

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
КАФЕДРА АВІОНІКИ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ С.В. Павлова
«___» _____ 2022 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 173 «АВІОНІКА»

Тема: «Лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива»

Виконавець: _____ Монастирний Андрій Володимирович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: _____ Землянський Володимир Михайлович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Нормоконтролер: _____ В.В.Левківський
(підпис) (П.І.Б.)

Київ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 173 «Авіоніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ С.В. Павлова

«___» _____ 2022р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Монастирний Андрій Володимирович

1. Тема роботи: «Лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива». затверджена наказом ректора від «04» 04 2022 р. № 352/ст.
2. Термін виконання роботи: з 16.05.2022 по 19.06.2022.
3. Вихідні дані роботи:
Розробка лазерного багатохвильового витратоміра водневого палива із відносною похибкою виміру $\pm 0.5\%$; Р+0,95. Як джерело випромінювання використовувати аргонний лазер.
4. Зміст пояснювальної записки:
Водневе паливо. Види лазерних витратомірів та їх будова. Лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива
5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Обґрунтування теми дипломної роботи	16.05.2022	
2.	Проведення огляду літератури	24.05.2022	
3.	Підготовка та написання 1 розділу	31.05.2022	
4.	Підготовка та написання 2 розділу	07.06.2022	
5.	Підготовка та написання 3 розділу	14.06.2022	
6.	Оформлення та друк пояснювальної записки	15.06.2022	
7.	Підготовка презентації та доповіді	16.06.2022	
8.	Перевірка на анти плагіат та отримання рецензії на диплом	19.06.2022	

7. Дата видачі завдання: _____

Керівник дипломної роботи _____ Землянський В.М.

(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання _____ Монастирний А.В.

(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива»:

стор., рис., табл., використаних джерел

Об'єкт дослідження: процес вимірювання витрати водневого палива.

Предмет дослідження: лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива.

Мета роботи: усунути недоліки прототипу лазерного багатохвильового витратоміра водневого палива, а саме суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум й відповідно точність вимірювання витрат за рахунок використання у пристрої трьох лазерів, а також шести пар зустрічнихзондуючих пучків.

Щоб досягти мети, потрібно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз конструкції, принципу роботи та особливостей аналогів.
- розробити функціональну схему
- дослідити вплив зміни параметрів конструкції лазерного багатохвильового витратоміра

Методи дослідження: аналіз роботи, обробка літературних джерел.

Ключові слова: ДАТЧИКИ ВИМІРЮВАННЯ ПАЛИВА, ЛАЗЕРНІ ВИМІРЮВАЧІ, ПАЛИВНІ СИСТЕМИ ЛІТАКІВ, ВОДНЕВЕ ПАЛИВО, ВИТРАТОМІРИ, БАГАТОХВИЛЬОВИЙ ВИТРАТОМІР.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ВОДНЕВЕ ПАЛИВО	9
1.1. Загальні відомості та фізичні властивості водень	11
1.2. Отримання водню	12
1.3. Зберігання та транспортування	13
1.4. Воднева безпека	14
1.5. Перспективні області використання водневий енергетики	14
1.5.1. Паливні елементи	14
1.5.2. Паливо для автомобілів.....	18
1.5.3. Киснево-водневе паливо для космічних ракет	20
1.6. Екологічний результат	21
1.7. Соціальний результат	21
1.8. Висновки по розділу.....	22
РОЗДІЛ 2. ВИДИ ЛАЗЕРНИХ ВИТРАТОМІРІВ ТА ЇХ БУДОВА	23
2.1. Доплерівські витратоміри	24
2.2. Витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля.....	26
2.3. Особливі оптичні витратоміри	28
2.4. Висновки по розділу.....	30
РОЗДІЛ 3. БАГАТОХВИЛЬОВИЙ ЛАЗЕРНИЙ ВИТРАТОМІР ВОДНЕВОГО ПАЛИВА	31
3.1. Будова лазерного багатохвильового витратоміра	32
3.2. Принцип роботи	33
3.3. Висновки по розділу.....	41
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45

**ПЕРЕЛІК
УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ**

АЕС - Атомна електростанція

ГЕС - Гидроелектростанція

ПФФ - Просторовий фазовий фільтр

ЛБВВП - Лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива

ККД - Коефіцієнт корисної дії

ВСТУП

Актуальність теми

Очікується, що майбутній попит на енергію значно зросте через зростання населення світу та вимоги до вищого рівня життя та покращення якості повітря. Нині більшість світових потреб в енергії для транспортування та опалення отримують з нафти або природного газу. На жаль, спалювання вуглеводневого палива спричиняє понад половину всіх викидів парникових газів і велику частину викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Отже, сучасний світ стикається з невідкладною проблемою розробки альтернативних видів палива. Серед різноманітних альтернатив водневе паливо пропонує найвищі потенційні переваги з точки зору ціни та зменшення викидів забруднюючих речовин і парникових газів.

Як і електрика, водень є високоякісним енергоносієм, який можна використовувати з високою ефективністю та нульовими або близькими до нуля викидами в навколишнє середовище. Технічно продемонстровано, що водень може використовуватися для транспортування, опалення та виробництва електроенергії, а також може замінити існуючі види палива у всіх їх нинішніх цілях. Водень можна виробляти з використанням різноманітних матеріалів, отриманих як з відновлюваних, так і з невідновлюваних джерел, за допомогою багатьох різних технологічних методів.

Враховуючи стрімкий розвиток технологій з використанням водню, як палива, з'являється попит на дослідження, розробку та вдосконалення систем, які допомагають взаємодіяти з цим типом джерелом енергії.

Однією із таких систем є витратоміри, які використовуються для проведення управління літаками і космічними апаратами, автомобілями, управління виробничим процесом, для контролю процесу роботи енергетичних установок і в багатьох інших сферах.

Розвиток технологій в сфері взаємодії з воднем, як з джерелом енергії, допоможе людям частково або повністю відмовитися від нафтопродуктів,

зменшивши забруднюючі викиди в навколишній світ та політичні «важелі» тиску.

Усі розвинені країни давно ведуть власні дослідження з альтернативної енергетиці . Потрібно залучати державні ресурси та створювати державну програму , а також залучати до проекту нафтові та газові компанії , що займаються енергетикою. Практично всі розвинені країни вкладають зараз величезні кошти на розвиток водневих технологій . Основна ціль - зниження залежності від існуючих енергоносіїв - нафти і газу , що становлять основу наших сьогоднішніх економіки та бюджету.

Зараз водневі джерела енергії використовуються в космічній сфері та у військовій області. Наприклад, водневі паливні елементи застосовуються в американських космічних човниках та в нових німецьких підводних човнах для безшумного руху під водою. Перед розробниками водневих технологій стоїть ще безліч проблем. По- перше , чекає вирішити проблему виробництва дешевого водню.

У виробництві паливних елементів доведеться вирішити проблему низького терміну служби каталітичних мембран, дорожнечу матеріалів для них виготовлення , створити ефективні системи очищення водню і т.д. Одним словом, воднева енергетика здатна забезпечувати людство чистими та невичерпними енергетичними ресурсами.

Мета роботи: усунути недоліки прототипу лазерного багатохвильового витратоміра водневого палива, а саме суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум й відповідно точність вимірювання витрат за рахунок використання у пристрої трьох лазерів, а також шести пар зустрічнихзондуючих пучків.

Щоб досягти мети, потрібно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз конструкції, принципу роботи та особливостей аналогів.
- розробити функціональну схему
- дослідити вплив зміни параметрів конструкції лазерного багатохвильового витратоміра

Об'єкт дослідження: процес вимірювання витрати водневого палива.

Предмет дослідження: лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива.

Методи дослідження: аналіз роботи, обробка літературних джерел.

РОЗДІЛ 1. ВОДНЕВЕ ПАЛИВО

В останні десятиліття стало зовсім очевидним, що подальше інтенсивне розвиток сучасною енергетики та транспорту веде людство до великомасштабного екологічного кризи. Стрімке скорочення запасів копалини палива буде змушувати індустріально розвинені країни розширювати мережа атомних енергоустановок, які у все зростаючій ступеня стануть підвищувати небезпека їх експлуатації. Різко загостриться проблема утилізації радіоактивних відходів. Враховуючи цю тривожну тенденцію, багато вчені та практики безумовно висловлюються на користь прискореного пошуку альтернативних нетрадиційних джерел енергії. Зокрема, їх погляди звертаються до водню, запаси якого водах Світового океану невичерпні. До того ж незаперечним гідністю цього палива є відносна екологічна безпека його використання, прийнятність для теплових двигунів без суттєвого зміни їх конструкції, висока калорійність, можливість довготривалого зберігання, транспортування існуючою транспортною мережі, нетоксичність і т.д. Проте суттєвою непереборною проблемою до сьогодні залишається неекономічність його промислового виробництва. Понад 600 фірм, компаній, концернів, університетських лабораторій та громадських науково-технічних об'єднань Західній Європи, США, Австралії, Канади та Японії посилено працюють над здешевленням водню. Успішне рішення цієї найважливішого завдання революційним чином змінить усю світову економіку та оздоровить навколишню середу.

Є цілий ряд відомих способів розкладання води: хімічний, термохімічний, електроліз та ін., але всі вони володіють одним і тим же великим недоліком - у технологічному процесі отримання водню використовується високопотенційна енергія, на отримання якої у свою чергу витрачається дефіцитне викопне паливо (вугілля, природний газ, нафтопродукти) або електроенергія, що виробляється на електростанціях. Таке виробництво водню, природно, завжди буде залишатися неекономічним та екологічно небезпечним, а, отже, безперспективним.

Водночас наша планета в буквальному сенсі слова купається у потоці тепловий

енергії, що надходить від сонця, земних надр та від господарської діяльності людини. Вся проблема зводиться лише до того як “вписати” цей невичерпне джерело низькопотенційного тепла в промислову технологію отримання водню з води . Тому встає питання про концентрацію низькопотенційної енергії до необхідних термодинамічні параметрів.

Традиційно він вирішується застосуванням оптичних концентраторів інфрачервоного випромінювання - сонця або використанням теплових насосів, як правило, коли термічний потенціал дуже незначний, наприклад, у разі відбору тепла з навколишнього повітряної або в однієї середовища . Перше з названих технічних рішень дуже сильно залежить від кліматичних та масштабних факторів, нестабільно у часі, а тому не знайшло широкого застосування . Друге рішення у меншій ступеня схильно впливу цих факторів, але не забезпечує достатньо високою ступеня концентрації (зазвичай трохи більше 7-10 раз), що практично не дозволяє сконцентроване таким способом розсіяне тепло безпосередньо з успіхом використовувати у процесі розкладання води.

