

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Bar – позасистемна одиниця вимірювання тиску;

Psi – позасистемна одиниця вимірювання тиску, яка використовується у Великобританії та США;

V – (Вольт) одиниця вимірювання електричної напруги, електрорушійної сили та різниці потенціалів в системі СІ. У тексті також використовуються із частинним або кратним префіксом (мВ, кВ, МВ);

год – (година) одиниця вимірювання часу;

ЗВ – засіб вимірювання;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

кг/с, $\text{кг}\cdot\text{с}^{-1}$ – (кілограм на секунду) похідна одиниця системи одиниць СІ для вимірювання масової витрати рідин газів і т.д;

кгс – (Кілограм-сила) основна одиниця вимірювання сили в системі одиниць МКГСС;

м – (Метр) одиниця вимірювання довжини в системі СІ. У тексті також використовуються із частинним або кратним префіксом (мм, см) ;

м^2 – (Квадратний метр) одиниця вимірювання площі в системі СІ. У тексті також використовуються із частинним або кратним префіксом (мм^2 , см^2) ;

м^3 – (Кубічний метр) одиниця вимірювання об'єму в системі СІ. У тексті також використовуються із частинним або кратним префіксом (мм^3 , см^3) ;

Ом – одиниця вимірювання електричного опору в системі СІ. У тексті також використовуються із частинним або кратним префіксом (кОм, МОм);

Па, Ра – (Паскаль) одиниця вимірювання тиску в системі СІ. У тексті також використовуються із частинним або кратним префіксом (кПа, МПа, кРа, МРа);

СІ – Міжнародна система одиниць;

ФВ – фізична величина.

ВСТУП

Засіб вимірювальної техніки – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

До засобів вимірювальної техніки відносяться:

- засоби вимірювань;
- вимірювальні пристрої.

Засіб вимірювання – засіб вимірювальної техніки, який реалізує процедуру вимірювань. До засобів вимірювань відносяться:

- кодові засоби вимірювань;
- реєструвальні засоби вимірювань;
- вимірювальні прилади;
- вимірювальні канали;
- вимірювальні системи.

Засіб вимірювань реалізує в ідеальному випадку лінійну залежність між значеннями вимірювальної величини та її відповідними розмірами.

Вимірювальний прилад – це засіб вимірювання, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації.

Залежно від способу відліку інформації поділяються:

- аналогові;
- цифрові;
- реєструвальні.

Засоби вимірювання тиску класифікують по виду вимірювального тиску і принципу дії. По виду вимірювального тиску засоби вимірювання підрозділяють на:

- манометри надлишкового тиску – для вимірювання надлишкового тиску;
- манометри абсолютного тиску – для вимірювання тиску, відліченого від абсолютного нуля;

- барометри – для вимірювання атмосферного тиску. Барометри розділяються на ртутні і мембранні;

- вакуумметри – для вимірювання вакууму (розрідження);

- мановакуумметри – для вимірювання надлишкового тиску і вакууму (розрідження).

Крім перелічених засобів вимірювання у практиці вимірювання одержали поширення:

- напороміри – манометри рисих надлишкових тисків (до 40 кПа);

- тягоміри – вакуумметри з верхньою межею вимірювання не більше -40 кПа;

- тягонапороміри – мановакуумметри з діапазоном вимірювання від $+20$ кПа до -20 кПа;

- вакуумметри залишкового тиску – вакуумметри, призначені для вимірювання глибокого вакууму або залишкового тиску, тобто абсолютних тисків менш 200 Па;

- диференційні манометри – прилади вимірювання різниці тисків.

За принципом дії засоби вимірювання тиску підрозділяють на: рідинні, поршневі, деформаційні (пружинні), іонізаційні, теплові, електричні. Така кваліфікація не є вичерпною і може бути доповнена засобами вимірювання, заснованими на інших фізичних явищах.

1 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ТИСКУ

Тиском називають відношення сили, що діє перпендикулярно поверхні, до площі цієї поверхні. Тиск – одна з основних величин, що визначає термодинамічний стан речовин.

