійних магнітів.

Статтю ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons «Attribution» («Атрибуція») 4.0 Міжнародна.

© В. Г. Михайленко, Є. Ф. Лук'янов, О. І. Лук'янова, Т. С. Вітковська, О. Є. Хінецьвіч, 2023

Магнітну обробку водних систем у техніці застосовували ще на початку двадцятого століття для запобігання утворенню накипу на нагрівальних елементах парових машин і для впливу на утворення кристалів у пересичених розчинах [4]. Оскільки простота використання цього методу була очевидною, з'явилася велика кількість робіт, присвячених вивченню даного питання.

Нині всі теоретичні дослідження з цієї проблеми можна розділити на дві великі групи:

- 1) магнітне поле впливає на домішки, які завжди перебувають у воді в різних фазово-дисперсних станах;
- 2) магнітне поле впливає безпосередньо на властивості води.

Експерименти проводилися переважно на водопровідній воді або на спеціально приготованих розчинах [5, 6]. Що стосується вивчення властивостей дистильованої води під час впливу і після впливу фізичних полів, то відомостей про подібні експерименти надзвичайно мало [7, 8]. Найімовірніше, це пов'язано з відсутністю чітких рекомендацій щодо параметрів впливу і необхідних вимірюваних параметрів досліджуваної води. Оскільки в цій роботі ми маємо справу з дистильованою водою, то гіпотези, що належать до першої групи, необхідно розглядати з певною обережністю з огляду на той факт, що в будь-якій, навіть найчистішій воді, все-таки є сторонні включення, хоча і в мінімальних концентраціях. У теплоенергетиці, наприклад, механізм впливу магнітного поля на воду пояснюють наявністю у воді феромагнітних оксидів заліза, головним чином магнетиту, який завжди присутній у воді через корозію труб, та інших елементів водопостачання, що зумовлюють утворення центрів кристалізації [5].

При цьому на питання про можливість впливу на воду, наприклад, порівняно сильного магнітного поля напруженістю  $\sim 10^5\text{--}10^6$  А/м, не кажучи про слабкі поля, теоретична фізика дає негативну відповідь [9]. З цього напрошується висновок, що властивості води до перебування в полі й після мають бути незмінними. Тим часом існує безліч експериментальних робіт [10–13], результати яких доводять зміну основних фізико-хімічних характеристик (як-от рН, питома електропровідність, окисно-відновний потенціал, густина, в'язкість, поверхневий натяг, оптична густина, теплоємність, структура тощо) води внаслідок впливу фізичних полів різної природи, що зберігаються порівняно довго (кілька десятків хвилин).

У той саме час зміна властивостей води, яку можна зафіксувати за допомогою вимірювального обладнання проявляється, як правило, не відразу під час впливу поля, а згодом, причому проміжок може змінюватися непередбачувано. Виходячи з цього, актуальною, на наш погляд, є проблема надійної індикації результату впливу зовнішніх полів на воду в режимі on-line. Як індикатор необхідно обрати такий параметр води, зміна якого, у підсумку, і призведе до змін усіх інших властивостей. Вважаємо, що всі відомі науці властивості води визначаються розмірами її кластерів і співвідношенням кількості вільних молекул і молекул, пов'язаних водневими зв'язками в кластері. Як метод, за допомогою якого можна встановити зміну цих параметрів, пропонується оптичний, оскільки нині є експериментальні дані, отримані завдяки використанню оптичних методів, про структуру води. Щоправда, їх апаратна реалізація і методики вимірювань не дозволяють домогтися великої швидкодії і досить високої точності результатів [14–17].

Спільним, на наше переконання, недоліком більшості існуючих експериментальних робіт із вивчення впливу фізичних полів на оптичну густину води є те, що як джерело випромінювання використовувалися монохроматичні випромінювачі. Через це дослідження оптичної густини води для різних частот відбувалося в різні моменти часу, як наслідок, не враховувалися додаткові фактори впливу, що неминуче призводило до збільшення похибки вимірювань. Тому питання впливу фізичних полів на воду, а також на природу змін, що виникли в результаті цієї дії, залишається відкритим і потребує подальшого вивчення.

