

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані технології
та системи навігації і керування»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизація системи контролю кількості палива»

Виконав (-ла):

студент (-ка) III курсу, групи ПГ-п71

Щенський Д.Д. _____

Керівник:

Доц., к.т.н.,

Мураховський С.А. _____

Рецензент:

Доц., к.т.н.,

Маркіна О.М. _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ – 2020 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет
Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність (спеціалізація) – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Надія БУРАУ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту
Щенському Дмитру Дмитровичу

1. Тема роботи «Автоматизація системи контролю кількості палива», керівник роботи Мураховський Сергій Анатолійович затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1180-с
2. Термін подання студентом проекту _____
3. Вихідні дані до роботи: частотний діапазон зовнішніх збурень – 1-10 Гц, об'єкт дослідження – система контролю рівня палива, максимальна відносна похибка вимірювання – 2%, датчик мембранного типу.
4. Зміст пояснювальної записки: огляд систем вимірювання рівня палива; вибір типу системи; математичні моделі сигналів та пристроїв для їх перетворення; розробка методів фільтрації отриманої інформації; моделювання та аналіз отриманих результатів.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): презентація (15-20 слайдів), рисунки, схеми в пояснювальній записці.

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Огляд літературних джерел	15.04.2020	
2.	Розробка системи вимірювання кідбкості палива в резервуарі	26.04.2020	
3.	Розробка математичної моделі	10.05.2020	
4.	Моделювання	20.05.2020	
6.	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2020	

Студент

Дмитро ЩЕНСЬКИЙ

Керівник проекту

Сергій МУРАХОВСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота складається зі вступу, 2 розділів, висновків, списку використаних джерел у кількості джерел.

Об'єктом роботи є автоматизація контролю кількості палива у резервуарах корабля, з можливістю знімання показань безперервно та у режимах качки. У дипломній роботі використовувалися наступні методи дослідження: табличні, графічний, метод середніх, абсолютних та відносних величин.

Метою дипломної роботи є створення автоматизованої системи контролю кількості палива судна та додавання можливості знімання рівня не тільки у статичному положенні судна в порті, але й у рейсі шляхом зменшення похибок.

В роботі наведено інформаційно-аналітичний огляд сучасного стану можливості моніторингу рівня на судах. Здійснено вибір оптимального датчику для поставленої задачі з урахуванням простоти, надійності та економічності у довгосрочній роботі прилада. Була розроблена математична модель датчику задля зменшення власних похибок. Враховані і записані параметри качки та їх математична модель. Були проаналізовані сучасні фільтри цифрових сигналів. Змодельован фільтр високих частот для заглушення похибок при хитавиці.

SUMMARY

The bachelor's thesis consists of an introduction, sections, conclusions, a list of sources used in the number of sources.

The object of the work is the automation of the control of the amount of fuel in the tanks of the ship, with the possibility of taking readings continuously and in duck modes. The following research methods were used in the thesis: tabular, graphical, method of average, absolute and relative values.

The aim of the thesis is to create an automated control system for the amount of fuel of the vessel and add the ability to lower the level not only in the static position of the vessel in port, but also in flight by reducing errors.

The paper presents an information-analytical review of the current state of the possibility of monitoring the level in the courts. The choice of the optimal sensor for the task, taking into account the simplicity, reliability and economy in the long-term operation of the device. A mathematical model of the sensor was developed to reduce its own errors. The parameters of the duck and their mathematical model are taken into account and recorded. Modern digital signal filters were analyzed. The high-pass filter for damping of errors at a sway is modeled.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	2
АНОТАЦІЯ	4
SUMMARY	5
ЗМІСТ	6
ВСТУП	7
1. РОЗГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГА РІВНЯ	9
1.1. Інформаційно-аналітичний огляд систем моніторингу рівня палива на кораблях	9
1.2. Огляд сучасних рішень систем моніторингу рівня на основі рівнеміру різних типів	11
1.3 Класифікація типів та характеристика рівномірів.....	12
2. РОЗРОБКА ВЛАСНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	41
2.1. Вибір та опис основного приладу зняття рівня рідини у ємності..	41
2.2. Параметри визначаючі качку об'єкта.....	44
2.3. Імовірнісні характеристики параметрів, що визначають хитавицю об'єкта	46
2.4. Моделювання чутливого елемента датчика	53

ВСТУП

Для автоматизації контролю залишку палива у резервуарах судна та зменшення частки витрат на паливно-енергетичні ресурси в сукупності постійних витрат судноплавних компаній на даний час вважається актуальною темою. За останні роки на світовому ринку з'явилося багато типів судових систем контролю рівня палива та його витрат. Установка подібних систем надає ряд переваг, а саме:

- Автоматизація процесу заміру рівня палива;
- Можливість виконувати заміри в умовах качки та кренах судні на воді;
- Збільшення точності замірів палива;
- Можливість бачити у реальному часі залишок палива на судні;
- Економія пального, і коштів, оптимізація всієї судноплавної компанії в цілому і її конкурентоспроможність на сучасному ринку;
- Поліпшення паливно-енергетичного балансу судна має на увазі зниження собівартості перевезень і дає можливість судноплавної компанії вести технічно і фінансово грамотну політику в області ефективного використання пального на судні;
- Відсутність комерційних втрат через помилки у вимірі кількості палива.
- Підвищення безаварійності судноплавних операцій;
- Підвищення ефективності планування;
- Зростання рентабельності підприємства.

Виходячи з вищевикладеного, недоступність безперервного виміру залишку пального на відносно довгих відрізках шляху також не дає можливість дієво застосувати і коректно оцінити цілий ряд технічних і організаційних заходів, спрямованих на економію палива на флоті. Сукупність цих даних вказує на актуальність та вигідність автоматизації системи заміру палива на судні.

Система моніторингу рівня палива на кораблі засновується на використанні датчика рівня палива, сигнал з якого буде математично оброблятися перед отриманням кінцевого результату на індикаторах судна.

Виконуючи проектування системи, ми маємо звернути увагу на те що вона буде встановлюватись в кораблі, де потрібно мінімізувати впливи зовнішніх факторів, такі як хитавиця з шістьма ступнями вільності, великий діапазон температурних режимів та вологості. Також потрібно врахувати складність та економічну складову. На даний час готові рішення подібних систем мають велику собівартість і конструктивно складні.

Розробка такої системи потребує використання довідкової літератури, що збільшить досвід в освоєнні майбутньої спеціальності.

1. РОЗГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГА РІВНЯ

1.1. Інформаційно-аналітичний огляд систем моніторингу рівня палива на кораблях

Задача на визначення кількості палива на судні з'явилась у часи перших судів на рідкому паливі з ДВЗ. Зазвичай заміри робили при введенні або виведенні судна з чартеру, робити заміри у рейсі технічно можливо, але через хитавицю точність дуже низька.

До початку вимірювань необхідно зробити вирівнювання крену судна, якщо він є, зняти осад судна і попередити старшого механіка про те, що неприпустимі перекачування палива; в процесі виконання вимірювань клапани на паливоперекачиваючій системі повинні бути закриті. Не повинні проводитися перекачування баласту і вантажні операції, що викликають крен або зміну осаду судна; перевірити нульовий відлік вимірювальної рулетки, визначити поправку на довжину її накінецьника; при замірах бункера зазвичай накінецьник рулетки опускається до днища танка і вимірюється «висота затоки» палива, але іноді для важких палив застосовують метод «виміру пустот» - «ULLAGE From TOP», вимірюють висоту недоливу палива до верху танка. При вимірах рівня палива по вимірювальному склу їх запірні крани повинні бути відкриті, а покажчики поплавців повинні після струшування повертатися у вихідне положення.

При вимірі легких палив на стрічку рулетки в місці, відповідному висоті рівня, рекомендується нанести тонкий шар легкого мастила.

Вимірювання температури палива при замірах бункера зазвичай не виконуються. Приймається, що температура палива в донних танках, без підігріву, близька до температурі заборотної води, в цистернах машинного відділення - до температури машинного відділення. Витратні і відстійні цистерни важкого палива, обладнані підігрівом, зазвичай мають термометри.

Необхідно виконати виміри палива у всіх танках, перерахованих в судовій документації, включаючи ті, які за заявою старшого механіка порожні.

Для підвищення точності визначення обсягу палива дані калібрувальних таблиць необхідно інтерполювати і за рівнем палива, і по диференту судна. Сюрвейер повинен знати порядок перерахунку паспортної щільності палива в щільність, відповідну його температурі при замірах.

Визначення кількості палива на момент введення або виведення судна з чартеру: при замовленні Bunker Survey в обсязі «ON HIRE» або «OFF HIRE» фрахтувальник, як зазначалося вище, іноді вимагає представити дані про кількість бункера на момент входу або виходу судна з чартеру, коли воно перебувало або буде знаходитися в позиції, зазначеної в чартері. В цьому випадку потрібно визначити кількість палива, витраченого судном за проміжок часу між входом або виходом з чартеру і виконанням завдання і потім відняти або додати його до отриманих результатів. Якщо судно вже вчинила цей перехід, то витрата палива за вказаний період зафіксовано в машинному журналі. Але, використовуючи дані машинного журналу, потрібно провести їх оцінку і показати, що вони реальні, тобто відповідають фактичній роботі судна. Якщо судну ще належить такий перехід, то витрата палива визначається розрахунком, який узгоджується з капітаном. У паспорті на паливо, що видається при бункеруванні, його питома вага зазвичай наводиться при температурі 15 ° C, а іноді при температурі бункерування. Для перерахунку паспортного значення питомої ваги dt_0 при температурі t_0 на питому вагу dt при температурі виміру t використовується відома формула:

$$dt = dt_0 + k(t_0 - t) \quad (1)$$

Оскільки попереднім розрахунком неможливо врахувати умови майбутнього переходу судна (наприклад, штормова погода, вимушені простої і т.і.), Капітан судна в акті часто робить ремарку про те, що фактичні витрати палива будуть повідомлені фрахтувальнику при проході судном позиції, зазначеної в чартері.

1.2. Огляд сучасних рішень систем моніторингу рівня на основі рівнеміру різних типів

Рівнеміри рідини призначені для безперервного контролю рівня рідини. Рівнеміри рідини називають так само перетворювачами рівня води. На виході рівнеміра формується цифровий або аналоговий сигнал пропорційний рівню рідини, цифровий сигнал у форматі промислових комунікаційних мереж. Рівнеміри рідини можуть використовувати контактний метод вимірювання, коли чутливий елемент стикається з рідиною або безконтактний, тоді прямого контакту частин датчика з вимірюваною рідиною не відбувається.

Види контактних рівнемірів:

- Ємнісні рівнеміри;
- Гідростатичні перетворювачі рівня;
- Байпасні перетворювачі рівня;
- Магнітострикційні перетворювачі рівня;
- Магнітні;
- Мікрохвильовий рефлексний перетворювач;
- Буйковий;
- Потенціометричний перетворювач;
- Радіоізотопні;

Види безконтактних рівнемірів:

- Ультразвукові;
- Акустичні;
- Мікрохвильові радарні(Радіолокаційні);

Компанія Krohne створила комплексне морське рішення на основі системи CARGOMASTER®. Спеціальна бортова система моніторингу і сигналізації для морських судів включала системне програмне забезпечення, а також контрольні-вимірювальні прилади. Морська затверджена робоча станція, оснащена програмним забезпеченням CARGOMASTER®, була змонтована в диспетчерському пункті. Система моніторингу резервуарів використовує

свідчення резервуарів, протягів і колекторів для відображення незаповненого об'єму/рівнів, обсягу, тиску, температури, швидкості завантаження/розвантаження, аварійних сигналів і надає критичні дані для комп'ютера завантаження судна.

У вантажних танках встановили OPTIWAVE M-7400(рис.1), радіолокаційний датчик рівня 24 ГГц для безконтактного вимірювання рівня речовин та інших рідких вантажів. Точність такого датчика у межах 2мм. Електропневматична система вимірювання рівня надає дані по рівню для тяги, баласту, паливних і сервісних баків.



Рис.1. Радіолокаційний датчик OPTIWAVE M-7400

1.3 Класифікація типів та характеристика рівномірів

Поплавкові рівнеміри. Серед існуючих різновидів рівнемірів поплавкові є найбільш простими. Дістали поширення поплавкові рівнеміри вузького і широкого діапазонів . Поплавкові рівнеміри вузького діапазону (рис. 2) звичайно являють собою пристрій, який містить кульковий поплавок діаметром 80-200 мм, виконаний з нержавіючої сталі. Поплавок плаває на поверхні рідини і через штангу і спеціальне ущільнення з'єднується або зі стрілкою вимірювального

приладу, або з перетворювачем 1 кутових переміщень в уніфікований електричний або пневматичний сигнал. Рівнеміри вузького діапазону випускаються двох типів: фланцеві (рис.2, а) і камерні (рис. 2 ,б), що відрізняються способом їх установлення на технологічних апаратах. Мінімальний діапазон вимірювання цих рівнемірів 0-10 мм, максимальний — 0-200 мм. Клас точності 1,5. Поплавкові рівнеміри широкого діапазону (рис. 2, в) яляють собою поплавок 1, пов'язаний із противагою 4 гнучким тросом 2. У нижній частині противаги закріплена стрілка, що показує за шкалою 3 значення рівня рідини в ємності.

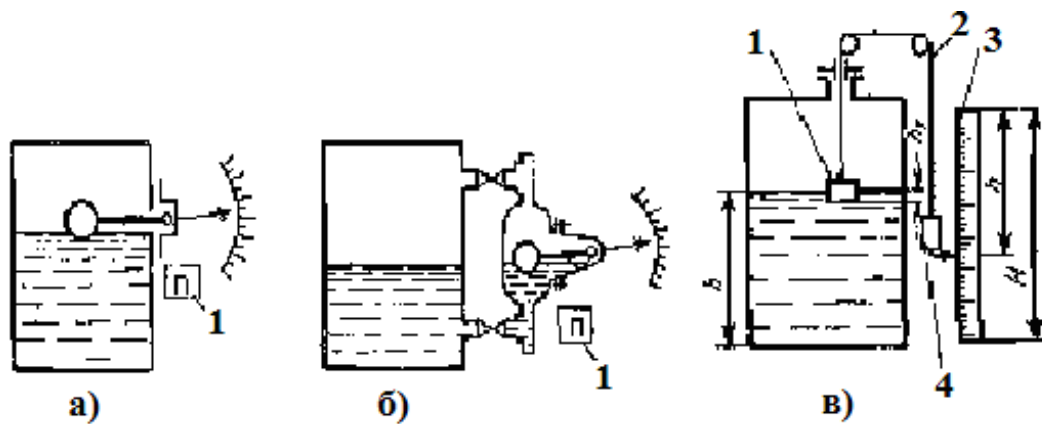


Рис.2. Схеми поплавкових рівнемірів:

а) фланцеві;

б) камерні;

в) широкого діапазону

При розрахунках поплавкових рівнемірів підбирають такі конструктивні параметри поплавка, які забезпечують стан рівноваги системи «поплавок-противага» тільки за певної глибини занурення поплавка. Якщо знехтувати силою ваги троса і тертям у роликах, стан рівноваги системи «поплавок-противага» описується рівнянням:

$$G_B = G_{\Pi} - S * h_1 * \rho_{ж} * g \quad (2)$$

де G_B , G_{Π} — сили ваги противаги і поплавка, Н;

S — площа поплавка, м²;

h_1 — глибина занурення поплавка, м;

$\rho_{ж}$ — густина рідини, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння.

Підвищення рівня рідини змінює глибину занурення поплавка і на нього діє додаткова сила виштовхування. У результаті рівняння (2) порушується, і противага опускається вниз до того часу, доти глибина занурення поплавка не стане дорівнювати h_1 . При зниженні рівня діюча на поплавок сила виштовхування зменшується, і поплавок починає опускатися вниз до того часу, доти глибина занурення поплавка не стане дорівнювати h_1 .

Недоліком поплавкових рівнемірів і регуляторів рівня є велика металоємність, недостатня надійність та точність.

Для передачі інформації про значення рівня рідини в резервуарі застосовують селсинні системи передачі.

Буйкові рівнеміри. В основу роботи буйкових рівнемірів покладене фізичне явище, яке описується законом Архімеда. Чутливим елементом у цих рівнемірах є циліндричний буй, виготовлений з матеріалу із густиною, більшою за густину рідини. Буй перебуває у вертикальному положенні і частково занурений у рідину. При зміні рівня рідини в апараті маса буя в рідині змінюється пропорційно зміні рівня. Перетворення ваги буя в сигнал виміральної інформації здійснюється за допомогою уніфікованих перетворювачів «сила - тиск» і «сила - струм». Відповідно до виду використовуваного перетворювача сили розрізняють пневматичні та електричні буйкові рівнеміри. Схема буйкового пневматичного рівнеміра наведена на рис.3.