Здавалося б, перспективне на перший погляд напрямок розвитку енергетики просто нездійснено. Проте це негаразд. Така можливість існує. Рішення проблеми стає очевидним , якщо процес електролізу водного розчину електроліту та подальше спалювання отриманих водню та кисню розглядати як єдиний замкнутий термодинамічний цикл теплового насосу.

Як відома причина марнотратної витрати електроенергії при класичному електролізі криється в тому, що вона використовується на подолання сил гідратних зв'язків іонів з молекулами води та компенсацію ендотермічного ефекту реакції її розкладання . Тому для забезпечення відновлення іонів на відповідних електродах необхідно додати більше напруга , ніж у випадку , коли б не виявлялася це фізичне явище . З цієї та інших причин витрати електроенергії на вироблення одного кубометра водню з урахуванням перенапруги при традиційному електролізі в промислових умовах становлять 18-21,6 МДж, а загальний витрати енергії (з урахуванням виробництва самої електроенергії) перевищує 50 МДж, що робить

водень неприпустимо дорогим.

1.1. Загальні відомості та фізичні властивості водень

Водень-перший елемент періодичної системи хімічних елементів Д.І. Менделєєва . Відносна атомна маса 1,0079. Існують два стабільні ізотопу водню - 1H (протій) і 2H (дейтерій), а також один радіоактивний - 3H (третій). Водень - найпоширеніший елемент у Всесвіті (92%). А ось відкритий водень був порівняно недавно. Зробив це англійська хімік Г. Кавендіш у 1766 р. У 1787 р.

А. Лавуазьє довів, що водень – хімічний елемент.

У вільному стані та при нормальних умовах водень - безбарвний газ, без запаху та смаку . Щодо повітря водень має густина $1/14$. Він зазвичай і існує в комбінації з іншими елементами , наприклад , кисню у воді , вуглецю в метані та в органічних з'єднаннях.

Охолоджений до рідкого стану водень займає $1/700$ обсягу газоподібного стану. Водень при поєднанні з киснем має саме висока зміст енергії на одиницю маси : 120.7 ГДж /г. Це – одна з причин, чому рідкий водень використовується як паливо для ракет та енергетики космічного корабля, для якого мала молекулярна маса та висока питома енергозміст водню має першорядне значення . При спалюванні у чистому кисні єдині продукти - високотемпературне тепло та вода. Таким чином, при використанні водню не утворюються парникові гази, і не порушується кругообіг води в природі . При звичайних умовах водень - газ без кольору та запаху, майже в 15 разів легше повітря. Має дуже високою теплопровідністю, порівнянної з теплопровідністю металів. Це відбувається через «легкість» молекул водню, отже, великий швидкості їх руху. Водень добре розчиняється в деяких металах: в одному обсязі паладію, наприклад, розчиняється до 900 обсягів водню. У співвідношенні 2:1 з киснем утворює вибуховий "тримучий" газ.

Температура згоряння водню надзвичайно висока – 2800°C . Водень є чудовим відновником.

1.2. Отримання водню

Привабливість водню як універсального енергоносія визначається екологічною чистотою, гнучкістю та ефективністю процесів перетворення енергії з його участю. Технології різномасштабного виробництва водню достатньо добре освоєно і мають практично необмежену сировинну основу.

Для виробництва водню необхідно розірвати його хімічні зв'язки у вуглеводнях або воді і виділити його з реакційної суміші. Нагріваючи воду до температури понад 2500°C , можна реалізувати реакцію її термолітичного розкладання на кисень і водень. Складність цього процесу полягає в тому, що важко запобігти зворотній реакції рекомбінації пари води.

Сучасний стандартний метод виробництва водню - це процес паровий конверсії метану. За температури пари близько 800°C відбувається розкладання метану та виділення водню, що здійснюється на каталітичних поверхнях.

Інший спосіб отримання водню заснований на використанні термохімічних реакцій за участю хімічно активних з'єднань йоду або броду. Первинним продуктом є вода, а сам процес здійснюється в кілька циклів.

Третя технологія виробництва водню - це електролітичне розкладання води. Електроліз можна, можливо здійснювати під високим тиском і отримувати високий вихід водню. Недоліком цього методу є значний рівень споживання електроенергії. Для виробництва водню вигідно використовувати теплову та електричну енергію, що виробляється АЕС та ГЕС у так званому «провальному» режимі, тобто в нічний час, коли падає рівень звичайного споживання енергії. У промислових масштабах сьогодні час водень виробляють методом парової конверсії метану. Водень, отриманий за цим технології, використовується для виробництва азотних добрив та очищення нафти та газу від домішок.

З існуючих технологій великомасштабного виробництва водню перевага слід віддати електролітичній технології. Однак і в цьому випадку витрати електроенергії неприпустимо великі - не менше тих же 20 МДж у розрахунку на 1 м³ чистого водню. Якщо розраховувати на виробництво водню на АЕС і ГЕС не пікових режимами роботи,

то витрата енергії можна, можливо буде знизити більше чим в два рази.

1.3. Зберігання та транспортування

Низька густина газоподібного водню та низька температура його зрідження, а також висока вибухонебезпечність у поєднанні з негативним впливом на властивості конструкційних матеріалів, ставлять на перший план проблеми розробки ефективних та безпечних систем зберігання водню – саме ці проблеми стримують розвиток водневий енергетики та технології в даний час. Отже, основне завдання полягає в тому, щоб забезпечити достатньо високу ефективність зберігання водню та розробити конкурентоспроможні енергоустановки з його використанням. Без створення дешевої, економічної та надійної системи зберігання водню не доводиться розраховувати на швидке розвиток водневий енергетики. Найбільші надії пов'язують з газобалонним, криогенним та металогідридним способами зберігання. У першому випадку використовуються балони високого тиску, виготовлені зі сталі, титану або композитних матеріалів. Зберігання рідкого водню вимагає застосування криогенної системи. Саме цей спосіб частіше всього використовується в промисловості при зберіганні та перевезенні великої кількості водню. Крім вдосконалення самих криогенних систем зберігання для розвитку водневий енергетики буде потрібно вирішити складні завдання заправки цих систем та їх експлуатації в конкретних умовах промислових енергоустановок.

У гідридних системах зберігання водень міститься у вигляді гідридів металів. Вилучення його з цих з'єднань здійснюється шляхом або гідролізу, або термічної дисоціації. У першому випадку процес є одноразовим, у другому можуть бути створені акумулятори багаторазової дії. Використання гідридних систем зберігання володіє тим важливим перевагою, що пов'язано зі значно більше м'яким рівнем вимог до безпечної експлуатації. Крім того, у металевому гідриді густина водню вище, ніж у його рідкому стані.

Головний недолік систем цього типу - відносно невисоке зміст водню за масою. Зробити остаточний вибір на користь тієї чи іншої системи зберігання в даний час не

представляється можливим , потрібні додаткові дослідження та експертизи. Додавання нанотрубок підвищує сорбційну ємність MgH_2 по відношенню до водню надії покладають на вуглецеві наноструктури (вуглецеві нанотрубки та споріднені матеріали), що володіють рекордний питомий поверхнею та підвищеною хімічної стабільністю.

1.4. Воднева безпека

Застосування водню пов'язано з підвищеним ризиком і, отже, з необхідністю більш суворого контролю. Досягнення безпечного використання водню зводиться до запобігання аварійних ситуацій , які пов'язані з втратою герметичності систем, що виробляють та використовують водень.

Боязнь водню в технічних пристроях почалася з тридцятих років. У травні 1937 року у США сталося страшне аварія німецького трансатлантичного дирижабля "Гінденбург". Вибухнув водень , яким був заповнено лайнер. З того часу пасажирські дирижаблі більше не використовувалися . Зараз зі вибухонебезпечністю водню можна, можливо боротися. Розроблено композитні баки. Виготовлені вони з герметичної судини , обмотаної зовні скловолокном . Вони не вибухають , а тільки тріскаються.

Небезпечна особливість водню полягає в тому, що наші органи почуттів не в змозі виявити присутності водню в повітрі , тому витік водню небезпечніше , ніж інших горючих газів . Але щоб усунути цю небезпеку , достатньо додавати у водень ароматичні або світяться (під час горіння) присадки.

Водень, безперечно, небезпечний, але це не означає, що не знайдеться таких способів та пристроїв, які відкрили б перед ним шлях до найширшого та різнобічного застосування в техніці та побуті.

1.5. Перспективні області використання водневої енергетики

1.5.1. Паливні елементи

Для перетворення хімічної енергії водню в електрику найбільш ефективним

вважається використання паливних елементів, що мають ККД не менше 50%. В результаті роботи водневих паливних елементів крім електроенергії Виготовляється тільки тепло та вода (у малих кількостях). Вони не містять рухомих деталей і абсолютно безшумні. Найбільш привабливі елементи з твердим полімерним електроліт (ТПЕ). областями їх використання є автомобільний транспорт (до 70% потенційного ринку), а також системи автономного енергопостачання (включаючи елементи живлення для портативної техніки - міні- комп'ютери, фото- та відеокамери, мобільні телефони іт.п.

Паливні елементи представляють собою електрохімічні пристрої, що виробляють електроенергію хімічним шляхом, майже так само як гальванічні елементи та акумулятори. Відмінність полягає в тому, що в них використовуються інші хімічні речовини (водень і кисень), а продуктом хімічної реакції є вода. Процес електролізу - розщеплення води на водень та кисень під дією електричного струму - є оборотним. Іншими словами, водень та кисень можуть бути з'єднані хімічним шляхом з освітою електричних зарядів.

Побудована Гроузом установка була досить проста: два електроди розміщувалися в камері, в яку подавалися під тиском обмежені порції чистого водню та кисню. Через невеликі обсягів газу, а також завдяки хімічним властивостям вугільних електродів у камері відбувався не вибух, а повільна реакція з виділенням тепла, води та, саме головне, з освітою різниці потенціалів між електродами.

Подальші дослідження виявили переваги такого незвичайного елемента перед простими хімічними джерелами струму (гальванічними елементами та акумуляторами). Справа в тому, що паливні елементи мали в 5-10 разів більше енергоємністю. До того ж під час реакції не відбувалося змін матеріалу електродів та електроліту. Паливний елемент теоретично може працювати необмежено довго - необхідно лише регулярно подавати вихідні газові компоненти. Слід зазначити, що оскільки паливні елементи можуть працювати з високим ККД та без шкідливих викидів, з ними пов'язані великі надії створення екологічно раціонального джерела енергії, який міг б сприяти зниження викидів парникових газів

та інших забруднюючих речовин. До недавнього часу основним перешкодою на шляху широкомасштабного використання паливних елементів була їх висока вартість у порівнянні з іншими пристроями, що виробляють електрика або що приводять у рух транспортні кошти.