Мета цієї роботи – розробити інструмент оперативної індикації ефективності впливу магнітного поля.

### Матеріали та методи

У роботі як джерело випромінювання використовували широкосмуговий випромінювач, а як приймач – набір селективних сенсорів, кожен з яких має максимум спектральної чутливості на певній частоті. При цьому зовсім необов'язково визначати чисельне значення оптичної густини, достатньо, змінюючи фактори зовнішнього впливу, індукувати зміну вихідних сигналів оптичних сенсорів, максимально зберігаючи незмінною від експерименту до експерименту температуру досліджуваної води.

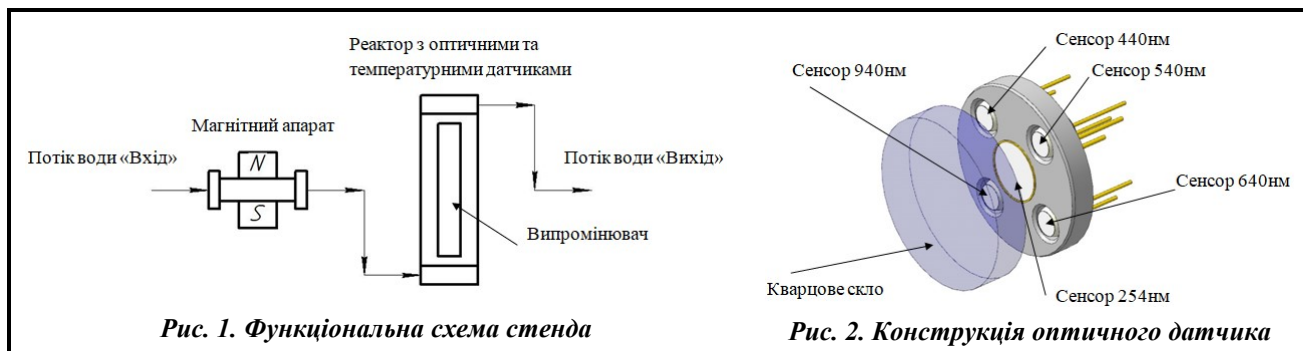


Рис. 1. Функціональна схема стенда

Рис. 2. Конструкція оптичного датчика

Для досліджень використано стенд, розроблений і виготовлений в ПМаш НАН України, функціональну схему якого наведено на рис. 1.

Стенд оснащений вимірювальною системою, що складається з чотирьох датчиків температури досліджуваної води, датчика індукції магнітного поля і п'яти датчиків інтенсивності випромінювання. Як вимірювачі температури використовувалися цифрові датчики DS18B20. Настільки велика кількість датчиків температури пояснюється істотним впливом цього параметра на всі, без винятку, властивості води. Датчики розміщувалися рівномірно всередині корпусу реактора. Кожен наступний експеримент здійснювали за умови відхилення показань датчиків не більше, ніж на  $\pm 0,5$  °С. Для контролю навколишнього середовища стенд був забезпечений метеостанцією, що контролює атмосферний тиск і температуру навколишнього повітря.

На стенді розміщено пробовідбірники для забезпечення контролю фізико-хімічних параметрів води або подальшої її обробки після фізичного впливу.

Оптичний датчик стенду оснащений п'ятьма сенсорами, що мають максимуми спектральної чутливості в таких частинах спектру: 254; 440; 540; 640; 940 нм. Конструкцію датчика наведено на рис. 2. Для кожного сенсора в блоці управління було встановлено аналого-цифровий перетворювач. Наявний на стенді магнітний апарат має діапазон регулювання магнітної індукції в межах 0–540 мТ.

Цей діапазон був поділений на двадцять сім дискретних точок, тобто крок зміни магнітної індукції 20 мТ. Як випромінювач використовувалася бактерицидна безозонова лампа PHILIPS TUV 30W 1SLV/25.