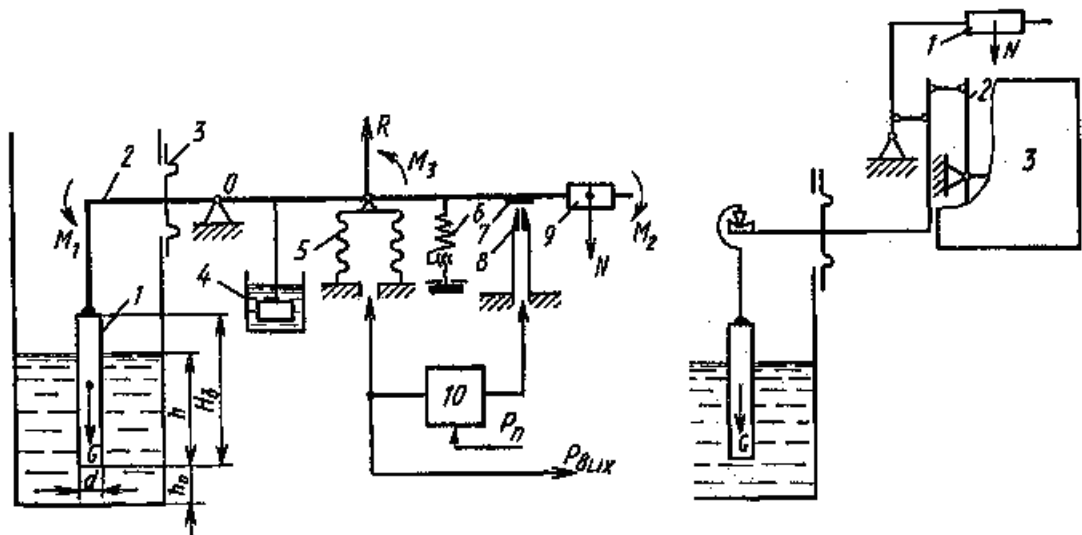


Рис. 3. Схема буйкового пневматичного рівнеміра

Рівнемір працює в такий спосіб. Коли рівень рідини в апараті дорівнює початковому h_0 (в окремому випадку h_0 може дорівнювати 0), вимірювальний важіль 2 перебуває в рівновазі, тому що момент M_1 , створюваний вагою буя G , зрівноважується моментом M_2 , створюваним противагою N . Коли рівень рідини стає більшим h_0 , частина буя занурюється в рідину, при цьому вага буя зменшується, а отже, зменшується і момент M_1 , створюваний буєм на важелі 2. Внаслідок того, що M_2 стає більшим M_1 , важіль 2 повертається навколо точки O за годинниковою стрілкою і прикриває заслінкою 7 сопло 8. Тому тиск у лінії сопла збільшується. Цей тиск надходить у пневматичний підсилювач 10, вихідний сигнал якого є вихідним сигналом рівнеміра.

Цей самий сигнал одночасно посилається в сильфон негативного зворотного зв'язку 5. Під дією тиску P_{max} виникає сила R , момент M_3 якої збігається за напрямком з моментом M_1 , тобто дія сили R спрямована на відновлення рівноваги важеля 2. Рух вимірювальної системи перетворювача відбувається до того часу, доти сума моментів всіх сил, що діють на важіль 2, не стане дорівнювати 0. Крім розглянутої модифікації пневматичних рівнемірів, випускаються рівнеміри, оснащені уніфікованим перетворювачем «сила - тиск». Верхні межі вимірювання рівнеміра з уніфікованим електричним сигналом обмежені значеннями 0,02-16 м. Буйкові засоби вимірювання рівня застосовуються при температурі робочого середовища від -40 до $+400^{\circ}\text{C}$ і тиску робочого середовища до 16 МПа. Класи точності буйкових рівнемірів 1,0 і 1,5.

Ємнісні рівнеміри. Ємнісними рівнемірами називаються рівнеміри, засновані на залежності електричної ємності конденсаторного перетворювача,

утвореного одним або декількома стержнями, циліндрами або пластинами, частково введеними в рідину, від її рівня.

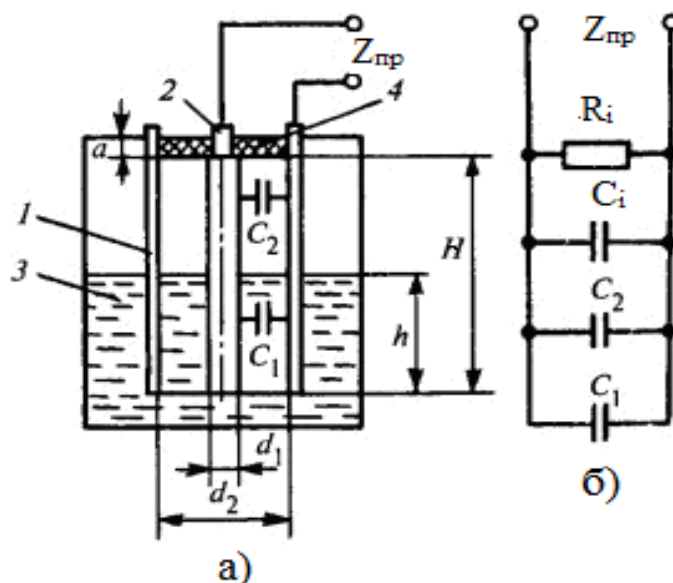


Рис. 4. Схема конденсаторного перетворювача рівня для неелектропровідних середовищ:

- 1, 2 - електроди;
- 3 - резервуар;
- 4 – ізолятор

Конструкція конденсаторних перетворювачів різна для електропровідних і неелектропровідних рідин. Електропровідними вважаються рідини, що мають, питомий опір $\rho < 10^6$ Ом·м і діелектричну проникність $\epsilon \geq 7$. Різниця перетворювачів полягає в тому, що один з електродів рівнемірив для електропровідних рідин покритий ізоляційним шаром, в той час як електроди перетворювачів для неелектропровідних рідин не ізольовані. Електроди можуть бути у вигляді плоских пластин, стрижнів. Як електрод може використовуватися металева стінка резервуара, якщо вона металева. Часто застосовуються циліндричні електроди, що володіють в порівнянні з іншими формами електродів хорошою технологічністю, кращою перешкодостійкістю і забезпечують більшу жорсткість конструкції. Конденсаторний перетворювач для неелектропровідних рідин, що складається з двох коаксіально розташованих електродів 1 і 2, поміщених в резервуар 3, в якому проводиться вимір рівня,

зображений на рис. 4, а. Взаємне розташування електродів зафіксовано прохідним ізолятором 4. Електроди утворюють циліндричний конденсатор, частина міжелектродного простору, висота якого H , заповнена контрольованою рідиною, решта висотою $H - h$ - її парами.

У загальному вигляді ємність циліндричного конденсатора визначається виразом:

$$C = \pi \epsilon \epsilon_0 H / \ln(d_2 / d_1) \quad (3)$$

де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м - діелектрична проникність вакууму;

ϵ - відносна діелектрична проникність речовини, що заповнює межелектродний простір;

H - висота електродів;

d_1, d_2 - діаметри внутрішнього та зовнішнього електродів.

На підставі виразу (3) легко записати вирази для ємності C_1 частини перетворювача, що знаходиться в рідині, і для ємності C_2 частини, що знаходиться в газовому просторі.

$$C_1 = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r h}{\ln(d_2/d_1)} \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_g h}{\ln(d_2/d_1)} \quad (5)$$

де ϵ_r і ϵ_g - відносні діелектричні проникності рідини і газу над нею.

Сумарний вихідний опір перетворювача $Z_{пр}$, крім ємностей C_1 і C_2 , визначається також ємністю C_i прохідного ізолятора і його активним опором R_i (ємність C_i утворюється електродами перетворювача на ділянці a ; опір R_i обумовлений провідністю матеріалу ізолятора на цій ділянці), а також ємністю і провідністю з'єднувального кабелю.

Таким чином, електрична схема перетворювача має вигляд, зображений на рис. 4, б. Сумарна ємність перетворювача:

$$C_{пр} = C_1 + C_2 + C_i. \quad (6)$$

Ємність C_i від значення h не залежить, крім того, для газів $\epsilon_g \approx 1$, тому

$$C_{пр} = C_1 + \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln(d_2/d_1)} * H [1 + (\epsilon_r - 1)h / H] \quad (7)$$

Таким чином, при $\epsilon_r = \text{const}$ ємність $C_{\text{спр}}$ однозначно залежить від вимірюваного рівня h . В реальних умовах ϵ_r може змінюватися (наприклад, при зміні температури рідини, її складу і т.д.).

Для зменшення впливу зміни ϵ_r на показання рівнеміра зазвичай використовується компенсаційний конденсатор (рис. 5).

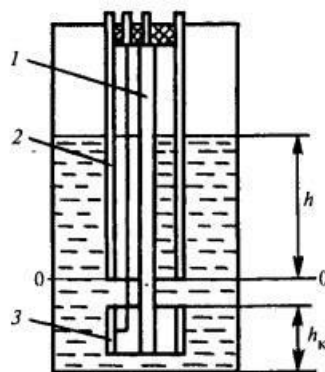


Рис. 5. Схема перетворювача з компенсаційним конденсатором:

1, 2 - електроди;

3 - додатковий електрод

Тут 1 і 2 - електроди конденсаторного перетворювача, ємність якого залежить від вимірюваного рівня h , і діелектричної проникності ϵ_r . Нижня частина електрода 1 і додатковий електрод 3 утворюють компенсаційний конденсатор, який постійно занурений в рідину, і, отже, його ємність залежить тільки від ϵ_r . Ємність компенсаційного конденсатора використовується в електронній схемі в якості коригуючого сигналу. Негативний вплив на роботу ємнісних рівнемірів чинить активний опір перетворювача. Він складається з активного опору прохідного ізолятора і активного опору контрольованої рідини в міжелектродному просторі (зазвичай значення останнього дуже мале). Для зменшення впливу активного опору перетворювача в схему рівнеміра включається фазовий детектор. У конденсаторних перетворювачах для електропровідних рідин один електрод виконується ізольованим. Якщо резервуар металевий, то його стінки можуть бути використані в якості другого електроду. Якщо резервуар неметалевий, то в рідину встановлюється металевий неізольований стрижень, який виконує роль другого електроду.

На рис. 6, а зображена схема перетворювача, виконаного у вигляді стрижня (електрода) 1, покритого шаром ізоляції 2 і зануреного в металевий резервуар 3.

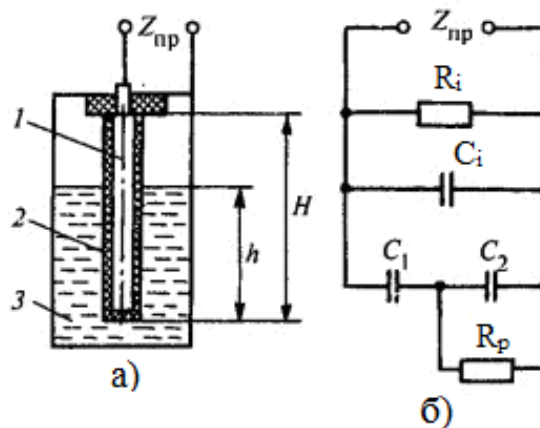


Рис. 6. Схема конденсаторного перетворювача рівня для електропровідних рідин:

1 - стрижень (електрод);

2 - ізоляція;

3 – резервуар

Якщо знехтувати діелектричною проникністю газів над рідиною в порівнянні з діелектрично. проникністю ізоляції електроду, то електричну схему перетворювача можна представити у вигляді, зображеному на рис. 6, б. Залежну від рівня ємність перетворювача можна уявити як ємність двох послідовно з'єднаних конденсаторів C_1 і C_2 .

Параметр C_1 - ємність конденсатора, обкладинками якого є поверхня електроду 1 і поверхня електропровідної рідини на кордоні з ізолятором 2. Діелектриком цього конденсатора є матеріал ізолятора. При збільшенні h збільшується площа обкладки - поверхня рідини, що веде до збільшення C_1 .

Параметр C_2 - ємність конденсатора, однією обкладкою якого є поверхня рідини на кордоні з ізолятором 2 (загальна з обкладкою конденсатора C_1), друга обкладка - поверхня резервуара 3. Зі збільшенням h ємність C_2 також зростає.

Параметр R_p - активний опір рідини; C_i , R_i - ємність і активний опір прохідного ізолятора.

Таким чином, повна ємність перетворювача визначається виразом:

$$C_{\text{спр}} = C_1 + C_1 C_2 / (C_1 + C_2) \quad (8)$$

Як і в схемі на рис. 4, наявність активної складової в вихідному опорі $Z_{\text{пр}}$ перетворювача, може привести до появи похибки. Щоб її уникнути в схемі встановлюється фазовий детектор.

У ємнісних рівнемірах для вимірювання електричної ємності перетворювача використовуються різні схеми. Найбільш простими є мостові схеми, прикладом яких може бути схема електронного індикатора рівня ЕІР (рис. 7).

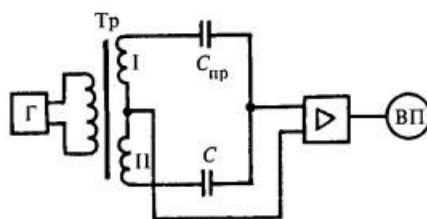


Рис. 7. Принципова схема електронного індикатора рівня

Міст складається з двох вторинних обмоток I і II трансформатора T_r , генератором Γ , ємності перетворювача $C_{\text{спр}}$ і підлаштувального конденсатора C . Міст урівноважений при нульовому рівні рідини, при цьому сигнал на вході і виході підсилювача дорівнює нулю. При збільшенні рівня ємність $C_{\text{спр}}$ зростає, розбаланс моста збільшується і напруга на вході підсилювача зростає. За допомогою підсилювача цей сигнал посилюється, перетворюється в уніфікований і вимірюється вторинним приладом ВІ.

Складніша вимірювальна схема використовується в рівнемірах типу РУС (рис. 8). Робота схеми заснована на ємнісно-імпульсному методі вимірювання рівня, що використовує перехідні процеси, що протікають в ланцюзі ємнісного перетворювача, періодично підключається до джерела постійної напруги.

Вимірювальний конденсаторний перетворювач 1 і компенсаційний конденсатор 2 підключені до входів перетворювачів 3, 4 ємності в електричний сигнал. У перетворювачі 3 вимірювальний конденсатор 1 генератором тактових імпульсів 7 періодично підключається до постійної напруги u_1 . Наприкінці робочого імпульсу генератор шунтує вимірювальний конденсатор і розряджає

його. За час імпульсу вимірювальний конденсатор зарядиться до значення напруги, яке залежить від значення ємності. Вихідним сигналом перетворювача 3 є постійна напруга u_3 імпульсної форми, амплітуда якого визначається ємністю конденсатора, тобто значеннями контрольованого рівня і діелектричною проникністю середовища. Перетворювач 4 має аналогічне виконання, але живиться напругою u_2 , пропорційній вихідному струму $I_{\text{вих}}$ (тобто використовується негативний зворотний зв'язок).

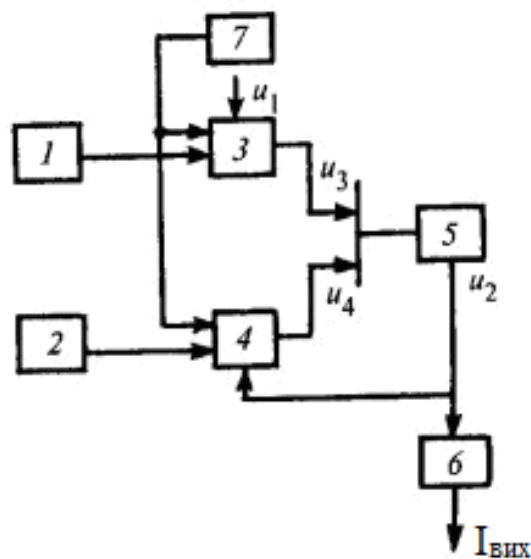


Рис. 8. Вимірювальна схема рівнеміра РСУ:

- 1 - конденсаторний перетворювач;
- 2 - компенсаційний конденсатор;
- 3, 4 - перетворювачі;
- 5 - імпульсний детектор;
- 6 - підсилювач;
- 7 - генератор тактових імпульсів

Таким чином, амплітуда вихідної імпульсної напруги u_4 перетворювача 4 залежить від ємності компенсаційного конденсатора (тобто діелектричної проникності середовища) і значення u_2 . Сигнали з перетворювачів 3 і 4 віднімаються і різницевий сигнал подається на вхід імпульсного детектора 5, що перетворює імпульсний сигнал в напругу постійного струму u_2 . Напруга u_2 потім використовується в якості сигналу зворотного зв'язку і підсилювачем 6

перетворюється в уніфікований струмовий вихідний сигнал $I_{вих}$. У статичному режимі вихідна напруга u_2 і струм $I_{вих}$ приймають такі значення, при яких $u_3 \approx u_4$.

