

Реферат

Магістерська робота на тему:.

«Дослідження властивостей псевдозрідженого шару сипкого матеріалу з аналізом принципів дослідження та розробкою установки»

Листів –91, ілюстрацій –15, таблиць –6, посилань –11 .

ПСЕВДОЗРІДЖЕНИЙ ШАР, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА,
ТЕХНОЛОГІЧНА УСТАНОВКА, МІКРОКОНТРОЛЕР ARDUINO.

Об'єкт дослідження – експериментальна установка з псевдозрідженим шаром.

Мета роботи – розробка експериментальної установки з псевдозрідженим шаром, методів вимірювання та контролю її параметрів на базі мікроконтролера Arduino та дослідження властивостей сипкого матеріалу в установці.

Методи дослідження – експериментальні та розрахункові.

У результаті роботи було виконано:

- ✓ ознайомлення зі способами псевдозрідження сипких матеріалів;
- ✓ розробка плану проведення експерименту;
- ✓ розробка установки дослідження процесу псевдозрідження із застосуванням мікроконтролера Arduino;
- ✓ проведення експерименту;
- ✓ обробка результатів експерименту;
- ✓ проведення аналізу дослідів та результатів.

Зміст

Реферат	2
Зміст	3
Передмова	5
1 Аналітичний огляд.....	7
1.1 Фізична сутність і галузь промислового застосування	7
1.2 Моделювання	21
2 Визначення переліку параметрів, що характеризують стан технологічного процесу	24
3 Розробка системи вимірювання параметрів установки	26
3.1 Інформаційно логічна схема.....	26
3.2 Колона.....	28
3.3 Схема дослідницької установки з Arduino.....	30
4 Вибір принципів вимірювання	31
4.1 Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини	31
4.2 Трубка Піто	36
4.3 Принцип дії трубки Піто. Авіація.....	41
4.4 Трубка Піто і трубка Прандтля	45
5 Вибір датчика тиску.....	51
5.1 П'єзорезистивний датчик	52
6 Вибір контролера (Контролер Arduino).....	55
6.1 Промислові контролери	55

6.2	Програмований логічний контролер	56
6.3	Контролер Arduino.....	61
7	Проведення експерименту	68
7.1	Програма обробки вимірної інформації.....	70
8	Результати експерименту	78
9	Діаграма результату проведення експерименту	80
10	Техніка безпеки.....	81
	Висновки	91
	Перелік джерел посилання	92

Передмова

У вищих навчальних закладах України впродовж десятиріччя склалися певні форми науково-дослідної роботи студентів:

—участь у різних видах навчальної аудиторної роботи (лекції, семінари, лабораторні заняття) з елементами наукових досліджень;

—індивідуальна робота викладачів зі студентами, які займаються науковими дослідженнями;

—науково-дослідна робота студентів у наукових гуртках, конструкторських бюро тощо;

—участь студентів-дослідників у постійних наукових проблемних групах;

—участь студентів у науково-практичних конференціях, наукових читаннях, семінарах та ін.;

—проведення наукових пошуків у процесі виконання різних видів практики в навчально-виховних закладах та на виробництві.

Кожна із зазначених форм науково-дослідної роботи є своєрідною і потребує творчого підходу до її організації. Бажано, щоб більшість студентів на засадах власного інтересу була охоплена тими чи тими формами науково-дослідної роботи. І знову ж таки ця діяльність повинна мати чітку організацію й достатнє економічне забезпечення.

Провідна мета педагогічних досліджень полягає у відкритті об'єктивних закономірностей навчання, виховання і розвитку особистості, у свідомому і цілеспрямованому використанні вже відомих закономірностей у практиці навчально-виховної роботи. Педагогічні дослідження мають бути спрямовані на вивчення конкретної діяльності, студентів, викладачів. Не можна задовольнятися лише пізнанням зовнішніх сторін навчально-виховного процесу.

Необхідно проникати у внутрішні процеси, явища, розкривати їх сутність, закономірності. Потрібно всебічно вивчати внутрішні суперечності явищ і процесів, досліджувати науково доцільні шляхи і засоби подолання виявлених суперечностей.

Суттєвим завданням методології педагогіки є забезпечення оптимальних організаційних форм педагогічних досліджень, дотримання системи і послідовності протікання дослідної роботи. Тому важливо визначити умови, за яких педагогічні дослідження можуть бути ефективними.

1 Аналітичний огляд

Псевдозрідження - перетворення шару зернистого матеріалу під впливом висхідного газового або рідинного потоку або інших фізико – механічних впливів в систему, тверді частинки знаходяться в підвішеному стані, і нагадує по властивостям рідина – псевдозріджений шар. Через зовнішні подібності з киплячою рідиною псевдозріджений шар часто називають киплячим шаром.

1.1 Фізична сутність і галузь промислового застосування

Процес взаємодії газів і рідин з твердими зернистими і пилоподібними матеріалами, при проведенні якого тверді частинки набувають рухливості один щодо одного за рахунок обміну енергією з псевдожижачим потоком через зовнішньої схожості з поведінкою звичайної крапельної рідини, називається псевдозрідження. Псевдозріджений шар приймає форму вміщує його апарату, поверхня шару (без урахування сплесків) горизонтальна. Одночасно виявляються і інші властивості, аналогічні властивостям рідини: плинність, в'язкість і поверхневий натяг. Тіла, які мають меншу щільність, ніж псевдозріджений шар, спливають в ньому, а більшу - тонуть.

Переваги

1. Тверді частинки в псевдозрідженому стані можна переміщати по трубах, що дозволяє багато періодичні процеси здійснювати безперервно.
2. Особливо вигідно застосування псевдозрідженим шаром для процесів, швидкість яких визначається термічним або дифузійним опором в газовій фазі. Ці опору в умовах псевдозрідження зменшуються в десятки, а іноді і в сотні разів, а швидкість процесів відповідно збільшується.
3. Завдяки інтенсивного перемішування твердих частинок в псевдозрідженому шарі практично вирівнюється поле температур, усувається

можливість значних локальних перегрівів і пов'язаних з цим порушень в протіканні ряду технологічних процесів.

Недоліки

1. Викликане інтенсивним переміщенням твердих частинок вирівнювання температур і концентрацій в шарі призводить до зменшення рушійної сили процесу.

2. Можливість пропуску значних кількостей газу без достатнього контакту з твердими частинками зменшує вихід цільового продукту.

3. Знос самих твердих частинок.

4. Ерозія апаратури.

5. Виникнення значних зарядів статичної електрики.

6. Необхідність установки потужних газоочисних пристроїв.

Процеси, в яких використовується псевдозрідження твердих частинок, знайшли широке застосування в різних галузях промисловості:

- хімічні (каталітичний крекінг нафтопродуктів, численні гетерогенні каталітичні реакції, газифікація палив, випал сульфідних руд і ін.);
- фізичні та фізико-хімічні (сушка дрібнозернистих, пастоподібних і рідких матеріалів, рудних концентратів, сублімаційний очищення газів, термічна обробка металів, нагрівання та охолодження газів і ін.);
- механічні (збагачення, класифікація, гранулювання, змішання і транспортування зернистих і пилоподібних матеріалів).

Деякі основні поняття. Типи і способи створення псевдозріджених систем. Найпростішу псевдозріджену систему створюють в заповненому шаром зернистого матеріалу вертикальному апараті, через днище рівномірно по перетину вводять інертний зріджуючий агент (газ або рідина). При його невеликій швидкості W зернистий шар нерухомий; з її збільшенням висота шару починає зростати (шар розширюється). Коли W досягає критичного значення, при k -ром сила гідравлічної опору шару висхідному потоку

зріджуючого агента стає рівною вазі твердих частинок, шар набуває плинність і переходить в псевдозріджений стан. Відповідну лінійну швидкість зріджуючого агента швидкістю почала псевдо зрідження або його першої критичної швидкістю W_k [для дрібних (розмір $\leq 0,1$ мм) частинок $W_k \sim d^2$, для великих (≥ 1 мм) — $W_k \sim \sqrt{d}$, де d -діаметр частинок].

Остання зменшується зі збільшенням щільності висхідного потоку.

При подальшому зростанні W гідравлічний опір шару залишається постійним, поки він не зруйнується і не почнеться інтенсивний винос зернистого матеріалу потоком з апарату. Що відповідає даному стану шару швидкість потоку зв. швидкістю винесення (своб. витання часток) або другий критичної швидкістю псевдозрідження ($W_{ун}$), що перевищує W_k в десятки разів. Якщо швидкість зріджуючого агента більше швидкості витання найбільших часток зрідженого матеріалу, шар повністю захоплюється потоком (див. Пневмо- і гідротранспорт).

У міру збільшення W порозність шару (частка обсягу, зайнятого зріджуючого агентом) зростає, тому середні концентрації твердих частинок в одиниці об'єму шару зменшуються. При цьому в разі псевдозрідження газом з'являються рухливі порожнисті неоднорідності-бульбашки (неоднорідний шар). При псевдозріджених рідиною шар, розширюючись, залишається істотно більш однорідним по локальних концентрацій частинок (однорідний шар). У разі псевдозрідження газом при підвищених тисках створюють псевдозріджений шар проміжного типу. [1]

Бульбашки в псевдозрідженому шарі

Найважливішими властивостями псевдозріджених шарів типу газ-тверде тіло є утворення в них бульбашок. Від їх розмірів (зазвичай 3-30 см, але спостерігаються бульбашки діаметром 0,5-0,7 м), загального числа, швидкостей підйому залежить макрозміщення газу і твердих частинок, а отже, і властивості шару як середовища для здійснення хіміко-технологічних процесів. У

промислових апаратах, діаметри яких брали в ~ 5 разів і більше перевищують можливі розміри бульбашок, картина їх руху залежить від розміру і щільності твердих частинок. За цими ознаками хридженого матеріали прийнято поділяти на групи А, В, С, D.

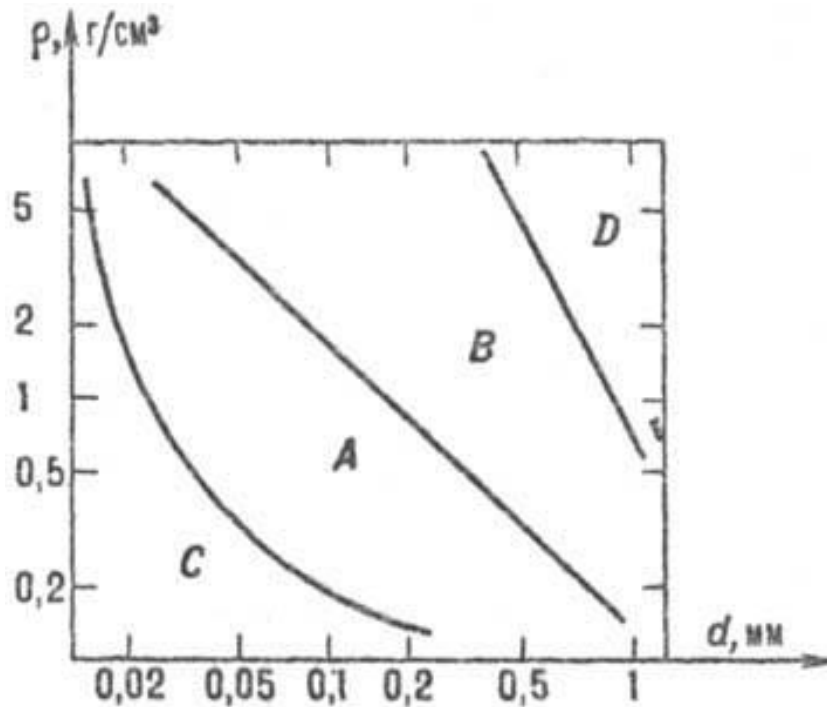


Рисунок 1.1 - Діаграма класифікації сипучих матеріалів в логарифмічною шкалою (A -D-групи матеріалів; ρ і d - щільність і діаметр твердих частинок)

У шарах часток групи А бульбашки зароджуються поблизу газорозподільної решітки. У міру спливання бульбашки ростуть за рахунок надходження газу з щільної фази і коалесценції. Одночасно спостерігаються акти руйнування бульбашок, утворення короткоживучих агломератів дрібних бульбашок, розділених прошарками твердої фази, к-які знову зливаються в один міхур. На відстанях 1,0-1,5 м від газорозподільні розміри бульбашок стабілізуються. Однак при цьому вони починають рухатися "ланцюжками", траєкторії яких брали змінюються. Масштаби щільних зон (т. Зв. Щільних пакетів) шару, що розділяють порожнисті неоднорідності, збільшуються.

Швидкості спливання бульбашок складають 0,7-1,0 м / с, в той час як швидкості зрідженого газу, віднесені до повного перетину шару, зазвичай не перевищують 0,4 м / с. Частка газу, що проходить шар у вигляді бульбашок, швидко зростає при видаленні від газорозподільні. Так, на відстані 0,2-0,5 м від решітки типу "пориста плита" у вигляді бульбашок рухається практично весь газ.

У псевдозріджених шарах матеріалів групи В картина руху бульбашок якісно не змінюється, але спостерігаються помітні кількостей. відмінності усереднених характеристик фази бульбашок. Напр., Зменшуються число актів руйнування і коалесценції бульбашок, а також частка газу, що проходить шар у вигляді бульбашок. У шарах матеріалів групи D характер руху бульбашок помітно змінюється. Бульбашки набувають "сплюснуту" форму, т. Е. Їх розміри по горизонталі стають істотно більше розмірів по вертикалі (див. Рис. 1.1.2.). При цьому швидкості спливання бульбашок менше швидкостей зрідженого газу. У шарах матеріалів групи С бульбашки не утворюються.

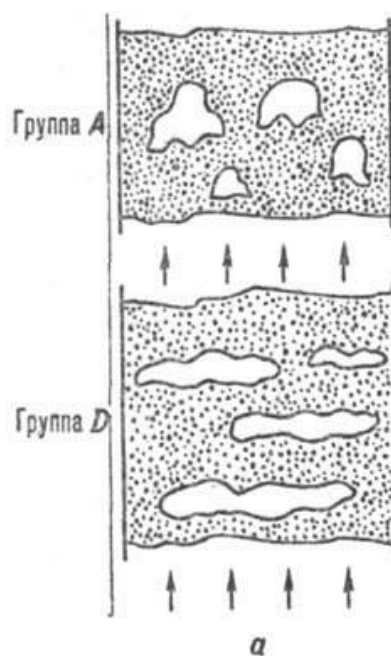


Рисунок 1.2- Бульбашки

Структура потоків в псевдозрідженому шарі спрощено описується моделлю, в якій можна виділити три механізми. По першому з них стосовно матеріалів груп А і В газ рухається через міхур від низу до верху під дією перепаду тисків, пропорційного висоті міхура. Якщо його швидкість перевищує швидкість газу, міхур "наздоганяє" і знову "всмоктує" газ. При цьому виникає стійке "хмара циркуляції" газу, з якого газ проникає в глиб щільних пакетів. За другим механізмом, зазвичай супутнього першому, перенесення газу між бульбашками і щільними зонами меж фазного обміну відбувається внаслідок деформації, руйнування бульбашок і утворення їх агломератів. Третій механізм передбачає участь в перенесенні газотвердих частинок.

Перенесення газу між бульбашками і щільними зонами зазвичай досліджують експериментально поєднують локальні криві вимивання міченого газу-тросера і локальні криві флуктуації щільності, що викликаються рухом бульбашок. Порівняння кривих в області шару, де сформувалися великі бульбашки, показує, що в міхурах вимірюються мінімальної концентрації тросера (щільність шару також мінімальна), а в щільних концентрації (щільність максимальна). Чим більше різниця концентрацій в міхурах і щільною зоні, тим менше коефіцієнт обміну (обмінні потоки газом між розрідженими і щільними зонами, віднесені до одиниці об'єму шару).

З аналізу кривих вимивання інертних тросера. Не слід, що при переході від матеріалів груп А і В до матеріалів групи D коефіцієнт обміну збільшуються на два порядки. Це пов'язано з тим, що газ проходить бульбашки, обганяючи їх, і "хмари циркуляції" зникають. Якщо газ-тросер, адсорбується частинками, то при зміні пакетів на бульбашки пульсації концентрацій тросера менше, т. е. коефіцієнт обміну зростають. Це пояснюється участю в перенесенні газу твердих частинок, і кількість стерпного газу тим вище, чим вище адсорбції. здатність частинок. Так, в пром. адсорберах коефіцієнт обміну в 100-1000 разів

більше, ніж в каталітичних реакторах, в яких брало адсорбції, перенос газу несуттєвий.

Бульбашки, спливаючи, перемішують тверді частинки. У грубому наближенні їх перемішування нагадує дифузію. Тому для опису перемішування зазвичай використовують дифузійну модель. При цьому коефіцієнт дифузії прийнято називати ефективним або коефіцієнтом перемішування. Тверді частинки також переносять газ, міститься в порах, вільний обсязі пакетів, і адсорбуються. Тому інтенсивність перемішування газу тим більше, чим вище здатність частинок адсорбувати газ.

Тверді частинки тепло переносний агент в псевдозрідженому шарі, оскільки їх об'ємні теплоємності на три порядки вище, ніж для газу. Значення коефіцієнт перемішування частинок досить великі для того, щоб шар був практично ізотермічний.

Теплообмін в псевдозрідженому шарі. Теплообмін між повністю твердих частинок і зрідженого газообміну не лімітує швидкість хіміко-технологічних процесів в шарі. Наприклад: при сушінні матеріалу, що містить поверхневу вологу, т-ра шару практично дорівнює т-ре мокрого термометра тобто встигає встановитися тримаючи. рівновагу в шарі, навіть якщо час перебування в ньому газу становить десяті частки секунди.

Одна з основних причин широкого застосування техніки псевдозрідження - інтенсивний теплообмін псевдозрідженого шару з повністю занурених у нього тіл або зі стінками апарату [коефіцієнт тепловіддачі $100-1000 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$]. Теплота передається: 1) через тонку газову прошарок (товщиною менше d), к-раю безперервно руйнується і оновлюється завдяки руху твердих частинок близько однієї із зазначених; 2) твердих частинок при їх контакті з теплообмінним часової пов-стю (різниця т-р окремої частки близька до різниці т-р пов-сті і шару, оскільки час контакту мало); 3) пакетам твердих частинок, к-які періодично змінюються у пов-сті або чергуються з бульбашками; 4) твердій

фазі, що рухається суцільним потоком в контакті з пов-стю. У високотемпературних псевдозріджених системах помітну роль відіграє також теплове випромінювання.