Отримана інформація піддавалася обробці персональним комп'ютером у реальному масштабі часу з можливістю побудови графіків обраних критеріальних параметрів.

Магнітну індукцію вимірювали тесламетром EM4305. Витрату води визначали ротаметром LZS-25.

Дистильовану воду з певною витратою пропускали через магнітний апарат зі змінним значенням магнітної індукції. Потім вода надходила в реактор з випромінювачем, де, після його заповнення, проток води припинявся. Після досягнення мінімізації внутрішніх течій води в реакторі на жорсткому диску ПК фіксувалася інформація, отримана від оптичних датчиків і датчиків температури води в реакторі. Як інформативний параметр обирали середнє значення напруги на виході кожного оптичного датчика за час спостереження. Зміна температури в реакторі не перевищувала 0,5 °С. Експеримент для кожного значення магнітної індукції та витрати води повторювався тричі. Результати трьох повторень усереднювалися і вважалися результатом одного експерименту.

### Результати та їх обговорення

Результати експериментальних досліджень наведено на графіку (рис. 3). З огляду на те, що оптичні сенсори, які використовувалися, не таровані в абсолютних одиницях оптичної густини, результати наводяться в одиницях напруги, визначених на виході сенсорів.

Під час обробки отриманих даних потрібно мати на увазі ту обставину, що напруга на виході сенсорів, строго кажучи, не постійна навіть за умови дотримання сталості екстинкції електромагнітних хвиль водою. Ця напруга змінюється в невеликих межах (у даному випадку  $\pm 0,5$  мВ) через наявність електричних шумів, а також вона може мінятися через хаотичні переміщення мас води внаслідок локального нагріву під час увімкненого ультрафіолетового випромінювача. Тому зміну напруги на виході сенсорів у межах  $\pm 0,5$  мВ не враховували, а вихідний сигнал вважали незмінним. Дослі-

дження показали, що напруга на виході сенсорів 254; 440; 540; 640 нм за будь-яких режимів впливу на воду не змінюється. З огляду на це дані результати були виключені з подальшого розгляду. Графік, зображений на рис. 3 містить інформацію, отриману виключно сенсором 940 нм.

Аналіз отриманих результатів показав, що при витратах води 200 дм<sup>3</sup>/год і 600 дм<sup>3</sup>/год (це відповідає швидкості потоку води через зазор магнітного апарата 1,1 м/с і 3,3 м/с відповідно) й індукціях магнітного поля 80; 100; 240; 340–460 і 540 мТ суттєво змінюється оптична густина води в інфрачервоній ділянці спектру. Таким чином, тільки сенсор 940 нм показав зміну вихідного сигналу, що в два-п'ять разів більша за напругу електричних шумів. Вихідна напруга всіх інших сенсорів при всіх встановлених витратах води й індукціях магнітного поля не перевищувала шум, і виявити корисний сигнал не вдалося. На графіку, наведеному на рис. 3, видно, що залежність вихідного сигналу сенсора від індукції магнітного поля, в основному, має поліекстремальний характер. Причому для двох вищевказаних витрат води зміна вихідного сигналу сенсора за однакових індукцій магнітного поля відрізняється тільки на величину сигналу шумів. За індукцій 80; 100; 240 і 540 мТ спостерігається збільшення оптичної густини на 4,1% (у припущенні, що має місце лінійна залежність напруги на виході сенсора від освітленості), а в діапазоні індукцій 340–460 мТ бачимо зменшення оптичної густини на 1,7%. Діапазон 340–460 мТ цікавий тим, що крива спостережуваної залежності має принципово інший вигляд порівняно з іншими характерними значеннями магнітної індукції. У цьому випадку порушується ефект поліекстремальності, а зміна значення оптичної густини змінює знак на протилежний. Як робочу гіпотезу для пояснення отриманого ефекту можна обрати наступне: зміна оптичної густини пов'язана зі зміною розмірів і кількості кластерів води внаслідок впливу певних гідродинамічних чинників (швидкість течії води) у сукупності з магнітною обробкою.