При збільшенні рівня і $\epsilon_r = \text{const}$ буде збільшуватися u_3 , що призведе до збільшення u_2 і $I_{вих}$, так як збільшення u_4 можливо тільки за рахунок збільшення u_2 (при $\epsilon_r = \text{const}$ ємність компенсаційного конденсатора не змінюється). Припустимо $h = \text{const}$, але збільшилася діелектрична проникність ϵ_r , при цьому u_2 і $I_{вих}$ не повинні змінитися. Дійсно, при цьому збільшиться u_3 , але одночасно збільшиться і значення u_4 (при $u_2 = \text{const}$), так як збільшилася і ємність компенсаційного конденсатора. Верхні межі рівнемірів РУС вибираються з ряду від 0,4 до 20 м, основна похибка в залежності від модифікації 0,5; 1,0; 1,5; 2,5%.

Рівнеміри застосовуються на діелектричних або провідних середовищах, агресивних, вибухо-небезпечних при температурах від -60 до 250°C при тисках до 10 МПа.

У ємнісних рівнемірах може використовуватися резонансна схема вимірювання ємності. При цьому первинний перетворювач включений в схему коливального контуру, параметри якого змінюються зі зміною контрольованого рівня. При цьому або вимірюється амплітуда напруги на контурі (при незмінній амплітуді і частоті напруги живлення), або резонансна частота контуру. Такі схеми мають деякі модифікації рівнемірів типу РУМБ, сигналізатори типу СУС.

Ємнісні рівнеміри набули широкого поширення особливо в якості сигналізаторів через дешевизну, простоту обслуговування, зручність монтажу первинного перетворювача, відсутність рухомих елементів, можливість використання в широкому інтервалі температур і тисків.

Великою перевагою є нечутливість до сильних магнітних полів, можливість використання в широкому інтервалі температур (від криогенних до 500°C) і тисків.

До числа недоліків слід віднести непридатність для вимірювання рівня в'язких (динамічна в'язкість більше $1 \text{ Па}\cdot\text{с}$), плівкоутворюючих, рідин, що кристалізуються і містять домішки, що випадають в осад, високу чутливість до

зміни електричних властивостей рідини і зміни ємності кабелю, що з'єднує первинний перетворювач з вимірювальним приладом.

Останній недолік усувається при розміщенні електронної частини в голівці перетворювача. В цьому випадку ємнісний стрижневий перетворювач нагадує термоперетворювач.

Так, стрижневий ємнісний рівнемір типу Мерсар фірми Siemens може мати довжину до 5 м при діаметрі трубки 24 мм, вимірювана ємність якого становить 3,3 ... 3300 пФ. Гнучка конструкція перетворювача може мати довжину до 35 м. Перетворювачі працюють при температурах від -200 до 400 °С при тисках від вакууму до 50 МПа. При вихідному сигналі 4 ... 20 мА перетворювач має цифровий сигнал по HART-протоколу, похибка вимірювання складає $\pm 0,1\%$.

Радіоізотопні рівнеміри. Радіоізотопні рівнеміри й сигналізатори рівня застосовуються в тих випадках, коли не можна застосовувати розглянуті раніше рівнеміри через важкі умови роботи. Радіоактивні сигналізатори рівня застосовуються для визначення рівня сипучих матеріалів в складових цехах і дозувально-змішувальних відділеннях.

Принцип дії радіоізотопних рівнемірів і сигналізаторів рівня (рис. 9) оснований на використанні залежності інтенсивності потоку радіоактивного випромінювання, що падає на приймач (детектор) випромінювання, від положення рівня вимірюваного середовища.

Основними елементами радіоізотопного приладу є: джерело радіоактивного випромінювання (ДРВ); приймач (П) випромінювання (детектор); електронний пристрій (ЕП), перетворює і підсилює сигнал, що йде від детектора в вимірювальний прилад (ВП), який показує виміряне значення рівня рідини.

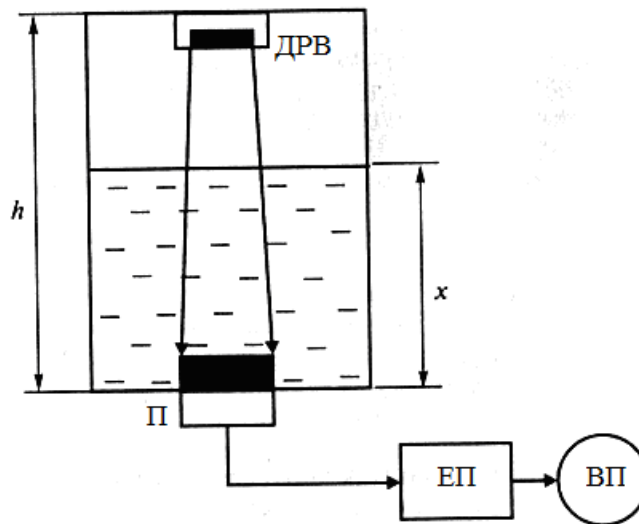


Рис. 9. Радіоізотопний рівнемір

Як джерело радіоактивного випромінювання застосовують ізомери кобальту або цезію.

Джерело випромінювання розташоване в захисній чавунній оболонці, залитої свинцем, яка є надійним захистом від радіаційного випромінювання. У ній зроблено овальний конусоподібний отвір. У робочому положенні джерело встановлюється проти отвору, на його геометричній осі. В неробочому положенні джерело випромінювання зміщується щодо геометричної осі отвору всередину свинцевої оболонки. Приймачем випромінювання служать газорозрядні і сцинтиляційні лічильники, які встановлюються так, щоб умовна вісь, що проходить через центри блоків джерел випромінювання і лічильників, була паралельна межі поділу двох середовищ.

Межі вимірювання обмежуються висотою резервуара, похибка сигналізатора ± 20 мм, інших рівнемірів 2-3%.

При експлуатації радіоізотопних приладів необхідно застосовувати заходи біологічного захисту, керуючись санітарними правилами роботи з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючих випромінювань.

Гідростатичні рівнеміри. Основним принципом дії даних рівнемірів є вимір гідростатичного тиску, що чиниться рідиною.

Величина гідростатичного тиску P_g залежить від висоти стовпа рідини h над вимірювальним приладом і від щільності цієї рідини ρ .

Вимірювання гідростатичного тиску може здійснюватися різними способами, наприклад манометром або датчиком тиску, які підключаються до резервуара на висоті, рівній нижньому граничному значенню рівня; диференціальним манометром, який підключається до резервуара на висоті, рівній нижньому граничному значенню рівня, і до газового простора над рідиною; вимірюванням тиску повітря, що прокачується по трубці, опущеній в рідину на фіксовану відстань, і іншими.

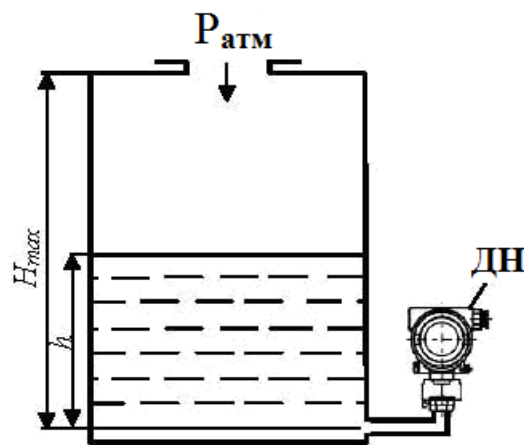


Рис. 10. Вимірювання рівня в резервуарі за допомогою датчика надлишкового тиску

На рис. 10 наведена схема вимірювання рівня датчиком надлишкового тиску ДН (манометром). Для цих цілей може застосовуватися датчик будь-якого типу з відповідними межами вимірів.

При вимірюванні рівня гідростатичним способом похибки вимірювання визначаються класом точності вимірювального приладу, змінами щільності рідини і коливаннями атмосферного тиску.

Якщо резервуар знаходиться під надлишковим тиском, то до гідростатичного тиску рідини додається надлишковий тиск над її поверхнею, який данною вимірювальною схемою не враховується. Тому така схема вимірювання для таких випадків не підходить.

У зв'язку з цим, більш універсальними є схеми вимірювання рівня з використанням диференціальних датчиків тиску (дифманометрів). За допомогою

диференціальних датчиків тиску можна також вимірювати рівень рідини у відкритих резервуарах, контролювати кордон розділу рідин.

Схема вимірювання рівня рідини у відкритому резервуарі, розташованому під атмосферним тиском, представлена на рис. 11.

Плюсова камера дифманометра ДД через імпульсну трубку з'єднана з резервуаром в його нижній точці, мінусова камера - з атмосферою.

У такій схемі усувається похибка, пов'язана з коливаннями атмосферного тиску, тому що результуючий перепад тиску на дифманометрі дорівнює:

$$P = (P_{\Gamma} + P_{\text{атм}}) - P_{\text{атм}} = P_{\Gamma} \quad (9)$$

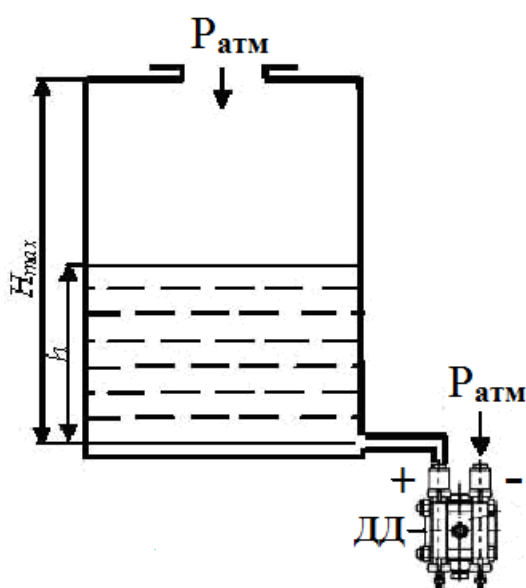


Рис. 11. Вимірювання рівня в відкритому резервуарі за допомогою диференціального датчика тиску

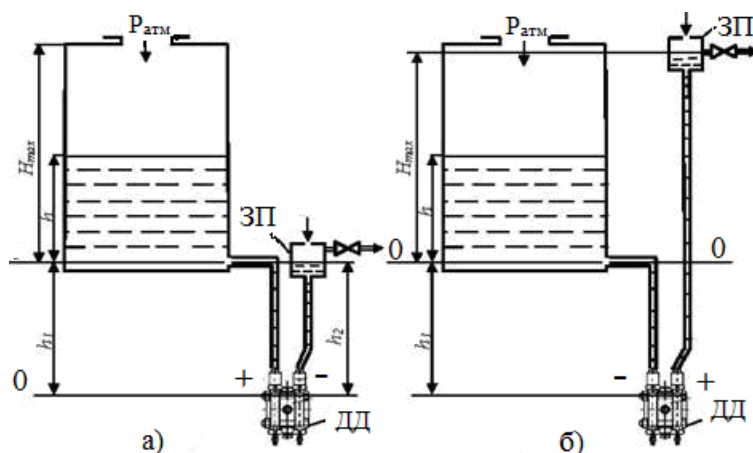


Рис. 12. Вимірювання рівня в відкритому резервуарі за допомогою датчика диференціального тиску з ІС-використанням зрівняльних посудин:

а - з нижнім розташуванням зрівняльних посудин;

б - з верхнім розташуванням зрівняльних посудин

Така вимірювальна схема може використовуватися тоді, коли дифманометр розташований на одному рівні з нижньою площиною резервуара. Якщо ця умова дотриматися неможливо і дифманометр розташовується нижче на висоту h_1 , то використовують зрівняльні резервуари (ЗР).

Схеми вимірювання рівня з зрівняльними посудинами для резервуарів під атмосферним тиском представлені на рис. 12.

Зрівняльний резервуар використовують для компенсації статичного тиску, створюваного стовпом рідини h_1 в імпульсній трубці.

Для вимірювання рівня в резервуарах, що перебувають під надлишковим тиском $P_{над}$, застосовують вимірювальну схему, зображену на рис.13.

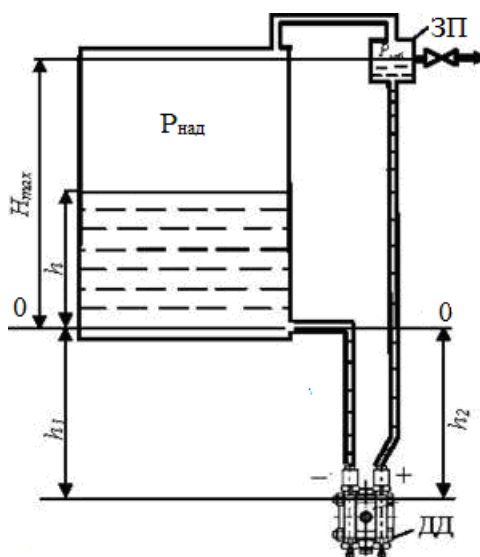


Рис. 13. Вимірювання рівня в закритому резервуарі за допомогою датчика диференціального тиску з використанням зрівняльних посудин

Надмірний тиск $P_{над}$ надходить в обидві імпульсні трубки дифманометра, тому вимірюваний перепад тиску P можна представити у вигляді:

$$P = \rho g H_{max} - \rho g h, \quad (10)$$

де: ρ - щільність рідини, $g = 9,81 \text{ м / с}^2$ - прискорення вільного падіння.

При $h = 0$, $P = \Delta P_{max}$, а при $h = H_{max}$, $P = 0$.

Тобто з рівняння випливає, що шкала вимірювального приладу рівнеміра буде обернена.

Більш сучасним аналогом дифманометрів є датчики гідростатичного тиску. Як і у дифманометрів, у них є дві вимірювальні камери. Одна з камер виконана у вигляді відкритої мембрани, а друга - у вигляді штуцера. Такі датчики завжди можна встановити безпосередньо біля дна резервуару, тому відсутня необхідність в імпульсних трубках, а значить, і в необхідності компенсації висоти імпульсної трубки.

Найбільш поширені вимірювальні схеми з використанням гідростатичного датчика тиску представлені на рис.14.

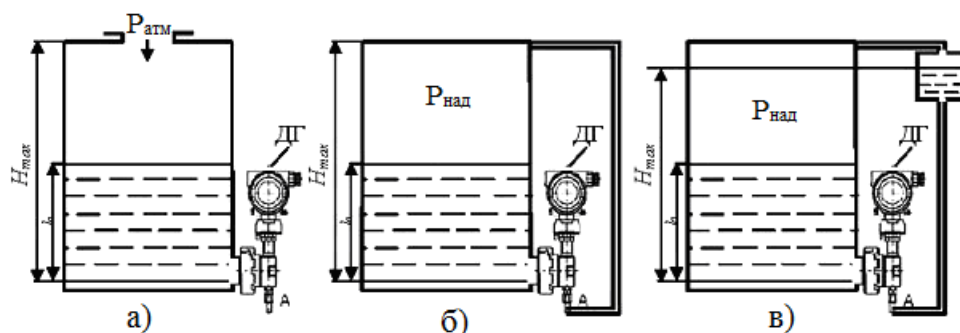


Рис. 14. Вимірювання рівня в резервуарах за допомогою датчика гідростатичного тиску:

а - для відкритих резервуарів;

б - для закритих резервуарів, без зрівняльних посудин;

в - для закритих резервуарів з зрівняльними посудинами;

ДГ – датчик гідростатичний

Схема в) використовується для процесів, в яких неминучий рясний конденсат та його накопичення в трубці, що з'єднує датчик з об'ємом над рідиною.

Використання гідростатичного методу визначення рівня в заглибних пристроях засноване на перетворенні вимірних значень тиску стовпа рідини над датчиком в рівень цього стовпа. Перетворювач формує уніфікований вихідний сигнал. Величина тиску, що чиниться на датчик, складається з тиску водяного стовпа і атмосфери. Атмосфера компенсується за допомогою зв'язку датчика з нею через спеціальну трубку.

Рівень води розраховується за стандартними формулами (див. Рис.15).