В рамках перерахування механізмів можна пояснити спостережувані закономірності теплообміну шару з до.-л. пов-стю. Ці механізми, як правило, діють сукупно, тому теплообмін не стаціонарний. Миттєві значення коефіцієнта тепловіддачі змінюються з періодичністю, що відповідає появі бульбашок у теплообміні пов-сті. У момент її контакту з бульбашками коефіцієнт тепловіддачі мінімальні і максимальні при контакті з щільними пакетами. Осереднені за часом коефіцієнти тепловіддачі (зазвичай застосовуються в інженерних розрахунках) зростають при збільшенні t -ри псевдозрідження, теплопровідностей газу і щільного шару часток, а також при зменшенні їх діаметра до тих пір, поки вони здатні до самостійно псевдозріджених (не належать до групи С). При збільшенні робочої швидкості газу W коефіцієнт тепловіддачі спочатку зростають внаслідок збільшення рухливості частинок і їх щільних пакетів. При подальшому зростанні W час контакту теплообмінної пов-сті з бульбашками збільшується і осереднення за часом коефіцієнт тепловіддачі зменшуються. Їх локальні значення істотно залежать від форми і конструкції теплообмінник пристроїв, а також від орієнтації останніх до напрямку руху газу. Так, для горизонтального циліндра коефіцієнт тепловіддачі в "лобовій" зоні м. б. в 3-4 рази більше, ніж в "кормової". Це доводить, що аналогія між шаром і рідиною має межі.

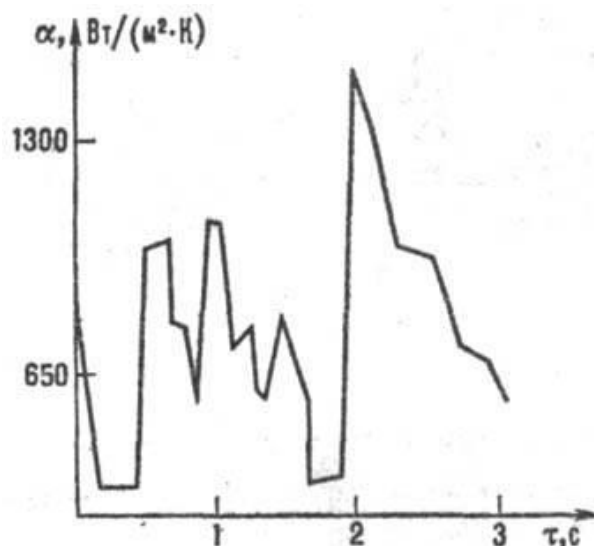


Рисунок 1.3 - Миттєві значення коефіцієнтів тепловіддачі від псевдозрідженим шаром до теплообмінної поверхні (т-час)

Переваги та недоліки псевдозрідженим шаром. Залежно від особливостей хіміко-технологічного процесу одні і ті ж властивості псевдозрідженого шару можна трактувати і як гідності і як недоліки. Так, винесення з шару дрібних частинок ускладнює здійснення каталітичних процесів, а при сушінні використовується для вивантаження готового продукту; при інтенсивному перемішуванні вирівнюється поле т-р і усувається можливість значить. локальних перегрівів, т. е. досягається ізотермічності шару (що важливо, напр., при переробці термолабільних матеріалів), проте знижується рушійна сила процесу і зростає неоднорідність обробки твердих частинок. Стираність їх в шарі може призводити, наприклад: до збільшення витрати каталізаторів, істот. витрат на пилеочистки відпрацьованих газів; проте, при випалюванні, хлорування або сушінні, супроводжуваних обсмолені повністю твердих частинок і стінок апаратів, стираність грає важливу роль.

Головні переваги апаратів з псевдозрідженим шаром перед застосовуваними в одних і тих же з ними хіміко-технологічних процесах апаратами з нерухомим або рухомим шаром зернистого матеріалу і апаратами типу "обертвий барабан": простота завантаження і переміщення зрідженого

матеріалу, а також вивантаження готового продукту; можливість розміщення всередині теплообмінних, газорозподільних або пристроями, що; інтенсивність теплообміну між псевдозрідженим шаром і пов-стю конструкцій елементів; легкість герметизації навіть при високих робочих тисках і т.д. Для мн. Хіміко-технологічних процесів одинична потужність агрегатів, що включають апарати з псевдозрідженим шаром, практично необмежена. Девідсон і Харрісон обчислювали максимальний розмір стійкого міхура, прирівнявши швидкість його підйому і експериментально виміряні швидкості витання часток. Вони виявляли залежність ставлення діаметрів міхура і частки (а не просто діаметра міхура) від розміру часток, різниці щільності твердого матеріалу і зрідженого агента і в'язкості останнього. Якщо в даній системі відношення діаметровпузиря і частки менше 1, то псевдозрідження слід вважати однорідним в діапазоні 1-10 псевдозрідження носить перехідний характер від однорідного до неоднорідного якщо зазначене відношення перевищує 10, можна впевнено очікувати інтенсивного утворення міхурів. Даний підхід, безсумнівно, обґрунтований і узгоджується з експериментом однак, розміри бульбашок, розраховані за згаданим відношенням, виявляються менше зазвичай спостерігаються в неоднорідних псевдозріджених системах.

При здійсненні технологічних процесів з псевдозрідженим шаром зазвичай прагнуть до найбільшої рівномірності псевдозрідження (виключаючи специфічні випадки, коли нерівномірність закладена в самому принципі даної модифікації псевдозрідженого стану, наприклад при фонтанування). Ідеальна ж однорідність псевдозрідженого шару зазвичай не є його оптимальним станом, так як при відсутності пульсацій тиску, порозности і швидкості немає інтенсивного перемішування твердого матеріалу, і в певній мірі втрачаються основні переваги псевдозріджених систем.

На однорідність псевдозрідженого шару впливають експлуатаційні та конструктивні характеристики системи, а також деякі властивості твердих

частинок. Великі бульбашки утворюються зазвичай при псевдозріджених частинок великого розміру. При інших рівних умовах однорідність слою погіршується з ростом розміру часток.

Відмічуване вплив на теплообмін діаметра і висоти шару пояснюється, мабуть, зв'язаних зміною гідродинамічної обстановки в системі. Як було показано в розділі V, від діаметра апарату в значній мірі залежить напрямок циркуляційних потоків частинок твердого матеріалу, характер яких, мабуть, певною мірою залежить і від висоти шару. Крім того, залежить однорідність псевдозріджених систем, що впливає також на величину a . Оскільки в залежності від конкретних умов (геометричні характеристики шару і поверхні теплообміну, розміри частинок, швидкість і властивості зрідженого агента) Можна очікувати різного впливу зазначених параметрів) на однорідність системи, то ці параметри можуть по-різному впливати і на величину a .

Струменеві псевдозріджених зернистого шару

Збільшення розмірів утворився факела супроводжується періодичною зміною його форми з еліптичної до грибовидної і відбувається в фільтрі шарі, утвореному перед фронтом факела за рахунок стоку газу в шар. Важливо підкреслити, що за характером циркуляції частинок в каверні, по зміні форми головного часті факела протягом стаціонарного зернистого шарі якісно ідентично струменевого течії в псевдозрідженому шарі. Однак на відміну від псевдозрідженим шаром, в стаціонарному не відбувається повного перекриття каналу і від'єднання його від набряклої верхній частині, що представляє собою газовий міхур.

Розглянуто створення нових апаратів з стійкими структурами зернистих шарів. В основу розробки таких апаратів, успішно впроваджених в промишленість, покладений принцип паралельно-струминного секціонування реакційного обсягу. З єдиних позицій розглянуто закономірності розвитку одиничних і обмежених струмін різних типів в концентрованих

дисперсних системах-нерухомому і псевдозріджених зернистих шарах стосовно завдань розрахунку і конструювання апаратів і установок для сушіння, випалу і грануляції різних продуктів.

У книзі детально аналізується процес руйнування зернистого шару потоком газу, що супроводжується утворенням струменевих факелів або каналів, наводяться результати широкого експериментального дослідження розвитку і поведінки струменів різних типів в нерухомому і псевдозрідженому шарі. На основі цих досліджень формується система фізичних уявлень про механізми, що обумовлюють спостережувані закономірності струменевих течій розвиток каверн, схлопування струменів, утворення пухирів, циркуляція газу і твердого матеріалу, і міхурів і т.п.

Струменеві течії газу в зернистому шарі можуть бути дуже різними за формою перебігу, природі газу (поток) в початковому перерізі струменя і, нарешті, характеру навколишнього середовища. З усього різноманіття струменевих течій можна виділити два основних типи, розрізняються принципово. По-перше, струмінь або колектив струменів можуть вводитися в нерухомий зернистий шар матеріалу зі збереженням його нерухомого стану або з можливим встановленням псевдозрідженого стану, починаючи з деякого рівня над газорозподільної ґратами. В обох випадках маємо до збереження рівноваги шару задачу про поширення струменя в нерухомому шарі зернистого матеріалу. По-друге, струмінь або колектив струменів можуть вводитися в зріджений або майже зріджений зернистий шар для поліпшення якості поліпшення якості псевдозрідження або для інтенсифікації обмінних процесів. В цьому випадку приходимо до задачі про розподіл струменя в псевдозрідженому шарі зернистого матеріалу.

При подальшому збільшенні числа псевдозрідження область, в якій вага частинок компенсується гідравлічними силами в повному обсязі і можливо утворення застоюних зон і сповзання шарів сипучого матеріалу, монотонно

скорочується аж до досягнення граничної конфігурації, вирахованого за рівнянням при $P = 0$. Дослідження розмірів і форми цієї області може виявитися корисним для оцінки величини і конфігурації застійних зон, що виникають при струменевому вдювом газу в попередньо зріджений зернистий шар.

Рішення важливою в практичному відношенні завдання заданої структури шару (висоти струменевої зони, кінцевого розміру міхура і ін.) З конструкцією решітки в даний час може бути наближено виконано на базі теорії обмежених струменевих течій в зернистому шарі, при організації міжфазного взаємодії в концентрованих системах газ-тверді частинки методами паралельно-струминного секціонування реакційної зони апарата (методами струминного псевдозрідження).

На практиці наявність струменевих або відривних течій, застійних зон, циркуляції потоку в апараті, різких його поворотів при ударі об перешкоду, коли протягом вироджується в інтенсивний потік уздовж перешкоди, і інші причини відміну дійсної картини перебігу потоків від режиму ідеального змішання. Ні класична осередкова модель, ні дифузійна модель в цьому випадку не описують фактичний режим течії обробки середовища в апараті. У той же час такі гідродинамічні умови часто можна зустріти в промислових установках, наприклад в апаратах з мішалками або в апаратах з псевдозрідженим шаром зернистих матеріалів. У цих випадках доцільно розглядати реальний апарат як сукупність взаємопов'язаних областей потоку.

Розвиток горизонтальної струменя в псевдозрідженому шарі супроводжується ефектами, аналогічними розглянутим вище (освіту факела в шарі, зародження міхура і ін.) І характерними для розвитку вертикальної струменя. Відмінною особливістю горизонтальної струменевої течії є викривлення факела і витіснення його вгору. При закінченні в нерухомий шар зернистого матеріалу струмінь загинається зазвичай на 180° , утворюючи еліпсовідмінну каверну з круговими рухами частинок на кордонах. Такий

характер перебігу зберігається при числах псевдозрідження шару аж до значень $\text{Ж} 0,6$. При $\text{Ц} > 0,6$ кут загину струменя різко зменшується, і в псевдозрідженому шарі ($\text{I} > 1,0$) викривлення аеродинамічній осі факела подібно викривлення осі потоку, закінчується горизонтально в середу більшої щільності. Струмінь спочатку закінчується горизонтально, а потім плавно загинається на 90° і виходить із шару, утворюючи вертикальний канал.

На даний час немає єдиної думки про методи оцінки і вимірювання якості псевдозрідження. Одні автори використовують вимірювач ємності Морса і Баллоу / I /, інші судять про однорідність шару з поглинання рентгенівських променів, по перемішуванню в шарі мічених частинок, по порозности, по відношенню спостережуваного перепаду тисків до теоретичного, по величині числа Фруда, за ступенем нестійкості, з допомогою фотометричних методів реєстрації пульсацій тиску т.д. Однак ці визначення характеризують якість псевдозрідження з точки зору флуктуацій порозности, але не враховують наявності малорухомих / застійних / зон у обичайки і безпосередньо на решітці.

Вплив розміру форми і питомої ваги частинок ϵ , мабуть, два інтервали розмірів частинок, в кожному з яких зміна розмірів по-різному впливає на якість псевдозрідження. Для відносно великих часток однорідність слою підвищується зі зменшенням їх розміру. Однак, при надмірному зменшенні розмірів частинок нижче певної межі зростають сили зчеплення між ними, що сприяє агломерації частинок. Судячи з літературними даними цей "критичний" розмір часток близький до 40-70.

При попередньому описі розширення псевдозрідженого були приведені схематичні криві, що показують межі існування однорідного і неоднорідного псевдозрідження в залежності від діаметра зерен і відносини їх щільності до щільності потоку. Межі ці, однак, до деякої міри умовні, оскільки бульбашки, поршні і інші неоднорідності спостерігається і в шарах, псевдозріджених рідиною, але лише з меншою інтенсивністю. Очевидно, необхідно ввести

якийсь кількісний показник степені неоднорідності киплячого шару, який в тій чи іншій мірі зміг би замінити не зовсім певну якісну характеристику - однорідний або неоднорідний.

Як зазначалося вище, сірчаний колчедан і недогарок представляють собою дрібні полідисперсні частки найрізноманітнішої конфігурації, розмір яких впливає на однорідність киплячого шару. Киплячий шар, що складається з суміші часток недогарка, які різко розрізняються за розміром, завжди неоднорідний. У монодисперсному шарі при підвищенні швидкості газового потоку вище швидкості, відповідної початку псевдозрідження, втрата напору залишається рівною вазі шару, що припадає на одиницю площі перетину апарату. Для полідисперсного шару характерний поступовий перехід в псевдозріджений стан. Псевдозрідження не настає при якійсь одній строго певній швидкості газового потоку. Спершу в псевдозріджений стан переходить в дрібні частинки, потім (у міру збільшення швидкості газового потоку) псевдоожіжаються все більші частки, аж до закипання всього шару. При подальшому підвищенні швидкості газового потоку і досягненні швидкості початку псевдозрідження шару насамперед будуть виноситися найбільш дрібні частинки, а потім все більші. [2]

1.2 Моделювання

Для складних систем та їх складових частин доводиться застосовувати різні методи та моделі, обираючи кожного разу найбільш «інформативні» які дозволили би давати оцінки з необхідною точністю і вірогідністю. Особливо це важливо при розробці коштовного обладнання, що працює в умовах великих навантажень.

Під час розробки технологічних систем і окремих машин та апаратів велику роль відіграє визначення принципів моделювання технологічних

процесів шляхом уніфікації процедур побудови моделей складних систем та розробки базових засад щодо вдосконалення методології моделювання.

Процес моделювання починається з обґрунтування раціонального обсягу випробувань для оцінки (або підтвердження) технічних характеристик.

При побудові математичної моделі реальне явище спрощується, схематизується й отримана схема описується залежно від складності явища за допомогою того або іншого математичного апарата.

У моделі повинні бути враховані усі найбільш істотні фактори, що впливають на процес, і разом з тим вона не повинна бути захаращена безліччю дрібних, другорядних факторів, які тільки ускладнять математичний аналіз і зроблять дослідження не придатними для подальшого використання.

Необхідно, щоб модель вірно описувала якісні й кількісні властивості процесу, який моделюється, тобто вона повинна бути *адекватна* процесу.

Кінцевою метою розробки математичних моделей є прогноз результатів проведення процесу й вироблення рекомендацій з можливих впливів на його хід. При відсутності достатньої інформації про досліджувані явища їх вивчення починається з побудови найпростіших моделей, але без порушення основної (якісної) специфіки досліджуваного процесу.

Основні цілі моделювання:

- опис об'єкта;
- пояснення об'єкта;
- прогнозування поведінки й властивостей об'єкта.

Математичне моделювання включає три етапи:

- 1) формалізацію досліджуваного процесу – складання математичного опису його моделі;
- 2) створення алгоритму, що моделює досліджуваний процес;
- 3) установлення адекватності моделі досліджуваному об'єкту.

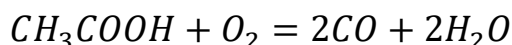
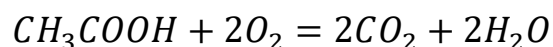
Методи математичного моделювання в комбінації із сучасними обчислювальними засобами дозволяють при відносно невеликих матеріальних витратах досліджувати різні варіанти апаратного оформлення процесу, вивчити його основні особливості й розкрити резерви вдосконалення. При цьому в рамках використовуваної моделі майже завжди гарантується відшукання оптимальних розв'язків.

При математичному моделюванні процес досліджують, змінюючи різні параметри, що зв'язані у вигляді математичної моделі, на ЕОМ. Це дозволяє швидко одержувати відомості про різні варіанти досліджуваного процесу. Важливо відзначити, що здійснити оптимізацію математичної моделі й, як наслідок, самого процесу можна у відносно короткий термін шляхом відтворення оптимальних варіантів моделі. Математичне моделювання набагато дешевше фізичного моделювання незалежно від того, виражені вартості в грошах або в часі.

2 Визначення переліку параметрів, що характеризують стан технологічного процесу

Технологія знешкодження рідких відходів із застосуванням рідких реагентів-відновлювачів відбувається з процесами випару рідини безпосередньо в реакційній зоні на поверхні часток диспергованого матеріалу. Застосування псевдозрідженого шару часток диспергованого матеріалу дозволяє здійснювати хімічну взаємодію речовин незалежно від їхнього агрегатного стану.

Процес описується наступними сумарними рівняннями:



Рідина (без попереднього випару) уводиться безпосередньо в шар псевдозрідженого каталізатора. Перевагою реактора, розробленого для реалізації такого процесу, є сполучення зон випару й реакції в одному апараті. При цьому тепло реакції окиснення повністю або частково використовується для випару рідини й нагрівання реагентів.