Сплеск розвитку паливних елементів припав на середину минулого століття, коли фахівці НАСА звернулися до них у зв'язку з виниклою потребою в компактних електрогенератори для використання під час космічних польотів. Зокрема, космічні кораблі Apollo та Gemini були оснащені подібними джерелами енергії. До кінця ХХ століття було розроблено безліч конструкцій паливних елементів, що відрізнялися своїми параметрами. За рахунок застосування різних матеріалів для електродів, спеціального електроліту, а також додавання каталізаторів, що стимулюють протікання головної реакції, вчені знайшли спосіб змінити конструкцію паливних елементів так, щоб використовувати замість чистого водню містять його речовини - вуглеводні (природний газ та спирти). Так з'явилися лужні (Alkaline Fuel Cell, AFC), твердотільні (Solid Oxid Fuel Cell, SOFC), полімерні (PEFC), фосфорно-кислотні (PEFC) і навіть спиртовмісні (Direct Alcohol Fuel Cell (DAFC) паливні елементи. Робоча температура для різних паливних елементів варіюється в досить широкому діапазоні, а ККД деяких з них може сягати 80%. Як це працює.

Як уже зазначалося, паливні елементи схожі на традиційні хімічні джерела струму (гальванічні батареї та акумулятори): всі вони виробляють електрика внаслідок хімічної реакції. Однак при цьому акумуляторні батареї та паливні елементи виконують дві цілковито різні функції. Звичайні хімічні джерела струму - пристрої з накопиченою енергією. Електрика, яка вони виробляють, є результатом хімічної реакції речовини, яка вже знаходиться усередині них. Паливні елементи не зберігають, а перетворюють частина енергії палива, що поставляється ззовні, в електрику. У цьому відношенні паливний елемент швидше схожий на звичайну електростанцію. Таким чином, можна виділити два основні відмінності паливних елементів: вони функціонують доти, доки паливо та окисник надходять з зовнішнього

джерела, хімічний склад електроліту у процесі роботи не змінюється (паливний елемент не потребує перезарядки).

Найпростіший паливний елемент складається, наприклад, з спеціальною мембрани, що використовується як електроліт, по обидва сторони якої нанесені порошкоподібні електроди. Така конструкція (електроліт, оточений двома електродами) представляє собою окремий елемент. Водень надходить однією стороною (анод), а кисень (повітря) - іншу (катод). На кожному електроді відбуваються різні хімічні реакції. На аноді водень розпадається на суміш протонів та електронів. У деяких паливних елементах електроди оточені каталізатором, зазвичай виконаним з платини або інших благородних металів, що сприяють протіканню реакції дисоціації: $2\text{H}_2 \rightarrow 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$, де H_2 - двоатомна молекула водню (форма, в якій водень присутній у вигляді газу); H^+ - іонізований водень (протон); e^- - електрон.

Робота паливного елемента заснована на тому, що електроліт пропускає через себе протони (у напрямку катода), а електрони - немає. Електрони рухаються до катода по зовнішньому проводу контуру. Це рух електронів і є електричний струм, який може бути використаний для приведення в дію зовнішнього пристрою, приєднаного до паливного елемента (навантаження, наприклад, лампочка).

З катодної сторони паливного елемента протони (які пройшли через електроліт) та електрони (які пройшли через зовнішню навантаження) воз'єднуються і вступають у реакцію з киснем, що подається на катод, з утворенням води.

В своїй роботі паливні елементи використовують водневе паливо та кисень з повітря. Водень може подаватися безпосередньо або шляхом виділення його зовнішнього джерела палива (природного газу, бензину або метилового спирту - метанолу). У випадку зовнішнього джерела його необхідно хімічно перетворити, щоб вилучити водень. В даний час більшість технологій паливних елементів, що розробляються для портативних пристроїв, задіяні саме метанол.

Процес, що відбувається у воднево-кисневому паливному елементі, за своєю природі є зворотним добре відомому процесу електролізу, при якому відбувається дисоціація води під час проходження через електроліт електричного струму. Дійсно,

в окремих типах паливних елементів процес може бути оборотним: приклавши до електродів напруга, можна розкласти воду на водень і кисень, що збираються на електродах. Якщо припинити зарядку елемента та підключити до нього навантаження, такий регенеративний паливний елемент відразу почне працювати у нормальному режимі.

Окремо паливні елементи створюють електрорушійну силу близько 1В кожен. Щоб збільшити напруга, елементи з'єднують послідовно. Якщо потрібно видати більший струм, набори каскадних елементів з'єднують паралельно.

Стоїть ще раз відзначити, що ККД паливних елементів може залишатися на досить високому рівні, навіть коли вони працюють не на повну номінальну потужність. Для паливних елементів немає термодинамічного обмеження коефіцієнта використання енергії. У існуючих паливних елементи від 60 до 70% енергії палива безпосередньо перетворюється на електрику.

Модульний принцип пристрою паливних елементів означає, що потужність джерела на них можна збільшити, просто додавши ще кілька каскадів. Це забезпечує мінімізацію коефіцієнта недовикористання потужності, що дозволяє приводити у відповідність попит та пропозиція.

При застосуванні паливних елементів практично не буває шкідливих викидів. Адже під час роботи двигуна на чистому водні, як побічних продуктів утворюються тільки тепло і чиста водяна пара.

1.5.2. Паливо для автомобілів

В кінці сімдесятих почали всерйоз замислюватися про екологічно безпечних автомобілях - виникла ідея перевести машини на електротягу. Потрібні були акумуляторні батареї, але виявилось, що світ не може створити акумулятори, які могли б мати достатньо високу питому енергоємність. А щоб зарядити батареї, на відміну від наповнення бака бензином, необхідно кілька годин. Тоді би доводилося заряджатися вночі, але якби всі стали заряджатися вночі, не вистачило б електростанцій. Проблем була маса, і ентузіазм почав поступово згасати. І лише у

дев'яностих роках ця ідея відродилася і почалася робота з паливних батарей. Тепер уже завдання стояло навчитися виробляти електрика з уже відомих видів палива. Паливний криза 70-х років змусив багато автомобільні компанії по-новому поглянути на альтернативні види пального . Тоді й був відзначений перший сплеск інтересу до водню. Проте незабаром криза пішов на спад, нафтопроводи заробили на повну потужність, а водневі проблеми були, на перший погляд, відсунуті в далекі кути лабораторій. Проте пройшли роки, і тепер ці дослідження знайшли друге дихання. Дійсно: спалюємо водень - отримуємо воду, цілком нейтральний та нешкідливий продукт.

На автомобілі знаходяться балони з воднем та киснем. У спеціальному електрохімічний генератор між воднем та киснем відбувається хімічна реакція за температури близько 100 градусів , внаслідок чого виготовляється електрика , а як "вихлоп" утворюється вода. Ось основний принцип енергоустановки . Слід зазначити, що двигун внутрішнього згоряння має коефіцієнт корисного дії близько 30%, а нова енергоустановка на паливних елементах - удвічі більше . Тобто якщо перекласти на будь-яке умовне паливо , то виходить , що ця енергоустановка абсолютно екологічно чиста і витрачає вдвічі менше палива .

Ми можемо задатися питанням про те, що зміст кисню та водню разом небезпечно? Проте виробники заспокоюють : «Не небезпечніше , ніж зміст пари бензину з повітрям . Коли вперше з'явилися автомобілі на бензині, також боялися, що машини почнуть вибухати. Але цього не відбувається. Звичайно, ми надалі переходитимемо з кисню на повітря . Тут теж свої Проблеми : кисню та повітря міститься всього 20 відсотків , і щоб отримати такий самий ефект як при чистому кисні , потрібно вп'ятеро більше повітря . У такому випадку потрібно ставити компресор , який буде закачувати повітря в енергоустановку. Але навіть якщо перейти з кисню на повітря і залишити один чистий водень на борту автомобіля. Інше питання, що стосується зберігання запасів водню. Саме просте – замість бензобака розмістити на автомобілі балони зі стиснутим воднем . Підходяща апаратура вже існує . Однак важко уявити водія добровільно погодиться возити ємності зі стислим

до 200 кгс /см² воднем , до того ж здатним проникати через найдрібніші нещільності паливний апаратури . Не більше перспективним виглядає і скраплений водень . На щастя є ще один варіант - гідриди . Нагадаємо, що атоми металів розташовуються у певному порядку, їх "побудова" називають кристалічній решіткою . Такі "спільноти" і називають гідридами . Гідридні накопичувачі більше нагадують губку зі безліччю каналів - для якнайшвидшого поглинання та виділення водню. Ще одна важлива риса гідридів - вони безпечніше за інші способи зберігання водню. Щоправда, для автомобільного транспорту ємність і у них замала, а вага і складність пристрої, навпаки , великі. Провівши аналіз можливих способів зберігання водню , я запитав: якщо воно викликає такі труднощі, чи не можна отримувати водень безпосередньо на автомобілі ? Виявляється , можна . Самим перспективним вважається спосіб , за якого сировиною служить метанол, або метиловий спирт. Отже , бак автомобіля - по суті , цілком звичайний - наповнюють легкої рідиною з різким спиртовим запахом. Звідси вона потрапляє в хімічний, випаровується і в присутності каталізатора реагує з водяною парою, виділяючи водень та двоокис вуглецю. Паливо отримано, залишилося його використовувати . Реакцію можна провести й іншим способом, тоді другим з продуктів виявиться не CO₂, а CO (той , з яким борються екологи). Оскільки H₂ і CO горючі , їх можна, можливо разом безпосередньо спалювати в циліндрах двигуна внутрішнього згорання.

Експерименти з транспортними засобами на водневому паливі зараз активно проводять у США, Європі , Японії , це багато в чому пов'язано з відсутністю у них значних власних запасів енергоресурсів , необхідних для забезпечення економічного зростання.