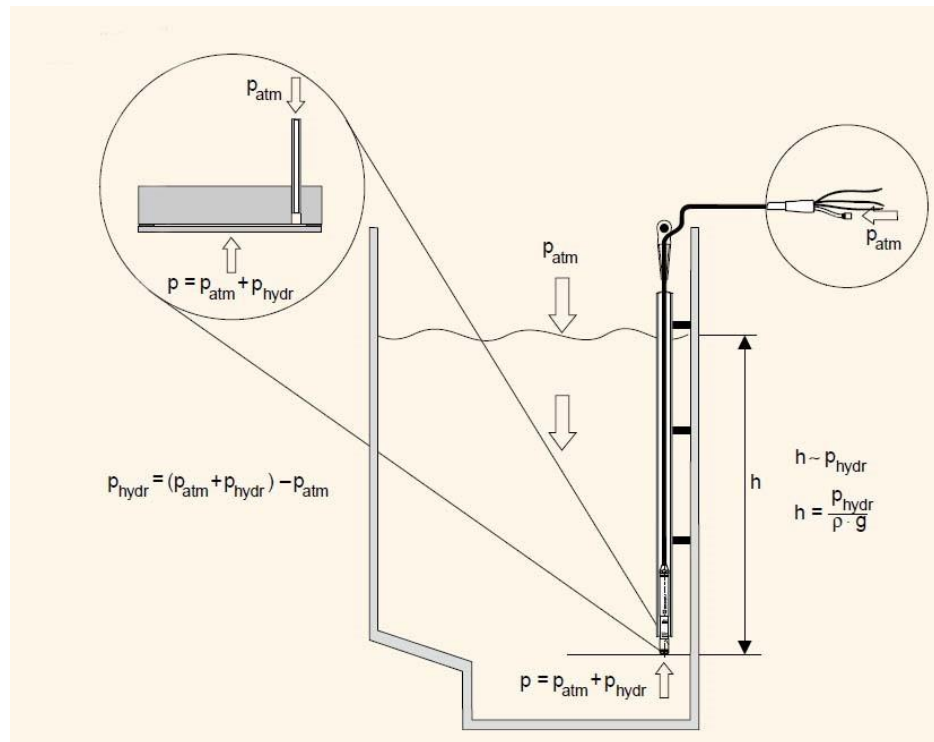


Рис. 15. Вимірювання рівня в резервуарах за допомогою зануреного датчика гідростатичного тиску.

Переваги:

- простота монтажу і обслуговування;
- висока надійність;
- гідростатичні рівнеміри відмінно працюють з в'язкими рідинами і при великому надлишковому тиску.
- точність;
- реалізація методу не передбачає використання рухливих механізмів;

Недоліки:

- рух рідини викликає зміна тиску і призводить до помилок вимірювання (тиск щодо площини відліку залежить від швидкості потоку рідини - наслідок закону Бернуллі);
- атмосферний тиск повинен бути скомпенсовано;
- зміна щільності рідини може бути причиною помилки вимірювання.

- чутливий елемент знаходиться в безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем, що вимагає для датчиків спеціальних матеріалів, істотно звужуючи область їх використання.

Байпасний показчик рівня з магнітним роликовим індикатором. Байпасні показчики рівня застосовуються для безперервного вимірювання і відображення рівня рідини в резервуарах. Принцип дії заснований на законі про сполучені посудини-рівень в байпасній камері дорівнює рівню вимірюваної рідини всередині резервуара. Індикація рівня забезпечується системою роликових магнітів, встановлених в трубці на поверхні байпасної камери, в якій білий колір ролика відповідає відсутності рідини в посудині, а червоний - заповненню посудини. Встановлений в камері поплавков з вбудованим магнітом знаходиться на поверхні рідини. Піднімаючись і опускаючись разом з рівнем рідини в посудині, поплавок повертає магнітним полем ролик на 180 °, забезпечує візуальну індикацію рівня в посудині.

- Безперервна індикація рівня без використання джерел живлення
- Можливість застосування в усіх галузях промисловості, завдяки використанню різних корозійностійких матеріалів
- Приєднання до процесу: фланцеве, різьбове, під приварення
- Застосування: котельні установки, підігрівачі живильної води, деаератори, баки з конденсатом, ємності готової продукції та ін.

Робочі умови:

- Робоча температура: -196 ... +450 ° С
- Робочий тиск: від вакууму до 420 бар
- Щільність: від 340 кг / м³

Магнітострикційний рівнемір. Принцип дії цього типу рівнемірів заснований на використанні явища магнітострикції, характерному для феромагнітних матеріалів (залізо, нікель, кобальт, ряд сплавів). Хвилевід датчика виконується з феромагнітного матеріалу. Зонд з хвилеводом занурюється в контрольоване середовище. Поплавок з вбудованими магнітами

має можливість вільно переміщатися уздовж хвилеводу (зонда) відповідно до рівня рідини в резервуарі.

Працює пристрій наступним чином. Електронний блок датчика генерує імпульс струму, що протікає по волноводу. Струм створює навколо хвилеводу концентричне магнітне поле. У тому місці, де поле хвилеводу-провідника взаємодіє з полем постійних магнітів, вбудованих в поплавок, виникає торсіонне (скручує хвилевід) зусилля, що приводить до місцевої деформації матеріалу хвилеводу. В силу пружних властивостей матеріалу хвилеводу, деформація починає поширюватися у вигляді хвилі в обидві сторони з ультразвуковою швидкістю. На нижньому кінці хвилеводу хвиля загасає, а на верхньому - фіксується спеціальним пристроєм. За часом запізнювання приходу хвилі щодо моменту формування імпульсу струму можна судити про відстань до поплавка, тобто до поверхні рідини в резервуарі.

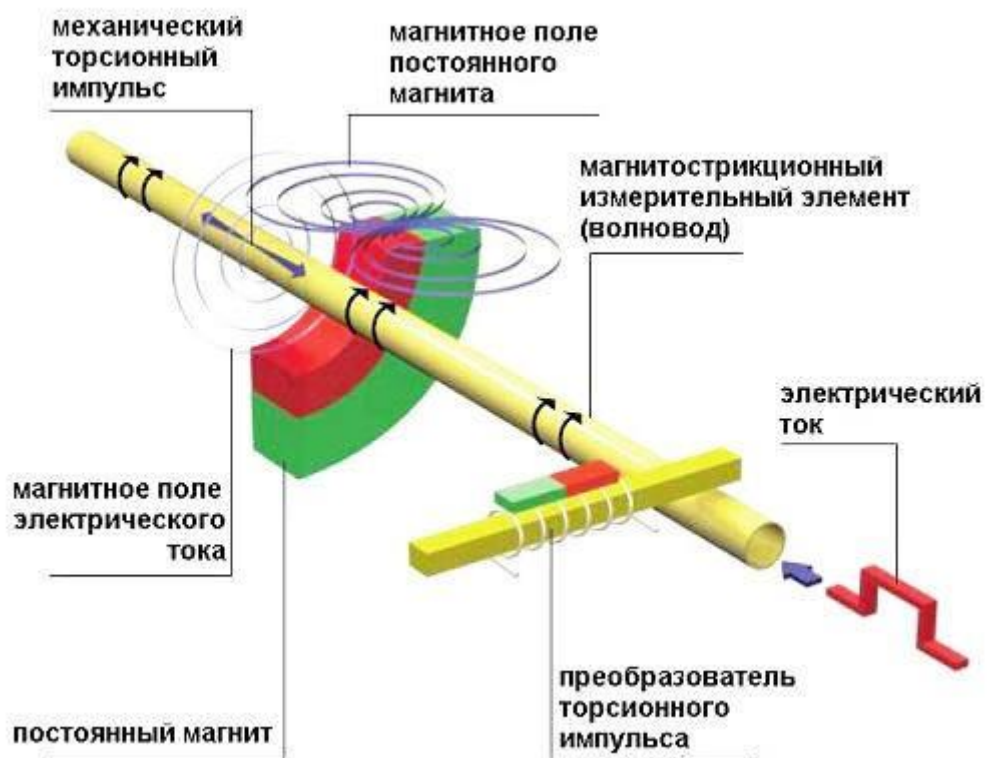


Рис.16. Принцип дії магнітострікційного перетворювача.

Використання описаних вище фізичних принципів створює очевидні переваги магнітострікційних рівнемірів:

- відсутність механічних зв'язків між частинами, що рухаються пристрою забезпечує високу відмовостійкість і надійність і мінімізує експлуатаційні витрати;
- вимір рівня відбувається за допомогою вимірювання часових проміжків, цим забезпечується висока роздільна здатність і точність вимірювань;
- оскільки імпульс струму і хвиля механічної деформації поширюється по провіднику хвилеводу, стан навколишнього і контрольованою середовищ дуже мало впливає на результати вимірювань. Пристрій може працювати при високих температурах і тисках середовища, при кипінні рідини і газоутворення в резервуарі;
- зовнішні механічні дії не можуть викликати торсіонних деформацій хвилеводу, тому результати вимірювань мало залежать від вібрацій, поштовхів, ударів і акустичних впливів на датчик.

Мікрохвильовий рефлексний рівнемір. Рефлексні рівнеміри рідини конструктивно представляють собою датчик з міцного алюмінієвого корпусу або з нержавіючої сталі і хвилевід вигляді одинарного або подвійного зонда (стержня або троса). На корпусі розташований добре читається світлодіодний дисплей, а довжина хвилеводу визначається глибиною ємності.

Принцип дії хвильових рівнемірів рідини дозволяє отримувати точні дані навіть в складних виробничих умовах - підвищеної температури, конденсації, пара, високого тиску, піноутворення, суспензії, запиленості. У мікрохвильових рефлексних рівнемірах рідини застосовується мікрохвильовий принцип дії. Високочастотні мікрохвильові імпульси поширюються уздовж хвилеводу. При досягненні поверхні вимірюваного середовища вони відбиваються від неї, а отриманий сигнал обробляється перетворювачем. Час, витрачений на досягнення зворотним сигналом датчика, перераховується в показання рівня. У цьому випадку тільки частина променів відбивається від поверхні першого речовини. Решта відбиваються від поверхні другого матеріалу - від лінії розділу фаз.

Різниця часу між відбитим сигналом від першого шару і від лінії розділу обробляються датчиком і перетворюються в показники рівнів.

Рефлексні датчики рідини застосовують для визначення об'єму рідини, суспензій, масляних рідин в складних умовах вимірювання, обумовлених різкими перепадами температури, підвищеним тиском, піноутворенням, наявністю суспензій. Коаксолінове покриття хвилеводу (зонда) розширює можливості застосування в агресивних середовищах.

Рефлексні рівнеміри рідини застосовуються в багатьох сферах, де вимагається вимірювання води, масел, паливно-мастильних матеріалів:

- Нафтопереробка і паливо;
- Харчове виробництво;
- Целюлозно-паперове виробництво;
- водоочищення;
- Хімічне виробництво.

Мікрохвильові рівнеміри рідин зручно монтувати в ємностях різного типу, в тому числі в високих і вузьких.

Легка і проста установка дозволяє використовувати датчики рівня в баках, контейнерах та інших ємностях різних конфігурацій.

Мікрохвильові рефлексні рівнеміри рідини мають ряд незаперечних переваг завдяки стійкості до впливу зовнішніх факторів:

- можливість вимірювати рідини, тверді сипучі речовини, речовини з низькою діелектричною проникністю;
- відмінні експлуатаційні характеристики незалежно від параметрів вимірюваного середовища;
- надійно працюють у важких умовах - при запиленості, наявності суспензії, випарів, газів, наявності піни;
- можливість вимірювання рівня двох і більше продуктів, визначення різниці фаз;

- легкий монтаж і налаштування;
- працюють в будь-яких типах ємностей в тому числі відкритих і закритих;
- висока точність вимірювань;
- вибухозахисне виконання;
- широкий вибір датчиків з різними типами і розмірами хвилеводу.

Недоліки: при виборі хвильових рівнемірів рідини треба враховувати особливості деяких моделей, технологічні нюанси виробництва і володіти максимально повною інформацією про середовище вимірювання.

Потенціометричні рівнеміри. Робота потенціометричних вимірювальних перетворювачів заснована на вимірі напруги між самим зондом і стінкою резервуара, на якій він встановлений. Для цього прилад монтується на токопроводящей ємності. Генеруються зондом імпульси високої частоти, проходячи через середовище між датчиком і стінкою резервуара, призводять до появи напруги. Величина отриманого напруги пропорційна рівню заповнення ємності. Таким чином, контролюючи значення напруги, вимірюється рівень рідини в резервуарі. Потенціометричні перетворювачі рівня успішно функціонують в середовищах з провідністю ≥ 50 мкСм / см.

У разі розміщення потенціометрического рівнеміра на непроводящей ємності (наприклад, пластмасовою), необхідна установка додаткового електрода по всій довжині ємності.

Потенціометричні перетворювачі рівня завдяки методу вимірювання є універсальними приладами і можуть використовуватися в різних галузях господарської діяльності. В першу чергу вони розраховані на застосування в харчовій промисловості. Для цього корпус датчика виготовляють з нержавіючої сталі. Вимоги щодо гігієни поширюються не тільки на сам прилад, але і на елементи його кріплення.

Перетворювачі можуть бути використані:

- при виробництві пива і безалкогольних напоїв;

- у виробництві молочних продуктів;
- в фармацевтиці;
- при виробництві косметики.

Особливо варто відзначити здатність приладів витримувати короткочасне вплив підвищеної температури 140°C. Завдяки цьому вони повністю вбудовуються в технологічний процес виробництва, в тому числі і в процес мийки СІР (Clean-in-Place - метод очищення внутрішніх поверхонь труб, ємностей, технологічного обладнання без розбирання).

Потенціометричні вимірювальні перетворювачі призначені для визначення рівня в рідких середовищах:

- в'язких,
- пінних,
- пастоподібних,
- налипають.

Особливістю перетворювача рівня є можливість його застосування в невеликих резервуарах, баках.

Переваги використання потенціометричних рівнемірів:

- Висока надійність всього процесу контролю;
- Незалежність результатів вимірювання від місця розташування датчика, що дозволяє вибрати для кріплення потенціометричних перетворювачів рівня підходяще місце в умовах обмеженого простору;
- Різні способи монтажу (молочна гайка, Clamp, Varivent) дають можливість вбудувати його в діючий технологічний процес;
- Нечутливість датчика до піни;
- Процес вимірювання не залежить від фізичних властивостей і температури вимірюваного середовища;
- Малий час затримки вихідного сигналу дозволяє оперативно контролювати поточний стан рідини в резервуарі;

- Можливість роботи в умовах надлишкового тиску до 16 бар, що дозволяє застосовувати його для вимірювання рідин з підвищеним вмістом вуглекислого газу.

Допускається короткочасне (≤ 30 хвилин) підвищення температури до $+140^{\circ}\text{C}$, завдяки чому датчик може використовуватися в СІР-мийках;

Моделі, де зонд і модуль електроніки рознесені, застосовуються у високотемпературних процесах, розмістивши чутливу частину датчика за межами впливу середовища вимірювання.

Недоліки: серед недоліків вимірювача варто відзначити зниження точності вимірювання при контролі неоднорідних середовищ, що мають різну провідність.

Ультразвуковий рівнемір. Короткі ультразвукові імпульси в діапазоні від 18 до 70 кГц випромінюються сенсором в напрямку вимірюваного середовища, відбиваються від її поверхні і знову уловлюються сенсором. Імпульси поширюються зі швидкістю звуку, при цьому час між моментом випромінювання і прийому сигналу залежить від рівня заповнення резервуара. Новітня мікропроцесорна технологія і зарекомендувало себе програмне забезпечення гарантують надійне виявлення луна-сигналу рівня навіть при наявності помилкових ехосигналів, відбитих від внутрішніх конструкцій, і високоточна обчислення дистанції до поверхні вимірюваного середовища. Щоб компенсувати вплив часу проходження акустичного сигналу, вбудований температурний датчик визначає температуру в резервуарі.

Завдяки простому введення габаритних розмірів ємності і вимірної дистанції розраховується сигнал, пропорційний рівню. Таким чином, відсутня необхідність в заповненні ємності для виконання точної настройки.

Метод безперервного ультразвукового вимірювання рівня довів свою ефективність. Ультразвукові рівнеміри підходять для вимірювання дощової і стічної води, для рідин з низьким або високим рівнем забруднення, з вмістом твердих частинок або шламу. Само собою зрозуміло, що при роботі з сипучими речовинами до вимірювального приладу пред'являються інші вимоги, ніж при

роботі з рідинами. Адже поверхню вимірюваного продукту при цьому нерівна і часто являє собою насипний конус. Багато речовин викликають інтенсивне утворення пилу. Крім того, багато резервуари для сипучих речовин набагато вище, ніж ємності для рідин.

Акустичний рівнемір. Прилад випромінює дуже потужні акустичні хвилі, які відбиваються від поверхні вимірюваної речовини. Відбитий сигнал обробляється за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення, для того щоб відфільтрувати корисний сигнал і придушити помилкове відлуння.

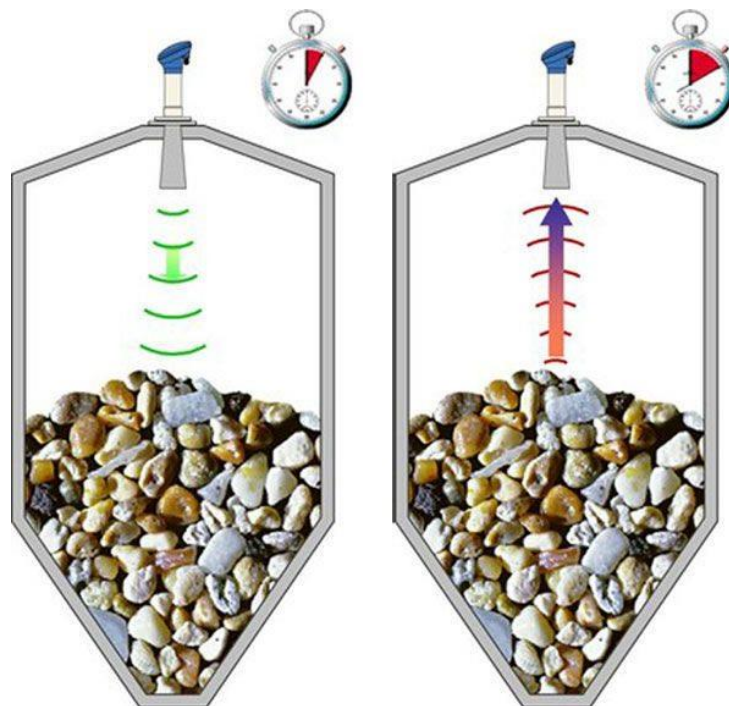


Рис.17. Схема роботи акустичного рівнеміра.