Можливість здійснення такого технічного рішення впливає з особливостей явища псевдозрідження твердих часток. У шарі каталізатора відбувається вирівнювання градієнта температур. При безпосередньому контакті рідкого реакційного потоку з розігрітою каталітичною масою відбувається інтенсифікація массо- і теплообмінних процесів і вирівнювання температури реагентів і каталізатора. У цьому й полягає основна перевага застосування псевдозрідженого шару каталізатора перед стаціонарним, тому що для останнього характерний певний градієнт температур по перерізу й висоті шару каталізатора, що знижує ефективність процесу.

Розробка технології термokatалітичного окиснення органічних речовин у реакторі із псевдозрідженим шаром дозволила ефективно знешкодувати промислові стічні води з різним змістом органіки в інтервалі температур 400 ... 600[°C]. Для процесу застосовуються міднохромові катализатори, нанесені на сферичний оксид алюмінію. Окиснення органічних складових стоків відбувається до утворення термодинамічно стійких продуктів: діоксиду вуглецю й води. Надлишок кисню підтримується в межах 1.05...1.1.

Вибухобезпечність технології забезпечується застосуванням псевдозрідженого шару твердого матеріалу, що має властивості гасити виникаюче полум'я. Рекомендоване значення порізності псевдозрідженого шару катализатора становить 0.56...0.58 при діаметрі часток катализатора не більш 2 [мм].

Для зіставлення активності ряду каталітичних систем при окисненні різних класів органічних сполук уведене поняття граничного навантаження по вуглецю. Граничне навантаження – це величина, що забезпечує концентрацію монооксиду вуглецю в газах, що відходять, до 20 [мг/м³] (ПДК робочої зони).

3 Розробка системи вимірювання параметрів установки

Для попереднього аналізу об'єкта будується його інформаційно-логічна схема, яка у графічному вигляді відображає інформаційні взаємозв'язки параметрів.

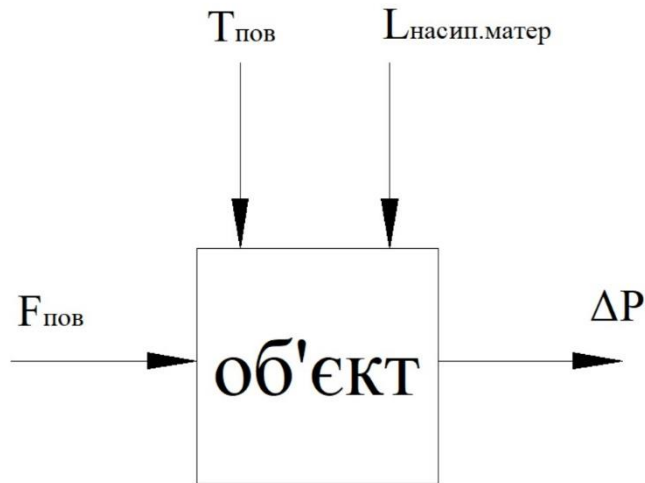
3.1 Інформаційно логічна схема

Об'єкт складається з окремих елементів, або ланок. Лінії, що зображують канали передачі інформації в об'єкті, по суті є їхніми зв'язками. По лініях зв'язку від одної ланки до іншої передається інформація. Кожна ланка системи має вхід і вихід. У кібернетичному розумінні такий об'єкт являє собою не розрізнене скупчення окремих елементів, а зв'язану інформаційну мережу.

Вхідні параметри системи ділять на керуючі та збурюючі.

Збурюючі параметри z_k є кількісною характеристикою зовнішніх і внутрішніх збурень, які завжди мають місце. Вони намагаються протидіяти бажаному протіканню процесів, відхилюючи їх від завданого напрямку. Збурюючі параметри не піддаються цілеспрямованій зміні, тобто ними не можна управляти.

Для забезпечення належного протікання процесів (підтримці вихідних параметрів на завданому рівні) та компенсації дії збурень, на систему впливають керуючими параметрами $F_{\text{пов.}}$. Значення цих параметрів вимірюють і мають змогу впливу на них за допомогою керуючих органів. Як правило, керуючими параметрами є витрати, їх величину змінюють, наприклад, за допомогою запірної арматури, що встановлена на трубопроводах.



$F_{\text{пов}}$ – керуючі параметри;

ΔP – вихідні параметри (параметри стану);

$L_{\text{насип.матеріал}}$ – збурюючі параметри.

Розглянемо установку з псевдозрідженим шаром насипного матеріалу.

Керуючим параметром установки є витрати повітря від газодувки. Витрати повітря змінюються запірним вентиляем, що встановлений на виході газодувки.

Параметром стану установки (вихідний інформаційний параметр) є перепад тиску, що утворюється на насипному матеріалі. Цей параметр вимірюється як різниця тиску в нижній та верхній частинах колонки.

Задачею проведення експерименту є збір даних для визначення аналітичного виду залежності між керуючим (вхідним) параметром та параметром стану (вихідним).

Перед проведенням експерименту необхідно визначити діапазон зміни керуючого параметру.

3.2 Колона

На цьому рисунку ми відобразили нашу колону, яку використовуємо у дослідженнях.

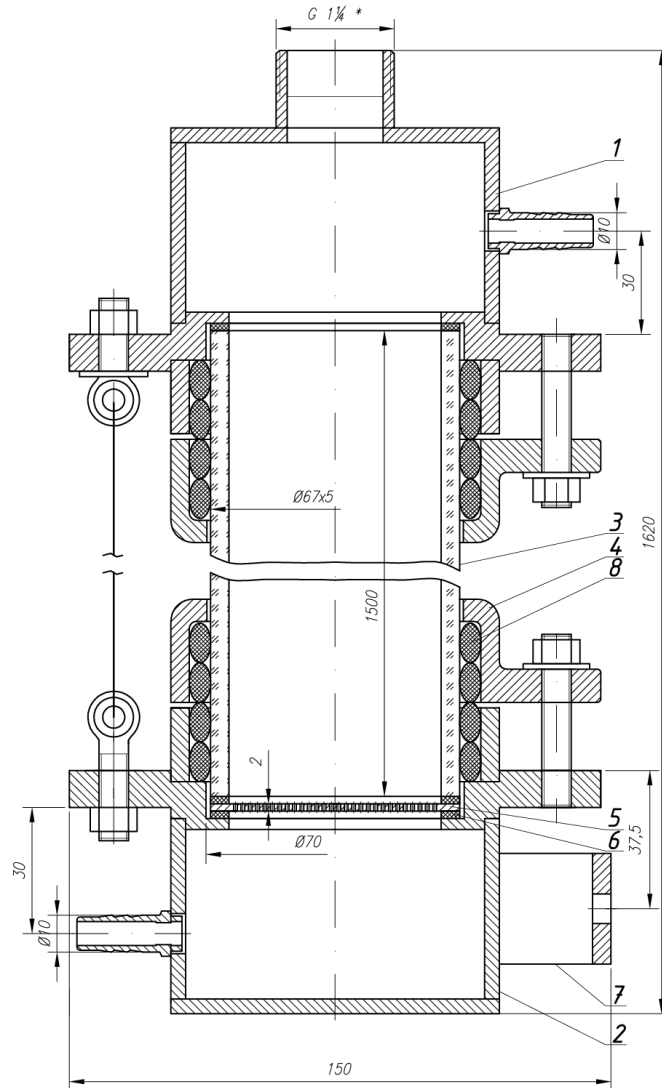


Рисунок 3.1 – Колона

- 1 – верхня камера; 2 – нижня камера; 3 – скляна трубка;
 4 – ущільнючий фланець; 5 – газорозподільна решітка;
 6 – прокладки; 7 – опора; 8 – ущільнючі кільця.

Установка складається з верхньої камери (1), яка має вигляд циліндричної обичайки, до якої приварені днище та фланець. В циліндричну обичайку вварені два штуцера діаметром 10 мм, для виміру тиску. На днищі є також штуцер $1\frac{1}{4}$ " для виводу повітря з апарату.

На нижній камері (2) розташовано 3 штуцера діаметром 10 мм для подачі газу як імпульсне, так і с постійною витратою. Також до кришки приварена опора (7), яка тримає апарат. Тиск в камері досягає 0.4 МПа.

Скляна трубка (3) виступає в ролі реактора. В неї засипається зернистий матеріал, а в нижню камеру подається газ, який проходить через газорозподільну решітку (5), що призводить до процесу псевдозрідження у трубці. Висота скляної трубки 1.5 м, внутрішній діаметр – 57 мм.

Зернистий матеріал – синій поліетилен у вигляді луски.

Газорозподільна решітка (5) представляє собою перфоровану пластину з діаметром отворів 1 мм.

Матеріал для виготовлення верхньої і нижньої камер – СтЗсп5.

Верхня та нижня камери стягуються між собою дротом, що прикріплений до болтів з отворами.

Для забезпечення імпульсної подачі повітря застосовується електромагнітний клапан, що регулює частоту імпульсів та паузи між ними. Максимальна частота до 4 Гц.

3.3 Схема дослідницької установки з Arduino

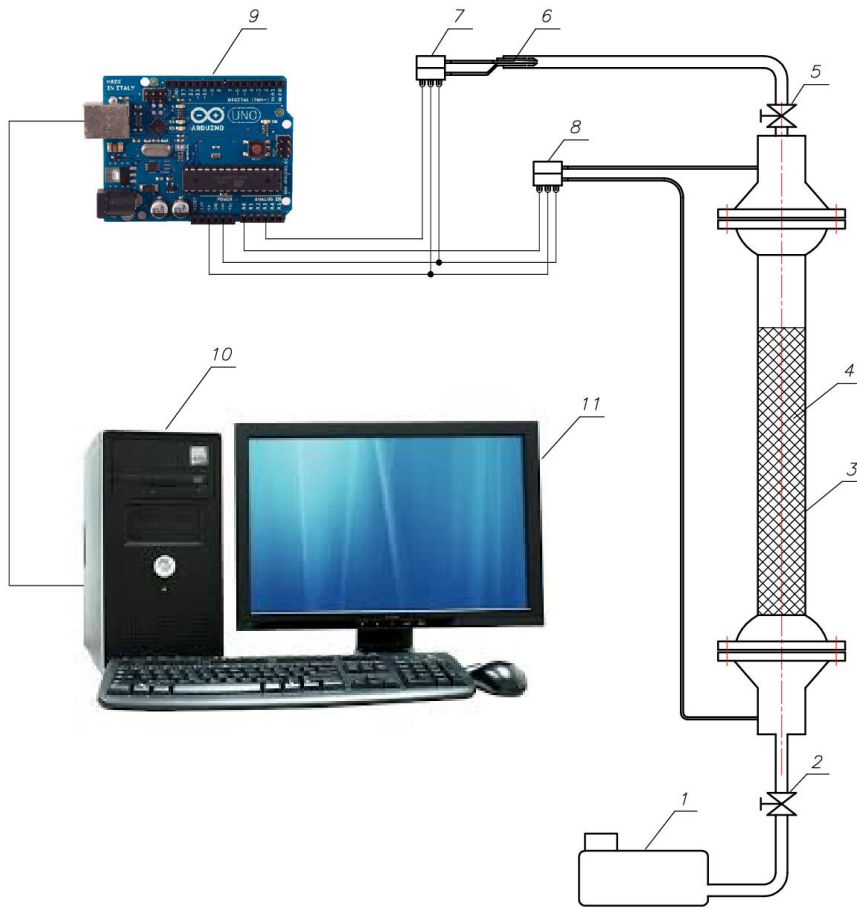


Рисунок 3.2 – Схема дослідницької установки з Arduino

1. – компресор;
2. – вхідний вентиль;
3. – скляна колонка;
4. – насипний матеріал;
5. – вихідний вентиль;
6. – трубка Піто-Прандтля;
- 7,8. – дифманометр;
9. – мікроконтролер Arduino;
10. – комп'ютер дослідника;
11. – монітор дослідника.

4 Вибір принципів вимірювання

Для більш якісного розрахунку в наших дослідах ми взяли для використання рівняння Бернуллі.

4.1 Рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини

Рівняння Бернуллі (англ. Bernoulli's theorem; нім. Bernulligleichung) — рівняння гідроаеромеханіки, яке визначає зв'язок між швидкістю рідини, тиском в ній та висотою частинок над площиною відліку. Рівняння Бернуллі є наслідком закону збереження енергії. Якщо рідина не ідеальна, то її механічна енергія розсіюється і тиск вздовж трубопроводу, яким тече така рідина, спадає. Рівняння Бернуллі широко застосовують для розв'язання багатьох гідравлічних задач у нафтогазовій справі. Виведене Данилом Бернуллі в 1738 р.

Основні поняття

- **Питома енергія** - це енергія , віднесена до одиниці маси
- **Механічна енергія** — енергія, яку фізичне тіло має завдяки своєму рухові чи перебуванні в полі потенціальних сил.

Механічна енергія дорівнює сумі кінетичної та потенціальної енергії тіла.

Види механічної енергії:

- *Кінетична енергія* - стосується тіл, що знаходяться в русі: поступальному і обертальному.
- *Потенціальна енергія* - пов'язана з впливом полів потенціальних (наприклад, гравітаційних) сил та пружними деформаціями тіла.

Втрати енергії реальної рідини

Причиною появи в реальних рідинах гідравлічних опорів є фізична властивість рідин чинити опір дотичним напруженням, що виникають при русі рідини в результаті в'язкого тертя, а також інерційним силам.

Таким чином, розрізняють два види втрат енергії або напору: *втрати енергії по довжині* та *місцеві втрати*.

Втрати енергії по довжині зумовлені гідравлічними опорами по довжині потоку в результаті роботи сил тертя.

Місцеві втрати енергії зумовлюються так званими місцевими гідравлічними опорами, тобто опорами, які виникають у місцях різкої зміни значення й напрямку швидкості на ділянках різкої зміни конфігурації потоку.

Виведення рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини

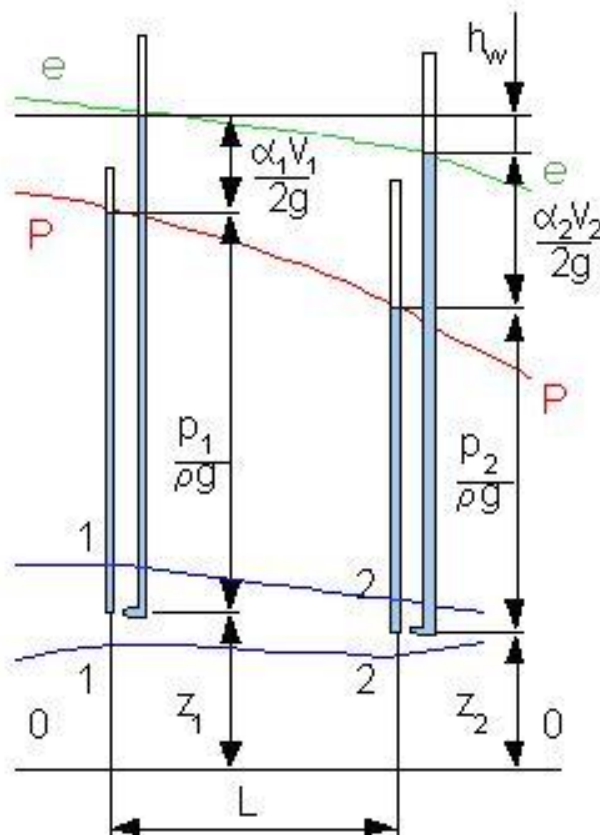


Рисунок 4.1 – Потік в'язкої рідини

Розглянемо стаціонарний потік в'язкої рідини, який будемо вважати за сукупність елементарних струминок.

У потоці скінченних розмірів у кожній струминці висота положення, тиски й швидкості неоднакові у різних точках поперечного перерізу. Це означає, що частинки рідини в різних точках поперечного перерізу мають різну питому енергію. Інакше можна сказати, що

кожна елементарна струминка в поперечному перерізі має свій повний напір :

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g}$$

Енергію за одиницю часу, яку має рідина в елементарній струминці при площі живого перерізу wd , можна записати так:

$$\left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right) \rho g u d\omega$$

Для того щоб визначити сумарну енергію потоку в будь-якому живому перерізі, треба підсумувати енергію рідини в усіх елементарних струминках в даному поперечному перерізі. Отже, сумарна енергія рідини яка проходить через даний живий переріз потоку за одиницю часу, виразиться:

$$\int_{\infty} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right) \rho g u d\omega$$

Питома енергія усього потоку E_n , який проходить через даний переріз за одиницю часу, визначиться як відношення всієї сумарної енергії потоку до кількості рідини, що протікає через цей же переріз і за цей час, тобто:

$$E_n = \frac{\int_{\infty} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g} \right) \rho g u d\omega}{\int_{\infty} \rho g u d\omega}$$

Позаяк при паралельно-струминному або плавно-змінному русі в будь-якому живому перерізі $z + p/\rho g = \text{const}$, а інтеграл:

$$\int_{\infty} u d\omega = v\omega$$

отже, попередній вираз можна записати так:

$$En = \rho g \frac{\left(z + \frac{p}{\rho g}\right) \int_{\infty} u d\omega}{\rho g \int_{\infty} u d\omega} + \frac{\int_{\infty} \frac{u^2}{2g} d\omega}{v\omega} = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\int_{\infty} \frac{u^2}{2g} d\omega}{v\omega}$$

Помноживши і розділивши останній член на V^2 , одержимо:

$$En = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g}$$

$$\alpha = \frac{\int_{\infty} u^2 d\omega}{v^3 \omega} \quad \text{де - коефіцієнт кінетичної енергії (коефіцієнт Коріоліса)}, \text{ який показує, у скільки разів дійсна кінетична}$$

енергія більша від обчисленої за середньою швидкістю. Значення коефіцієнта залежить від ступеня нерівномірності розподілу швидкостей по живому перерізу і для різних епюр швидкостей має різні значення, які завжди більші за одиницю.