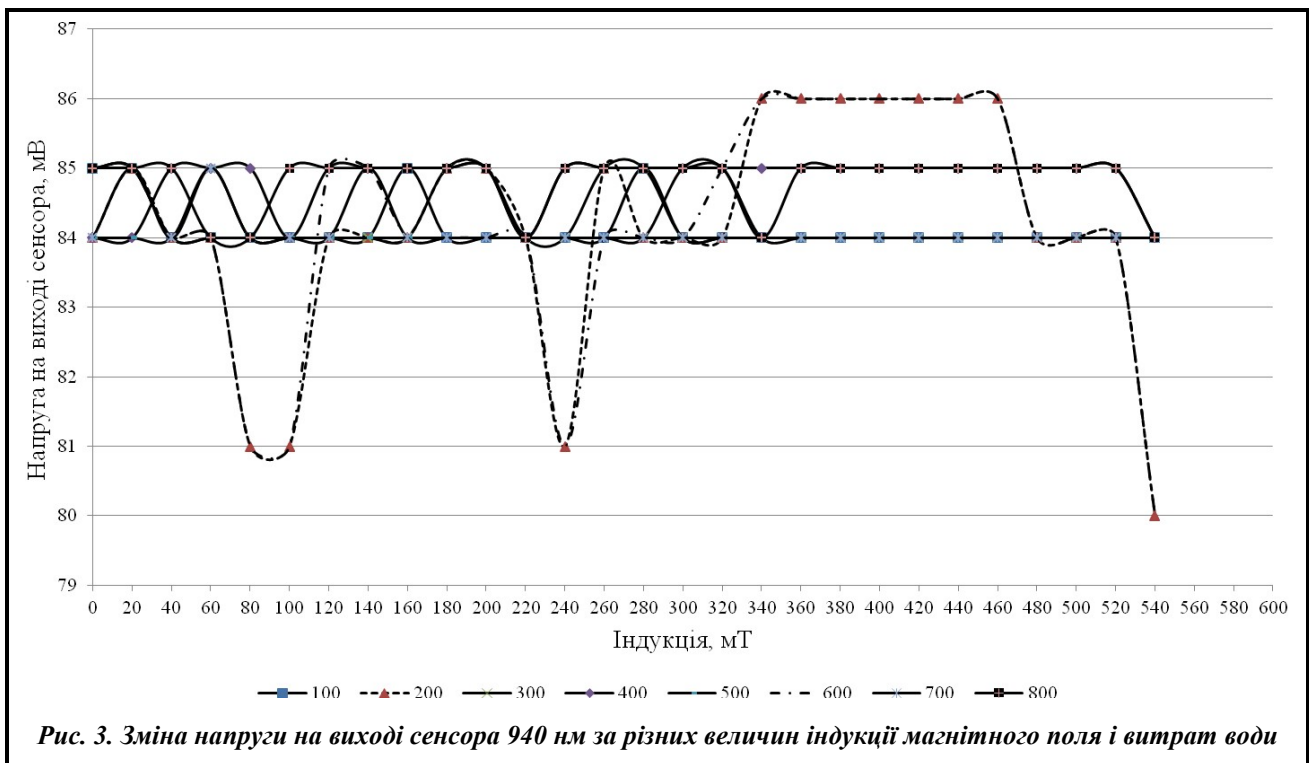


Рис. 3. Зміна напруги на виході сенсора 940 нм за різних величин індукції магнітного поля і витрат води

### Висновки

Магнітне поле безсумнівно впливає на оптичну густину дистильованої води в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль як у бік збільшення (4,1%), так і в бік зменшення (1,7%) залежно від індукції магнітного поля та швидкості потоку води через робочий перетин магнітного апарату. Вважаємо, що цей ефект визначається зміною розмірів кластерів води, їх кількістю і співвідношенням кількості вільних молекул і молекул, пов'язаних водневими зв'язками в кластери.