Метод обробки прийнятого сигналу дозволяє знизити до мінімуму втрати сигналу. Завдяки застосуванню дуже потужного імпульсу, загасання мають набагато менший вплив, порівняно зі звичайними ультразвуковими приладами. Випромінюються більш потужні сигнали, відповідно, приймаються теж більш потужні відбиті сигнали. Приймальна електроніка дозволяє розпізнати і обробити дуже слабкі відлуння-сигнали також в комбінації з сильними шумовими перешкодами.

Мікрохвильові радарні рівнеміри. Мікрохвильові радарні рівнеміри рідини являють собою високотехнологічні пристрої безперервного контролю рівня різноманітних рідких продуктів.

Радарні рівнеміри є найбільш сучасною розробкою в області контролю рівня і підійдуть для роботи практично з усіма видами рідких продуктів.

Мікрохвильові радарні рівнеміри для рідини представлені в різних варіантах, що відрізняються за кількома робочими параметрами:

- за принципом дії (імпульсний або FMCW),
- по робочому діапазону,
- за типом і розміром антени,
- по частоті випромінювання і т.д.

Рівнеміри мікрохвильового типу підходять для контролю рівня різних видів рідини і можуть застосовуватися в багатьох галузях промисловості:

- видобуток і переробка нафти і газу,
- металургія,
- харчова промисловість,
- хімічна промисловість,
- житлово-комунальне господарство,
- сільське господарство та аграрна промисловість.

Радарні рівнеміри активно використовуються в системах водопостачання, водоочищення, водовідведення, опалення і т.д.

Радарний мікрохвильовий рівнемір для рідких продуктів працює за принципом радіолокатора. За допомогою антени прилад посилає вихідний радіосигнал в ємність і приймає відбитий продуктом зворотний сигнал. За час

передачі сигналу визначається відстань до поверхні рідини і її рівень в ємності.

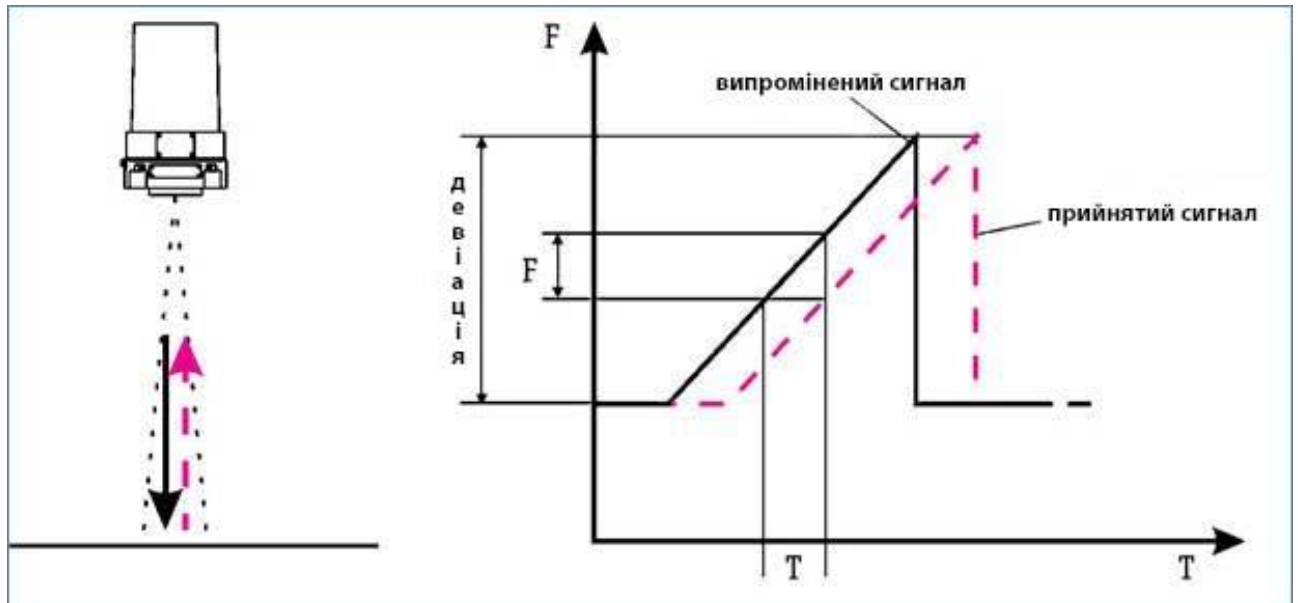


Рис.18. Принцип дії радарного рівнеміра.

Імпульсні радарні рівнеміри випускають радіосигнал через певні проміжки часу, протягом яких відбувається прийом зворотного сигналу. У мікрохвильових рівнемірах для рідини типу FMCW випромінювання сигналу відбувається постійно, одночасно з постійним прийомом зворотного сигналу.

Принцип дії на основі мікрохвильового випромінювання і особливості конструкції радарного рівнеміра для рідких матеріалів забезпечують велику кількість переваг перед іншими способами вимірювання:

- висока точність роботи в будь-яких умовах,
- сумісність з рідинами будь-яких видів, включаючи небезпечні і агресивні речовини,
- нечутливість до утворення піни і хвиль на поверхні рідини,
- різні варіанти виконання за типом і розміром антени, а також особливостям корпусу, в тому числі вибухозахищені моделі,
- нечутливість рівнеміра до особливостей зовнішнього середовища з можливістю роботи при підвищених температурах і високому тиску,
- широкий діапазон виміру,
- можливість роботи з різними видами ємностей, резервуарів, сховищ.

Рівнеміри радарного типу дії для рідин відрізняються досить високою вартістю, що може стати обмеженням при виборі пристрою контролю рівня. Однак висока вартість компенсується за рахунок великої кількості переваг мікрохвильових рівнемірів з радарних методом контролю рівня рідких продуктів. При необхідності може бути обраний інший варіант безконтактного контролю рівня, наприклад, ультразвуковий рівнемір в разі, якщо вартість є головним критерієм вибору.

2. РОЗРОБКА ВЛАСНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1. Вибір та опис основного приладу зняття рівня рідини у ємності

Проаналізувавши данні та характеристики існуючих датчиків рівня рідини було вирішено використовувати у системі *Гідростатичний рівнемір*. Надалі будуть описані основні причини вибору.

Гідростатичний рівнемір функціонує за рахунок вимірювання тиску або перепаду тиску в рідині. Такий спосіб заснований на факті існування гідростатичного тиску в рідині і його зміни прямо пропорційно глибині. Спеціальні датчики дозволяють вимірювати рівень у відкритих або закритих резервуарах. Відповідно, одна мембрана встановлюється безпосередньо на резервуарі, а друга - в області надлишкового тиску (для закритих ємностей) та на подачі атмосферного тиску (у відкритих). Пристрої такого типу можуть працювати з в'язкими рідинами і при великому надлишковому тиску. Однак важливо, щоб чутливий елемент перебував в безпосередньому контакті з вимірюваним середовищем.

Види гідростатических рівнемірів.

Датчики рівня гідравлічного типу виконуються в двох конструкційних варіантах:

- Перший варіант виконання - заглибні перетворювачі тиску, що представляють собою 2 блоки, об'єднаних компенсаційним кабелем. Вимірювальний блок - це погрузной зонд. Вони використовуються для свердловин, колодязів, відкритих резервуарів, водойм. Також підходять для безнапірних баків. Пристрої виготовляються з різних матеріалів. Корпус може бути нержавіючим сталевим або полімерним, а чутлива мембрана - сталевий або керамічної. В оболонці компенсаційного кабелю проходить трубка опорного тиску, і вона може бути тефлоновим, поліуретанової або з ПВХ.

- Другий варіант - виразний перетворювач, що підходить для горизонтальної установки в стінку резервуара. У них передбачена відкрита торцева мембрана. Також моделі можуть бути контактними і безконтактними.

Також моделі класифікуються за:

- Способом приєднання: заглибні, врізні, фланцеві;
- Типу вимірюваного середовища: неагресивна або агресивна, густа, абразивний і так далі;
- Способу зв'язку з атмосферою: для закритих і відкритих резервуарів.

Область застосування гідростатичного датчика рівня.

Гідростатичні датчики рівня - оптимізовані функціональні пристрої, що допомагають вимірювати глибину стовпа і тиску рідини. Вони використовуються в різних сферах промисловості, пов'язаних з водою або з газом, в тому числі в: нафтогазової, хімічної, фармацевтичної промисловості, де дозволяють проводити контрольні-вимірні роботи з газами, нафтою, паливом, спиртами і кислотами, проводити кількісну оцінку рідин.

Також це обладнання широко використовується в металургії та добувної промисловості для оцінки рівня ґрунтових вод або рідин в свердловинах, водоймах. Крім того, вони необхідні і в екологічному контролі, в тому числі для проміру обсягу резервуарів з технічною та питною водою на заводах і в населених пунктах, для контролю стану природних водойм.

Принцип роботи (дії) гідростатичного рівнеміра: занурений свердловинний датчик рівня вимірює гідростатичний тиск. Цей метод дозволяє визначити висоту стовпа рідини в залежності від того, який тиск діє на бічні стінки судини або його дно. Відповідно до закону Паскаля, гідростатичний тиск залежить тільки від висоти стовпа і щільності рідини, а форма і загальний обсяг резервуара ніяк на цю величину не впливають.

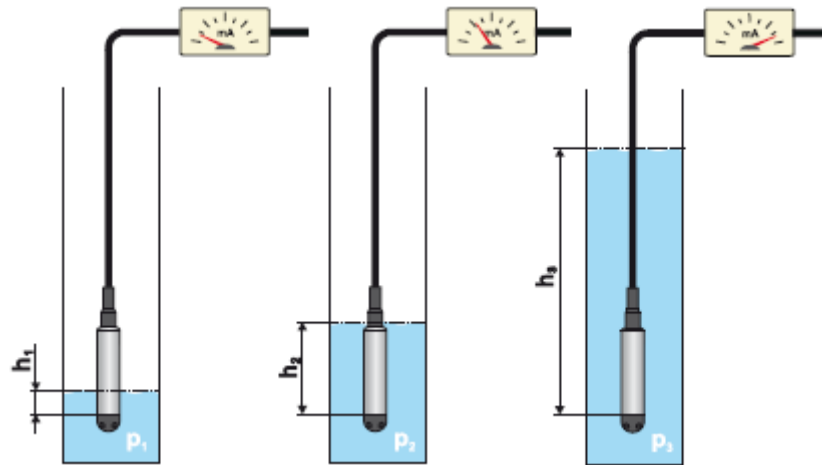


Рис.19. Принцип дії гідростатичного датчика.

Тому можна стаціонарно закріпити на бічній поверхні резервуара датчик (або використовувати занурювальну модель, в якій датчик тиску розташовується безпосередньо в контрольованому середовищі на певній глибині). Відповідно, пристрій допомагає виміряти тиск, а потім перетворити це значення в обсяг.

Принцип вимірювання зберігається загальним для всіх рівнемірів, незалежно від того, яка конструкція обрана - фланцева, занурювальна або врізна. Важливо враховувати, що з їх допомогою можна вимірювати тільки рідини з постійною щільністю.

Також має значення тип мембрани: відкриту можна використовувати тільки там, де в рідині немає великих включень, здатних привести до пошкоджень. Захищену мембрану можна використовувати для сильно забруднених середовищ, але можливі включення повинні бути більше розміру технологічного отвору. Інакше мембрану доведеться часто чистити, а при механічному впливі вона може пошкодитися.

Переваги використання гідростатичного датчика рівня:

За допомогою гідростатичного рівнеміра можна виміряти стовп рідини при глибині занурення до 100-250 м. Також є моделі в спеціальному виконанні, для глибоководних вимірів. Ключовими перевагами таких пристроїв вважаються:

- Безперервне вимірювання;
- не реагують на піну(головна перевага перед безконтактними рівнемірами) ;

- менша вартість у порівнянні з іншими принципами безперервного виміру рівня;
- висока точність до 0,5ммВст.
- Велика надійність та довговічність у агресивних середовищах, можливість використання мембрани з нержавіючої сталі і герметично ізольований корпус (клас захисту IP68) - сталевий або титановий;
- У кабелі передбачається повітропроникний, але водонепроникний фільтр;
- Можливість вибору довжини (повинна перевищувати максимальний рівень рідини) і матеріалу кабелю з урахуванням щільності та агресивності вимірюваних середовищ (для води і рідин на водній основі, для масел, концентрованих кислот і лугів або високотемпературних рідин, нагрітих до +125 градусів);
- Наявність додаткових датчиків температури, блискавкозахисту в певних моделях, а також викоренення виконання в ряді випадків;
- Можливість використання у важких умовах і на великій глибині;
- Його легке обслуговування та очищення (досить просто витягти корпус з рідини).

З огляду на викладене вище Гідростатичний рівнемір найоптимальніший варіант у системі.

2.2. Параметри визначаючі качку об'єкта

Для визначення положення корабля в просторі введемо такі координатні системи:

1) система $O_0 \Xi H Z$, осі якої пов'язані із Землею, вісь $O_0 E$, горизонтальна і спрямована по лінії заданого кораблю курсу, вісь $O_0 Z$ спрямована вертикально вниз, вісь $O_0 H$ горизонтальна і перпендикулярна двом іншим осям, початок O_0 збігається в вихідний момент з ц. т. корабля O ;

2) Система $O\xi\eta\zeta$, осі якої паралельні осям системи $O_0\Xi\text{H}\text{Z}$ і рухаються поступально з кораблем;

3) система $Oxuz$ осі якої пов'язані з кораблем;

Рух корабля на хвилюванні можна розкласти на поступальний разом з ц.т. корабля O і на обертальний навколо точки O яке визначається поворотом системи $Oxuz$ щодо системи $O\xi\eta\zeta$. Положення ц. т. O корабля щодо системи $O_0\Xi\text{H}\text{Z}$ характеризується радіусом-вектором R або трьома координатами точки O . Обертання корабля близько ц. т. O , обумовлене взаємним становищем систем $Oxuz$ і $O\xi\eta\zeta$, характеризується трьома Ейлеровими кутами φ , ψ та θ .

Виберемо систему $O\xi\eta\zeta$ таку, щоб вісь $O\xi$ була горизонтальна і спрямована заданого кораблю курсу, вісь $O\zeta$ була спрямована вертикально вниз, а система координат $O\xi\eta\zeta$ була правою. Осі системи $Oxuz$ орієнтовані так, що вісь Ox збігається з поздовжньою віссю корабля, вісь Oy - з поперечною віссю, а вісь Oz перпендикулярна до площини палуби корабля. Взаємне положення систем $O\xi\eta\zeta$ і $Oxuz$ при хитах і нишпоренні корабля визначаються кутами нишпорення $\varphi = MA_2$, дифферента $\psi = A_2A$ і крену $\theta = NB$, що характеризують послідовні повороти системи $Oxuz$. Цей спосіб вибору Ейлерових кутів отримав в останній час широке застосування в теорії качки корабля і в різних її додатках.

Кут φ визначається на кораблі гіроскопом напрямку, а кути ψ і θ - гіровертикалю. Отже зазначені ГУ відтворюють на хитному кораблі систему $O\xi\eta\zeta$.

Перетворення системи $O\xi\eta\zeta$ і $Oxuz$ можна уявити в матричному вигляді:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \quad (16)$$

чи у скороченому вигляді:

$$A = \|a_{\mu\nu}\| (\mu, \nu = 1, 2, 3) \quad (17)$$

Елементи матриці A є косинусами кутів між одиничними векторами $\vec{\xi}^0, \vec{\eta}^0, \vec{\zeta}^0$ і $\vec{x}^0, \vec{y}^0, \vec{z}^0$.