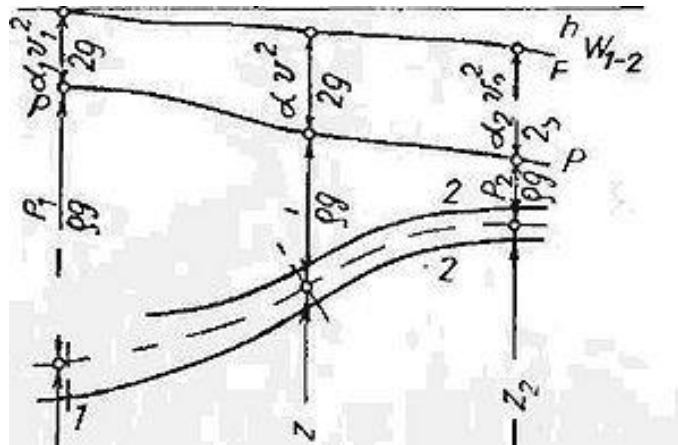


Рисунок 4.2 – Лінія початкового значення напору

Кінцевий вигляд рівняння

З урахуванням наведеного рівняння балансу питомої енергії для стаціонарного руху реальної рідини для перерізів 1—1 і 2—2 (рис.2) можна записати у вигляді

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{W1-2}$$

де , V_1, V_2 - середні швидкості руху рідини;

α - коефіцієнт кінетичної енергії, величина якого для турбулентних потоків як в трубах, так і у відкритих руслах $1 \leq \alpha \leq 1,1$.

h_{w1-2} - питома енергія рідини, витрачена на подолання сил опору руху потоку на ділянці між перерізами (втрати енергії). Рівняння балансу питомої енергії називають *рівнянням Бернуллі для потоку в'язкої рідини*

Неправильне застосування закону Бернуллі

Донедавна пояснення підйимальної сили літака виглядало так: крило має особливу будову — знизу воно пряме, а його верхня частина заокруглена. Це дозволяє збільшити довжину верхньої частини контуру профілю крила. Згідно із законом Бернуллі, із збільшенням швидкості тиск зменшується. А оскільки повітря долає шлях під крилом та над крилом за однаковий проміжок часу, під крилом виникає область із збільшеним тиском, що зумовлює підйом літака у повітря. Таким чином виникає підйомна сила.

Проте, згідно з сучасними уявленнями, підйимальна сила крила виникає не внаслідок додання повітрям більшого шляху на верхній поверхні крила за той самий час. Рух повітряної маси перед крилом можна вважати суцільним, він характеризується одним показником швидкості. Коли повітряна маса контактує з крилом, вона розбивається на дві частини, які, внаслідок несиметричного обтікання, мають різні швидкості і це зумовлює різний тиск. Однак, на відміну від колишніх уявлень, ці повітряні потоки насправді не поєднуються на кінці крила і тому більша довжина верхньої частини контуру профілю крила не означає більшої швидкості руху повітря. Отже, хоча закон Бернуллі і можна застосувати для повітряних мас, які розсікаються крилом (більша швидкість зумовлює менший тиск), проте він один не пояснює підйимальну силу крила.

Для повного пояснення слід також застосовувати теорему Кутта-Жуковського та умову Кутта-Жуковського

Умови застосування рівняння Бернуллі

1. Рух, що встановився; з масових сил діє тільки сила тяжіння.
2. Перетини беруться тільки там, де потік паралельно стрімчастий або плавно змінюється. При цьому зовсім не обов'язково, щоб потік на всій ділянці між розглянутими перерізами був близьким до паралельно стрімчастого.
3. Для стисливої рідини рух має відбуватися при постійному тиску і температурі без розривів струменів і утворень пустот. Перерізи потоку плоскі і перпендикулярні векторам швидкості.[3]

Для реалізації методу вимірювання витрати за допомогою рівняння Бернуллі застосовуємо трубку Піто-Прандтля.

4.2 Трубка Піто

Трубка Піто - це прилад для вимірювання швидкості і витрати рідини або газу в потоці (трубі). Названа ім'ям її винахідника французького ученого Анрі Піто.

Трубка Піто – це інструмент для виміру тиску, що використовується для вимірювання швидкості потоку рідини. Трубка Піто була винайдена французьким інженером Анрі Піто на початку 18 століття і була змінена до свого сучасного вигляду в середині 19-го століття французький вчений Анрі Дарсі. Трубка Піто широко використовується для визначення швидкості польоту літаків і вимірювання повітря і швидкості газу в промисловості. Трубку Піто використовується для вимірювання місцевої швидкості в даній точці потоку, а не для визначення середньої швидкості в трубі або трубопроводі. Трубкою Піто (названа на честь Генрі Піто в 1732 році) вимірює швидкість рідини шляхом перетворення кінетичної енергії потоку в потенційну енергію.

Перетворення відбувається в критичній точці, розташованій на вході трубки Піто (див. схему нижче). Тиск вище вільного потоку (тобто динамічний) - тиск результату перетворення кінематичної енергії в потенційну. Це "статичний" тиск визначають порівнянням його з динамічним тиском потоку виміряного диференціальним манометром.

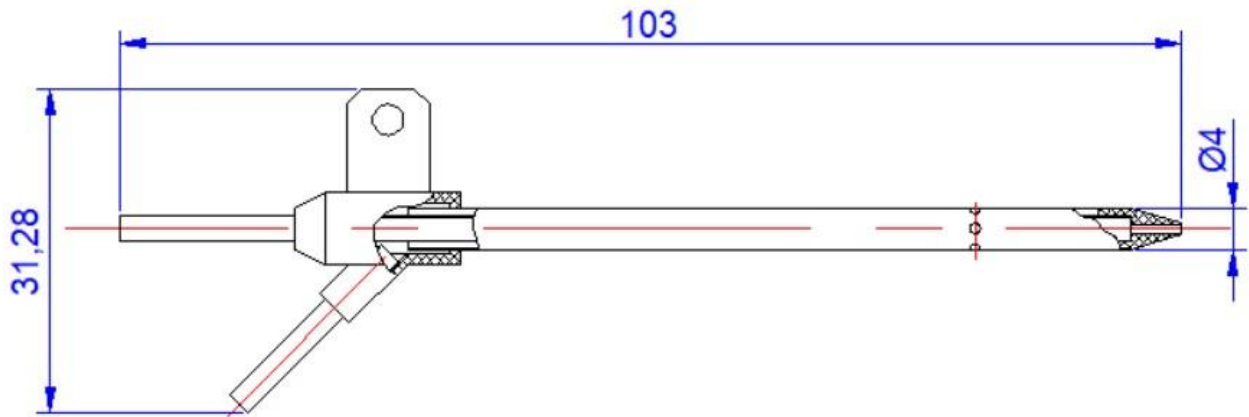


Рисунок 4.3 – Трубка Піто

Принцип роботи

- Найпростіший варіант приладу являє собою Г-подібну трубку, введену в потік. В цьому випадку надлишковий тиск в трубці виражається наступним чином (наближене вираження):

$$p_{\partial} \approx \xi \frac{\rho V_o^2}{2}$$

де ρ - густина рухомого середовища, що набігає; v_o - швидкість набігаючого потоку; ξ - коефіцієнт.

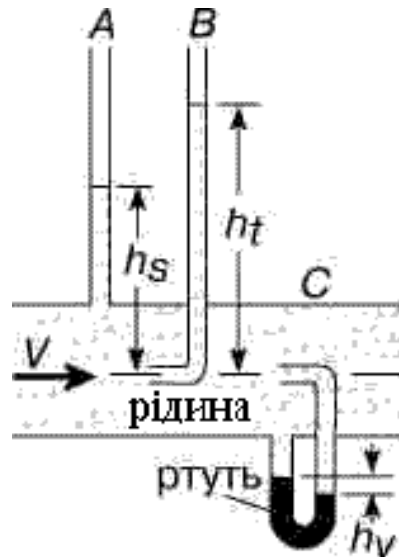


Рисунок 4.4 – Рідини

- Рідина, що рухається по трубці, піднімається по відкритій зверху манометричній трубці до висоти h_s в трубці А (Рис.4.2.2).
- Висота h_s показує, наскільки статичний тиск в рідині більше барометричного (атмосферного), і називається **статичним напором**.

Отже, висота h_s визначається за допомогою формули:

$$h_s = \frac{p_s}{\rho g}$$

де p_s - різниця між статичним тиском в потоці рідини

і барометричним тиском; ρ - густина рідини;

g - прискорення сили тяжіння.

Зазначимо, що вимірювальний отвір у стінці труби виконується строго перпендикулярно до напрямку течії, отже, висота підйому рідини в манометричній трубці характеризує тільки статичний тиск і не залежить від швидкості течії.

Якщо цю трубку опустити всередину труби і зігнути під кутом 90° , направивши її прийомний отвір назустріч потоку, трубка **В** (Рис. 4.2.2), то рідина перед ним буде гальмуватися до нульової швидкості. Тепер висота стовпа буде складатися з статичного напору і додаткової висоти, яка називається *швидкісним напором*. Швидкісний напір дорівнює різниці між висотою h_t стовпа повного напору і висотою h_s .

Сума статичного та швидкісного напору називається *повним напором*. Швидкість течії можна обчислити за формулою:

$$V = \sqrt{2g(h_t - h_s)}$$

Замість двох трубок **А** і **В** можна використовувати комбіновану трубку **С** (Рис.4.2.2), і різниця висот рівнів ртуті в двох колінах трубки буде характеризувати швидкісний напір. Внаслідок більш високої щільності ртуті ($13,5 \text{ г/см}^3$) різниця висот її стовпів буде в 12,5 разів менше відповідної різниці висот двох стовпів води і, отже, дуже довгі трубки не знадобляться.

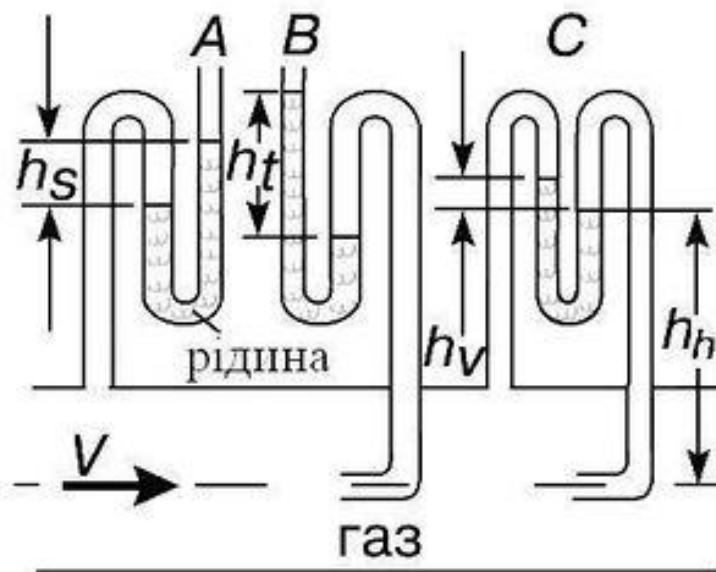


Рисунок 4.5 – Напір

- Якщо по трубці тече газ, то через вимірювальну трубку з відкритим кінцем, таку, як трубка А (Рис.4.3) відбуватиметься його витік.

Відповідні для цього випадку конструкції показані на рисунку 4.3. Вода в U-подібній трубці не тільки ізолює газ від атмосфери, але і служить для визначення величини вимірюваного напору. Якщо h_v - різниця рівнів стовпів води у вимірювальному пристрої, то відповідну висоту газового стовпа h_h (напір) можна обчислити за формулою:

$$h_h = h_v \frac{\rho_v}{\rho_h}$$

де ρ_v і ρ_h - густина води та газу відповідно.

Перетворення в результаті вимірювання перепаду тиску на швидкість рідини залежить від конкретного режиму потоку рідини трубки Піто вимірює. Зокрема, для нестисливої рідини, рівняння Бернуллі описує взаємозв'язок між швидкістю і тиском уздовж лінії потоку:

$$V^2/(2g)+z+p/(\rho \cdot g)=C$$

Перетин типових труб Піто

Узагальнення для розрахунку швидкості, використовуючи рівняння Бернуллі:

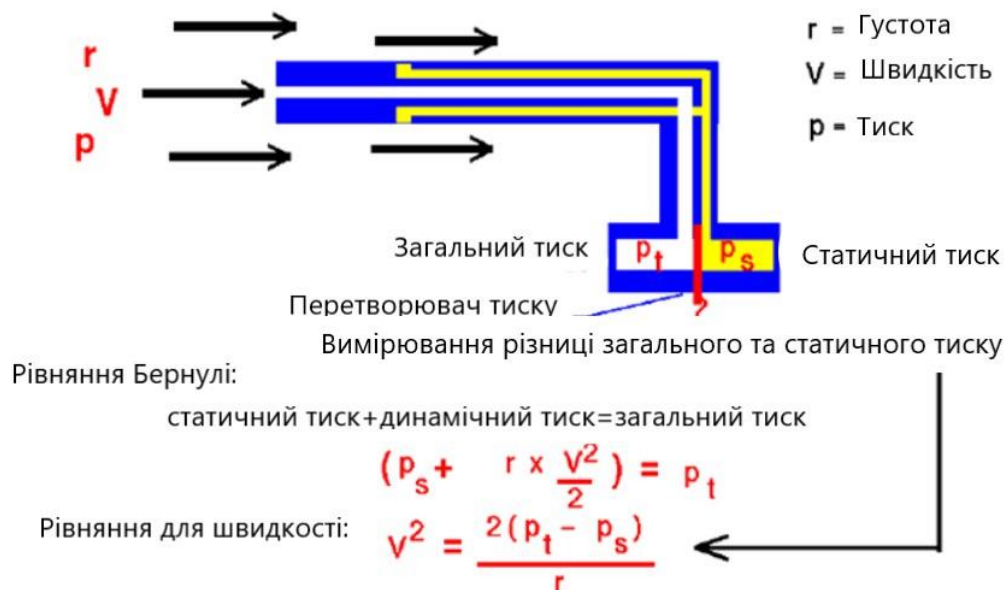


Рисунок 4.6 – Перетин типових труб Піто

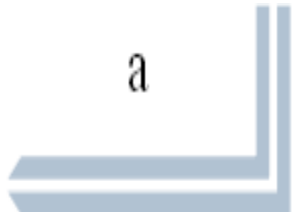
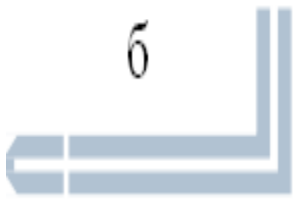

4.3 Принцип дії трубки Піто. Авіація

Принцип дії трубки Піто заснований на наступному явищі. Уявімо собі трубку невеликого діаметру, поставлену в потоці таким чином, що її вісь збігається з напрямком потоку; відкритий кінець трубки звернений до повітряного струменя, а інший кінець з'єднаний з манометром. Повітря буде чинити на опір трубки деякий тиск: по-перше, тиск, що зветься статичним, який відповідає внутрішньому тискові всього потоку, по-друге, динамічний тиск, що розвивається при переході кінетичної енергії в потенційну, внаслідок втрати швидкості струменя. Сума цих двох тисків, повний тиск потоку, більший атмосферного тиску і зростає із збільшенням швидкості потоку. Вісь другої трубки Комерсант, з запаяним кінцем, але з низкою невеликих отворів на поверхні, встановлена паралельно потоку так, щоб струмені проходили повз отворів. У першій трубці діятиме тільки статичний тиск, в той час як в іншій повний тиск. Манометр покаже різницю рівнів, відповідну різниці тисків повного і статичного, яка якраз дорівнює швидкісному напору. Якщо манометр заповнений водою, то тиск відразу може бути відраховано в міліметрах водяного стовпа. Трубка Піто складається з двох частин: з трубки повного тиску й трубки статичного тиску. Існує багато видозмін трубки Піто, але принцип їх дії один: потік одночасно виробляє в них повний і статичний тиск, а отримана різниця тисків вимірюється манометром (показчиком швидкості). У новітніх випусках трубка повного тиску поміщена усередині трубки статичного тиску. Манометр, сполучений з трубкою Піто, являє собою коробку, розділену на дві частини рухомою мембраною. Мембрана продавлюється повним тиском і утворює опуклість в бік коробки, з'єднаної з трубкою статичного тиску. Рухи мембрани передаються на стрілку, що рухається по циферблату, розградуированному на швидкість. Покази приладу залежать лише від різниці тисків, яка залежить від швидкості потоку що йде повз трубки Піто, а також від

масової щільності повітря. Так зі зміною висоти польоту і зміною внаслідок цього тиску покази приладу змінюються У аеродинамічних лабораторіях для вимірювання швидкості трубкою Піто застосовують рідинні мікроманометри.

Види

Є три основні типи трубки Піто:

- Трубка Піто для визначення повного напору(**а**) або елементарна трубка Піто (Simple Pitot tube)- якщо трубка направлена в потік, то манометр буде показувати значення повного напору. А як відомо сума статичного та швидкісного напору рівна повному напору 
- Трубка Піто для визначення статичного напору(**б**) або статичне джерело (Static source) - коли трубка направлена в потік, то немає значення складової швидкості. Оскільки отвір на кінці трубки заглушений. Підключивши трубку до манометра він покаже значення значення статичного тиску. 
- Трубка Піто для визначення швидкісного напору(**в**) або Статистична трубка Піто (Pito-Static tube)- значення швидкісного напору дорівнює різниці між повним та статичним. Цей вид трубки являє собою комбінацію двох попередніх трубок. Підключивши манометри до двох виходів будемо мати значення повного та статичного тиску. Коли знайдемо різницю між цими значеннями отримаємо швидкісний напір. 

Використання

Трубки Піто використовуються для:

- визначення відносної швидкості в газоходах і вентиляційних системах;
- вимірювань об'ємної витрати рідини і газу;
- визначенні швидкості руху на гоночних автомобілях, та швидкості польоту на літаках.
- в агресивних середовищах, наприклад димові стеки
- Тести ККД згоряння
- Дослідження тестування
- введення в експлуатацію HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування повітря)
- Теплообмінник балансування
- лінії управління процесом.
- Морські та авіаційні спідометри

Трубки Піто використовують в різних умовах навколишнього середовища, при високих температурах та широкому діапазоні тисків. На літаках використовують Трубку Піто з нагрівальним елементом, для того щоб вона не покривалась льодом на великій висоті.

У промисловості, швидкості потоків у трубопроводах часто такі, що їх виміряти анемометра буде важко. У цих видах найбільш практичним інструментом для вимірювання є трубка Піто, що може бути вставлена через невеликий отвір в каналі з Піто підключенням до U-трубки рівня води або іншого диференціального манометра (ALNOR) для визначення швидкості всередині каналної аеродинамічної труби. Одне із застосувань цього методу полягає у визначенні об'єму повітря, який поступає в приміщенні з кондиціонером. Швидкість потоку рідини в каналі може бути оцінена таким

чином: Об'ємна витрата (кубічних футів в хвилину) = повітроводом (квадратних футів) \times швидкість (футів на хвилину) Витрата повітря (у кубічних метрах в секунду) = повітроводом (квадратних метрів) \times швидкість (в метрах в секунду)
В авіації, повітряну швидкість зазвичай вимірюється у вузлах.