1.5.3. Киснево-водневе паливо для космічних ракет

В даний час киснево-водневе паливо застосовується на верхніх щаблях космічних ракет, де воно дає найбільший ефект . Прикладом цього є універсальний ступінь "Центавр", що використовується на космічних ракетах сімейств "Атлас" та "Титан-3", а також друга та третя щаблі ракети "Сатурн-5". Паливні баки цих

ракетних ступенів , призначені для розміщення рідкого водню, які утворюють собою гігантські термоси. Стінки яких покриті теплоізолюючими полімерними матеріалами. Теплоізоляція обтяжує конструкцію киснево-водневих ступенів . Оскільки киснево-водневе паливо утричі легше киснево -гасового, то воно вимагає за тієї ж маси утричі більшого обсягу для свого розміщення. В результаті вага конструкції ракетної ступеня , що припадає на 1 кг палива , виявляється для киснево-водневого палива на 40% більшим , ніж для киснево -гасового. Цей недолік з надлишком компенсується високим питомим імпульсом киснево-водневих ЗРД. При рівній стартовій масі космічна ракета на киснево-водневому паливі здатна вивести на орбіту утричі більший корисний вантаж, ніж ракета на киснево-гасовому паливі . Застосування цього палива на верхніх щаблях ракети "Сатурн-5" дозволяє виводити на низьку кругову геоцентричну орбіту до 140 т, але в траєкторію польоту до Місяця – до 48,5 т корисного вантажу . Поряд із високою ефективністю киснево-водневі палива мають ряд інших переваг, серед яких слід відзначити низьку температуру згоряння (на 200°С нижче , ніж для киснево -гасового палива) та нетоксичність як самого палива , так і продуктів його згоряння (які представляють собою суміш водяної пари з газоподібним воднем).

1.6. Екологічний результат

Результатом здійснення водневий програми стане: суттєве зниження викидів парникових газів в атмосферу при використанні енергетичних установок та транспортних коштів на водневому паливі , що покращить екологічну обстановку у великих містах; зниження темпів вичерпання розвіданих запасів нафти та газу, використання їх у інших цілях .

1.7. Соціальний результат

Соціальний результат реалізації водневий програми висловиться наступним чином: збільшиться рівень та якість життя населення внаслідок покращення екологічної обстановки; виросте потреба праці вчених, інженерів, кваліфікованих

робітників, збільшиться їх заробітна плата, підвищиться притока талановитою молоді в науку та передове виробництво.

1.8. Висновки по розділу

Усі розвинені країни давно ведуть власні дослідження з альтернативної енергетиці . Потрібно залучати державні ресурси та створювати державну програму , а також залучати до проекту нафтові та газові компанії , що займаються енергетикою. Практично всі розвинені країни вкладають зараз величезні кошти на розвиток водневих технологій . Основна ціль - зниження залежності від існуючих енергоносіїв - нафти і газу , що становлять основу наших сьогоднішніх економіки та бюджету.

Зараз водневі джерела енергії використовуються в космічній сфері та у військовій області. Наприклад, водневі паливні елементи застосовуються в американських космічних човниках та в нових німецьких підводних човнах для безшумного руху під водою. Перед розробниками водневих технологій стоїть ще безліч проблем. По- перше , чекає вирішити проблему виробництва дешевого водню.

У виробництві паливних елементів доведеться вирішити проблему низького терміну служби каталітичних мембран, дорожнечу матеріалів для них виготовлення , створити ефективні системи очищення водню і т.д. Одним словом, воднева енергетика здатна забезпечувати людство чистими та невичерпними енергетичними ресурсами.

РОЗДІЛ 2. ВИДИ ЛАЗЕРНИХ ВИТРАТОМІРІВ КРІОГЕННИХ СЕРЕДОВИЩ

Лазерними (оптичними) називаються витратоміри, засновані залежно від витрати речовини того чи іншого оптичного ефекту в потоці. Є кілька різновидів цих приладів:

1) доплерівські витратоміри, засновані на вимірі різниці частот, що виникають при відображенні світлового променя частинками потоку, що рухаються;

2) витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля, яких вимірюється який-небудь параметр (зсув інтерференційних смуг або зсув частоти світлових коливань), пов'язаний із залежністю швидкості світла в прозорій речовині, що рухається, від швидкості останнього;

3) витратоміри, засновані на особливих оптичних ефектах, наприклад, залежності оптичних властивостей фібрового світловоду від швидкості обтікаючого його потоку;

4) витратоміри, засновані на вимірі часу переміщення на певній ділянці шляху оптичної мітки, введеної у потік;

5) кореляційні оптичні витратоміри.

Оптичними витратомірами називають прилади, що визначають витрату рідини, що впливає з ємності шляхом вимірювання оптичними методами висоти рівня в ньому або шляхом вимірювання інтенсивності виходу з ємності флуоресціюючих частинок, попередньо введених в рідину і розподілених в ній рівномірно. Розвиток основних різновидів оптичних витратомірів стало можливим після створення потужних і надійних оптичних квантових генераторів ОКГ, у зв'язку з чим оптичні витратоміри називають лазерними. Оптичні витратоміри мають багато переваг: високі точність та швидкодія, відсутність контакту з вимірюваною речовиною та низку інших. Вони застосовуються для оптично прозорих рідин, до яких відносяться вода, гас, бензин, спирт, чотирихлористий вуглець, розчини сірчаної та азотної кислот, а також газів.

Основні серед оптичних приладів, що розглядаються доплерівські. Вони

застосовуються головним чином для вимірювання місцевих швидкостей рідини і газу в різних дослідженнях з вивчення турбулентності, зняття поля швидкостей і т. д. Для вимірювання витрати вони використовуються рідше. Прилади ж, засновані на ефекті Фізо-Френеля, призначені саме для виміру витрати. Оптичні витратоміри зазвичай застосовуються в трубах невеликого діаметру.

2.1. Доплерівські витратоміри

Доплерівські оптичні витратоміри засновані на вимірюванні різниці частот Δf , що виникає при відображенні світлового або звукового променя частинками потоку, що рухаються. Вимір витрат доплерівським витратомірами відбувається полягаючись на ефект Доплера.

Вимір з допомогою ефекта Доплера можна здійснювати двома способами. Перший полягає у вимірі з допомогою лазерного доплерівського анемометра середньої швидкості потоку та множення результату вимірювання на площу потоку. Другий метод полягає у застосуванні лазерного додаткового доплерівського витратоміра особливої конструкції.

При першому методі вимірюється місцева швидкість, співвідношення якої із середньою швидкістю відомо. Зазвичай вимірюється швидкість або в центрі труби або на відстані $0,7587r$ (де r - внутрішній радіус труби) від осі труби. В цьому випадку вимірюється безпосередньо середня швидкість, але тут потрібна більша довжина прямої ділянки труби, ніж при вимірі швидкості в центрі. Крім того, великий градієнт швидкості в даній точці призводить до небажаного розширення спектру доплерівського сигналу, що робить важчим вимір його середньої частоти. Цього недоліку немає точка в центрі труби, але співвідношення її швидкості із середньою швидкістю залежить від коефіцієнта гідравлічного тертя труби, який повинен бути відомий. Значно найкращі результати можуть бути отримані при установці в трубі звужувального пристрою типу сопла Вітошинського, що формує рівномірне поле швидкостей і вимірення швидкості на виході з сопла. У цьому випадку не тільки знизиться похибка вимірювання середньої швидкості, але й похибка вимірювання

площі потоку. При цьому може бути отримана висока точність вимірювання витрати, близька до точності зразкових витратомірних установок.

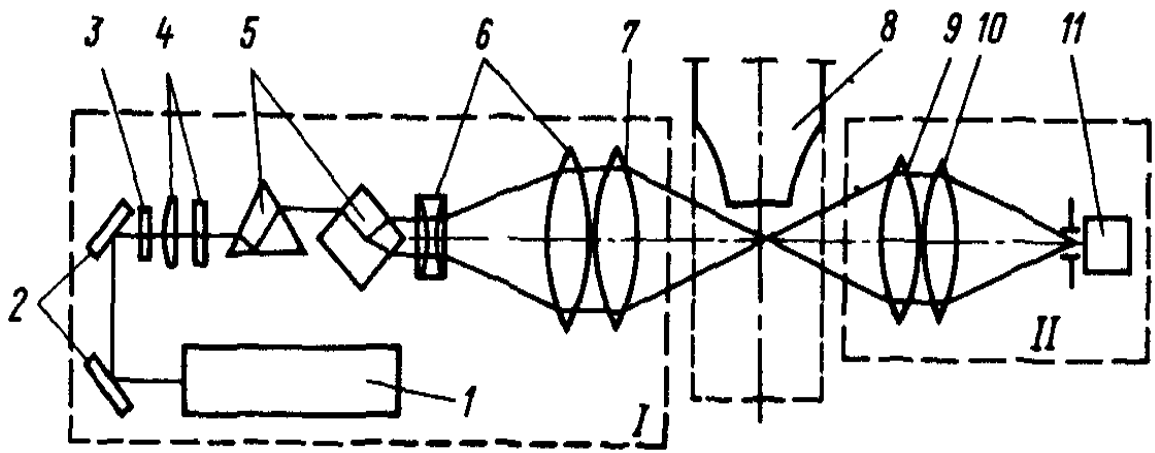


Рис.1 Схема допліровського витратоміра ЛДР-100

Як приклад на рис. 1 наведена схема витратоміра ЛДР-100, де: 1 – лазер; 2 - поворотні дзеркала; 3 - напівхвильова фазова пластинка; 4 - коліматор; 5 - призми; 6 - розширювач пучка; 7 - вихідний об'єктив; 8 - сопло Вітошінського; 9, 10 - об'єктиви приймального блоку; 11 - фотоприймач; У трубопроводі перед соплом Вітошінського вміщені стільникові струмені випрямлячі і сітки, що турбулізують потік. За соплом розташовується дифузор, що знижує втрату тиску і передбачують порушення епюри швидкостей після виходу із сопла. Джерело випромінювання - малогабаритний гелій - неоновий лазер ІЛГН-203 потужністю випромінювання 1 мВт. Оптична частина складається з передавального і приймального блоків. У передавальний блок входить лазер і оптика, яка виконана за диференціальною схемою. Приймальний блок складається з приймальної оптики та фотоприймача. Доплерівський сигнал надходить у широкосмуговий підсилювач проходить через фільтри низьких і високих частот, де позбавляється від шумів і подається на двопороговий формувач імпульсів, частота яких відповідає частоті доплерівського сигналу. Демодулятор перетворює частоту імпульсів аналоговий сигнал, пропорційний витраті. Діапазон вимірювання витрати рідини 0,1-100 мз/год, похибка $\pm(0,25\div 0,3)$ %.

При другому методі необхідні пристрої дозволяють або одночасно вимірювати

доплерівський зсув частот в декількох точках, розташованих на різних відстанях від осі труби, або робити цю операцію послідовно, наприклад за допомогою двигуна, який з постійною швидкістю пересуває лінію фокус і переміщує робочу точку. У разі осесиметричного потоку прилад може вимірювати витрати. Світловий промінь від лазера падає на напівпрозоре дзеркало. Частина променя відбивається від дзеркала і прямує безпосередньо в потік, а інша частина надходить на дзеркало і потім на розщеплювач, з якого виходить у вигляді ряду пучків. Останні інтерферують з прямим пучком в окремих точках потоку, проходять через лінзу і діафрагму і надходять на протяжний фотоприймач.