Матриця A може бути записана наступним чином:

$$\begin{vmatrix} \cos \varphi \cos \psi & \sin \varphi \cos \psi & -\sin \psi \\ \cos \varphi \sin \psi \sin \theta - \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \theta + \sin \varphi \sin \psi \sin \theta & \cos \psi \sin \theta \\ \sin \varphi \sin \theta + \cos \varphi \sin \psi \cos \theta & \sin \varphi \sin \psi \cos \theta - \cos \varphi \sin \theta & \cos \psi \cos \theta \end{vmatrix}$$

Беручи до уваги лише члени першого порядку малості, перепишемо у вигляді:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & \varphi & -\psi \\ -\varphi & 1 & \theta \\ \psi & -\theta & 1 \end{vmatrix} \quad (18)$$

Наведемо деякі кінематичні співвідношення. Позначимо через $\vec{\omega}$ миттєву кутову швидкість обертання корабля.

$$\vec{\omega} = \dot{\varphi} \vec{z}^0 + \dot{\psi} \vec{y}^0 + \dot{\theta} \vec{x}^0 \quad (19)$$

або

$$\vec{\omega} = \omega_x \vec{z}^0 + \omega_y \vec{y}^0 + \omega_z \vec{x}^0 \quad (20)$$

де ω_x , ω_y , ω_z - проекції вектора $\vec{\omega}$ на осі системи $Oxyz$, що визначаються співвідношеннями

$$\begin{aligned} \omega_x &= \dot{\theta} - \dot{\varphi} \sin \psi; \\ \omega_y &= \dot{\varphi} \cos \psi \sin \theta + \dot{\psi} \cos \theta; \\ \omega_z &= \dot{\varphi} \cos \psi \cos \theta - \dot{\psi} \sin \theta. \end{aligned} \quad (21)$$

Беручи до уваги малі величини до першого порядку, отримаємо

$$\omega_x = \dot{\theta}, \quad \omega_y = \dot{\psi}, \quad \omega_z = \dot{\varphi}. \quad (22)$$

Для визначення положення в просторі іншого цікавить нас об'єкта літака - введіть:

- 1) Координатну систему $O_0X_gY_gZ_g$, пов'язану із Землею, у якій вісь O_0Y_g вертикальна, а осі O_0X_g і O_0Z_g горизонтальні;
- 2) систему $Ox_1y_1z_1$ осі якої незмінно пов'язані з літаком: Ox_1 - поздовжня Oy_1 - нормальна і Oz_1 -поперечне вісь літака;
- 3) систему $Ox_gy_gz_g$, осі якої рухаються поступально з літаком щодо системи $O_0X_gY_gZ_g$.

2.3. Імовірнісні характеристики параметрів, що визначають хитавицю об'єкта

Наведемо деякі характеристики параметрів що визначають хитавицю корабля.

Численні спостереження показують що як правило хвилювання в морях і океанах істотно відрізняються від регулярного. Тому дійсний характер поведінки корабельного ГН може бути виявлений лише з урахуванням умов нерегулярного хвилювання моря. Нерегулярне хвилювання, а отже, і качка корабля в цих умовах представляють випадковий процес. Імовірнісні характеристики хитавиці корабля можна визначити теоретично по відомим імовірнісним характеристикам хвилювання. Інший спосіб визначення цих характеристик полягає в статичній обробці натурних записів качки однотипних кораблів, які цікавлять нас умовах хвилювання.

При визначенні імовірнісних характеристик хитавиці корабля на нерегулярному хвилюванні моря приймають, що хвилювання, а отже і качка представляють стаціонарний випадковий процес.

Припущення про стаціонарність процесу хвилювання і качки істотно спрощує дослідження ГУ на нерегулярному хвилюванні так як дозволяє використовувати для цієї мети теорію стаціонарних випадкових процесів, добре розроблену в даний час і що широко використовується в різних технічних додатках.

На підставі експериментальних даних можна вважати що випадковий процес качки корабля близький до нормального. Якщо стаціонарний процес є нормальним, то математичне сподівання і кореляційна функція цього процесу повністю його визначає.

Математичні очікування, або середні значення, кутів крену, диференту і нишпорення корабля при дослідженні ГУ можуть бути прийняті рівним нулю:

$$\bar{\theta} - M[\theta(t)] = 0; \quad \bar{\psi} - M[\psi(t)] = 0; \quad \bar{\varphi} - M[\varphi(t)] = 0; \quad (23)$$

Кореляційна функція $K_x(\tau)$ стаціонарного випадкового процесу $x(\tau)$, що характеризує зв'язок між координатами випадкового процесу при різних

значеннях аргументу, при рівності нулю його математичного очікування визначається співвідношенням

$$K_x(\tau) = M[x(t)x(t + \tau)] \quad (23)$$

Знаючи $K_x(\tau)$ можна знайти ще одну важливу характеристику качки корабля на нерегулярному хвилюванні - спектральну щільність $S_x(\omega)$ випадкової функції $x(t)$ яка визначає розподіл інтенсивності коливань корабля по частотах користуючись співвідношенням

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad (24)$$

звідки можна отримати вираз для $K_x(\tau)$ через $S_x(\omega)$:

$$K_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (25)$$

Дисперсія $D[x]$ випадкової функції $x(t)$ характеризує інтенсивність качки корабля на нерегулярному хвилюванні, визначається формулою

$$D[x] = K_x(0) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) d\omega. \quad (26)$$

Так як випадкова функція $x(t)$ характеризує качку корабля є речовою то на підставі відомих формул Ейлера отримаємо:

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) \cos\omega\tau d\tau, \quad (27)$$

$$K_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) \cos\omega\tau d\omega, \quad (28)$$

$$D[x] = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\omega) d\omega. \quad (29)$$

Внаслідок парності спектральної щільності та кореляційно функції вираження можна переписати у вигляді:

$$S_x(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} K_x(\tau) \cos\omega\tau d\tau, \quad (27)$$

$$K_x(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S_x(\omega) \cos\omega\tau d\omega, \quad (28)$$

$$D[x] = 2 \int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega. \quad (29)$$

Зауважимо що для розрахунку дисперсії випадкових функцій на виході динамічних систем часто застосовують табличні інтеграли.

Знаючи дисперсію $D[x]$ можна визначити середнє E_x і середньоквадратичне σ_x значення кутів качки за формулам

$$E_x = \rho \sqrt{2D[x]} \quad (\rho = 0.4769 \dots) \quad (30)$$

$$\sigma_x = \sqrt{D[x]} \quad (31)$$

Так як кроеляційні функції випадкових функцій $\psi(t)$, $\varphi(t)$, $\theta(t)$ апроксимуються однотипними формулами то введемо для них загальне позначення

$$x_i(t) [i = 1, 2, 3; x_1(t) = \psi(t); x_2(t) = \theta(t); x_3(t) = \varphi(t)] \quad (32)$$

Із запису $\theta(t)$ кута крену корабля на регулярному хвилюванні, слід, що функція $\theta(t)$ носить випадковий характер, а її періоди коливання близько деякого середнього значення. Отримані в результаті спостережень випадкові функції $x_i(t)$ обробляють на спеціальному приладі - корреляторі. В результаті обробки $x(t)$ на корреляторі отримують кореляційну функцію кутів качки корабля, по якій можна визначити так звану нормовану кореляційну функцію

$$R_x(\tau) = \frac{K_x(\tau)}{K_x(0)} \quad (33)$$

Отримана нормована кореляційна функція $R_0(\tau)$ кутів крену корабля, показує, що $\theta(t)$ дійсно представляє випадкову функцію, так як кореляційний зв'язок між ординатам $\theta(t)$ зменшується з ростом τ . Нормовані кореляційні функції $R_\psi(\tau)$, $R_\varphi(\tau)$, $R_\theta(\tau)$ випадкових функцій $\theta(t)$, $\varphi(t)$, $\psi(t)$ можуть бути представлені формулою

$$R_{x_i}(\tau) = e^{-\mu_i|\tau|} (\cos \lambda_i \tau + \frac{\mu_i}{\lambda_i} \sin \lambda_i |\tau|) \quad (34)$$

З цього отримаємо вираз для кореляційної функції $K_{x_i}(\tau)$ у вигляді

$$K_{x_i}(\tau) = A_i e^{-\mu_i|\tau|} (\cos \lambda_i \tau + \frac{\mu_i}{\lambda_i} \sin \lambda_i |\tau|) \quad (35)$$

Числові значення коефіцієнтів A_i , μ , λ встановлюються шляхом статистичної обробки натурних записів качки корабля.

Слід зауважити що дані висловлювання є найбільш простими і широко застосовується апроксимацією кореляційної функції кутів качки об'єктів. Однак

в принципі можуть бути отримані й інші вирази для зазначених кореляційних функцій.

Крім кореляційних функцій качки нам знадобляться вираження для спектральної щільності кутів і нишпорення корабля.

Підставляючи (35) в (27) після інтегрування отримаємо

$$S_x(\omega) = \frac{A\mu}{2\pi\lambda} \left(\frac{2\lambda + \omega}{\mu^2 + (\lambda + \omega)} + \frac{2\lambda - \omega}{\mu^2 + (\lambda - \omega)} \right) \quad (36)$$

Графік спектральної щільності кута крену корабля показує, що функції $S_0(\omega)$ досягає максимуму при $\omega = \lambda_2 = \omega_2$. Переважна частота бортової качки корабля на нерегулярному хвилюванні приблизно дорівнює частоті власних коливань останнього.

При спільному впливі ГУ кільової і бортової качки дуже важливо виявити взаємну зв'язаність випадкових функцій $\psi(t)$ і $\theta(t)$, яка характеризується взаємною кореляційною функцією

$$K_{\psi\theta}(\tau) = M[\psi(t)\theta(t + \tau)] \quad (37)$$

Зазвичай кути кільової і бортової качки корабля на нерегулярному хвилюванні є не пов'язаними випадковими функціями

$$K_{\psi\theta}(\tau) = 0 \quad (38)$$

Те ж саме можна сказати про пов'язаність випадкових функцій $\phi(t)$ і $\theta(t)$ а також $\phi(t)$ і $\psi(t)$

$$K_{\psi\phi}(\tau) = 0; \quad K_{\phi\theta}(\tau) = 0 \quad (39)$$

Можна вважати що кути качки корабля слідуєть нормальному закону розподілу ймовірностей і диференційний закон розподілу кутів качки або нишпорення корабля з огляду на загальні позначення визначається формулою

$$f(x) = \frac{\rho}{E_x \sqrt{\pi}} e \quad (40)$$

де E_x - середнє значення відповідного кута качки, пов'язане з його дисперсією співвідношенням.

Формулу (40) можна представити у вигляді

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_x}} e \quad (41)$$

де $D[x]$ позначено через Dx або з огляду на співвідношення.

При вирішенні завдань синтезу ГУ необхідно знати ймовірні характеристики випадкових функцій $\dot{x}(t)$ і $\ddot{x}(t)$, що є похідними випадкового процесу $x(t)$.

Визначимо кореляційну функцію $K_{\dot{x}}(\tau)$ випадкової функції $\dot{x}(t)$. При цьому потрібно врахувати таку обставину. Стаціонарний випадковий процес $\dot{x}(t)$ буде диференціюючим при будь-якому t , якщо тільки його кореляційна функція має безперервну другу похідну по τ при будь-якому значенні. Безперервна друга похідна кореляційної функції буде існувати при будь-якому τ , якщо тільки вона існує при $\tau = 0$. При цьому умови $x(t)$ також є безперервним стаціонарним випадковим процесом і його кореляційна функція буде

$$K_{\dot{x}}(\tau) = -\frac{d^2}{d\tau^2} K_x(\tau) \quad (42)$$

враховуючи (42)

$$\frac{d}{d\tau} K_x(\tau) = -A \frac{\mu^2 + \lambda^2}{\lambda} e^{-\mu|\tau|} \sin \lambda\tau \quad (43)$$

Для дисперсії $D[x]$ випадкової функції $x(t)$, згідно (42) і (43) отримаємо

$$D[\dot{x}] = -A(\mu^2 + \lambda^2) = (\mu^2 + \lambda^2)D[x] = b^2 D[x] \quad (43)$$

Подібно $x(t)$ кутові швидкості качки $\dot{x}(t)$ підкоряються нормальному закону. За аналогією

$$f_{\dot{x}}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x}} e^{-\frac{x^2}{2\pi x}} \quad (44)$$

Кореляційну функцію $K_{\ddot{x}}(\tau)$ кутових прискорень \ddot{x} качки можна визначити методом тим же що $K_{\dot{x}}(\tau)$. Однак при прийнятій апроксимації кореляційної функції $K_x(\tau)$ цього зробити не можна, так як похідна від $K_{\dot{x}}(\tau)$ терпить розрив в точці $\tau = 0$.

Наближено дисперсію $D[\ddot{x}]$ кутових прискорень качки, необхідну для розрахунків ГУ можна визначити за формулою

$$D[\ddot{x}] \approx (\mu^2 + \lambda^2)D[\dot{x}] \approx (\mu^2 + \lambda^2)^2 D[x] \approx b^4 D[x] \quad (45)$$

Для визначення спектральних щільностей кутових швидкостей і кутових прискорень качки слід користуватися співвідношенням встановленим теорією стаціонарних випадкових процесів

$$S_{\dot{x}}(\omega) = \omega^2 S_x(\omega) \quad (46)$$

Цей вислів має сенс якщо виконується умова

$$\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 S_x(\omega) d\omega < \infty \quad (47)$$

Таким чином при прийнятій апроксимації кореляційної функції $K_x(\tau)$ випадкової функції $x(t)$ для визначення спектральної щільності $S_x(\omega)$ кутової швидкості качки $\dot{x}(t)$ можна користуватися (46).

Для спектральної щільності $S_{\ddot{x}}(\omega)$ кутових прискорень качки $\ddot{x}(t)$ в загальному випадку справедлива формула

$$S_{\ddot{x}}(\omega) = \omega^4 S_x(\omega) \quad (48)$$

Однак при прийнятій нами апроксимації для спектральної щільності, для кореляційної функції умова, аналогічна (47) не виконується так як інтеграл $\omega^4 S_x(\omega) d\omega$ прямує до нескінченності. Сказане є наслідок того що в даному випадку $K_{\dot{x}}(\tau)$ є кореляційна функція недиференційованного процесу. Тому виразом (48) для визначення дисперсії $D[x]$ користуватися не можна. Проте формулу (48) можна застосувати, наприклад для розгляду питань, пов'язаних з проходженням випадкової функції $x(t)$ через динамічну систему. Зауважимо що згідно (48) $S_{\ddot{x}}(0) = 0$ що відповідає реальному фізичному сенсу.

При вирішенні ряду задач, пов'язаних з аналізом і синтезом ГУ, необхідно знати взаємні кореляційні функції випадкових функцій $x(t)$ та $\dot{x}(t)$ а також $x(t)$ і $\ddot{x}(t)$. Згідно з визначенням

$$K_{x\dot{x}}(\tau) = M[x(t)\dot{x}(t + \tau)] = \frac{d}{d\tau} K_x(\tau) \quad (49)$$

тоді отримаємо

$$K_{x\dot{x}}(\tau) = -A \frac{b^2}{\lambda} e^{-\mu|\tau|} \sin \lambda \tau \quad (50)$$

звідки

$$K_{x\ddot{x}}(\tau) = 0 \quad (51)$$

взаємна кореляційна функція стаціонарної випадкової функції і її похідної, взятих для одного і того ж моменту часу, дорівнює нулю.

Аналогічним чином взаємна кореляційна функція $K_{x\dot{x}}(\tau)$ випадкових функцій $x(t)$ і $\dot{x}(t)$ матиме вигляд

$$K_{x\dot{x}}(\tau) = M[x(t) \dot{x}(t + \tau)] = \frac{d}{d\tau} K_x(\tau) \quad (52)$$

Тому

$$K_{x\dot{x}}(0) = -b^2 A = -b^2 D[x] \quad (53)$$

Взаємні спектральні щільності $S_{xx}(\omega)$ і $S_{x\dot{x}}(\omega)$ враховуючи вище вираження для взаємних кореляційних функцій $K_{xx}(\tau)$ і $K_{x\dot{x}}(\tau)$ можна визначити, можна також скористатися формулами які дають

$$S_{x\dot{x}}(\omega) = j\omega S_x(\omega); \quad S_{x\ddot{x}}(\omega) = -\omega^2 S_x(\omega) \quad (54)$$

Аналогічним чином параметри, що визначають хитальний рух літака, також є нормальними стаціонарними випадковими функціями часу. Для кореляційних функцій кутів ристання, тангажа і крену по аналогії з кореляційними функціями качки корабля маємо такий вираз

$$K_{xi}(\tau) = A_i e^{-\mu_i |\tau|} (\cos \lambda_i \tau + \frac{\mu_i}{\lambda_i} \sin \lambda_i |\tau|) \quad (55)$$

При дослідженні ГУ необхідно знати лінійні прискорення об'єкта, зумовлені його коливальним рухом. Так наприклад для проекцій $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ на осі Ox, Oy, Oz лінійного прискорення ω точки корабля з координатами x, y, z з урахуванням доданків першого порядку малості маємо такі співвідношення

$$\begin{aligned} \omega_x(t) &= \xi_0 + z\psi - y\varphi \\ \omega_y(t) &= \eta_0 + x\varphi - z\theta \\ \omega_z(t) &= \zeta_0 + y\theta - x\varphi \end{aligned} \quad (56)$$

де ξ_0, η_0, ζ_0 - проекції лінійного прискорення ц.т. корабля на осі $O_0 \Xi \Pi Z$.