Цілеспрямована зміна однієї з фізичних властивостей дистильованої води, а саме оптичної густини, має супроводжуватися зміною всіх властивостей, зокрема й теплофізичних. Виходячи з цього,

необхідність дослідження зміни теплофізичних параметрів води (теплоємності, теплоти пароутворення) під час впливу поперечного магнітного поля очевидна.

Вимірюючи оптичну густину води в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль, можна судити про оптимальне налаштування магнітного апарату в реальному часі.

### Література

1. Краснобрыжев В. Г. Управление теплоёмкостью воды в теплоэнергетике. Торсионные поля и информационное взаимодействие: материалы Международной научно-технической конференции, 25–29 августа 2009 г., Хоста, Сочи. М.: Российская академия естественных наук, 2009. С. 500–505.
2. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. СПб.: Специальная литература, 2002. 231 с.
3. Wang E., Yu Z. A numerical analysis of a composition-adjustable Kalina cycle power plant for power generation from low-temperature geothermal sources. *Applied Energy*. 2016. Vol. 180. P. 834–848. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.08.032>.
4. Kobe S., Drazic G., McGuinness P. J., Strazisar J. The influence of the magnetic field on the crystallisation form of calcium carbonate and the testing of a magnetic water treatment device. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2001. Vol. 236. Iss. 1–2. P. 71–76. [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(01\)00432-2](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(01)00432-2).
5. Wang Y., Wei H., Li Z. Effect of magnetic field on the physical properties of water. *Results in Physics*. 2018. Vol. 8. P. 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022>.
6. Han X., Peng Y., Ma Z. Effect of magnetic field on optical features of water and KCl solutions. *Optic*. 2016. Vol. 127. Iss. 16. P. 6371–6376. <https://doi.org/10.1016/j.jjleo.2016.04.096>.
7. Бецкий О. В., Лебедева Н. Н., Котровская Т. И. Необычные свойства воды в слабых электромагнитных полях. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2003. № 1. С. 37–44.
8. Стась И. Е., Михайлова О. П., Бессонова А. П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды. *Вестник Томского государственного университета*. 2006. № 62. С. 43–51.
9. Давидзон М. И. О действии магнитного поля на слабопроводящие водные системы. *Известия высших учебных заведений Министерства высшего и среднего специального образования СССР. Физика*. 1985. № 4. С. 89–94.
10. Маленков Г. Г. Структура и динамика жидкой воды. *Журнал структурной химии*. 2006. Т. 47. Вып. 1. С. 1–31.
11. Wang Y., Zhang B, Gong Z, Gao K., Ou Y., Zhang J. The effect of a static magnetic field on the hydrogen bonding in water using frictional experiments. *Journal of Molecular Structure*. 2013. Vol. 1052. P. 102–104. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2013.08.021>.
12. Cai R., Yang H., He J., Zhu W. The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *Journal of Molecular Structure*. 2009. Vol. 938. Iss. 1–3. P. 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2009.08.037>.
13. Toledo E. J. L, Ramalho T. C, Magriotis Z. M. Influence of magnetic field on physical–chemical properties of the liquid water: insights from experimental and theoretical models. *Journal of Molecular Structure*. 2008. Vol. 888. Iss. 1–3. P. 409–415. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.010>.
14. Коваленко В. Ф., Левченко П. Г., Шутов С. В. Кластерная природа светорассеяния воды. *Биомедицинская радиоэлектроника*. 2008. № 5. С. 36–45.
15. Бункин Н. Ф., Суязов Н. В., Ципенюк Д. Ю. Малоугловое рассеяние лазерного излучения на стабильных образованиях микронного масштаба в дважды дистиллированной воде. *Квантовая электроника*. 2005. Т. 35. № 2. С. 180–184.
16. Коваленко В. Ф., Бордюк А. Ю., Шутов С. В. Определение формы кластеров воды. *Оптика атмосферы и океана*. 2011. Т. 24. № 7. С. 601–605.
17. Нестерюк П. И. Измерительно-вычислительный комплекс и методы исследований физико-химических параметров воды после воздействия физических полей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.01 / Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, Барнаул, 2012. 19 с.

Надійшла до редакції 20.03.2023