2.2. Витратоміри, засновані на ефекті Фізо-Френеля

Швидкість світла у нерухомій прозорій речовині дорівнює c/n , де c - швидкість світла в порожнечі, а n - коефіцієнт заломлення речовини. Швидкість ж світла c_n в речовині, рухаючись зі швидкістю v , залежить від величини і напрямку останньої. Швидкість c_n більше c/n , якщо вона збігається з v і менше при протилежному напрямку. Швидкість, визначається урівнянням:

$$c_n = \frac{c}{n} \pm v (n^2 - 1) n^{-2}, \quad (2.1)$$

яке теоретично вивів Френель, а Фізо, експериментально підтвердив його. Для вимірювання швидкості та на певній ділянці колії довжиною треба пропускати світло по потоку і проти нього і вимірювати різницю часів проходження світлом даної ділянки шляху. Для цього створюється замкнутий контур довжиною L , яким світло циркулює у протилежних напрямках. На частині цього контуру довжиною l рухається вимірювана речовина. Обидва світлові потоки після проходження замкнутого контуру L надходять на фотоприймальний пристрій, за допомогою якого вимірюється або зсув інтерференційних смуг Δx , або зсув частоти Δf світлових колебань між обома потоками, причому як Δx , так і Δf пропорціональні швидкості у вимірюваній речовині.

Залежність зсуву Δx інтерференційних смуг від швидкості визначається рівнянням:

$$\Delta x = \left(\frac{4l\nu v}{c\lambda} \right) (n^2 - 1) \cos\theta, \quad (2.2)$$

де λ - довжина хвилі світла; θ - кут між світловим променем і віссю труби. Зауважу, що зміна сили фотоструму Δi прямо пропорційно Δx при роботі на лінійній ділянці характеристик інтерферометра. Залежність зсуву частот Δf від швидкості виражається рівнянням

$$\Delta f = \left(\frac{2lv}{L\lambda} \right) (n^2 - 1) \cos\theta, \quad (2.3)$$

На рис. 2 наведена схема оптичного інтерференційного витратоміра, який заснований на ефекті Фізо-Френеля.

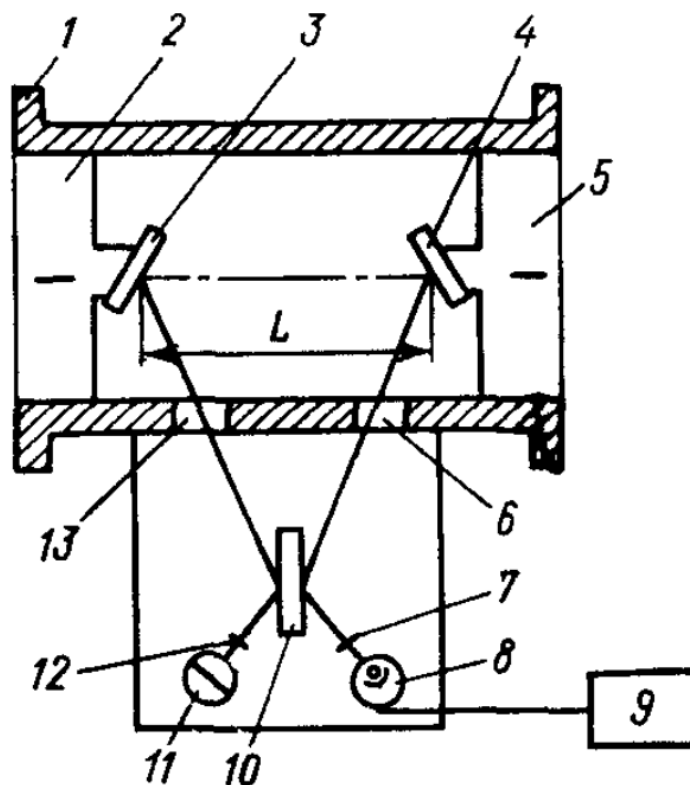


Рис.2 Схема оптичного інтерференційного витратоміра Фізо-Френеля

Світло від джерела 11 проходить через світлофільтр 12 і напівпрозорим дзеркалом 10 ділиться на два потоки, проходять через прозорі вставки 6 і 13, встановлені у корпусі 1. Після відбиття від дзеркал 3 та 4 (укріплених в трубці за допомогою струменевипрямлячів 2 і 5) один світловий промінь проходить шлях l по потоку вимірюваної речовини, а інший проти нього. Потім вони знову відбиваються від дзеркал 3 та 4 і повертаються до дзеркала 10, де змішуються і утворюють інтерференційну картину. Частина інтерференційної смуги проходить через діафрагму 7 і надходить до фотоприймача 8. Фотострум вимірюється приладом 9.

2.3. Особливі оптичні витратоміри

До особливих оптичних витратомірів можна віднести прилади, що ґрунтуються на залежності від витрати оптичних властивостей волоконного світловоду, що знаходиться в потоці вимірюваної речовини.

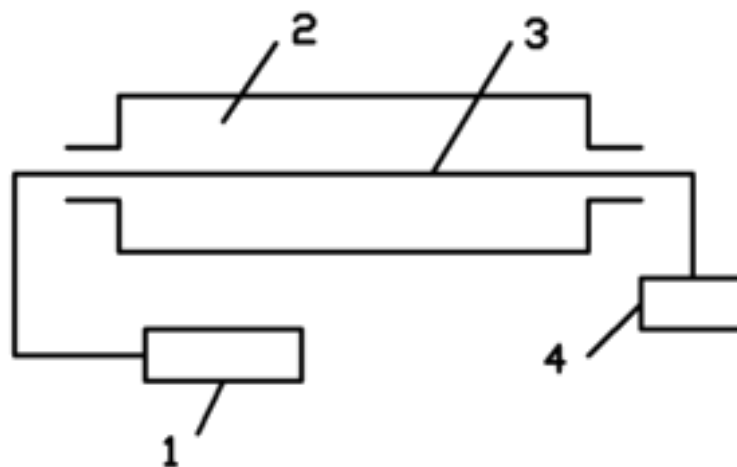


Рис. 3 Оптичний витратомір з волоконним світловодом, розташованим на осі труби

В даному витратомірі неоновий-гелієвий лазер 1 з'єднаний з волоконним світловодом 2. Даний світловод прокладений вздовж осі мідної трубки 3 (діаметром 30 мм і довжиною 500 мм), по якій рухається рідина, що вимірюється. Протилежний кінець світловода 3 з'єднаний з фотоперетворювачем 4. Перебіг рідини викликає невелику вібрацію волоконного світловоду, завдяки чому виникають фазові зміни

світлового променя. Фотоперетворювач 4 виробляє сигнал, що надходить до вимірювального приладу, але після безпосереднього посилення, фільтрації та інтегрування. Головною перевагою даного витратоміра є простота його конструкції. Але точність цього приладу невисока.

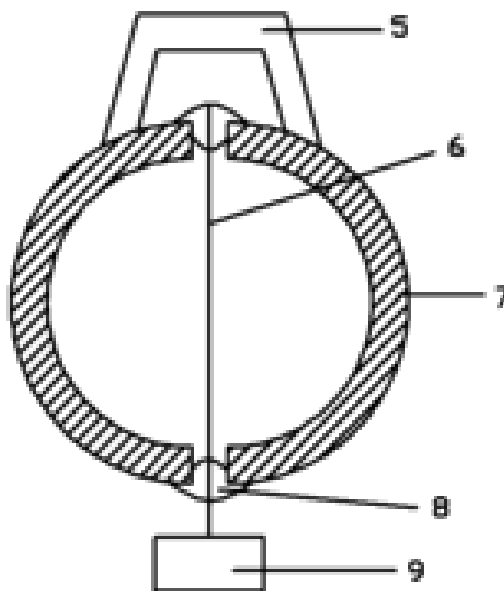


Рис. 4 Оптичний витратомір з волоконним світловодом, розташованим по діаметру труби

Цей прилад дає кращу точність порівняно з попереднім. Перетворювач даного витратоміра складається з тонкого скловолокнистого світловода 6, натягнутого вантажем 9 і розташованого поперек трубопроводу 7. Нитка укріплена вгорі в клеммотримачі 5, проходячи через ущільнення 8. Джерелом світла в даному випадку є неонов-гелієвий лазер. При русі вимірюваної речовини з обох боків нитки по черзі зриватимуться вихори з частотою, пропорційною до об'ємної витрати. Через це даний перетворювач розглядають, як один з можливих варіантів перетворювачів вихрових витратомірів. Зриви вихорів викликають вібрацію світловоду і, як наслідок, фазову модуляцію світлового променя, що проходить через нього, сприймається фотодетектором.

2.4. Висновки по розділу

Основними перевагами оптичних (лазерних) витратомірів є:

- висока точність;
- відсутність контакту з вимірюваною речовиною;
- висока чутливість;
- мала інерційність;
- широкий діапазон вимірювання швидкостей (0,1...100 м/с) і витрат незалежно від фізичних властивостей вимірюваного середовища (як рідин, і газів), крім вимоги прозорості середовища у діапазоні довжин хвиль, випромінюваних лазерами.

Найбільш перспективне застосування оптичних методів в експериментальній гідродинаміці, особливо в області турбулентних явищ, вивчення яких традиційними способами не дає бажаних результатів внаслідок малої точності приладів і, головне, спотворень, що вносяться в досліджувану структуру потоку. Витратоміри даного типу застосовуються для оптично прозорих рідин, до яких належать вода, гас, бензин, спирт, розчини сірчаної, азотної кислот та газів. Також лазерні витратоміри використовують при вимірюванні витрати агресивних, високо- та низькотемпературних (криогенних) рідин та газів.

РОЗДІЛ 3. БАГАТОХВИЛЬОВОГО ЛАЗЕРНОГО ВИТРАТОМІРА ВОДНЕВОГО ПАЛИВА

Лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива відноситься (ЛБВВП) до вимірювальної техніки, яка використовується як у авіаційно-рактній галузі, наприклад водневе паливо (Ту-204К), так і в інших галузях промисловості, в яких застосовуються, наприклад зріджений природний газ (ЗПГ), або зрідженні гази, такі як азот, гелій, кисень, аргон та ін.

Відомий витратомір Flowson 2000 призначений для вимірювання витрат кріогенних рідин, який складається з перетворювача витрат типу модифікованого сопла Вентурі. Однак, такі витратоміри мають невисоку точність вимірювання ($\pm 2,5\%$ допустима відносна похибка витратоміра для азоту, аргону, та кисню), а також обмежений динамічний діапазон вимірювання, який залежить від діаметру умовного проходу.