2.4. Моделювання чутливого елемента датчика

Чутливий елемент датчика являє собою мембрану, на яку діє тиск рідини. При малих розмірах мембран ($d \approx 1$ см) власні частоти коливань центру

мембрани складають одиниці МГц. Рівняння, що описує власні коливання можна представити в спрощеному вигляді:

$$\frac{d^2T}{dt^2} + \Omega_0 T(t) = 0, \quad (11)$$

де $T(t)$ - перміщення, Ω_0 - власна частота.

Власні частоти можна визначити з співвідношення:

$$\Omega_0 = \frac{k_i}{R} \sqrt{\frac{F}{\rho}}, \quad (12)$$

де F - сила натягу мембрани, R - радіус, ρ - густина матеріалу.

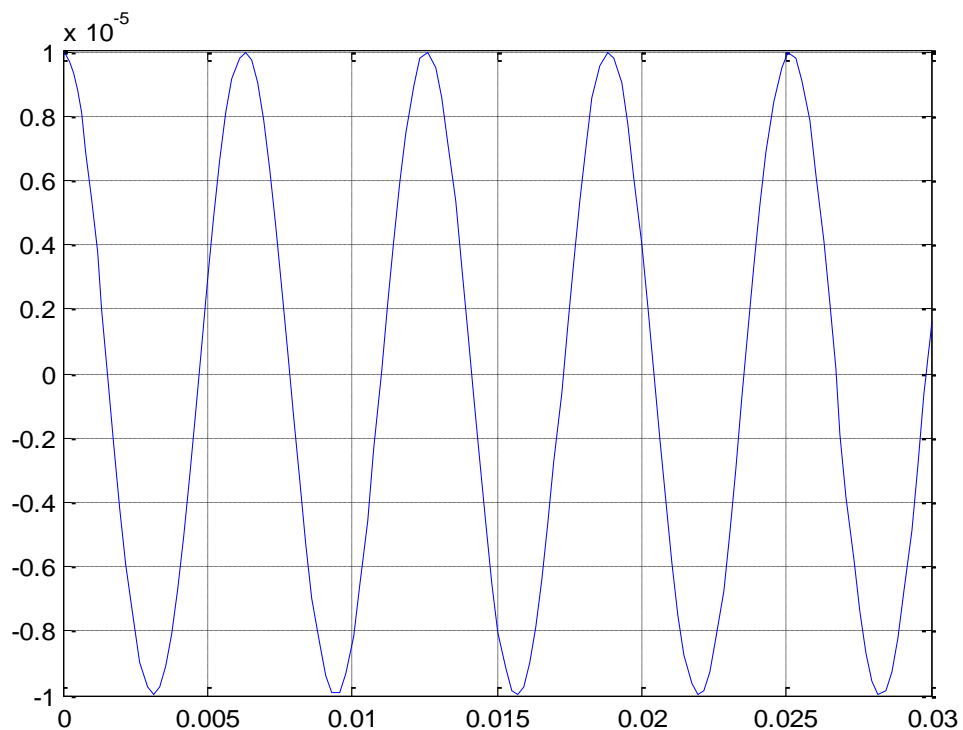


Рис. 20. Результати моделювання власних коливань при $\Omega_0 = 1$ МГц

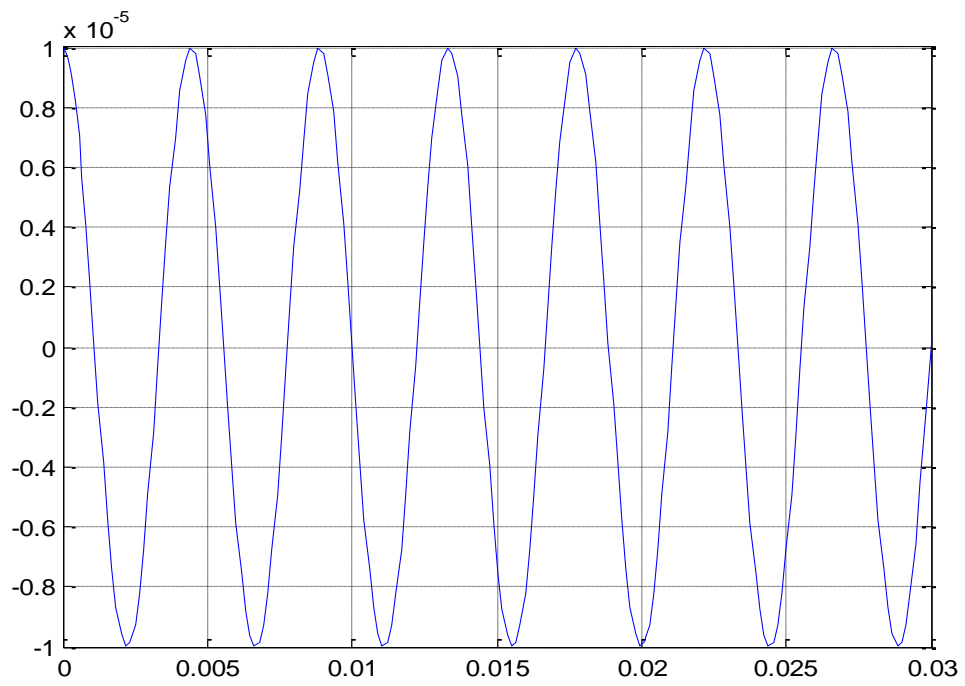


Рис. 21. Результати моделювання власних коливань при $\Omega_0 = 2$ МГц

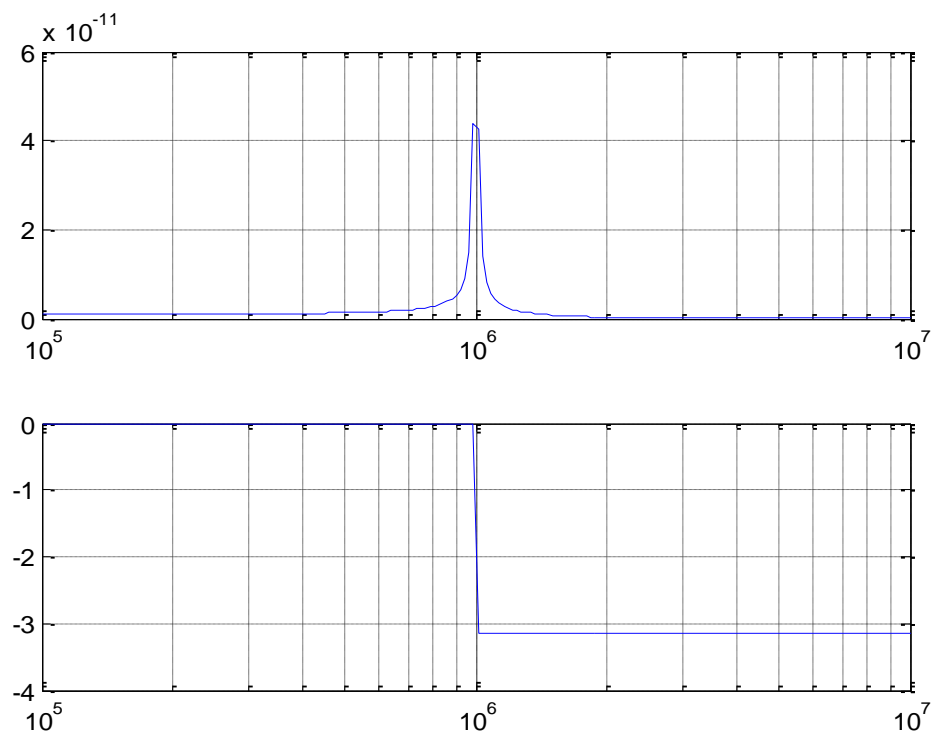


Рис. 22. Моделювання частотних характеристик при $\Omega_0 = 1$ МГц

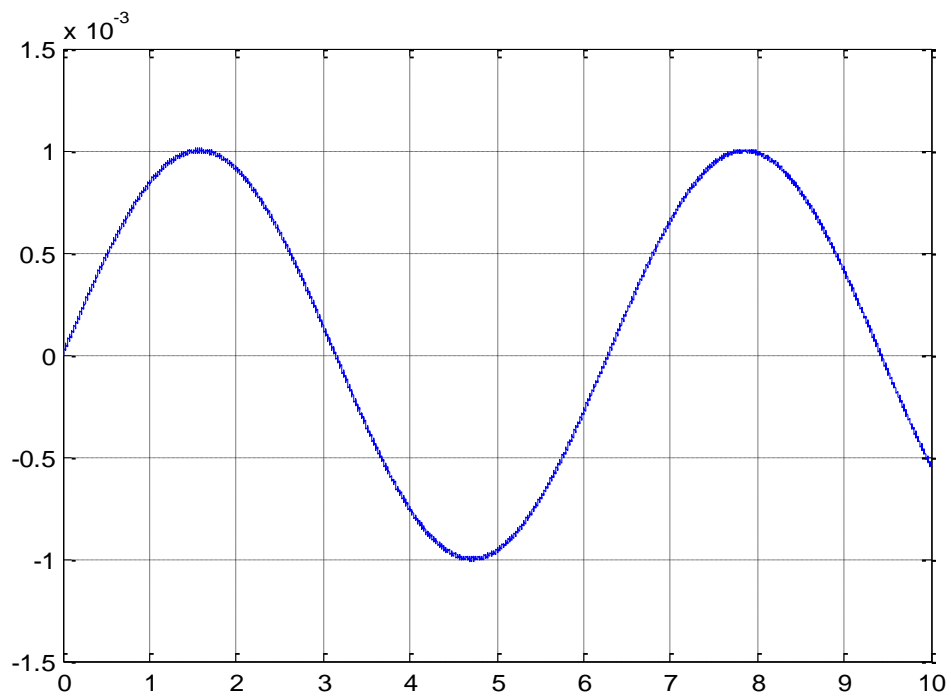


Рис. 23. Моделювання вимушених коливань при $\omega = 1$ рад/с

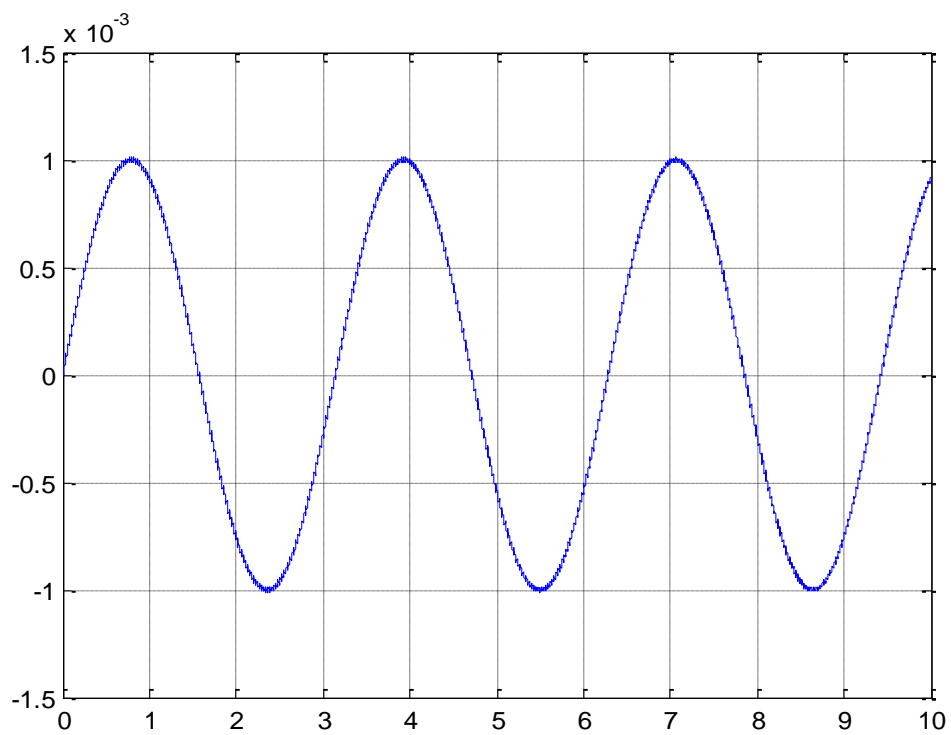


Рис. 24. Моделювання вимушених коливань при $\omega = 2$ рад/с

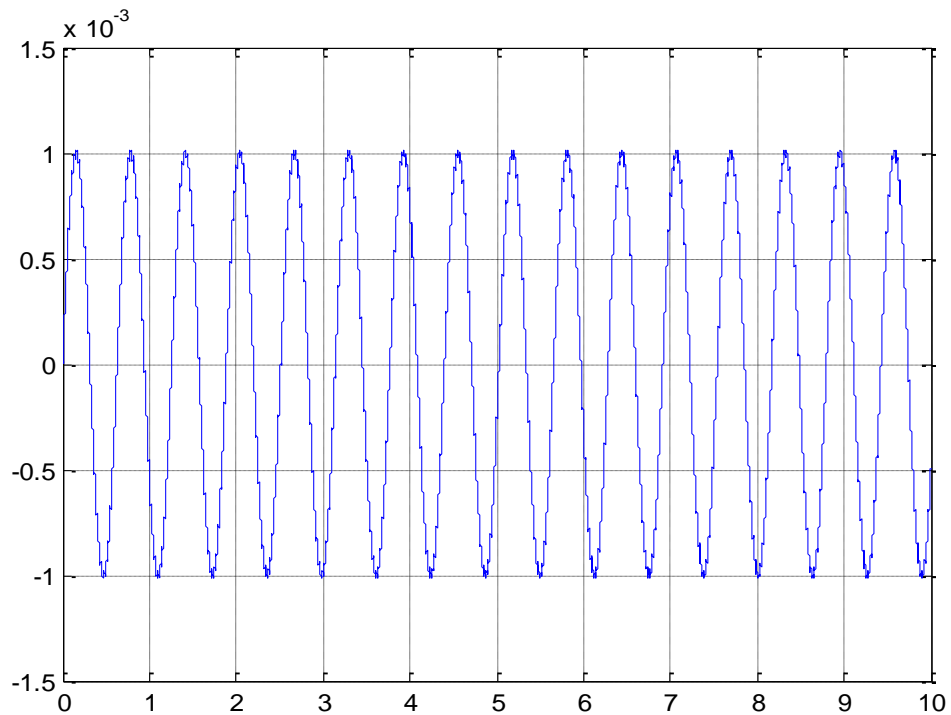


Рис. 24. Моделювання вимушених коливань при $\omega = 10$ рад/с

Випадкове збурення, що описується кореляційною функцією:

$$K_n(\tau) = \sigma_n^2 e^{-\mu_n |\tau|} \left(\cos \lambda_n \tau + \frac{\mu_n}{\lambda_n} \sin \lambda_n |\tau| \right), \quad (13)$$

де σ_n^2 – дисперсія амплітуди збурення, λ_n – переважна частота, μ_n – коефіцієнт кореляційної функції, що характеризує нерегулярність зовнішніх збурень.