Переваги

Основні переваги трубки Піто включають в себе:

- Простота у використанні і установці;
- Відсутність рухомих частин;
- може бути використаний для широкого спектру рідин.

Можливі помилки

При виборі трубки Піто, які будуть використовуватися в поєднанні з будь-яким манометр, необхідно вибрати трубки з константами близькими до одиниці, щоб уникнути помилки швидкості. Якщо дані по конкретній трубці Піто не доступні, константа C може бути розрахована. Ця константа залежить від відстані статичних портів тиску трубки Піто, від основи кінчика трубки Піто і центральної лінії стержня. Трубки Прандтля типу Піто зазвичай мають постійну C близьку до 1. На рисунку 4 показаний ефект і помилки розташування статичного відводу тиску на статичну помилку тиску.

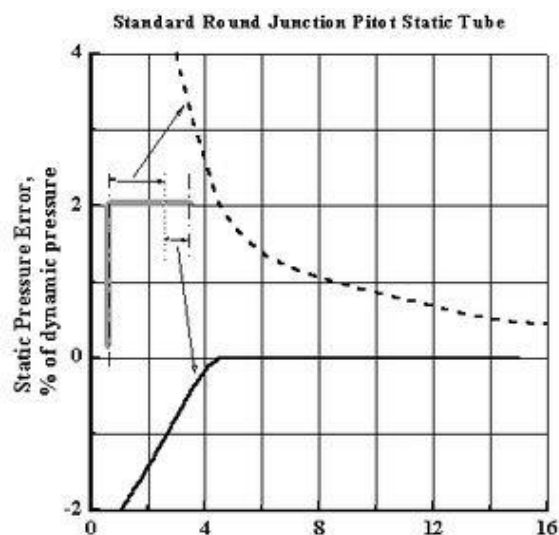


Рисунок 4.7 – Ефект і помилки розташування статичного відводу тиску на статичну помилку тиску

Нижня лінія зображує статичну помилку тиску, пов'язану з відстанню від статичного тиску до основи наконечника, виражений у діаметрах. Верхня лінія являє статичний тиск помилки через відстані від статичного тиску (в діаметрах) до стовбура центральної лінії.[4]

4.4 Трубка Піто і трубка Прандтля

Для вимірювання швидкості течії рідин і газів в деякій точці живого перетину потоку служать так звані трубка Піто і трубка Прандтля.

Подальшим розвитком і вдосконаленням трубки Піто є трубка Прандтля, що застосовується для вимірювання швидкості течії рідини в напірних трубопроводах. Вона складається з двох трубок одна з яких являє собою.

Прилади манометричного типу засновані на рівнянні Бернуллі, який визначав би залежність повного тиску потоку повітря від статичного і динамічного тисків, причому останнє залежить від квадрата величини швидкості вітру. В цьому випадку в повітряний потік поміщають вигнуту під прямим кутом трубку, яку з'єднують повітропроводом з манометром, забезпеченим

контактними стрілками, ніж вони впливають на системи сигналізації та поста управління краном. Основу конструкції таких анемометрів становить трубка Піто або трубка Прандтля, при створенні розрідження - трубка Вентурі.

Трубка Піто - Прандтля являє собою тонкий витягнуте циліндричне тіло з округленою передньою частиною. При такій формі трубка слабо спотворює розподіл швидкостей в потоці. Для вимірювання швидкості трубку Піто - Прандтля поміщають в рідину і мають у своєму розпорядженні її уздовж потоку. На тілі трубки Піто - Прандтля є отвори, через які по каналах, розташованим всередині тіла трубки, рідина може надходити в два коліна манометра. Одне з отворів розташоване в передній точці трубки Піто - Прандтля (точка 1). Інше - на її циліндричній частині, на достатньому видаленні від першого, (точка 2) так, щоб спотворення поля.

Для досліджень решіток застосовні всі відомі прилади (аеродинамічні зонди), службовці для вимірювання повного і статичного тисків і напрямку потоку Основними особливостями умов вимірювань є малі абсолютні розміри моделей (лопаток) з хордою $l = 25 - 60$ мм і значна нерівномірність потоку (особливо за ґратами). Тому зонди, що застосовуються для вимірювань при дослідженнях решіток, повинні мати можливо малі абсолютні розміри, забезпечувати визначення різних параметрів практично в одній точці потоку і бути якомога менш чутливими до нерівномірності поля швидкостей потоку. З огляду на зазначене багато загальновідомі зонди, наприклад, циліндричний, трубка Піто - Прандтля, трубка Піто - Вентурі, виявляються малоприсадибними для експериментальних досліджень решіток.

Іноді трубку Піто і п'єзометричну трубку об'єднують в один пристрій, зване трубкою Прандтля.

Вимірювання швидкостей виробляли за допомогою трубки Піто-Прандтля і спиртового мікроманометра з великим нахилом (до 0,1). У всіх випадках,

навіть при значному схилі потоку (відхиленні від осі робочої камери), вимірювалися вертикальні складові швидкостей (паралельні осі камери).

У критичній точці і статичну отвір, іноді називають трубками Піто-Прандтля. Трубка Піто - Прандтля завдяки своїй простоті і надійності в роботі широко застосовується на практиці, зокрема у вентиляційній техніці. Якщо подібним способом визначити усереднені швидкості декількох точок поперек труби, отримаємо епюру усереднених швидкостей по перетину труби.

Швидкість потоку повітря регулювалася за допомогою системи шиберів і визначалася комбінованою трубкою Піто - Прандтля, з'єднаною з мікроманометром типу ммн класу точності 0,5.

Для вимірювання швидкості використовується трубка Піто-Прандтля. Газ набігає на носик трубки і гальмується, швидкість падає до нуля. Тому центральний отвір вимірює повний тиск гальмування. Інші отвори, розташовані збоку, вимірюють тиск набігаючого потоку p (статичну).

Для вимірювання профілю швидкостей в деяких випадках застосовують трубки Прандтля. На цьому малюнку наведено також графік, що характеризує відносні помилки при вимірюванні пневмометричної трубкою Прандтля динамічного R_d , повного R_i і статичного R_s тисків в залежності від кута між напрямком потоку і віссю трубки. Трубка Прандтля громіздка і вносить в деяких випадках помітне обурення в потік. Для більш точного вимірювання швидкості користуються трубкою Піто.

Вимірювання швидкості потоку рідини (трубка Прандтля). Комбінуючи трубку Піто з манометричної трубкою, що вимірює статичний тиск p , отримаємо новий прилад, званий трубкою Прандтля. Покажемо, що прилад вимірює динамічний тиск і може використовуватися для визначення швидкості потоку рідини (або газу).

Як можна виміряти статичний тиск p всередині рухомої рідини, як влаштована трубка Піто н який тиск з її допомогою вимірюється як влаштована трубка Прандтля і як з її допомогою можна виміряти швидкість потоку.

Більш складним приладом є працююча тому ж принципу трубка Прандтля, призначена для вимірювання швидкості рідини в закритих трубопроводах. Трубка Прандтля складена з трубки Піто і звичайної п'єзометричної трубки.

Швидкість рідини в даній точці визначають за допомогою трубки Піто - Прандтля, в якій об'єднані в одному корпусі приймачі повного і статичного тисків. Трубка Піто-Прандтля використовується для визначення швидкості польоту літака.

Якщо трубка Піто-Прандтля встановлена в надзвуковому потоці, то перед нею виникає ударна хвиля. Осьова газова цівка ударно гальмується на центральній ділянці від'єднання криволінійної ударної головний хвилі. Діаметр струмки, що потрапляє в центральний отвір трубки Піто- Прандтля, малий. Тому з достатньою для практики точністю вважають, що вона гальмується на прямому стрибку ущільнення.

Для вимірювання швидкості потоку існує безліч модифікацій трубки Піто-Прандтля (трубки Брабо, Лосієвського, Престона і ін.) Крім того, швидкість визначають Вентурі трубою. Напрямок потоку вимірюють циліндричну і сферичну насадками, комбінаціями з трьох розташованих під кутом один до одного трубок Піто і т, д., свідчення яких брало дуже чутливі до напрямку потоку.

Для вимірювання швидкості потоку існує безліч модифікацій трубки Піто - Прандтля (трубки Брабо, Лосієвський, Престона і ін.)

Трубка Піто - Прандтля. У трубу з рухомої краплинної рідиною помістимо дві скляні трубки (1 - загнуту проти течії (її називають трубою Піто), 2 п'єзометричну в результаті ефекту підпору рідина в трубці Піто

підніметься на велику висоту, ніж у п'єзометричну. Носик трубки Піто з рідиною в ній є перешкодою для навколишньої течії, внаслідок чого швидкість частинок рідини, що рухається при підході до носика трубки зменшується і в критичній точці А прагне до нуля. Важливо підкреслити, що тут не відбувається явище удару. У точці В поблизу п'єзометричної трубки швидкість дорівнює швидкості на лінії струму на видаленні від трубок.

Трубка Піто - Прандтля застосовується також для визначення V і Маху числа M в надзвуковому потоці. У цьому випадку перед трубкою утворюється ударна хвиля і вимірюється в центрі, отворі тиск практично дорівнює тиску гальмування P_0 за прямою ударною хвилею. При відомому з ін. вимірювань тиску ізоентропічне гальмування P_0 по величині відношення p_0 / p_a можна визначити M в потоці перед трубкою. Вимірювані трубкою значення P_a або P_0 (відповідно при дозвуковій або надзвуковій швидкості) майже не залежать від кута між вектором місцевої швидкості і віссю трубки, поки цей кут не перевищує 15-20, але значення статичного тиску p сильно залежать від цього кута навіть при невеликій його величині.

При малих швидкостях потоку ($v < 6$ м / с) або при великих розрідженнях, коли Рейнольдса число $Re < 300$, спостерігається значить, зростання коефіцієнта.

Щоб уникнути втрат тепла з торців калориметр кінці трубки-калориметр ізолювались текстолітовими шайбами і азбестом. З цією ж метою підводи струму до нагрівача харчування були виконані з мідних провідників. Витрата тепла на нагрів калориметра визначався по потужності, споживаної електричним нагрівачем. Потужність вимірювалася за допомогою статичного вольтметра і регулювалася автотрансформатором ЛАТР-1. Перепад тиску на соплі Вентурі замірявся диференціальним манометром типу ДТ-50, а на трубці Піто - Прандтля - мікроманометром Асканія. Температура зовнішньої стінки трубки-калориметр вимірювалася термопарами.

Як вимірювальної апаратури застосовувалися п'яти каналний зонд з циліндричною головкою і трубка Піто-Прандтля. П'ятиканальний зонд застосовувався для визначенні ділення параметрів просторового потоку на виході з решітки, а трубкою Піто - Прандтля контролювався режим потоку на вході на решітку.

Трубками Піто користуються вже давно. За останні роки вони були вдосконалені Прандтлем, а потім поруч організацій. У нас зазвичай застосовується трубка Піто-Прандтля, вдосконалена Центрального аерогідродинамічного інституту (ЦАГІ). Трубка ЦАГІ (СКЛАДАЄТЬСЯ з корпусу, всередині якого розташована центральна трубка. Відкритий кінець цієї трубки встановлюється проти потоку так, щоб швидкість потоку була направлена по осі отвору. При обтіканні рідиною трубки в точці відбувається зменшення швидкості про до нуля і відповідно до цього збільшення тиску.

Трубку Піто можна використовувати і для вимірювання швидкості в закритих трубопроводах, застосовуючи її спільно зі звичайною п'езометричної трубкою. Такий пристрій, що поєднує трубку Піто і п'езометричну трубку, називають трубкою Прандтля. У цьому пристрої трубка Піто показує повний напір рідини в трубці $p_{Kpg} + v \cdot \rho \cdot g$, а п'езометрична трубка - статичний натиск p_{Upg} в тому ж перерізі труби. Різниця цих напорів $v \cdot \rho \cdot g$ дорівнює різниці рівнів h в обох трубках. Таким чином, $v = \sqrt{2g \Delta h}$.

При правильній установці вісь трубки повинна збігатися з вектором швидкості (кут скошу потоку має дорівнювати нулю). Ця вимога може виконуватися не надто точно, так як трубка Піто-Прандтля не дуже чутлива до скошу потоку її свідчення практично не змінюються при схилі потоку на 15° .

Тому трубка Піто-Прандтля зручна для визначення величини швидкості і не слід використовувати для точного визначення напрямку вектора швидкості в просторі.

5 Вибір датчика тиску

Різні сфери застосувань визначають свої вимоги до датчиків:

Для промисловості - надійність і стабільність характеристик;

для лабораторних вимірювань і витратометрії - точність вимірювання тиску і т.д.

Ще одним важливим параметром є ціна датчиків, які використовують той чи інший принцип перетворення тиску. Тому при виборі перетворювача необхідно визначити найбільш вигідний варіант - співвідношення ціни до можливостей приладу. Очевидно там, де потрібно тільки якийсь певний параметр датчика (наприклад, точність або можливість вимірювати вакуум) співвідношення ціни до пропонованим вимогам високе. В основному це стосується резонансних, індукційних, ємкісних і іонізаційних датчиків.

Датчик тиску (перетворювач тиску) - пристрій, фізичні параметри якого змінюються в залежності від тиску вимірюваного середовища (рідини, газу, пари). У датчиках тиск вимірюваного середовища перетворюється в уніфікований пневматичний, електричний сигнали або цифровий код.

Датчик тиску складається з первинного перетворювача тиску, в складі якого чутливий елемент і приймач тиску, схеми вторинної обробки сигналу, різних за конструкцією корпусних деталей і пристрої виведення. Основною відмінністю одних приладів від інших є точність реєстрації тиску, яка залежить від принципу перетворення тиску в електричний сигнал: тензометричний, п'єзорезистивного, ємнісний, індуктивний, резонансний, іонізаційний.

Принципи реалізації

Датчик тиску складається з первинного перетворювача тиску, в складі якого чутливий елемент - приймач тиску, схеми вторинної обробки сигналу, різних за конструкцією корпусних деталей, в тому числі для герметичного з'єднання датчика з об'єктом і захисту від зовнішніх впливів і пристрої

виведення інформаційного сигналу. Основними відмінностями одних приладів від інших є межі вимірювань, динамічні і частотні діапазони, точність реєстрації тиску, допустимі умови експлуатації, масогабаритні характеристики, які залежать від принципу перетворення тиску в електричний сигнал: тензометричний, п'єзорезистивного, ємнісний, індуктивний, резонансний, іонізаційний, п'єзоелектричний та інші.

5.1 П'єзорезистивний датчик

Практично всі виробники датчиків виявляють інтерес до використання інтегральних чутливих елементів на основі монокристалічного кремнію. Це обумовлено тим, що кремнієві перетворювачі мають на порядок більшу тимчасову і температурну стабільність в порівнянні з приладами на основі КНС структур. Кремнієвий інтегральний перетворювач тиску (ВПС) є мембрану з монокристалічного кремнію з дифузійними п'єрезисторами, підключеними в міст Уїнстона. Чутливим елементом служить кристал ВПС, встановлений на діелектричне підставу з використанням легкоплавкого скла або методом анодного зрощування.

Принцип дії сенсора для п'єзорезистивного датчика тиску, як впливає з назви, заснований на п'єзорезистивного ефекті - зміні опору при накладенні механічного тиску. Резистори розміщують на мембрани таким чином, щоб поздовжні і поперечні коефіцієнти тензочутливості були різних знаків, тоді і зміни опорів резисторів будуть протилежні. Основною перевагою п'єзорезистивних датчиків є більш висока стабільність характеристик, в порівнянні з КНС перетворювачами. ВПС на основі монокристалічного кремнію стійкі до впливу ударних і знакозмінних навантажень. Якщо не відбувається механічного руйнування чутливого елемента, то після зняття навантаження він

повертається до початкового стану, що пояснюється використанням ідеально-пружного матеріалу.

Переваги та недоліки різних методів перетворення тиску в електричний сигнал:

П'єзорезистивного метод (на монокристалічному кремнії)

Переваги:

- Висока стабільність характеристик
- Стійкість до ударних навантажень і вібрацій
- Низькі (практично відсутні) гістерезисна ефекти
- Висока точність
- Низька ціна
- Можливість вимірювати тиск різних агресивних засобів

Недоліки:

- Обмеження по температурі (до 150°C)[5]

Диференціальний манометр, дифманометр - прилад для вимірювання перепаду тисків. Застосовується для вимірювання рівня рідин в резервуарах під тиском або витрати рідини, газу та пара за допомогою діафрагм методом вимірювання перепаду тиску на пристрої звуження потоку. Називається також датчиком різниці тиску.

По пристрою розрізняються:

- рідинні дифманометри (трубні, поплавкові, кільцеві і дзвіниці), в яких вимір здійснюється по висоті стовпа рідини
- механічні дифманометри (мембрану і сільфоні), в яких вимір здійснюється за пружною деформації чутливого елемента - сільфона або мембрани.
- цифрові диференційні манометри, що дозволяють виміряти не тільки різниця тисків газу в вентиляції, газоходах, але і швидкість повітряного

поток, температуру і вологість (вимірювання за допомогою пневмометричні трубок). Такі дифманометри використовуються при моніторингу навколишнього середовища, при проведенні аеродинамічних досліджень, при екологічному аналізі викидів різних виробництв і при постійному контролі вентиляції виробничих приміщень.

Застосовувані в Дифманометр мембрани діляться на пружні і еластичні (мляві). Пружна мембрана - гнучка кругла плоска (плоска мембрана) або гофрований (гофрована мембрана) пластина, здатна отримати прогин під дією тиску. Гофри збільшують жорсткість мембрани і її здатність до деформації. Статична характеристика плоских мембран змінюється нелінійно зі збільшенням тиску, тому тут в якості робочого ділянки використовують невелику частину можливого ходу. Гофровані мембрани можуть застосовуватися при великих прогинах, ніж плоскі, так як мають значно меншу нелінійність характеристики. Мембрани виготовляють з різних марок сталі, бронзи, томпаку, латуні і т. Д. Еластичні (мляві) мембрани виготовляються з гуми на тканинній основі у вигляді одногофрових дисків. Використовуються для вимірювання невеликих надлишкових тисків і розрідження. Також використовується (орбітальна зварювання чистих труб) для вимірювання різниці тисків між атмосферою і потоком в трубі. [6]

6 Вибір контролера (Контролер Arduino)

Свою шалену популярність Arduino придбала завдяки простоті і доброзичливості. Навіть повний нуль в програмуванні та схемотехніці може освоїти основи роботи з Arduino за пару годин. Цьому посприяють тисячі публікацій, підручників, заміток в інтернеті і відмінна серія відеоуроків по Arduino.