Набільш близьким по технічній сутності є лазерний доплеровський швидкісний витратомір, який складається з лазера, який випромінює пучок на довжині хвилі λ_1 , поляризатора, чвертьхвильової фазової пластини, двох фокусуєчих лінз, двох світловодів, прозорого трубопроводу, фазорегулятора з блоком живлення, фотоприймача, смугового фільтру та цифрового вимірювача доплерівської частоти з обчислювачем.

Однак, цей пристрій не може використовуватися для вимірювання з високою точністю потоку кріогенних рідин, оскільки має низьке відношення сигнал/шум на виході фотоприймача і, відповідно, низьку точність. Відомо, що потужність розсіяного випромінювання приймаючого у прототипу під кутом розсіювання більше 90° на порядок перевищує потужність розсіювання, що використовується при малих кутах розсіювання (менше $5-10^\circ$), крім того, кріогенні рідини характеризуються високою чистотою, а отже, і точністю вимірювання витрат.

В основу винаходу поставлена задача усунути вищезначені недоліки прототипу, суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум й відповідно точність

вимірювання витрат за рахунок використання у пристрої трьох лазерів, випромінюючих на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, а також шести пар зустрічних зондуючих пучків, що спрямовуються у зону вимірювання під узгодженими між собою кутами $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$, а також з наступним здійсненням симетричного прийому розсіяного випромінення на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ із здійсненням узгодженої просторової фазової його фільтрації селективно по довжинам хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, що дозволяє при реалізації двохканального симетричного прийому забезпечує синфазний прийом корисних сигналів, а також забезпечує пригнічення високочастотних перехресних перешкод.

На додатку А приведена функціональна схема ЛБВВП.

На додатку Б приведений варіант виконання оптичного блоку селективного прийому й узгодженого розподілення розсіяного випромінення по довжинам хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$.

На додатку В представлена апертурна діафрагма, що забезпечує симетричні умови зондування й прийому розсіяного випромінювання.

3.1. Будова лазерного багатохвильового витратоміра

ЛБВВП складається з трьох лазерів $1_1, 1_2, 1_3$ випромінюючи лінійно поляризовані пучки $2_1, 2_2, 2_3$, відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; поляризаторів $3_1, 3_2, 3_3$, з 6-ти напівхвильових фазових пластин $4_1, 4_2, 4_3$, відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; апертурних діафрагм 5 (додаток В), які мають три пари симетрично розташованих отворів узгодження оптичної осі ОХ схеми, фокусуючої лінзи 6 з фокусною відстанню F_1 , яка фокусує паралельні осі ОХ зондуючі пучки $2_1, 2_2, 2_3$, в точці 0, розташований на осі ОУ сапфірового трубопроводу 7, по якому зі швидкістю V рух криогенна рідина, другоїфокусуючі лінзи 8 з фокусною відстанню $F_2=F_1$ та з апертурною діафрагмою 5 (додаток В); з двох призм повного внутрішнього відведення 9, трьохфазорегуляторів $10_1, 10_2, 10_3$ під'єднаних до відповідних виходів блоку живлення 10_4 , трьох чвертьхвильових фазових пластин $11_1, 11_2, 11_3$ відповідних $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, селективновідповідаючого дзеркала 12 на кварцевий підложці, на якому є

три просторові розділені селективно відображаючі дзеркала відповідних хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 ; з лазерних зодндуючих пучків 13₁, 13₂, 13₃, зустрічно розповсюджуємі зондуєчим пучкам 14₁, 14₂, 14₃ відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 ; лазерні зодндуючі пучки 15₁, 15₂, 15₃, зустрічно розповсюджуємі зондуєчим пучкам 2₁, 2₂, 2₃ відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 ; двох оптичних блоків селективного прийому й узгодженого розділення випромінювання по довжинам хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 ; (додаток Б); дванадцяти світловодів: 17₁, 18₁, 19₁, 20₁ - для передачі випромінювання на довгі хвилі λ_2 ; 17₂, 18₂, 19₂, 20₂ для передачі випромінення на довжині хвилі λ_2 ; 17₃, 18₃, 19₃, 20₃ для передачі випромінення на довжині хвилі λ_2 ; двохфотоприймачів 21₁, та 21₂, диференційного підсилювача 22, смугового Фільтру 23, цифрового вимірювача доплерівської частоти з обчислювачем 24ж оптичного блоку 16 (додаток В), який складається з двох селективних розщеплювачів 25 та 26, трьох призм узгодженого розділення з просторовою фазовою фільтрацією 27, 28, 29 відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 ; шести пристроїв вводу випромінення в світловоді 30₁, 30₂, 30₃, відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 ; розсіяного випромінювання 31_о, 32_о. Всі оптичні елементи та блоки (додаток А, додаток Б) виконуються оптично-просвітленими на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 .

3.2. Принцип роботи

Лазерний витратомір працює наступним чином. Лазери 1₁, 1₂, 1₃, наприклад напівпровідникові, випромінюють лінійно поляризовані пучки 2₁, 2₂, 2₃ з азимутами 0° відповідних довжинах λ_1 , λ_2 , λ_3 . Ці пучки 2₁, 2₂, 2₃ проходять поляризатори 3₁, 3₂, 3₃, котрі мають азимут осей пропускання відповідно рівним 0°. Далі азимут лінійно полярних пучків 2₁, 2₂, 2₃ за допомогою напівхвильових фазових пластин 4₁, 4₂, 4₃ встановлюються рівними, наприклад для схеми (додаток А) 90°, тобто коливання електричних векторів цих пучків співпадають з віссю OZ (додаток А). Пучки 2₁, 2₂, 2₃ розповсюджуються паралельно оптичній осі схеми OX на відстанях відповідно a₁, a₂, a₃ (додаток В) та проходять отвори 5 й фокусуються лінзою б у зоні вимірювання 0, розташованій на осі OY сапфірового трубопроводу 7 (або замість сапфірового

трубопроводу на шляху зонduючих пучків може бути розташоване сапфірове вікно). Після проходження прозорого трубопроводу 7, ці пучки збираються лінзою 8 й проходять отвори діафрагми 5, та після відбиття від двох призм повного відображення 9, знову лінзою 8 фокусуються в тій самій зоні вимірювання 0 ($F_1 = F_2$). Зонduючі пучки $2_1, 2_2, 2_3$ відповідно на довжинах хвиль λ_1, λ_2 , після проходження напівхвильових фазових пластин $4_1, 4_2, 4_3$, мають рівні азимути 0° . Лінзи 6 та 8 мають однакові фокусні відстані ($F=F_2$). Далі зонduючі пучки $14_1, 14_2, 14_3$ проходять трубопровід 7, збираються першою лінзою 6, перетворюючись у паралельні пучки розташовані паралельно оптичній осі схеми ОХ на відстанях a_1, a_2, a_3 відповідно на довжинах хвиль λ_1, λ_3 . Кожен з цих пучків проходить послідовно фазорегулятори $10_1, 10_2, 10_3$, чвертьхвильові фазові пластини $11_1, 11_2, 11_3$ відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ відбившись від селективних зон відображення $12_1, 12_2, 12_3$, від дзеркала 12 знов проходить чвертьхвильові фазові пластини $11_1, 11_2, 11_3$, фазорегулятори $10_1, 10_2, 10_3$ й потім фокусуються лінзою 6 у зоні вимірювання 0 ($F, =F_2$), формуючи таким чином три зонduючі пучки $13_1, 13_2, 13_3$ відповідно на довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ з однаковими азимутами поляризації 90° . Ці пучки $13_1, 13_2, 13_3$ далі проходять трубопровід 7 й збираються лінзою 8, проходять отвори діафрагми 5 й після відбиття від призми 9 й проходження напів хвильових фазових пластин $4_1, 4_2, 4_3$ фокусуються лінзою 8 в зоні виміру 0. Таким чином формуються три зонduючі пучки $15_1, 15_2, 15_3$, котрі мають однаковий азимут поляризації 0° . Всі зонduючі пучки $2_1, 2_2, 2_3$ й зустрічні ним $5_1, 5_2, 5_3$ а також пучки $13_1, 13_2, 13_3$ й зустрічні ним $14_1, 14_2, 14_3$ лежать в одній площині зонduючих пучків ОХУ. При чому будь-яка пара зустрічних пучків має лінійні взаємно ортогональні поляризації. Пари зонduючих пучків 2_1 , та 13_1 , 2_2 та 13_2 , $2_3, 13_3$ мають однакові азимути поляризації 90° й перетинають оптичну вісь схеми ОХ відповідно під узгодженими кутами $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$. Зустрічні пари зонduючих пучків пучків 14_1 , та 15_1 ; 14_2 , та 15_2 ; 14_3 та 15_3 також мають узгодженні поляризації 0° й перетинають оптичну вісь схеми ОХ під узгодженими кутами $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$.

При проходженні криогенної рідини по трубопроводу 7 зі швидкістю V внапрямку осі ОУ розсіяне випромінення 31 на молекулах та мікрочастинках

збирається другою лінзою 8 в напрямку під малими кутами розсіювання (від 3° до 10°) й далі направляється на вхід оптичного блоку селективного прийому й узгодженого розділення випромінення по довжинам хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 (додаток Б). Розсіяне випромінення 31 яке формується від 12 зондуючих пучків та збирається лінзою 8 у межах отвору діаметром d (додаток В) діафрагми 5 й надалі спрямовується на вхід селективного розщеплювача 25 (додаток Б). Потужність цього випромінення дорівнює $P_\Sigma = P_{\lambda_1} + P_{\lambda_2} + P_{\lambda_3}$, де потужності P_{λ_i} відповідають довжинам хвиль λ_1 , λ_3 . Селективний розщеплювач 25 пропускає випромінення, наприклад на довжинах хвиль λ_2 , λ_3 відбиває своєю гранню випромінення на довжині хвилі λ_1 , λ_3 . Потім з виходу розщеплювача 25 розсіяне випромінення на довжинах хвиль λ_1 , λ_3 спрямовується на вхід другого селективного розщеплювача 26, в котрому розсіяний пучок на довжині хвилі λ_3 відбивається від внутрішньої поверхні селективного розщеплювача, а пучок на довжині хвилі λ_1 проходить через селективний розщеплювач 26 й надходить на вхід призми 27 узгодженого розділення з просторовою фазовою фільтрацією випромінення. Дзеркальне напилення внутрішньої грані призми 27 являє собою просторовий фазовий фільтр (ПФФ) для розсіяного випромінення на довжині хвилі λ_1 синтезований на ЕОМ по заданих параметрах оптичної схеми й криогенного середовища. Цей ПФФ частину випромінювання відбиває, а другу його частину пропускає так, що сумарна потужність цих пучків $P_{\lambda_1} = P_{\lambda_1}' + P_{\lambda_1}''$.