Вимірювання тиску полягає у встановленні значення тиску у рідкому чи газоподібному середовищі. Це необхідно для керування технологічними процесами та забезпечення безпеки виробництва. Крім цього, цей параметр використовується при непрямих вимірюваннях інших технологічних параметрів: рівня, витрати, температури, густини тощо. В системі СІ за одиницю тиску береться паскаль (Па). У більшості випадків первинні перетворювачі тиску мають неелектричний вихідний сигнал у вигляді сили або переміщення і об'єднані в один блок з вимірювальним приладом. Якщо результати вимірювань необхідно передавати на відстань, то застосовують проміжне перетворення цього неелектричного сигналу в уніфікований електричний або пневматичний. При цьому первинний і проміжний перетворювачі об'єднують в один вимірювальний перетворювач.

Статичні вимірювання – вимірювання величини, яку можна вважати незмінною за час вимірювання. Статичне вимірювання – це вимірювання, при якому протягом певного проміжку часу вимірювана величина майже не змінюється або ж її значення змінюється поступово відповідно до процесу виробництва.

Динамічні вимірювання – вимірювання, які показують зміну вимірюваної величини в часі при різних збуреннях, що впливають на об'єкт дослідження або ж на засоби вимірювання (ЗВ). Динамічні вимірювання дають можливість вивчати динамічні властивості об'єкта і засобу вимірювальної техніки (ЗВТ), особливо первинних перетворювачів (датчиків).

Статичні та динамічні вимірювання в ідеальному вигляді на практиці зустрічаються рідко.

За способом одержання числового значення вимірюваної величини вимірювання поділяються на прямі, посередні, сукупні та сумісні. Прямими називаються такі вимірювання, за яких значення вимірюваної величини визначається безпосередньо за експериментальними даними (вимірювання довжини метром, вимірювання температури термометром, тиску – манометром та ін.). Прямі вимірювання найпростіші і найпоширеніші у промисловості.

Посередніми називаються такі вимірювання, за яких значення вимірюваної величини вираховується за допомогою відомих математичних залежностей між цією величиною і величиною, яка визначається прямими вимірюваннями.

При сукупних вимірюваннях числове значення вимірюваної величини визначається розв'язком системи рівнянь, одержаних шляхом сукупних прямих вимірювань однієї або декількох однойменних величин (наприклад, визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення).

При сумісних вимірюваннях одночасно вимірюють дві або декілька різнойменних величин для виявлення залежностей між ними. Як правило, результати таких вимірювань використовуються в наукових дослідженнях.

За точністю вимірювання числових значень вимірюваної величини вимірювання поділяються на три групи:

- вимірювання з максимально можливою точністю відповідно до наявного технічного рівня. Це вимірювання за допомогою еталонів, спрямовані насамперед на відтворення встановлених одиниць ФВ або ж фізичних констант. Крім того, такі вимірювання необхідні під час наукових досліджень високого рівня та розробок сучасних технологій в електроніці, атомній енергетиці тощо.

- контрольно-повірочні вимірювання, похибки яких не перевищують деяких наперед заданих значень. До них відносять лабораторні вимірювання ФВ за допомогою зразкових і технічних засобів високих класів точності. Такі вимірювання проводяться у метрологічних лабораторіях Держстандарту України та науково-дослідних інститутах.

– технічні вимірювання – вимірювання, які проводяться у промисловості і визначаються невисоким класом точності засобів вимірювання. Залежно від одиниць вимірювання значення вимірювальних величин можна розподілити на абсолютні, відносні та приведені.

Абсолютними називаються вимірювання, значення яких подані в абсолютних одиницях ФВ (наприклад, тиск – у паскалях, довжина – в метрах, час – у секундах та ін.).

Відносними називаються вимірювання, значення яких подані як відношення вимірюваної величини до однойменної, умовно прийнятої за одиницю, або ж у відсотках (наприклад, вологість повітря).

За кількістю вимірювальної інформації розрізняють однократні (одноразові) і багатократні вимірювання.

Одноразові вимірювання – це один вимір однієї величини, тобто число вимірювань дорівнює числу вимірюваних величин. Практичне застосування такого виду вимірювань завжди пов'язане з великими похибками, тому слід проводити не менше трьох одноразових вимірювань і знаходити кінцевий результат як середнє арифметичне значення.