6.1 Промислові контролери

Промисловий контролер - це пристрій управління, яке застосовується для автоматизації процесів на виробництві а також в інших галузях промисловості.

В основному, контролери засновані на електричних і механічних принципах. Пристрої зібрані на електронних схемах вважаються електричними контролерами. Які передають сигнал, що управляє на механічну частину цього пристрою, для подальшого його виконання. Або, для виконання іншої роботи.

Наприклад, контролер керуючий електричним двигуном. При подачі сигналу з контролера двигун або набирає обертів, або знижує їх, автоматично витримуючи задану спочатку частоту обертання валу двигуна.

Існують промислові контролери на базі промислового комп'ютера, схожого на персональний комп'ютер, але виконаних в спеціальному промисловому виконанні, для застосування на виробництві.

Також існують програмовані логічні контролери, які можуть в залежності від заданої програми виконувати ту чи іншу роботу.

6.2 Програмований логічний контролер

Програмований логічний контролер (скор. ПЛК; англ. Programmable logic controller, скор. PLC; точніший переклад на російську - контролер з програмованої логікою), програмований контролер - спеціальний різновид електронної обчислювальної машини. Найчастіше ПЛК використовують для автоматизації технологічних процесів. В якості основного режиму роботи ПЛК виступає його тривале автономне використання, часто в несприятливих умовах навколишнього середовища, без серйозного обслуговування і практично без втручання людини.

Іноді на ПЛК будуються системи числового програмного керування верстатів.

ПЛК - пристрої, призначені для роботи в системах реального часу.

ПЛК мають ряд особливостей, що відрізняють їх від інших електронних приладів, які застосовуються в промисловості:

- на відміну від мікроконтролера (одно кристального комп'ютера) - мікросхеми, призначеної для управління електронними пристроями - ПЛК є самостійним пристроєм, а не окремої мікросхемою.
- на відміну від комп'ютерів, орієнтованих на прийняття рішень і управління оператором, ПЛК орієнтовані на роботу з машинами через розвинений введення сигналів датчиків і висновок сигналів на виконавчі механізми;
- на відміну від вбудованих систем ПЛК виготовляються як самостійні вироби, окремі від керованого при його допомоги обладнання.

У системах управління технологічними об'єктами логічні команди, як правило, переважають над арифметичними операціями над числами з плаваючою точкою, що дозволяє при порівняльній простоті мікроконтролера (шини шириною 8 або 16 розрядів), отримати потужні системи, що діють в

режимі реального часу. В сучасних ПЛК числові операції в мовах їх програмування реалізуються нарівні з логічними. Всі мови програмування ПЛК мають легкий доступ до маніпулювання бітами в машинних словах, на відміну від більшості високорівневих мов програмування сучасних комп'ютерів.

Види ПЛК:

- Основні ПЛК,
- Програмований (інтелектуальні) реле,
- Програмні ПЛК на базі IBM PC-сумісних комп'ютерів (англ. SoftPLC),
- ПЛК на базі найпростіших мікропроцесорів (i8088 / 8086/8051 і т. П.),
- Контролер ЕСУД (Електронна система управління двигуном).

Контролер на базі персонального комп'ютера

Саме цей напрямок істотно розвивається останнім часом, і це зумовлено певними причинами. Такими причинами є:

- Підвищення надійності ПК.
- Наявність різних модифікацій ПК в звичайному і промисловому виконанні.
- Використання відкритої архітектури.
- Можливість підключення будь-яких модулів УСО, які випускаються іншими компаніями.
- Можливість використання широкої номенклатури напрацьованого програмного забезпечення.

Ці контролери використовуються для управління невеликими замкнутими об'єктами в промисловості, в спеціалізованих системах автоматизації в медицині та ін. Напрямах. Контролер виконує функції, які передбачають складну обробку вимірювальної інформації з розрахунком декількох керуючих впливів, при цьому загальне число входів / виходів не перевищує декількох десятків. Основними достоїнствами цих контролерів є великий обсяг обчислень

за досить малий відрізок часу. Схожість з умовами роботи офісних ПК, можливість програмування на мові високого рівня. Апаратна підтримка забезпечується звичайними контролерами, що володіє функціями глибокої діагностикою та усуненням недоліків без зупинки роботи контролера.

Локальний програмований контролер:

ЛПК підлягає наступній класифікації:

- Вбудований в обладнання і є його невід'ємною частиною
- Автономний який реалізує функції контролю і управління

Пристрій ПЛК

Часто ПЛК складається з наступних частин:

- центральна мікросхема (мікроконтролер, або мікросхема FPGA), з необхідною обв'язкою;
- підсистема годин реального часу;
- незалежна пам'ять;
- інтерфейси послідовного введення-виведення (RS-485, RS-232, Ethernet)
- схеми захисту і перетворення напруг на входах і виходах ПЛК.

Зазвичай вхід або вихід ПЛК можна відразу ж підключити до відповідного виходу центральної мікросхеми. Ці виходи характеризуються низькими рівнями напруг, зазвичай від 3,3 до 5 вольт. Входи і виходи ПЛК зазвичай повинні працювати з напругою 24 В постійного або 220 В змінного струму. Тому між виходом ПЛК та виходом мікросхеми необхідно передбачати підсилювальні і захисні елементи.

Структури систем управління

- Централізована: в кошик ПЛК встановлюються модулі введення-виведення. Датчики та виконавчі пристрої підключаються окремими проводами безпосередньо, або за допомогою модулів узгодження до входів / виходів сигнальних модулів;

- Розподілена: віддалені від ПЛК датчики і виконавчі пристрої пов'язані з ПЛК за допомогою каналів зв'язку і, можливо, кошиків-розширювачів з використанням зв'язків типу «ведучий-ведений» (англ. Master-Slave).

Мови програмування ПЛК

Для програмування ПЛК використовуються стандартизовані мови МЕК (IEC) стандарту IEC61131-3

Мови програмування (графічні)

- LD (Ladder Diagram) - Мова релейних схем - найпоширеніший мова для PLC
- FBD (Function Block Diagram) - Мова функціональних блоків - 2-й за поширеністю мова для PLC
- SFC (Sequential Function Chart) - Мова діаграм станів - використовується для програмування автоматів
- CFC (Continuous Function Chart) - Чи не сертифікований IEC61131-3, подальший розвиток FBD

Мови програмування (текстові)

- IL (Instruction List) - асемблер-подібна мова
- ST (Structured Text) - Паскалі-подібна мова
- C-YART - Сі-подібна мова (YART Studio)

Структурно в IEC61131-3 середовище виконання являє собою набір ресурсів (в більшості випадків це і є ПЛК, хоча деякі потужні комп'ютери під управлінням багатозадачних ОС надають можливість запустити кілька програм типу soft PLC і імітувати на одному ЦП кілька ресурсів). Ресурс надає можливість виконувати завдання. Завдання представляють собою набір

програм. Завдання можуть викликатися циклічно, за подією, з максимальною частотою.

Програма - це один з типів програмних модулів ROU. Модулі (ROU) можуть бути типу програма, функціональний блок і функція. У деяких випадках для програмування ПЛК використовуються нестандартні мови, наприклад: Блок-схеми алгоритмів С-орієнтоване середовище розробки програм для ПЛК. HiGraph 7 - мова управління на основі графа станів системи.

Інструменти програмування ПЛК на мовах MEK 61131-3 можуть бути спеціалізованими для окремого сімейства ПЛК або універсальними, що працюють з декількома (але далеко не всіма) типами контролерів:

- CoDeSys
- ISaGRAF
- ICP "круголого"
- Veremiz
- KLogic

Програмування ПЛК

- Конфігуруванні: В ПЛК зберігається кілька програм, а через клавіатуру ПЛК вибирається потрібна версія програми;
- Вільно програмовані: програма завантажується в ПЛК через його спеціальний інтерфейс з Персонального комп'ютера використовуючи спеціальне програмне забезпечення виробника, іноді за допомогою програматора.

Програмування ПЛК має відміну від традиційного програмування. Це пов'язано з тим, що ПЛК виконують нескінченну послідовність програмних циклів, в кожному з яких:

- зчитування вхідних сигналів, в тому числі маніпуляцій, наприклад, на клавіатурі оператором;

- обчислення вихідних сигналів і перевірка логічних умов;
- видача керуючих сигналів і при необхідності управління індикаторами інтерфейсу оператора.

Тому при програмуванні ПЛК використовуються прапори - булеві змінні ознак проходження алгоритмом програми тих чи інших гілок умовних переходів. Звідси, при програмуванні ПЛК від програміста потрібний певний навик.

Наприклад, процедури початкової ініціалізації системи після скидання або включення живлення. Ці процедури потрібно виконувати тільки одноразово. Тому вводять булева змінна (прапор) завершення ініціалізації, що встановлюється при завершенні ініціалізації. Програма аналізує цей прапор, і якщо він встановлений, то обходить виконання коду процедур ініціалізації.[7]

6.3 Контролер Arduino

Ардуіно являє собою готову апаратно-програмну платформу, головними компонентами якої є невелика плата-контролер введення / виводу і середовище розробки на основі Processing / Wiring.

Перший прототип контролера був випущений ще в 2005 році, коли Массімо Банц розробив його для студентів Інституту проектування взаємодій міста Івреа, Італія. Назва пристрою походить від імені короля Ардуіно, що правив Італією всього два роки на початку XI століття, в честь якого був названий і пивний бар «ді Ре Ардуіно», що належить Массімо Банц, і розташований на тому самому місці, де за переказами народився король Ардуіно.

Мета Ардуіно - створити доступну середовище для розробників програмного забезпечення, яка дозволить їм увійти в світ програмування мікроконтролерів. Програмування контролерів даній фірми відбувається в

простій і інтуїтивно зрозумілій середовищі програмування - Arduino IDE. Це середовище зручна як і для початківців користувачів, так і для досвідчених. Використовується мову програмування C ++, який доповнений безліччю бібліотек, що спрощує роботу з пристроєм.

Ардуіно здійснила справжню революцію міжнародного масштабу в сфері розробки електронних пристроїв. Як схеми, так і вихідні коди безкоштовно доступні, завдяки чому Ардуіно і отримала настільки широку популярність. Готову плату можна придбати всього за кілька доларів, або зібрати її самому. Плата Ардуіно володіє власним процесором і пам'яттю, забезпечена безліччю вводів і висновків, до яких можуть бути підключені різні датчики, а також виконавчі пристрої і механізми. На даний момент доступно більше 20 основних модифікацій плат Ардуіно.

Мікроконтролери платформи Ардуіно

Особливість Ардуіно в тому, що для роботи з нею не потрібно бути програмістом, не потрібно спеціальних знань про те, як працює мікроконтролер, щоб побудувати простий проект. Стандартні бібліотеки Ардуіно відкривають простір для творчості в плані автоматизації чого-небудь.

Програмування тут здійснюється через спеціальну програмну оболонку (IDE), яку можна безкоштовно завантажити на сайті Arduino. Написана на Java, доброзичлива оболонка працює під Windows, Mac OS X, і Linux, вона містить текстовий редактор, менеджер проектів, а також інструменти для завантаження програми безпосередньо в мікроконтролер.

Використовувані в Ардуіно мікроконтролери вже мають прошитий завантажувач (bootloader), тому програматор не потрібен, достатньо з'єднати плату з комп'ютером через USB або через перехідник UART-USB, і завантажити програму.

Є на платі і можливість прошити завантажувач в мікроконтролер самостійно за допомогою програматора, в Arduino IDE вбудована підтримка

найбільш популярних дешевих програматорів, є штировий роз'єм для внутрисхемного програмування (ICSP для AVR, JTAG для ARM).

У більшості пристроїв Ардуіно використовуються мікроконтролери Atmel AVR ATmega328, ATmega168, ATmega2560, ATmega32U4, ATtiny85 з частотою тактирування 16 або 8 МГц. Є також плати на процесорі ARM Cortex M.

Порти Arduino

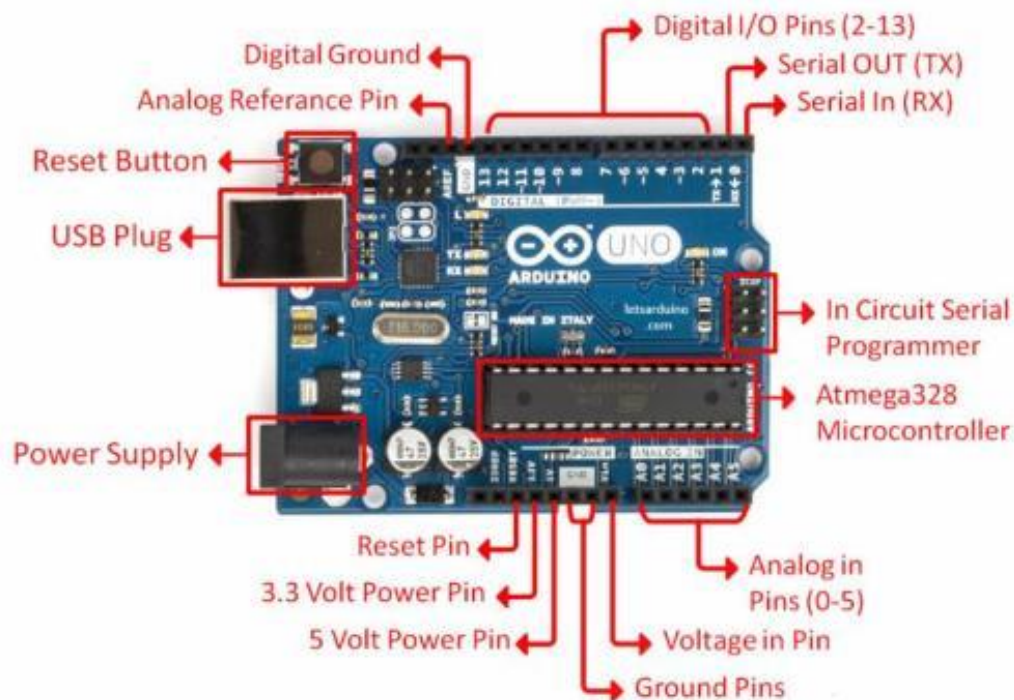


Рисунок 6.1 - Порти Arduino

Для підключення будь-яких електронних компонентів (світлодіоди, мотори, датчики і т.д.) до плати контролера використовуються порти введення / виводу. Їх також називають шинами. Це цифрові, аналогові або цифро-аналогові інтерфейси, які мають свою власну функцію.

Як випливає з назви, на цифрових шинах у нас цифровий сигнал. Вони можуть видавати тільки два значення: логічний нуль (0, LOW) і логічну одиницю (1, HIGH).

Аналогові - схожі на цифрові, з тією різницею, що їх основна мета - підключення аналогових датчиків.

Для того щоб використовувати (передавати сигнал) через ці порти, нам слід в своїй програмі формувати їх, використовуючи функцію `pinMode (<номер Піна >,< режим: INPUT / OUTPUT>)`, де номер Піна - це номер роз'єму, вказаний на платі Arduino . Режим INPUT потрібно для читання даних, OUTPUT - для передачі. У разі, коли ми використовуємо такі Піни без попереднього вказівки `pinMode`, отримані значення можуть бути помилковими.

Цифро-аналогові порти (або ШІМ - входи / виходи з функцією широтноімпульсної модуляції) - більш «розумний» інтерфейс. Вони завжди готові до прийому / передачі даних і не вимагають попередньої ініціалізації. Головною їхньою гідністю є можливість передавати значення в діапазоні від 0 до 255, що дозволяє набагато більш точно втручатися в роботу підключених елементів. Такі порти позначені на платі (і в документації) як PWM або знаком «~» (тильда).

Цифрові і аналогові Піни - порти комутації (підключення). ШІМ - порти управління. При необхідності змінювати параметри роботи радіоелементу, слід підключати його до ШІМ. Якщо досить просто вмикати / вимикати елемент схеми - можна використовувати будь-який порт Arduino.

Іншим і останнім важливим критерієм портів плати Arduino, є їх фізична складова. Слід пам'ятати, що кожен пін: має напругу на виході 5В. Може дати максимальну кількість струму 0.02А

Це невеликі критерії, про які важливо пам'ятати, щоб заощадити безліч часу.

Автоматична (програмна) перезавантаження

Уно розроблена таким чином, щоб перед записом нового коду перезавантаження здійснювалася самою програмою Arduino на комп'ютері, а не натисканням кнопки на платформі. Одна з ліній DTR мікросхеми ATmega8U2, керуючих потоком даних (DTR), підключена до висновку перезавантаження мікроконтролеру ATmega328 через 100 нФ конденсатор. Активація даної лінії, тобто подача сигналу низького рівня, перезавантажує мікроконтролер.

Програма Arduino, використовуючи цю функцію, завантажує код одним натисканням кнопки Upload в самому середовищі програмування. Подача сигналу низького рівня по лінії DTR скоординована з початком запису коду, що скорочує тайм-аут завантажувача.

Функція має ще одне застосування. Перезавантаження Uno відбувається кожного разу при підключенні до програми Arduino на комп'ютері з ОС Mac X або Linux (через USB). Наступні півсекунди після перезавантаження працює завантажувач. Під час програмування відбувається затримка декількох перших байтів коду, щоб уникнути отримання платформою некоректних даних (всіх, окрім коду нової програми). Якщо проводиться разова налагодження скетчу, записаного в платформу, або введення будь-яких інших даних при першому запуску, необхідно переконатися, що програма на комп'ютері очікує протягом секунди перед передачею даних.

На Uno є можливість відключити лінію автоматичної перезавантаження розривом відповідної лінії. Контакти мікросхем з обох кінців лінії можуть бути з'єднані з метою відновлення. Лінія маркована «RESET-EN». Вимкнення автоматичного перезавантаження також можливо підключивши резистор 110 Ом між джерелом 5 В і даною лінією.