Оптичний пучок на довжині хвилі λ_1 потужністю P_{λ_1}' вводиться за допомогою пристрою введення 30₁ в світловод 17₁ й далі спрямовується на вхід фотоприймача 21₁. Друга частина цього пучка P_{λ_1}'' , на довжині хвилі λ_1 з потужністю P_{λ_1}'' з виходу призми 27 через пристрій 30₁ й світловод 18₁ спрямовується на вхід фотоприймача 21₂. На входах фотоприймачів 21₁ та 21₂ від прийому розсіяного випромінення на довжині хвилі λ_1 формуються складові корисного сигналу на одній частоті $f_{g1} = K_{\lambda_1} \times V_Y$ котрі знаходяться в протифазі, тому з виходів фотоприймачів 21₁, та 21₂ ці сигнали подаються далі на два входи диференційного підсилювача 22, де вони сумуються, а низькочастотні перешкоди віднімаються так як вони знаходяться у фазі.

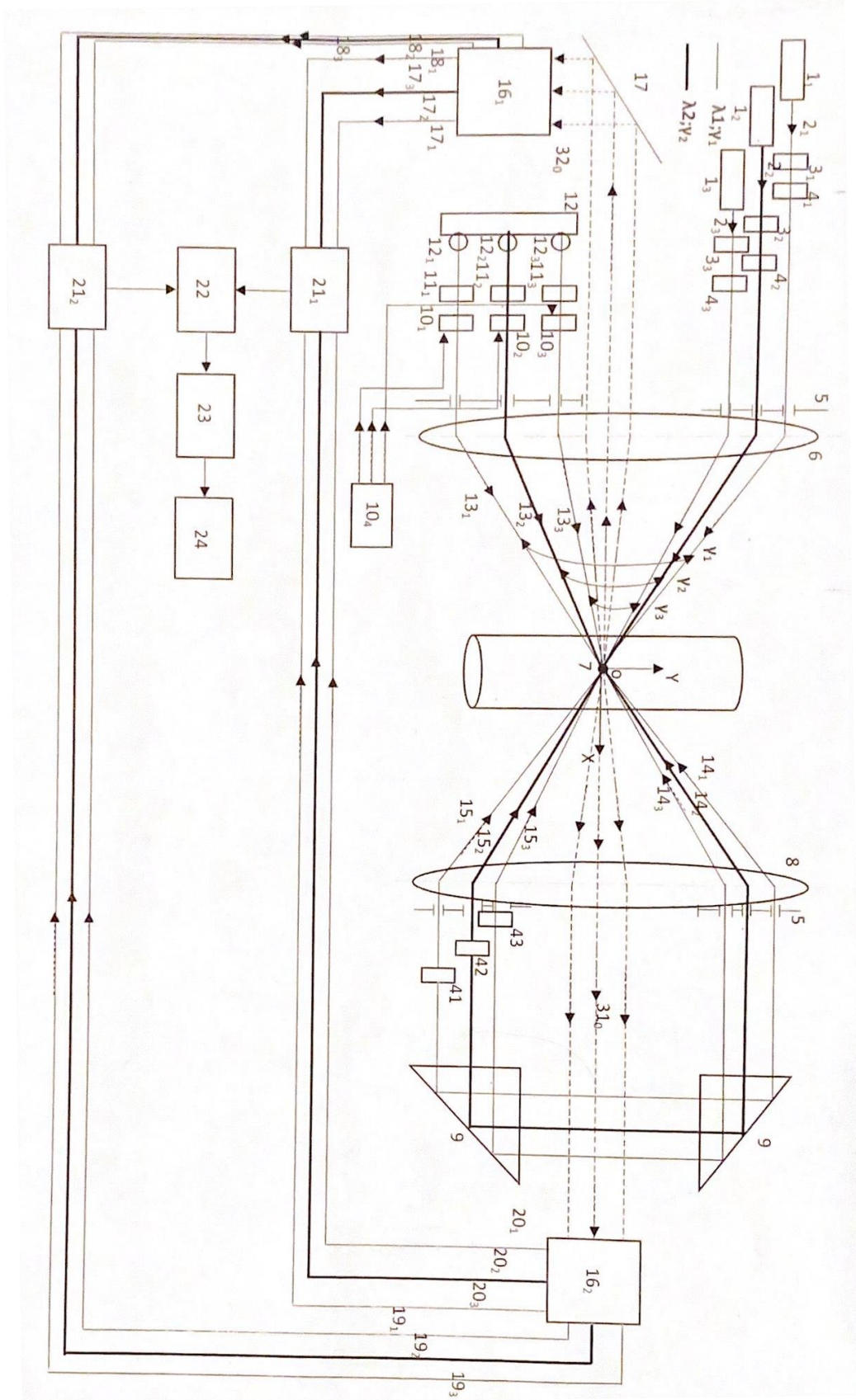
Окрім того, високочастотні перехресні перешкоди сформовані при прийомі випромінювання від пар зондуючих пучків 2_1 та 15_1 , 2_1 та 14_1 , 13_1 та 14_1 , 13_1 , та 15_1 пригнічуються, так як у схемі (додаток А) реалізований симетричний прийом випромінювання від цих зондуючих пучків, які мають взаємно ортогональні лінійні поляризації відносно площини зондуючих пучків ОХУ. Аналогічно працюють канали прийому на довжині хвилі λ_2 де призма 29 являє собою ПФФ для розсіяного випромінювання на довжині хвилі λ_2 . Тому відбиваюча частина грані ПФФ призми 29 спрямовує частину випромінювання P_{λ_2}' крізь пристрій введення 30_2 та світловод 17_2 на фотоприймач 21_2 , а друга його частина P_{λ_2}'' за допомогою світловоду 18_2 спрямовується на фотоприймач 21_2 . На виходах фотоприймачів 21_1 , та 21_2 в результаті оптичного змішування розсіяних пучків на довжині хвилі λ_2 формуються корисні високочастотні сигнали на частоті $f_{g1} = K_{\lambda_2} \times V_Y$, котрі знаходяться впротифазі один до одного. Проте високочастотні корисні сигнали на виході як фотоприймача 21_1 , так і фотоприймача 21_2 сформовані від розсіяного випромінювання на довжинах хвиль як λ_1 так і λ_2 на одному й тому самому фотокатоді фотоприймача знаходяться у фазі, тому на виході диференційного підсилювача 22 синфазні корисні високочастотні сигнали на частоті $f_{g1} = K_{\lambda_2} \times V_Y$, які формуються при прийомі випромінювання на довжинах хвилі сумуються, що досягнення до призводить до підвищення сигналу/шуму. Також як і для хвилі λ_1 , високочастотні перехресні перешкоди на вхідних фотоприймачів, які формуються при прийомі розсіяного випромінювання на довжині хвилі λ_2 від зондуючих пучків 2_2 та 15_2 , 2_2 та 14_2 , 13_2 та 15_2 , 13_2 та 14_2 автоматично утримуються площі для сині метричного пригнічення.

Аналогічно працює канал на довжині хвилі λ_3 , в котрому використовується призма 28, який уявляє собою ПФФ для розсіяного випромінювання на довгі хвилі λ_3 , в котрій виходи призми 28 через світловоди 17_3 та 18_3 узгоджені з фотоприймачами 21_1 та 21_2 .

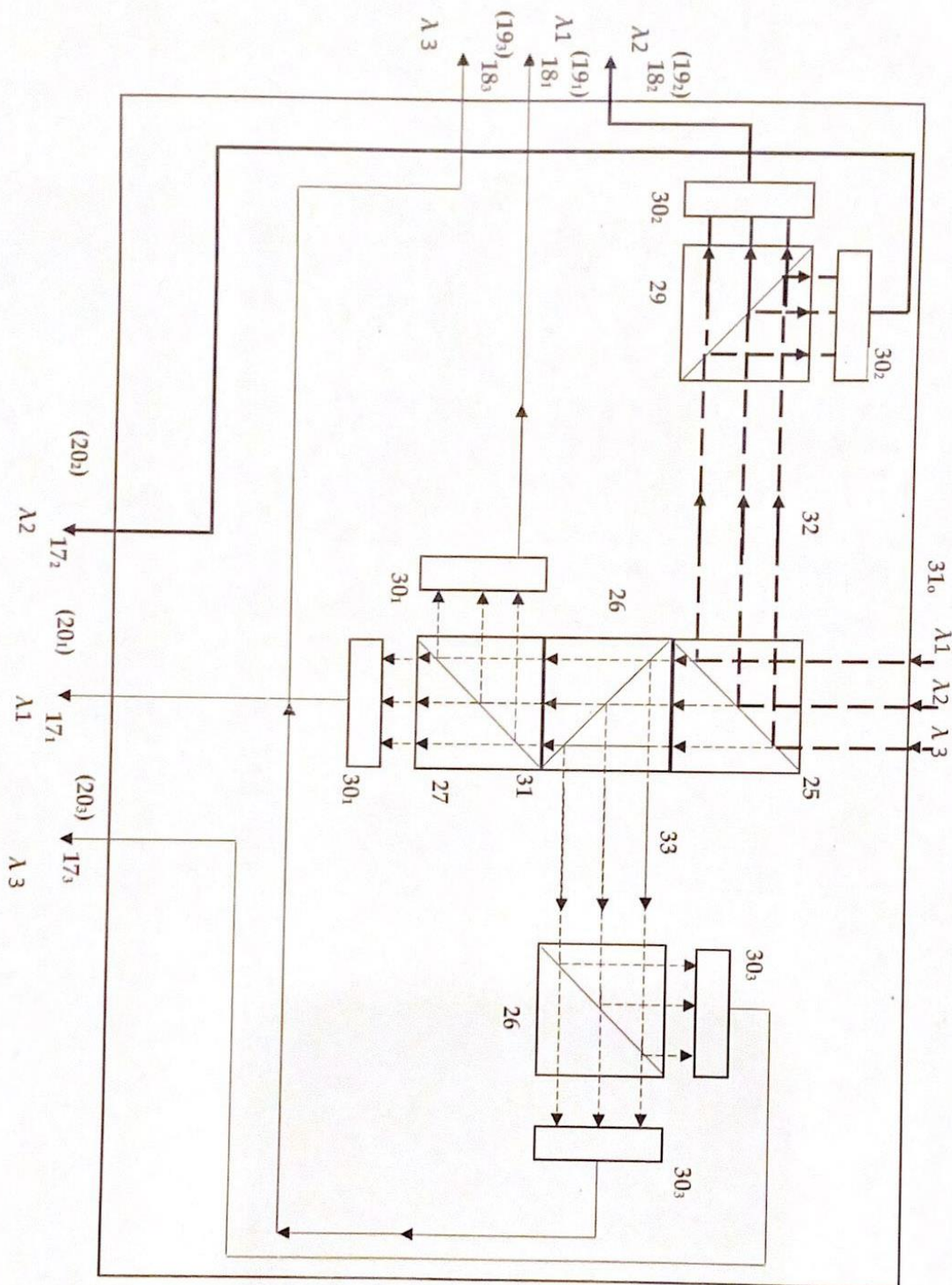
Протифазні корисні сигнали на частоті $f_{g1} = K_{\lambda_3} \times V_Y$, сформовані у результаті оптичного зміщення на фотокатоді фотоприймачів 21_1 , та 21_2 розсіяного