Багаторазові вимірювання характеризуються перевищенням числа вимірювань кількості вимірюваних величин. Зазвичай мінімальне число вимірів у даному випадку більше трьох. Перевага багаторазових вимірювань – у значному зниженні впливів випадкових факторів на похибку вимірювання.

Датчик тиску складається з первинного перетворювача тиску, у склад якого входить чутливий елемент з приймачем тиску, схема вторинної обробки та пристрій виводу, розміщені у корпусі. Основною відмінністю таких приладів є точність реєстрації тиску, яка залежить від принципу перетворення тиску в електричний сигнал: тензометричний, п'єзорезистивних, ємнісний, індуктивний, резонансний, іонізаційний.

Тензометричний метод.

Робота чутливих елементів датчиків базується на принципі вимірювання зміни опору тензорезисторів, приклеєних до титанової мембрани в умовах деформації під дією тиску.

Набули поширення дротові і фольгові тензорезистори, що виготовляють із провідників типу манганіну, ніхрому, константану, а також напівпровідникові тензорезистори, що виготовляють із кремнію та германію. Опір тензорезисторів, що виготовляють із провідників, становить від 30 Ом до 500 Ом, а опір напівпровідникових тензорезисторів від $5 \cdot 10^{-2}$ кОм до 10 кОм.

Удосконалювання технології виготовлення напівпровідникових тензорезисторів створило можливість виготовляти тензорезистори безпосередньо на кристалічному елементі, виконаному із кремнію або сапфіру. Пружні елементи кристалічних матеріалів мають пружні властивості, що наближаються до ідеальних. Кремнієві перетворювачі мають високу часову і температурну стабільність. Для вимірювання тиску чистих неагресивних діелектриків застосовуються вирішення, що базуються на використанні чутливих елементів або без покриття, або з захистом силіконовим гелем. Для вимірювання тиску агресивних середовищ і у більшості промислових застосуваннях використовується перетворювач тиску в герметичному металоскляному корпусі, з роздільною діафрагмою з нержавіючої сталі, що передає тиск вимірюваного середовища за допомогою кремнійорганічної води.

Класи точності тензорезисторних вимірювальних перетворювачів надлишкового тиску, вакууму та різниці тисків 0,6; 1,0; 1,5.

Діапазони вимірювання:

- надлишкового тиску — від 10^{-3} до 60 МПа;
- розрідження від –1 кПа до 0 кПа;
- абсолютного тиску — від 2,5 кПа до 2,5 МПа;
- різниці тисків — від 1 кПа до 2,5 МПа.

П'єзоелектричний метод.

П'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі тиску. В основу роботи цих перетворювачів покладене перетворення вимірювального тиску в зусилля за

допомогою деформаційного чутливого елемента і наступного перетворення цього зусилля в сигнал вимірювальної інформації п'єзоелектричним перетворювальним елементом. Принцип дії п'єзоелектричного перетворювального елемента заснований на п'єзоелектричному ефекті, який спостерігається в ряді кристалів, таких, як кварц, турисін, титанат барію і ін. Суть п'єзоелектричного ефекту полягає в тому, що якщо кварцові пластини Х-зрізу піддати стиску силою N , то на її поверхні виникнуть заряди різних знаків. Значення заряду Q пов'язане із силою N співвідношенням

$$Q = k \cdot N \quad (1.1)$$

де k — п'єзоелектрична постійна, котра не залежить від розміру пластини і визначається природою кристалу.

вимірювальні перетворювачі цього типу мають високі динамічні характеристики, що обумовило їхнє широке застосування при контролі тиску в системах зі швидкопротікаючими процесами. Чутливість п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів тиску може бути підвищена шляхом застосування декількох, паралельно включених кварцових пластин і збільшення ефективної площі мембрани.

Верхні межі вимірювання п'єзоелектричних перетворювачів тиску із кварцовими чутливими елементами від 2,5 МПа до 100 МПа. Класи точності 1,5; 2,0. Через витік заряду із кварцових пластин перетворювачі тисків цього типу не використовують для вимірювання статичних тисків.

Ємнісний метод.

Ємнісні сенсори використовують метод зміни ємності конденсатора при зміні відстані між обкладками. Відомі керамічні або кремнієві ємнісні сенсори тиску і сенсори, виконані з використанням пружної металевої мембрани. При зміні тиску мембрана з електродом деформується і відбувається зміна ємності. В елементі з кераміки або кремнію, простір між обкладками зазвичай

заповнений маслом або іншою органічною рідиною. Недолік - нелінійна залежність ємності від прикладеного тиску.