Струмівий захист роз'єму USB

В Arduino Uno вбудований само становлений запобіжник (автомат), що захищає порт USB комп'ютера від струмів короткого замикання і надструмів. Хоча практично всі комп'ютери мають подібний захист, тим не менш, цей запобіжник забезпечує додатковий бар'єр. Запобіжник срабативат при проходженні струму більше 500 мА через USB порт і розмикає ланцюг до тих поки нормальні значення струмів НЕ будуть відновлено.

Фізичні характеристики

Довжина і ширина друкованої плати Uno складають 6.9 і 5.3 см відповідно. Роз'єм USB і силовий роз'єм виходять за межі даних розмірів.

Чотири отвори в платі дозволяють закріпити її на поверхні. Відстань між цифровими висновками 7 і 8 дорівнює 0,4 см, хоча між іншими висновками воно становить 0,25 см.

Чому так популярно використання Ардуіно

Платформа Ардуіно отримала широке визнання у розробників нових електронних пристроїв, викладачів і студентів інженерних напрямів підготовки, а так же школярів в гуртках технічної творчості.

Використання Ардуіно спрощує процес роботи з мікроконтролерами. За технічним оснащенням вона ідеально підходить для освітнього процесу з проектування різних мегатонних систем і роботів, завдяки зрозумілій середовищі програмування та можливості спостереження фізичних процесів в реальному часі, а також завдяки зрозумілою середовищі програмування та ряду інших переваг.

Вона може використовуватися як засіб навчання і дослідження в цифровій обробці сигналів, електроніці, схемотехніці, робототехніці, автоматичі і ін. Більш потужні плати Ардуіно застосовні для вирішення складних технічних завдань, пов'язаних з розробкою великих проектів і їх комплексної автоматизацією.

Ардуіно - це найбільш популярна тенденція, що робить мікроконтролери доступними для розуміння і використання великої кількості людей, навіть не фахівців в даній галузі. За допомогою цієї популярної платформи можна зробити велику кількість цікавих і корисних проектів.

Можна сказати, що Ардуіно є універсальним розширюваним програмованим контролером-конструктором, який може стати незамінним помічником при вирішення будь-яких творчих завдань, пов'язаних з електронікою довільного призначення, хоч будильник, хоч складний робот, хоч кроковий двигун, - всім цим, і не тільки, можна керувати за потрібною алгоритму за допомогою Ардуіно.

Величезна кількість всілякої периферії: кнопки, датчики, світлодіоди, ЖК-індикатори, і інші органи взаємодії з навколишнім світом, доступні для роботи з Ардуіно.

В інтернет вже доступні сотні програм для Ардуіно, здатні допомогти як початківцям, так і досвідченим користувачам для реалізації їх проєктів.[8]

7 Проведення експерименту

Перед початком вимірювання параметрів установка вимикається, встановлюються витрати повітря близько до максимальних. У цих умовах установка працює близько 20 хвилин. За цей час стабілізується температура повітря на вході повітря на виході компресора. Насипний матеріал у колоні розрихлюється та стабілізується аеродинамічний режим. Після стабілізації режиму перекриваємо подачу повітря в досліджувану установку. В програмі обробки вхідних даних робимо корекцію нуля датчиків. Установка готова до проведення досліджень. Тепер ми переходимо до проведення експерименту.

Повітря подається компресором (1) через керуючий клапан (2) у скляну колонку (3). Повітря проходить крізь насипний матеріал (4) це робиться для того що б всі дрібні частинки перемішалися між собою. Після продувки потрібно подивитися на програму де показуються показання швидкості газу і зміни тиску і налаштувати їх датчики (так як компресія газу супроводжується виділенням тепла пластинка в датчиках нагрівається і це супроводжується невеликою зміною показників), як тільки ми налаштуємо програму і перевіримо свідчення можна почати експеримент.

Закриваємо кран (5) і поступово відкриваємо і дивимося на екран (11) записуємо показання, після того як ми досягли максимального значення тиску. Повторюємо всі 7 разів. Потім ми підходимо до опису нашої програми, та знайомимося з деякими функціями.

Зміна періода опитування

Графіки на рис. 7.1 показують, чим відрізняються один від одного аналогові і цифрові сигнали. Зліва прямокутні імпульси, амплітуда яких бере тільки два значення: 0 і 5 вольт. Точно так же, як з кнопкою з попередньої глави: тільки high або low. Справа зображений фрагмент косинусоїдального сигналу. Незважаючи на те, що його амплітуда знаходиться в тих же межах (0 і 5 вольт),

аналоговий сигнал приймає нескінченне число значень між цими двома. Аналогові сигнали не можна уявити кінцевим числом станів, теоретично вони можуть мати нескінченне число значень в межах деякого діапазону. Припустимо, сонячний світло-це аналоговий сигнал, який потрібно виміряти. Природно, є розумний діапазон, в межах якого змінюється освітленість (вимірюється в люксах - світловому потоці на одиницю площі). Можна обґрунтовано очікувати значення показань між 0 люкс (для абсолютно чорного) і 130 000 люкс на прямому сонячному світлі. Якби вимірювальний прилад був абсолютно точний, то можна отримати нескінченне число значень в даному діапазоні.

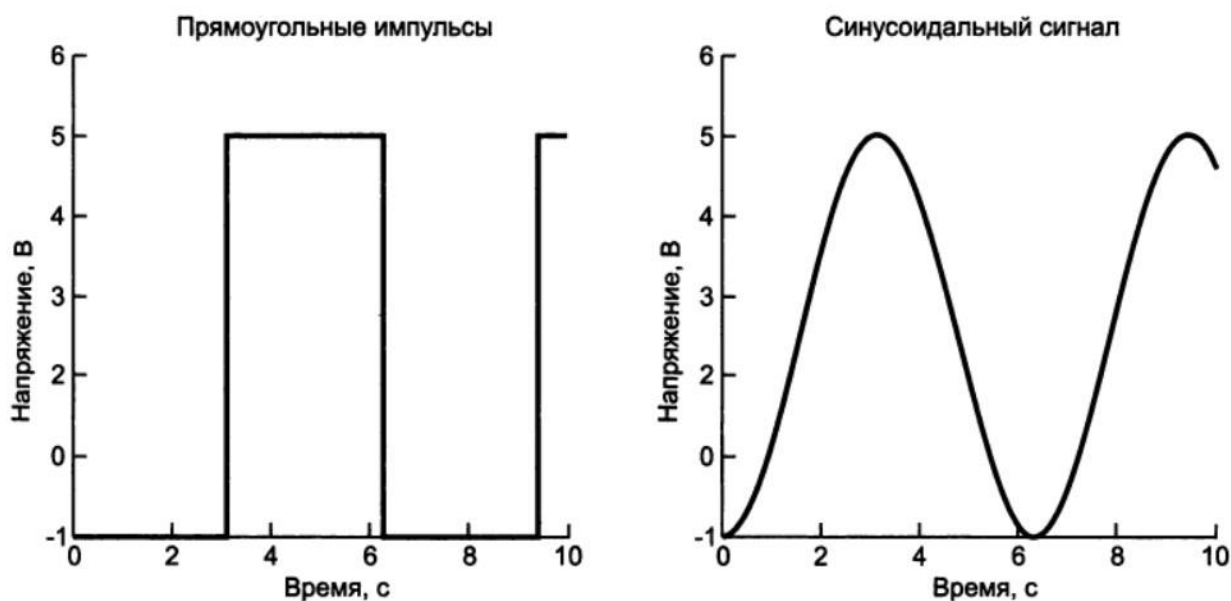


Рисунок 7.1- Аналогові та цифрові сигнали

Комп'ютерна система ніколи не може оперувати з нескінченним числом десяткових розрядів для аналогового значення, тому що обсяг пам'яті і продуктивність комп'ютера обмежені. Як же тоді з'єднати інтерфейс цифрового контролера Arduino з аналоговим реальним світом? Це робить аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який перетворює аналогові значення в цифрові з заданою точністю.

За допомогою Ардуіно можна легко збирати дані з самих різних датчиків. Можна, наприклад, виміряти температуру, швидкість вітру і вологість повітря на вулиці. А якщо додамо до цього списку МЕМС барометр і датчик освітленості, отримаємо справжню погодні станцію у себе у дворі. Але що робити з величезною масою отриманих даних? Як проаналізувати накопичені масиви чисел? Найпростіше, що ми можемо зробити - це вивести показники датчиків в монітор СОМ-порту в вигляді таблиці, а потім побудувати за допомогою них графік в одному з редакторів таблиць.

Такий підхід хороший, коли нам досить оцінити показники датчиків вже після проведення експерименту. Якщо ж графік потрібно будувати в режимі реального часу буде потрібно спеціальний додаток для візуалізації потоків даних. Наприклад, це можна зробити за допомогою відомого пакету MatLab. В одній з посліжній версій Arduino IDE також з'явилася можливість будувати прості графіки.

7.1 Програма обробки вимірної інформації

Мікроконтролер Arduino дає можливість застосовувати достатньо складні та ефективні алгоритми обробки вхідної інформації.

На етапі підготовки до проведення експерименту необхідно визначити період опитування датчиків. Мікроконтролер Arduino дозволяє змінювати час опитування датчиків в широкому діапазоні. Період опитування залежить від інерційності досліджуваного процесу. Мінімальний час опитування, що дозволяє мікроконтролер Arduino, складає 10^{-4} с. Попередній аналіз процесу показав, що оптимальний час опитування має бути ~ 5 с.

На сигнал вимірної інформації, що надходить від датчиків до мікроконтролера Arduino, накладаються різного роду перешкоди. Переважна

більшість з них є сигналами високої частоти. Для їхнього усунення застосовуємо низькочастотний фільтр у вигляді алгоритму ковзного середнього.

Вимірний сигнал є природним сигналом, перетвореним в електричний сигнал. Для застосування сигналів в алгоритмах аналізу необхідне їх перетворення у сигнали фізичних величин. Це здійснюється шляхом масштабування. Таким чином, сигнал перепаду тиску на насипному матеріалі у колоні перетворюється у величину тиску, вимірювану у Паскалях. Перепад тиску з трубки Піто-Прандтля масштабуємо у величину швидкості повітря – розмірністю м/с.

Наведені алгоритми обробки інформації оформлені у вигляді програми, що закладається у пам'ять мікроконтролера Arduino.

Текст програми

Підключаємо аналоговий вихід датчика до аналогового порту A0 на платі Arduino.

Підключаємо вихід (+ 5V) до +5 В на платі.

Підключаємо вихід GND до заземлення на платі.*/*

```
#define sensorPin1 A0    // номер порта - A0
#define sensorPin2 A3    // номер порта - A3
// * * * * *
//   ОПИС ЗМІННИХ
// * * * * *
// (1) - Датчик для розрахунку швидкості потоку повітря
int  sensorValueMA1 = 0; // Згладжене значення коду
double AirSpeed     = 0; // Значення швидкості потоку повітря
// (2) - Датчик для розрахунку перепаду тиску
int  sensorValueMA2 = 0; // Згладжене значення коду
double DifferentialPressure = 0; // Величина перепаду тиску
// Оголошуємо змінну timing, в якій будемо зберігати
```

```

// значення часу роботи програми
unsigned long timing = 0;
// Встановлюємо ширину вікон змінного згладжування сигналів:
0...widthWindow-1
const int widthWindow1 = 7;
const int widthWindow2 = 9;
// Задаємо вага поточного вимірюного значення при згладжуванні
int weightLastValue1 = 3;
int weightLastValue2 = 3;
int arrayValue1[widthWindow1]; // Масив значень у вікні згладжування
int SumMA1 =0; // Сума значень у вікні згладжування
int arrayValue2[widthWindow2]; // Масив значень у вікні згладжування
int SumMA2 =0; // Сума значень у вікні згладжування
// * * * * *
// ОПИС ФУНКЦІЙ
// * * * * *
// // Код з АЦП датчика для розрахунку швидкості потоку повітря з
корекцією нуля
int sensorValue1 (int sensorPin)
{
    int Val = 0;
    Val = analogRead(sensorPin)-25;
    return Val;
}
// Код з АЦП датчика для розрахунку перепаду тиску з корекцією нуля
int sensorValue2 (int sensorPin)
{
    int Val = 0;

```

```

    Val = analogRead(sensorPin)-24;
    return Val;
}
// Описуємо функції ковзаючого згладжування сигналів для
// першого і другого датчиків
double MovingAverage1(int sensorValue, int coef)
{
    double MA = 0; // Розрахункова згладжені значення
    double SumTmp = 0;
    SumMA1 = SumMA1 - arrayValue1[0]; // Віднімаємо перший елемент
вікна
    for (int i=0; i < widthWindow1-1; i++) // Зрушення елементів вікна
    {
        arrayValue1[i] = arrayValue1[i+1];
    }
    // Останньому елементу присвоюємо поточне значення з датчика
    arrayValue1[widthWindow1-1] = sensorValue;
    // Після зсуву елементів вікна додаємо останній елемент -
    // поточне значення параметра
    SumMA1 = SumMA1 + arrayValue1[widthWindow1-1];
    // Якщо вага поточного значення заданий більше ніж 1, то
    // додаємо додаткові значення
    SumTmp = SumMA1 + (coef - 1) * arrayValue1[widthWindow1-1];
    // Розраховуємо значення згладженого середнього з урахуванням ваги
    // поточного значення параметра
    MA = SumTmp / (widthWindow1 + coef - 1);
    return MA;
}

```



```

double MovingAverage2(int sensorValue, int coef)
{
    double MA = 0; // Розрахункова згладжені значення
    double SumTmp = 0;
    SumMA2 = SumMA2 - arrayValue2[0]; // Віднімаємо перший елемент
вікна
    for (int i=0; i < widthWindow2-1; i++) // Зрушення елементів вікна
    {
        arrayValue2[i] = arrayValue2[i+1];
    }
    // Останньому елементу присвоюємо поточне значення з датчика
    arrayValue2[widthWindow2-1] = sensorValue;
    // Після зсуву елементів вікна додаємо останній елемент -
    // поточне значення параметра
    SumMA2 = SumMA2 + arrayValue2[widthWindow2-1];
    // Якщо вага поточного значення заданий більше ніж 1, то
    // додаємо додаткові значення
    SumTmp = SumMA2 + (coef - 1) * arrayValue2[widthWindow2-1];
    // Розраховуємо значення згладженого середнього з урахуванням ваги
    // поточного значення параметра
    MA = SumTmp / (widthWindow2 + coef - 1);
    return MA;
}
// Функція розрахунку перепаду тиску
double DifPressure(int InputCode)
{
    double DP = 4.9 * InputCode - 2509; // перепад давления, [Па]
    return DP;
}

```

```

}
// Функція розрахунку швидкості потоку повітря
double VolumeFlow(int InputCode)
{
    double AirDensity = 1.185; // кг/м3 при 25 град. С
    double AirFlow = 0;
    AirFlow = sqrt(abs(2*DifPressure(InputCode)/AirDensity))-1.4; // шкoрoсть
    // Воздуха, [м/с]
    return AirFlow;
}
// * * * * *
//      SETUP
// * * * * *
void setup()
// функція setup() виконується після ініціалізації змінних,
// один раз.
{
    Serial.begin(9600);
    // Заповнюємо початкові вікна ковзаючого згладжування сигналів
    // даними
    for (int i = 0; i < widthWindow1; i++)
    {
        arrayValue1[i] = sensorValue1(sensorPin1);
        SumMA1 = SumMA1 + arrayValue1[i];
    }
    for (int i = 0; i < widthWindow2; i++)
    {
        arrayValue2[i] = sensorValue2(sensorPin2);

```

```

    SumMA2 = SumMA2 + arrayValue2[i];
  }
}
// * * * * *
//      ТІЛО ПРОГРАМИ
// * * * * *

void loop()
{
  if (millis() - timing > 2000)
  {
    // Розраховуємо згладжені значення сигналів з датчиків
    sensorValueMA1      =      MovingAverage1(sensorValue1(sensorPin1),
weightLastValue1);
    sensorValueMA2      =      MovingAverage2(sensorValue2(sensorPin2),
weightLastValue2);

    // Розраховуємо швидкість потоку повітря
    AirSpeed = VolumeFlow(sensorValueMA1);
    // Розраховуємо перепад тиску
    DifferentialPressure = DifPressure(sensorValueMA2);
    // Вивод значення на печать
    Serial.print("Code_1: ");
    Serial.print(sensorValueMA1);
    Serial.print("  Speed of air: ");
    Serial.print(AirSpeed);
    Serial.print(" [m/s]");
    Serial.print("  Code_2: ");
    Serial.print(sensorValueMA2);

```

```
Serial.print("  Diff pressure: ");  
Serial.print(DifferentialPressure);  
Serial.println(" [Pa]");  
  
timing = millis();[8]
```