випромінювання потужністю відповідно P'_{λ_3} та P''_{λ_3} на довжині хвилі λ_3 виходів фотоприймачів 21₁ та 21₂ подаються на вхід диференційного підсилювача 22. Цей сигнал з виходу підсилювача 22 синфазний сигнал сформований від довжин хвиль λ_1 , λ_2 суми з них, який забезпечує підвищення ходу сигналу/шуму через смуговий фільтр 23 на вхід цифрового вимірювача частоти 24 з обчислювачем. Обчислювач дає інформацію про миттєві й сумарні витрати кріогенних рідин. Якщо в обчислювач поступають сигнали від датчика температури та датчика тиску кріогенної рідини, то він видає інформацію про миттєву та сумарну масові витрати (ГОСТ 8.361). За допомогою фазорегуляторів 10₁, 10₂, 10₃, забезпечують просторове узгодження інтерференційних картин в зоні вимірювання 0, відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 .

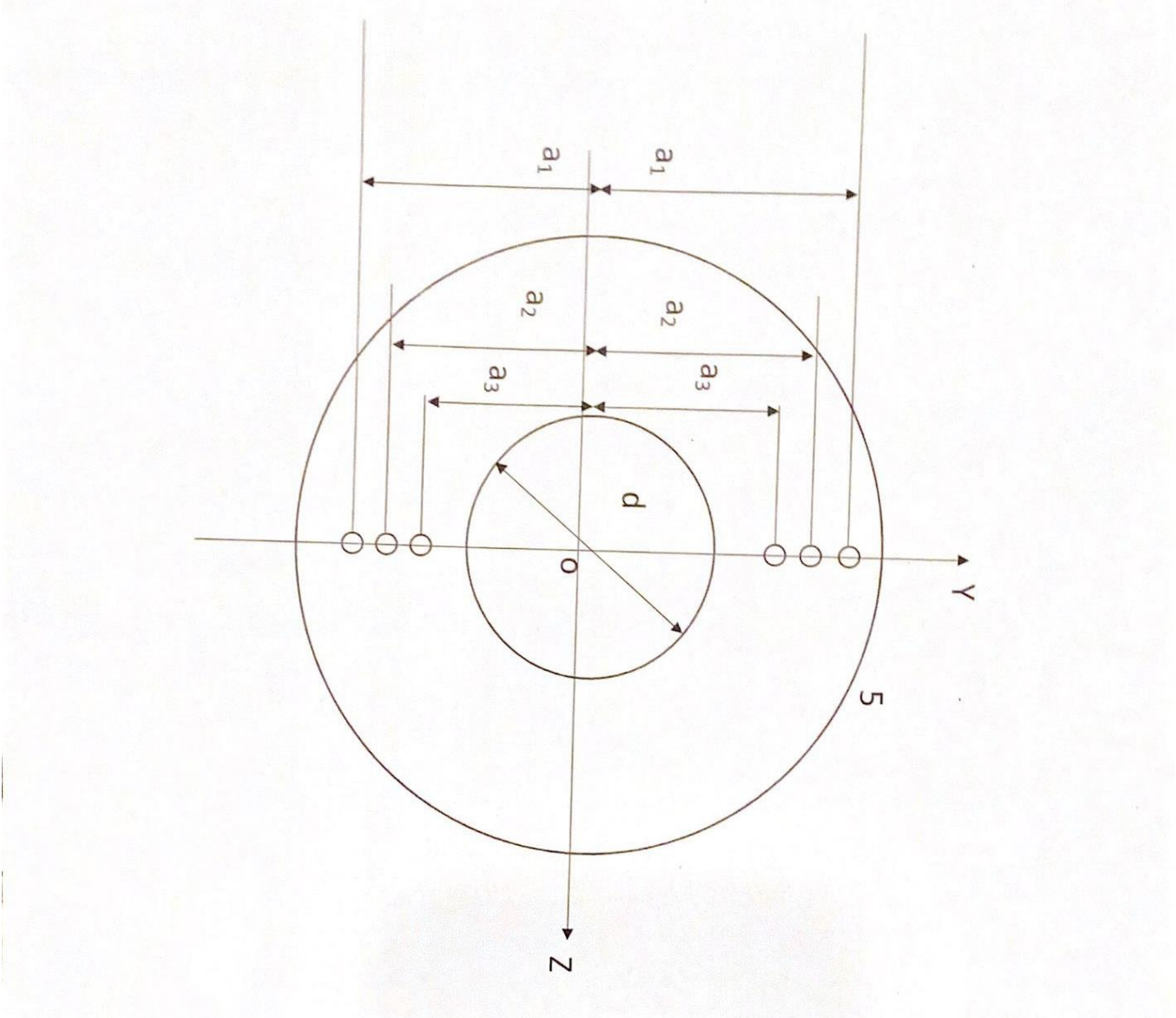
Лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива



Оптический блок селективн



Апертурна діафрагма



3.3 Висновки по розділу

Розроблений ЛБВВП має у порівнянні з аналогами прототипом на порядок вище співвідношення сигнал/шум й відповідно точність вимірювання витрат, за рахунок забезпечення узгодженого багатохвильового зондування й синфазного симетричного прийому розсіяного випромінення пучків на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 . Окрім того ЛБВВП на відміну від прототипа, у якому використовується один потужний лазер на довжині хвилі λ_1 й габарити котрого більші, використовує, наприклад три малогабаритні напівпровідникові лазери відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 . Таким чином габарити й вага ЛБВВП суттєво зменшуються, що особливо важливо при використанні ЛБВВП в авіаційній та ракетній техніці.

ВИСНОВКИ

Очікується, що майбутній попит на енергію значно зросте через зростання населення світу та вимоги до вищого рівня життя та покращення якості повітря. Нині більшість світових потреб в енергії для транспортування та опалення отримують з нафти або природного газу. На жаль, спалювання вуглеводневого палива спричиняє понад половину всіх викидів парникових газів і велику частину викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Отже, сучасний світ стикається з невідкладною проблемою розробки альтернативних видів палива. Серед різноманітних альтернатив водневе паливо пропонує найвищі потенційні переваги з точки зору ціни та зменшення викидів забруднюючих речовин і парникових газів.

Як і електрика, водень є високоякісним енергоносієм, який можна використовувати з високою ефективністю та нульовими або близькими до нуля викидами в навколишнє середовище. Технічно продемонстровано, що водень може використовуватися для транспортування, опалення та виробництва електроенергії, а також може замінити існуючі види палива у всіх їх нинішніх цілях. Водень можна виробляти з використанням різноманітних матеріалів, отриманих як з відновлюваних, так і з невідновлюваних джерел, за допомогою багатьох різних технологічних методів.

Враховуючи стрімкий розвиток технологій з використанням водню, як палива, з'являється попит на дослідження, розробку та вдосконалення систем, які допомагають взаємодіяти з цим типом джерелом енергії.

Однією із таких систем є витратоміри, які використовуються для проведення управління літаками і космічними апаратами, автомобілями, управління виробничим процесом, для контролю процесу роботи енергетичних установок і в багатьох інших сферах.

Розвиток технологій в сфері взаємодії з воднем, як з джерелом енергії, допоможе людям частково або повністю відмовитися від нафтопродуктів, зменшивши забруднюючі викиди в навколишній світ та політичні «важелі» тиску.

Усі розвинені країни давно ведуть власні дослідження з альтернативної енергетиці . Потрібно залучати державні ресурси та створювати державну програму , а також залучати до проекту нафтові та газові компанії , що займаються енергетикою. Практично всі розвинені країни вкладають зараз величезні кошти на розвиток водневих технологій . Основна ціль - зниження залежності від існуючих енергоносіїв - нафти і газу , що становлять основу наших сьогоднішніх економіки та бюджету.

Зараз водневі джерела енергії використовуються в космічній сфері та у військовій області. Наприклад, водневі паливні елементи застосовуються в американських космічних човниках та в нових німецьких підводних човнах для безшумного руху під водою. Перед розробниками водневих технологій стоїть ще безліч проблем. По- перше , чекає вирішити проблему виробництва дешевого водню.

У виробництві паливних елементів доведеться вирішити проблему низького терміну служби каталітичних мембран, дорожнечу матеріалів для них виготовлення , створити ефективні системи очищення водню і т.д. Одним словом, воднева енергетика здатна забезпечувати людство чистими та невичерпними енергетичними ресурсами.

Беручи до уваги всі вищезгадані переваги та аналізуючи перспективи використання водню, як альтернативу енергії, нами була поставлена мета усунути недоліки прототипу лазерного багатохвильового витратоміра водневого палива, а саме суттєво підвищити співвідношення сигнал/шум й відповідно точність вимірювання витрат.

В результаті розроблений лазерний багатохвильовий витратомір водневого палива має, у порівнянні з аналогами прототипом, на порядок вище співвідношення сигнал/шум й відповідно точність вимірювання витрат, за рахунок забезпечення узгодженого багатохвильового зондування й синфазного симетричного прийому розсіяного випромінення пучків на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 . Окрім того ЛБВВП на відміну від прототипа, у якому використовується один потужний лазер на довжині хвилі λ_1 й габарити котрого більші, використовує, наприклад три малогабаритні напівпровідникові лазери відповідно на довжинах хвиль λ_1 , λ_2 , λ_3 . Таким чином

габарити й вага ЛБВВП суттєво зменшуються, що особливо важливо при використанні ЛБВВП в авіаційній та ракетній техніці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Землянський В.М., Гусєв М.О., Єгоров С.Г., Поляк С.В. Лазерний багатохвильовий витратомір криогенних рідин. Патент України №41406 18.03.2019
2. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн. 2 / Под общ. ред. Е. А. Шорникова. — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2004. — 412 с.
3. Ram V. Gupta Hydrogen Fuel - Production, Transport and Storage. 2009 – 626с.
4. Johannes Töpler, Jochen Lehmann - Hydrogen and Fuel Cell: Technologies and Market Perspectives. 2015 – 286с.