Резонансний метод.

В основі методу лежать хвильові процеси: акустичні або електромагнітні. Це і пояснює високу стабільність датчиків і високі вихідні характеристики приладу.

Частковим прикладом може служити кварцовий резонатор. При прогині мембрани, відбувається деформація кристалу кварцу, підключеного в електричну схему і його поляризація. У результаті зміни тиску частота коливань кристала змінюється. Підібравши параметри резонансного контуру, змінюючи ємність конденсатора або індуктивність котушки, можна домогтися того, що опір кварцу падає до нуля - частоти коливань електричного сигналу і кристала збігаються - настає резонанс.

До недоліків можна віднести індивідуальну характеристику перетворення тиску, значний час відгуку, неможливість проводити вимірювання в агресивних середовищах без втрати точності показів приладу.

Індукційний метод.

Індукційний спосіб базується на реєстрації вихрових струмів (струмів Фуко). Чутливий елемент складається з двох котушок, ізольованих між собою металевим екраном. Перетворювач вимірює зміщення мембрани за відсутності механічного контакту. У котушках генерується електричний сигнал змінного струму таким чином, що заряд і розряд котушок відбувається через однакові проміжки часу. При відхиленні мембрани створюється струм у зафіксованій основній котушці, що призводить до зміни індуктивності системи. Зсув характеристик основної котушки дає можливість перетворити тиск у стандартизований сигнал, прямо пропорційний прикладеному тиску.

Перевагою такої системи, є можливість вимірювання низьких надлишкових і диференціальних тисків, досить висока точність і незначна температурна залежність. Однак датчик чутливий до магнітних впливів, що

пояснюється наявністю котушок, які при проходженні змінного сигналу створюють магнітне поле.

Іонізаційний метод.

В основі лежить принцип реєстрації потоку іонізованих частинок. Аналогом є лампові діоди. Лампа оснащена двома електродами: катодом і анодом, - нагрівачем а також. У деяких лампах останній відсутній, що пов'язано з використанням досконаліших матеріалів для електродів. Корпус лампи виконаний з високоякісного скла.

Перевагою таких ламп є можливість реєструвати низький тиск - аж до глибокого вакууму з високою точністю. Однак слід суворо враховувати, що подібні прилади не можна експлуатувати, якщо тиск у камері близький до атмосферного. Тому подібні перетворювачі необхідно поєднувати з іншими датчиками тиску, наприклад, ємнісними. Крім іншого, іонізаційні лампи повинні оснащуватися додатковими приладами, оскільки залежність сигналу від тиску є логарифмічною.

2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ ТИСКУ

За видом вимірюваного тиску манометри діляться на групи, які відрізняються початками відліку тиску, тобто різними, прийнятими за нуль, значеннями тиску: в першу групу входять манометри надлишкового (більшого за атмосферний) тиску, а у другу - абсолютного (відрахованого від абсолютного нуля) тиску.

В манометрах надлишкового тиску, як позитивного, тобто більшого за атмосферний, так і від'ємного (вакуумметричного або розрідження), тобто меншого за тиск навколишнього середовища, за нуль приймається значення атмосферного тиску.

До них відносяться:

- манометри – прилади, які призначені для вимірювання надлишкового тиску від 0,6 кгс/см до 105 кгс/см (від 0,06 МПа до 10 МПа);
- вакуумметри - прилади для вимірювання розрідження (вакуумметричних тисків) до -1,0 кгс/см² (-0,1 МПа);
- мановакуумметри – прилади, які призначені для вимірювання надлишкового тиску від 0,6 кгс/см² до 24 кгс/см², а також і вакуумметричного тиску до -1,0 кгс/см²;
- напороміри – манометри для вимірювання малих надлишкових тисків (до +0,4 ат) від атмосферного;
- тягоміри – вакуумметри з верхньою межею вимірювання тиску, яка не перевищує -0,4 кгс/см² (-0,04 МПа);
- тягонапороміри – мановакуумметри з крайніми межами вимірювання відхилення тиску від атмосферного в сторону розрідження або надлишкового тиску $\pm 0,2$ кгс/см² ($\pm 0,02$ МПа = ± 20 кПа).