8 Резултати експерименту

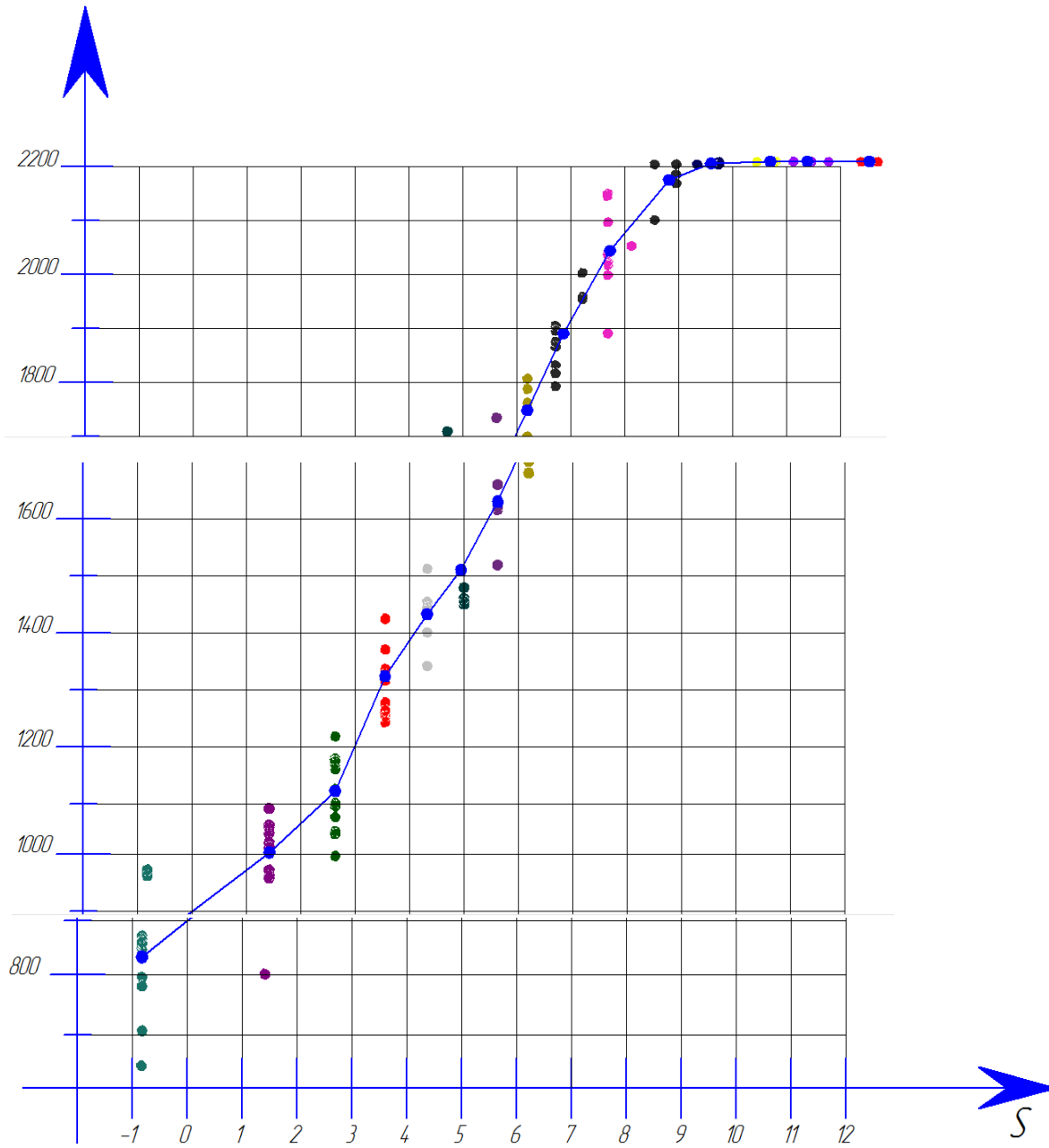
Speed	del P
-0,83	671
-0,82	729
-0,82	803
-0,82	818
-0,82	867
-0,82	872
-0,82	876
-0,82	881
-0,82	886
-0,82	974
-0,82	984
1,42	823
1,42	970
1,42	974
1,42	984
1,42	1024
1,42	1033
1,42	1048
1,42	1058
1,42	1063
1,42	1092
1,42	1092
1,53	524
2,63	1009
2,63	1048
2,63	1053
2,63	1077
2,63	1097
2,63	1102
2,63	1126
2,63	1126
2,63	1161
2,63	1170
2,63	1170

Speed	del P
2,63	1175
2,63	1180
2,63	1219
3,55	1078
3,55	1244
3,55	1254
3,55	1264
3,55	1278
3,55	1317
3,55	1327
3,55	1337
3,55	1371
3,55	1425
3,55	1425
4,32	1342
4,32	1401
4,32	1440
4,32	1445
4,32	1455
4,32	1513
4,71	1709
5	1450
5	1455
5	1460
5	1479
5,62	1519
5,62	1616
5,62	1621
5,62	1660
5,62	1734
6,19	1680
6,19	1700
6,19	1749
6,19	1763

Speed	del P
6,19	1788
6,19	1807
6,71	1793
6,71	1817
6,71	1832
6,71	1866
6,71	1876
6,71	1896
6,71	1905
7,21	1954
7,21	1959
7,21	2003
7,68	1891
7,68	1999
7,68	2018
7,68	2023
7,68	2023
7,68	2038
7,68	2097
7,68	2146
7,68	2150

Speed	del P
8,12	2053
8,55	2101
8,55	2204
8,95	2169
8,95	2185
8,95	2185
8,95	2204
9,34	2204
9,72	2204
9,72	2209
10,44	2209
10,76	2209
10,79	2209
10,79	2209
11,12	2209
11,12	2209
11,45	2209
11,45	2209
11,77	2209
12,38	2209
12,68	2209

9 Діаграма результату проведення експерименту



10 Техніка безпеки

Загальні вимоги безпеки

- Загальна організація роботи з охорони праці в лабораторії покладається на керівника лабораторії. Керівник лабораторії зобов'язаний організувати навчання і проведення інструктажу працівників лабораторії з техніки безпеки.
- До роботи в хімічній лабораторії допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичну комісію, навчання і атестовані за правилами техніки безпеки при роботі з агресивними середовищами.
- Працювати в лабораторії необхідно в халаті, захищаючи одяг і шкіру від попадання і роз'їдання реактивами і обсіменіння мікроорганізмами.
- Лаборанти допускаються до роботи за наявності таких засобів індивідуального захисту:
 - халат бавовняний;;
 - рукавички гумові;
 - окуляри захисні.
- Кожен повинен працювати на закріпленому за ним робочому місці. Перехід на інше місце без дозволу викладача не допускається.
- Приміщення лабораторії повинні бути обладнані протипожежним інвентарем (пожежний рукав із стволом, вогнегасники). Відповідальним за протипожежний стан лабораторії наказом призначається керівник лабораторії.
- У приміщенні лабораторії повинна бути розроблена і затверджена схема евакуації персоналу на випадок пожежі або ін. Надзвичайних ситуацій. Двері евакуаційних виходів повинні відкриватися назовні.
- Робоче місце слід підтримувати в чистоті, не захарашувати його посудом і побічними речами.

- Студентам забороняється працювати в лабораторії без присутності викладача або лаборанта, а також у невстановлений час без дозволу викладача.
- До виконання кожної лабораторної роботи можна приступити тільки після отримання інструктажу з техніки безпеки і дозволу викладача.
- При роботі в лабораторії слід дотримуватися таких вимог: виконувати роботу потрібно акуратно, сумлінно, уважно, економно, бути спостережливим, раціонально і правильно використовувати час, відведений для роботи.
- Після закінчення роботи слід привести в порядок своє робоче місце: помити посуд, протерти поверхню робочого лабораторного столу, закрити водопровідні крани, вимкнути електричні прилади.[9]

Техніка безпеки з електроприладами

- До виконання лабораторних робіт допускаються студенти, які прослухали інструктаж з охорони праці та техніки безпеки, розписалися в спеціальному журналі про його проходження і володіють необхідними знаннями по майбутню роботу.
- До роботи з приладами допускаються особи, ознайомлені з його пристроєм.
- Студент має право користуватися лише приладами його робочого місця, брати прилади з інших робочих місць без дозволу викладача або чергового лаборанта забороняється.
- Забороняється експлуатація приладів при знятому кожусі.

- Електротехнічні лабораторії відносяться до приміщенням підвищеної небезпеки, тому важливо дотримуватися дисципліни, уважність і обережність.
- У лабораторіях забороняється:
 - Включати установку без дозволу викладача;
 - Виробляти зміни в схемі, що знаходиться під напругою;
 - Торкатися голими руками до неізольованих частин установок, машин, апаратів;
 - Залишати без нагляду установку, що знаходиться під напругою;
 - Заходити за встановлені загородження;
 - Працювати одному в приміщенні лабораторії;
 - Користуватися проводами з несправною ізоляцією.

Техніка безпеки з комп'ютером

Вимоги безпеки під час роботи:

- З технікою звертатися дбайливо: чи не стукати по моніторах, які не стукати мишкою про стіл, не стукати по клавішах клавіатури
- При виникненні неполадок: появі змін у функціонуванні апаратури, самовільного її відключення необхідно негайно припинити роботу і повідомити про це викладачеві
- Не намагатися виправити неполадки в обладнанні самостійно
- Виконувати за комп'ютером тільки ті дії, які говорить викладач
- Контролювати відстань до екрану і правильну поставу
- Не допускати роботи на максимальній яскравості екрану дисплея
- У разі виникнення нештатних ситуацій зберігати спокій і чітко слідувати вказівкам викладача.

Правила безпеки.

Забороняється:

- працювати з електроприладами, що мають пошкодження корпусу або ізоляції сполучних проводів;
- виробляти самовільне переключення роз'ємів обладнання;
- приносити і самовільно підключати будь-яке обладнання;
- вставляти в отвір приладів сторонні предмети;
- вимикати або включати прилади без дозволу викладача.

Працюючи за комп'ютером, необхідно дотримуватися правил:

- Відстань від екрану до очей - 70 - 80 см (відстань витягнутої руки);
- Вертикально пряма спина;
- Плечі опущені і розслаблені;
- Ноги на підлозі і не схрещені;
- Лікті, зап'ястя і кисті рук на одному рівні;
- Ліктьові, тазостегнові, колінні, гомілковостопні суглоби під прямим кутом.

Вимоги безпеки:

- При появі програмних помилок або збоїв устаткування учень повинен негайно звернутися до викладача;
- При появі запаху гару, незвичайного звуку негайно припинити роботу, і повідомити викладачеві.

- Після закінчення роботи дочекатися поки викладач підійде і перевірить стан обладнання, здати роботу, якщо вона виконувалася
- Повільно встати, зібрати свої речі і тихо вийти з класу, щоб не заважати іншим учням

Техніка безпеки в лабораторії при пожежі:

- Для приміщення лабораторії повинна бути визначена категорія вибухопожежної та пожежної небезпеки, а також клас зони за правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), які слід позначати на дверях приміщень.
- Протипожежні системи та установки повинні постійно утримуватися в справному стані.
- Роботи, пов'язані з виділенням шкідливих для здоров'я речовин, повинні проводитися у витяжних шафах.
- Для провітрювання приміщень в неробочий час необхідно передбачити систему природної вентиляції.
- Не дозволяється проводити роботи на обладнанні та установках з несправностями, що можуть призвести до пожежі, а також при відключеною технологічної автоматиці.
- Порушення вогнезахисних покриттів будівельних конструкцій, горючих оздоблювальних і теплоізоляційних матеріалів, металевих опор обладнання повинні негайно усуватися.

У приміщенні лабораторії забороняється:

- проводити роботи, пов'язані з виділенням токсичних речовин, вибухопожежонебезпечних парів або газів, в несправних витяжних шафах;
- захарашувати проходи, виходи і підходи до первинних засобів пожежогасіння різними спалимими матеріалами і обладнанням, а також влаштовувати проходи між обладнанням шириною менше 1 метра;
- мити підлогу і обладнання гасом, бензином та іншими горючими рідинами і речовинами;
- сушити горючі предмети на опалювальних приладах;
- прибирати пролиті горючі рідини при запалених пальниках і включених електронагрівальних приладах;
- зливати відпрацьовані рідини в каналізацію;
- зберігати легкозаймисті та горючі рідини в кількостях, що перевищують змінну потребу;
- залишати на робочому місці промаслений ганчір'я і папір;
- зберігати в робочих приміщеннях будь-які речовини з невідомими пожежними властивостями;
- курити на робочому місці;
- залишати без нагляду робоче місце;
- проводити роботи у витяжній шафі, якщо в ньому зберігаються матеріали і обладнання, що не відносяться до виконуваної операції;
- застосовувати для обігріву приміщень нестандартні (саморобні) нагрівальні прилади - електropечі і електричні лампи розжарювання.

- У будівлі лабораторії дозволяється зберігати запас легкозаймистих, горючих рідин (ЛЗР, ГР) і газів, що не перевищує добову потребу в них. Зберігання запасу ЛЗР і ГР дозволяється в спеціальному приміщенні або в спеціальних металевих ящиках.
- Залишки бензину після випробувань зливаються в спеціально призначений для цієї мети посудину з герметично закривається кришкою. Після закінчення робочого дня (зміни) вміст посудини виливається в спеціально влаштований зливний колодязь і утилізується в міру накопичення. Використані кислоти і луги нейтралізуються і тільки після цього зливаються в каналізацію.
- Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися вільно і у напрямку виходу з будівлі. На дверях евакуаційних виходів повинні забезпечувати людям, що знаходяться всередині будівлі (споруди), можливість вільного їх відкривання зсередини без ключа.[10]

Порядок дій при пожежі

- У разі виявлення пожежі / загоряння / кожен робочий зобов'язаний:
- негайно повідомити по телефону 101 в пожежну охорону. При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;
- по можливості організувати евакуацію людей, гасіння пожежі та збереження матеріальних цінностей;
- повідомити керівника підприємства / служби / або черговому по підприємству.
- У разі необхідності викликати аварійно-рятувальну службу.

Надання першої медичної допомоги

При особливо серйозних випадках травм необхідно негайно ж звернутися до лікаря і викликати швидку допомогу.

Для надання першої допомоги у всіх випадках в лабораторії завжди повинні бути: 1) бинти, 2) гігроскопічна вата, 3) 3% -ний розчин йоду, 4), 2% -ний розчин борної кислоти, 5) 2% -ний розчин оцтової кислоти, 6) 3-5% -ний розчин двовуглекислого натрію (питної соди), 7) колодій або клей БФ-6.

При пораненнях склом потрібно видалити його осколки з ранки (якщо вони в ній залишилися) і, переконавшись, що там їх більше немає, змастити ранку йодом і перев'язати пораненої місце.

При термічних опіках першого і другого ступеня обпалене місце можна присипати двовуглекислим натрієм (питною содою).

Добре допомагають примочки з свіжоприготовлених розчинів питної соди (2% -ний) або марганцевокислого калію (5% -ний). Кращим засобом для примочок є абсолютний або 96% -ний етиловий спирт, він надає одночасно і бактерицидну і знеболювальну дію.

При більш важких або великих опіках необхідно негайно відправити потерпілого до лікаря.

При опіках хімічними речовинами (головним образом кислотами і лугами) уражену ділянку шкіри швидко промивають великою кількістю води.

Надання першої медичної допомоги у разі ураження електричним струмом

Рятування життя людини, ураженої струмом, у багатьох випадках залежить від швидкості та правильності дій осіб, що надають допомогу. Передусім потрібно якнайшвидше звільнити потерпілого від дії електричного струму. Якщо неможливо відключити електричне обладнання

від мережі, потрібно одразу звільнити потерпілого від струмоведучих частин, не торкаючись при цьому потерпілого.

Заходи до лікарської допомоги після звільнення потерпілого від струму залежать від того, в якому він стані. Допомогу потрібно надавати негайно, якщо можливо — на місці події, одночасно викликавши медичну допомогу. Якщо потерпілий не знепритомнів, потрібно забезпечити йому на деякий час спокій, не дозволяючи рухатися до прибуття лікаря. Якщо потерпілий дихає нечасто і судорожно, але прослуховується пульс, потрібно негайно зробити йому штучне дихання. У разі зупинки дихання, розширенні зіниць і посинінні шкіри потрібно робити штучне дихання і непрямий масаж серця.[11]

Подія	Перша допомога
ОПІКИ	
I- й ступінь (почервоніння)	Накласти вату, змочену етиловим спиртом. Повторити змочування.
II- й ступінь (пухирі)	Те ж саме. Обробляти 5% -м розчином KMnO ₄ або 5% -м розчином таніну.
III- й ступінь (руйнування тканин)	Покрити рану стерильною пов'язкою і викликати лікаря.
Опіки кислотами, хлором або бромом	Промити опік великою кількістю води, потім 5%- ним розчином NaHCO ₃
Опіки лугами	Промити рясно водою.
Опіки очей	При опіку кислотами промити 3% -м

	розчином Na_2CO_3 . При опіку лугами застосовувати 2% -й розчин оцтової кислоти
ОТРУЄННЯ	
Попадання їдких речовин в рот й органи травлення	У випадку попадання кислоти – випити кашку з оксиду магнею; у випадку попадання лугу – випити розчин лимонної кислоти або дуже розбавленої оцтової кислоти.
Отруєння твердими або рідкими речовинами	Викликати блювоту, випивши 1% -й розчин сульфату міді(II) CuSO_4
Отруєння газами	Потерпілого негайно вивести на свіже повітря.
Порізи шкіри	Рану продезінфікувати розчином перманганату калію або спиртом, обробити з країв йодом і перев'язати бинтом або заклеїти лейкопластиром. У разі надмірної кровотечі накласти джгут
Потрапляння стороннього тіла в очі	Стороннє тіло видаляють струменем розчину борної кислоти або чистої води, спрямовуючи його від виска до носа, і якщо не вдається видалити – негайно звернутися до лікаря

Висновки

1. Ми ознайомилися з літературою своєї дипломної роботи та зробили аналітичний огляд літератури;
2. Також ми ознайомилися зі схемою установки для дослідження ;
3. Нами було вдосконалено нашу установку за допомогою мікроконтролера Arduino;
4. Було проведено експеримент за допомогою мікроконтролера Arduino;
5. Дані експерименту було занесені до комп'ютеру та оброблені

Перелік джерел посилання

1. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гідравліка. Загальний курс - Львів: Світ, 1994.-264с.
2. О.М. Коваленко, Т.О. Шевченко Інженерна гідравліка. Розділ І. Рух рідини в закритих руслах – Харків: ХНАМГ, 2007.-76 с.
3. *Преображенский В. П.* Теплотехнические измерения и приборы. — Москва: Энергия, 1978. — 704 с.
4. *Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков* Теплотехнические измерения и приборы. — Москва: МЭИ, 2005. — 460 с. — ISBN 5-7046-1046-3
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Датчик_давления
6. https://ru.wikipedia.org/wiki/Дифференциальный_манометр
7. *Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П.* Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах. Навчальний посібник. — К.: Ліра-К, 2011. — 500с. ISBN 978-966-2174-13-7
8. "Физическая энциклопедия", том 1 п/р Прохоров А.М. "Советская энциклопедия", 1988г.
9. Гетерогенный газофазный аэрозольный нанокатализ: монография\ М. А. Гликин, И. М. Гликина. – Х. :Изд-во «Підручник НТУ «ХПГ»», 2015 – 472 с. – На рус. Яз.
10. *Андрюшенко О. А., Водичев В. А.* Электронные программируемые реле серий EASY и MFD-Titan — 2-е изд., испр. — Одесса: Одесский национальный политехнический университет, 2006. — 223 с.
11. *Денисенко В. В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием — М.: «Горячая линия-Телеком», 2009 г. — 608 с. ISBN 978-5-9912-0060-8.