Спектральна щільність, яка характеризує розподіл інтенсивності коливань за частотою:

$$S_n(\omega) = \frac{2\mu_n \sigma_n^2}{\pi} \frac{b_n^2}{\omega^4 + 2a_n \omega^2 + b_n^2}, \quad (14)$$

$$\text{де } a_n = \mu_n^2 - \lambda_n^2, \quad b_n^2 = \mu_n^2 + \lambda_n^2. \quad (15)$$

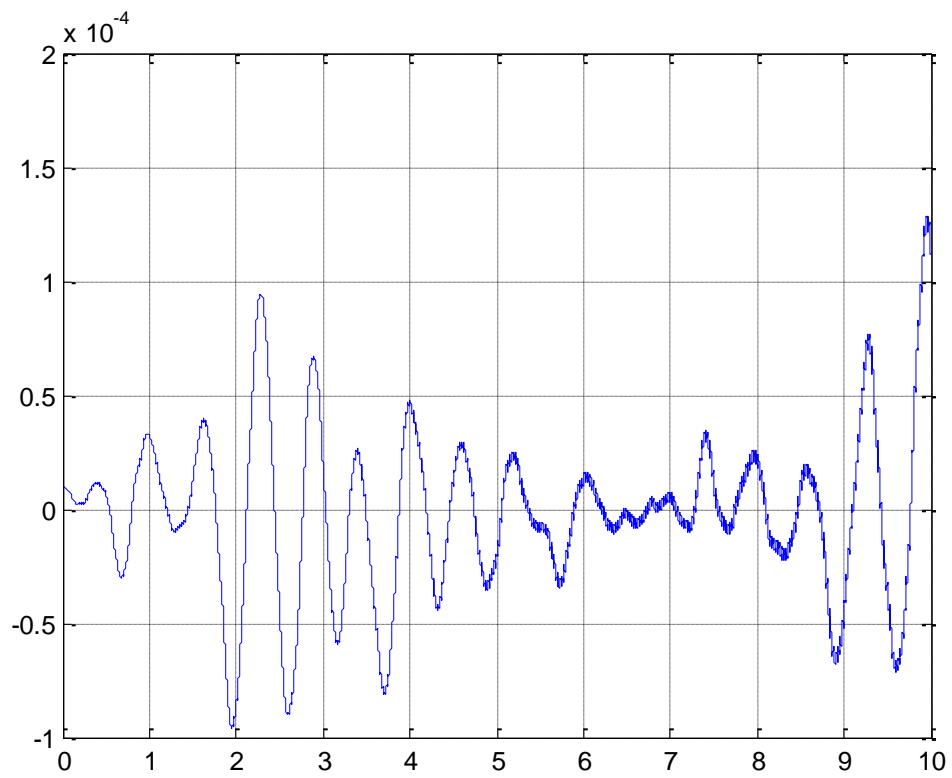


Рис. 24. Випадкове збурення при $\lambda_n = 10$ рад/с

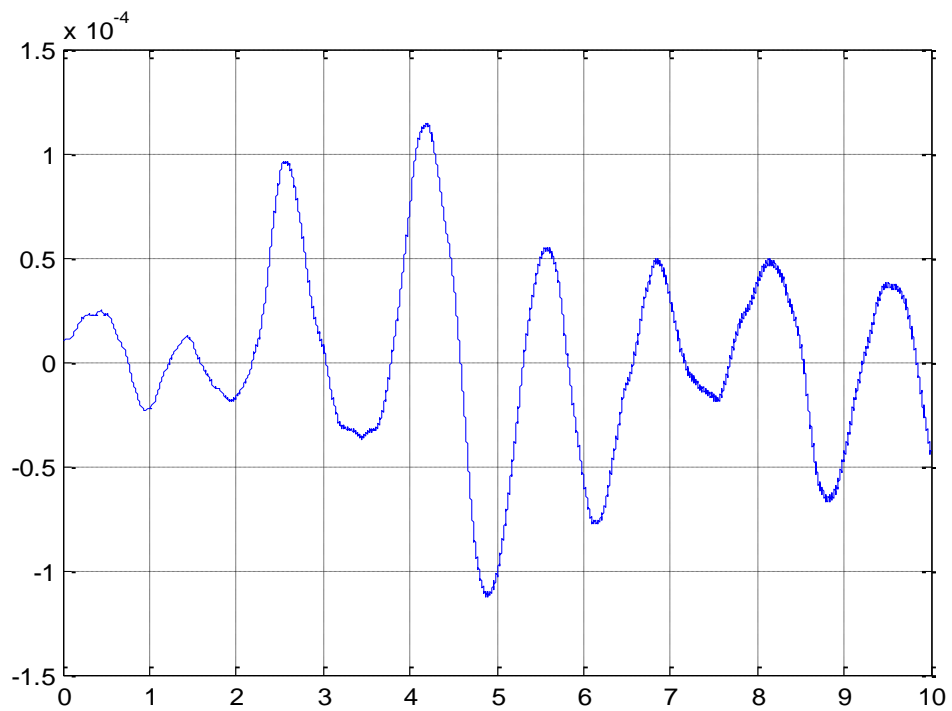


Рис. 24. Випадкове збурення при $\lambda_n = 5$ рад/с

2.5. Вибір цифрового фільтра та його моделювання

Фільтр - це система або мережа, вибірково змінює форму сигналу. Основними цілями фільтрації є поліпшення якості сигналу (в нашому випадку зменшення перешкод від качки), витяг із сигналів інформації або поділ сигналів.

ЦФ поділені на два великі класи: фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою (НІХ-фільтри) і фільтри з скінченною імпульсною характеристикою (СІХ-фільтри). В спрощеній формі, як показано на рис.1, фільтр кожного типу можна представити через коефіцієнти його імпульсної характеристики $h(k)$ ($k=0,1,\dots$). Вхідний і вихідний сигнали фільтра зв'язані через операцію згортки.

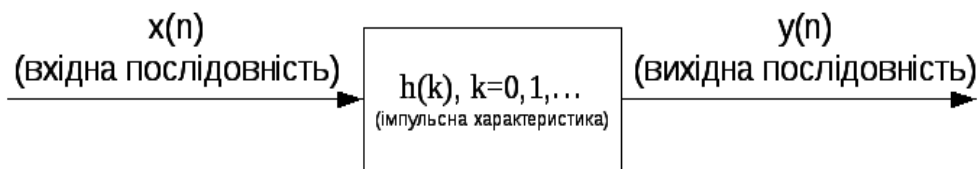


Рис. 25. Спрощена схема ЦФ

Для НІХ – фільтрів імпульсна характеристика має безкінечну довжину, тоді як для СІХ – фільтра вона скінченна, оскільки $h(k)$ для СІХ-фільтрів може приймати всього N значень. На практиці вичислити вихід НІХ - фільтра з використанням рівності (1) неможливо, оскільки довжина імпульсного відгуку надто велика (теоретично – нескінченна).

ЦФ набули широкого використання у задачах частотної фільтрації. Розрізняють такі частотні фільтри:

- Фільтр низьких частот (ФНЧ) — фільтр, що ефективно пропускає частотний спектр сигналу нижче деякої частоти (частота зрізу), і зменшує(або послаблює) частоти сигналу вище цієї частоти. Степінь послаблення кожної частоти залежить від виду фільтра.
- Фільтр верхніх частот (ФВЧ) — фільтр, що пропускає високі частоти вхідного сигналу, при цьому послаблює частоти сигналу менші, ніж частота зрізу. Степінь послаблення залежить от конкретного виду фільтра.

- **Смуговий фільтр** — фільтр, який пропускає частоти, що знаходяться в потрібному діапазоні і вирізує всі решта частоти. Такі фільтри також можуть бути виготовлені комбінуванням ФНЧ і ФВЧ.
- **Загороджувальний фільтр (режекторний фільтр)** — фільтр, що не пропускає коливання деякого визначеного діапазону частот, і пропускає коливання з частотами, що виходять за межі цього діапазону. Загороджувальний фільтр, призначений для послаблення одної визначеної частоти, називається вузькосмуговим загороджувальним фільтром або фільтром-пробкою.

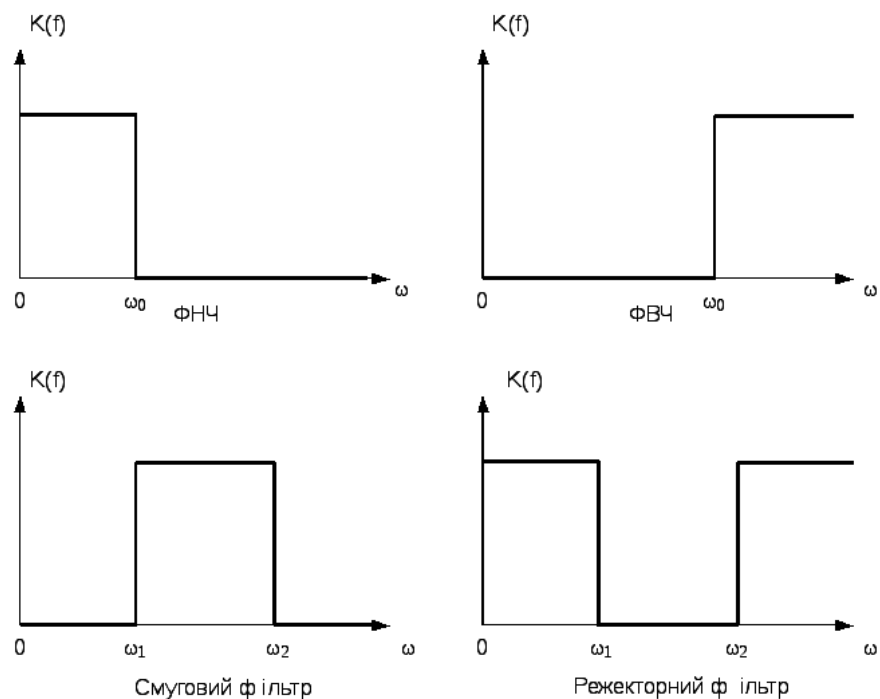


Рис. 26. Ідеальна АЧХ описаних типів фільтрів

Оскільки качка корабля є низькочастотним коливальним процесом, для зменшення впливу такого збурення на вихідний сигнал датчика можна використати фільтр високих частот. Частоту зрізу фільтра оберемо $\omega_s = 100$ рад/с, тобто частоти до 15 Гц будуть подавлятися. Результати моделювання представлені на наступних рисунках.

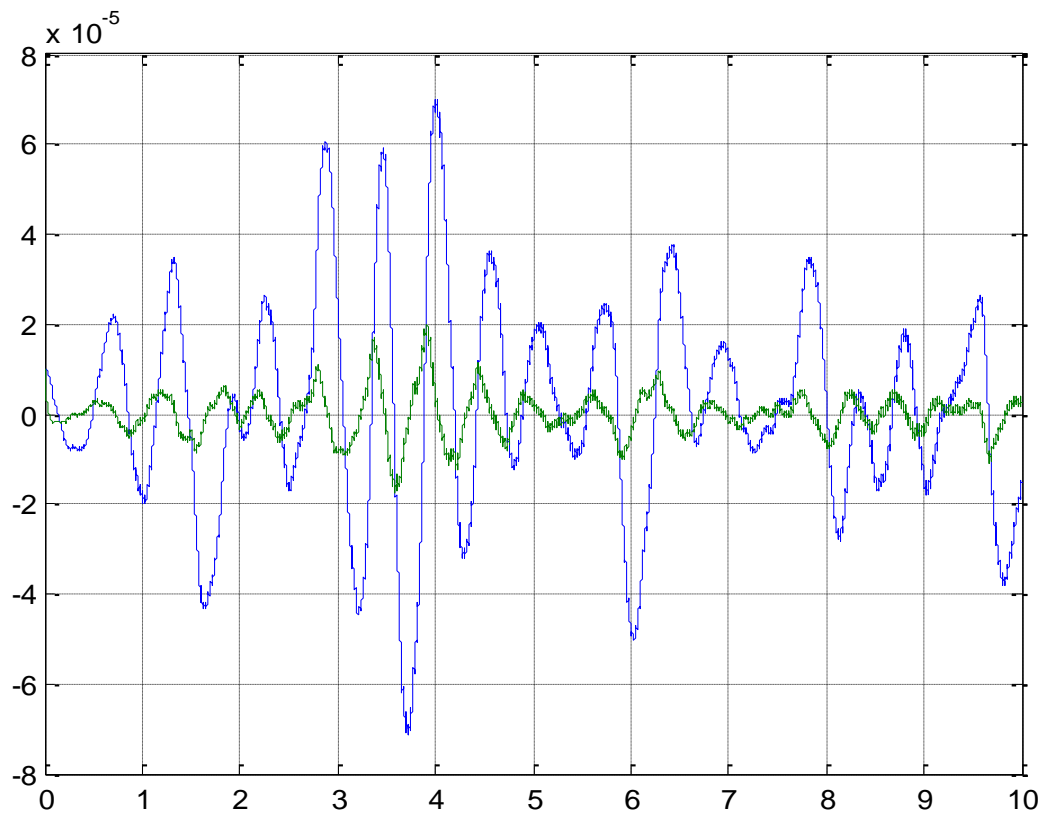


Рис. 27. Фільтрація сигналу при частоті збурення $\lambda_n = 10$ рад/с

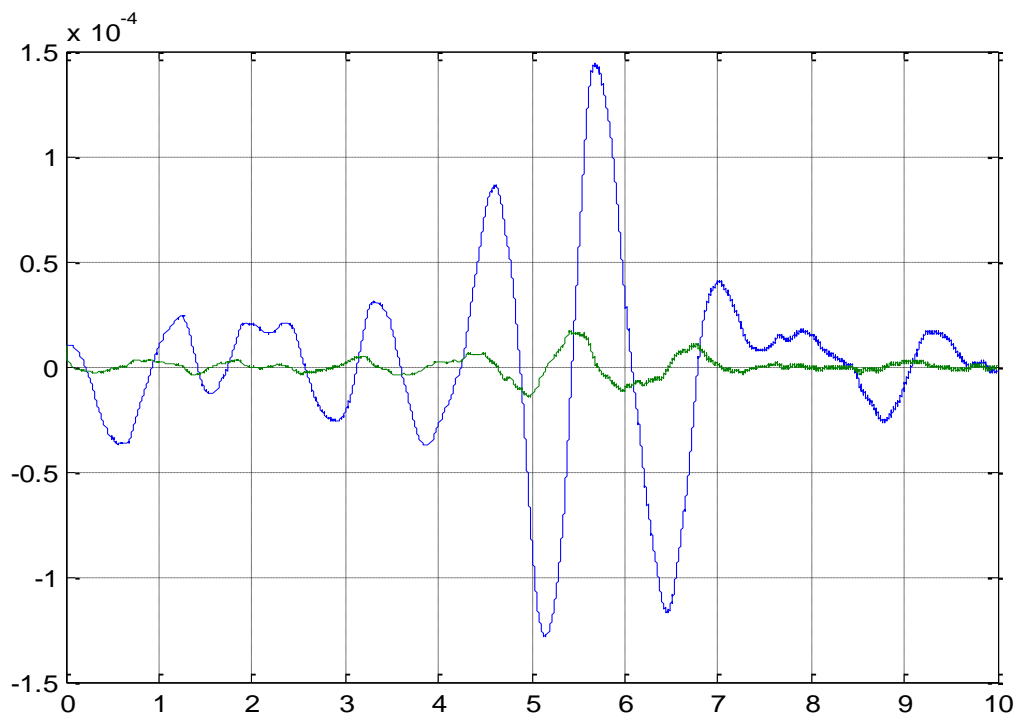


Рис.28. Фільтрація сигналу при частоті збурення $\lambda_n = 5$ рад/с

ВИСНОВКИ

В даній дипломній роботі було проведено інформаційно-аналітичний огляд сучасного стану засобів моніторингу рівня палива на суднах. Був вибран оптимальний датчик для системи.

Розроблено математичну модель чутливого елемента датчика, на основі якої було розглянуто похибки приладу.

Приведені похибки при хитавиці корабля та її особливості. Було проведено аналіз похибок від хитавиці, розглянуто похибки, обумовлені моментом рисканням.

Також, в цій роботі був створен фільтр для зменшення впливу збурення від хитавиці та надана модель хитавиці. Наступним кроком буде доповнена модель з декількома фільтрами, які повністю зможуть нівелювати вплив хитавиці, рискання та створення хвилі у самому баку з рідиною.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Принцип работы датчика уровня топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mapon.com.ua/kak-rabotaet-datchik-urovnya-topliva/>
2. Контроль топлива в судовом двигателе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gpsmcard.ru/product/kontrol-topliva-v-sudovom-dvigatele/>
3. Судовая система контроля расхода топлива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://seacomm.ru/dokumentacija/7285/>
4. M2M-мониторинг на флоте [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.korabel.ru/news/comments/m2m-monitoring_na_flote_-_razbiraemsya_v_detalyah_novoy_sistemy_kontrolya_mehanizmov_na_sudne.html
5. Томский политехнический университет.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.tpu.ru/SHARED/v/VOS/study/disc1/Tab/tema09.pdf>
6. Типы цифровых фильтров. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5213922/page:2/>
7. Юкио Сато, под ред. Есифуми Амэмия. Обработка сигналов. Первое знакомство / Пер. с японского. - М.: Додэка-XX1, 2002.
8. Айфичер Э.С. Цифровая обработка сигналов. Практический подход [Текст] / Э.С. Айфичер, Б.У. Джервис. – М.-СПб.-Киев: Вильямс, 2004. – 989 с.
9. Улучшаем точность измерений: установка двух датчиков уровня топлива в один топливный бак [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.jv-technoton.com/ru/2-dut-v-1-bak/>
10. Решение для поверки бункеров на морских судах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ua.krohne.com/ru/reshenija/reshenija-provedenija-izmerenii/ecomate-monitoring-topliva-uglerodnykh-vybrosov-morskikh-sudov/ecomate-proverka-topliva-bunkerakh/>
12. Датчики уровня жидкости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-zhidkosti

13. Судовая промышленность [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://teko-com.ru/po-otrasljam/sudovaja-promyshlennost/>
14. Radar is the better ultrasonic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vega.com/en/downloads>
15. Интегрированные системы контроля и мониторинга (ICMS) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.emerson.com/ru-ua/industries/automation/marine/merchant-marine/tanker#>
16. С.И. Белкин Путешествия по кораблям. Л., «Судостроение», 1972.
17. Optiwave-M 7400 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://krohne.com/en/products/level-measurement/level-transmitters/radar-fmcw-level-transmitters/optiwave-m-7400/>
18. Поплавкові рівнеміри [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studopedia.com.ua/1_26869_poplavkovi-rivnemiri.html
19. Автоматизація технологічного обладнання мікроелектроніки: навч. посібник для вузів по приладобудівної спеціальності / А. А. Сазонов [и др.]; під ред. А. А. Сазонова. - М .: Вища школа, 1991. - 334