Другу групу складають манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску, що відраховується від абсолютного нуля тиску, тобто, повної його відсутності.

До них відносяться:

- барометри – манометри абсолютного тиску, які пристосовані для вимірювання тиску атмосфери;
- укорочені рідинні манометри;
- укорочені барометри – це ртутні вакуумметри для вимірювання абсолютних тисків (менших $0,2 \text{ кгс/см}^2$);
- вакуумметри залишкового тиску, які призначені для вимірювання глибокого вакууму, тобто абсолютних тисків, менших за $0,002 \text{ кгс/см}^2$.

Дещо осторонь стоїть третя група манометрів, яка включає в себе дифманометри та мікроманометри.

Диференціальні манометри (дифманометри) - це манометри, які вимірюють різницю двох тисків, ні один із яких не є атмосферним, і використовуються в різних галузях промисловості. Приклади використання дифманометрів: вимірювання перепадів тиску; вимірювання витрати рідин, газів та пари за перепадом тиску на спеціальних звужувальних пристроях; вимірювання рівня ліквіду, що знаходяться під дією атмосферного, надлишкового або вакуумметричних тисків тощо.

Мікроманометри – це дифманометри лабораторного типу, які використовуються для вимірювання тиску чи різниці тисків в газових середовищах з верхньою межею вимірювання меншою за $0,04 \text{ кгс/см}^2$.

Для вимірювання значного тиску в важкодоступних місцях (напр. в циліндрі двигуна) використовуються електричні манометри опору.

Принцип дії приладів цієї групи ґрунтується на непрямому методі вимірювання - зміні електричного опору чутливого елемента під дією зовнішнього тиску, які функціонально пов'язані між собою.

Вибір певного типу манометра для використання залежить передусім від значення вимірюваного тиску, потрібної точності та надійності вимірювань, а також від фізико-механічних властивостей середовища. Допустимий робочий тиск в середовищі не повинен перевищувати $3/4$ верхньої межі вимірювань манометра, а у випадку змінного тиску - $2/3$.

В якості пристроїв для відбирання тиску із середовища використовують трубки діаметром 10-12 мм, які називають імпульсними.

Імпульсні трубки бажано розміщувати на відносно рівних (горизонтальних або з невеликим нахилом) ділянках трубопроводу.

У випадках вимірювання тиску газу або пари відбирання тиску здійснюється вище осі трубопроводу, а за вимірювання тиску рідин - нижче осі. Довжина імпульсних ліній для манометрів з одновитковою пружиною або сильфоном — до 30 м. Кінець трубки в середовищі повинен бути вмонтований врівень з внутрішньою стінкою об'єкта, яка обмежує вимірюване за тиском середовище.

Перелік нормованих метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки регламентується нормативно-технічною документацією на відповідні типи засобів вимірювальної техніки.

Метрологічні характеристики - характеристики засобів вимірювальної техніки, які нормуються для визначення результату вимірювання, їхніх основних та додаткових похибок за визначених умов проведення вимірювань (повірок).

У технічній документації на засоби вимірювань визначаються умови контролю метрологічних характеристик; об'єм вибірки, кількість точок вимірювань та їх розміщення у діапазоні вимірювань, допустимі похибки вимірювань, умови проведення експериментів. Метрологічні характеристики контролюються щодо відповідності регламентованих значень як експериментальними, так і розрахунковими методами.

До нормованих метрологічних характеристик відносять такі:

— Розмах шкали засобу вимірювальної техніки вибирається зі стандартного ряду шкал для відповідних вимірюваних величин. Шкала засобу вимірювань може виражатися як в одиницях вимірюваної величини (відсотках), так і у нормованих одиницях (сигналах), які відповідають розмаху шкали і використовуються при імітаційних методах повірки (наприклад, розмах шкали

потенціометра в одиницях температури від 0 °С до 600 °С, а нормоване значення шкали від 0 мВ до 9 мВ).

– Межі допустимої похибки засобу вимірювальної техніки нормуються приведеною похибкою, яка відповідає його класу точності.

– Основні похибки засобу вимірювальної техніки відповідно до нормативно-технічної документації для відповідного засобу наводяться у вигляді сумарної похибки:

Δ - межа допустимої абсолютної похибки при довірчій імовірності не менше 0,95;

Δ_v - межа допустимої випадкової складової похибки при довірчій імовірності не менше 0,95;

$\sigma(\Delta_v)$ - межа допустимого середнього квадратичного відхилення випадкової складової похибки;

Δ_c - межа допустимої систематичної складової похибки при $p = 0,95$;

$M(\Delta_c)$ - математичне сподівання систематичної складової похибки.

В інтервал, обмежений допустимими основними похибками Δ , Δ_v , та Δ_c , мають вкладатися не менше 90 % усіх можливих значень основних похибок.

– Додаткові похибки визначаються для кожної з величин, що впливають на вимірювання, відповідно до нормативно-технічної документації, а також регламентуються межі цих похибок. Додаткові похибки регламентуються зазвичай для нових або закордонних засобів вимірювань, які використовуються у промисловості.

– Час проведення вимірювання фізичної величини чи технологічного параметра.

– Термін експлуатації засобів вимірювальної техніки.

Вимірювання фізичних величин зазвичай здійснюється шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів. Залежно від виду вимірюваних величин, необхідної точності їх, умов проведення експерименту та виду потрібної інформації використовуються різноманітні засоби вимірювальної техніки, що видають відповідні сигнали

вимірювальної інформації. Будь-яка фізична вимірювана величина завдяки засобам вимірювання перетворюється на відповідний сигнал, який спостерігач сприймає безпосередньо на шкалі приладу, або ж після перетворення і опрацювання передається через канали зв'язку на інші засоби вимірювання у вигляді сигналу зовсім іншої фізичної величини. Наприклад, вимірювання температури, тиску, густини супроводжуються перетворенням вимірюваної величини на сигнал (електричний, пневматичний, механічний), який за допомогою засобів відтворення видає значення вимірюваної величини на шкалі приладу.

3 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ ВОДИ

Як відомо, витрата речовини — це маса або об'єм речовини, що проходить через даний перетин каналу засобу вимірювання витрати за одиницю часу. Витрата речовини вимірюється за допомогою витратомірів, що представляють собою засоби вимірювань або вимірювальні прилади витрати. Багато витратомірів призначені не тільки для вимірювання витрати, але і для вимірювання маси або об'єму речовини, що проходить через засіб вимірювання в перебіг будь-якого, довільно узятим проміжку часу. В цьому випадку вони називаються витратомірами з лічильниками або просто лічильниками.

Різноманіття і складність вимог, що пред'являються сучасною наукою і технікою до характеристик, а також областей застосування витратомірів, зумовили появу численних і різноманітних методів вимірювання витрати: змінного перепаду тиску; обтікання — постійного перепаду тиску; тахометричні; електромагнітні; змінного рівня; теплові; вихрові; акустичні.

Крім того, відомі витратоміри, засновані на інших принципах дії: резонансні, оптичні, іонізаційні, міточні та інші. Проте багато з них знаходяться у стадії розробки і широкого застосування поки не одержали.

Витратоміри необхідні перш за все для управління виробництвом. Без них не можна забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетиці, металургії, в хімічній, нафтовій, целюлозно-паперовій і багатьох інших галузях промисловості. Ці прилади потрібні також для автоматизації виробництва і досягнення при цьому максимальної його ефективності.

Одним з найбільш поширених засобів вимірювань витрати рідин, що протікають по трубопроводах, є витратоміри *змінного перепаду тиску*, що складаються з стандартного звужуючого пристрою, дифманометра, приладів для вимірювання параметрів середовища і сполучних ліній. У комплект витратомірного пристрою також входять прямі ділянки трубопроводів до і після звужуючого пристрою місцевими опорами. Звужуючий пристрій витратоміру є первинним вимірювальним перетворювачем витрати, в якому в

результаті звуження перетину потоку вимірюваного середовища утворюється перепад (різниця) тисків, залежних від витрати. В якості стандартних (нормалізованих) звужуючих пристроїв застосовуються вимірювальні діафрагми, сопла, сопла Вентурі і труби Вентурі. Як вимірювальні прилади, застосовуються різні диференціальні манометри, забезпечені показуючими, записуючими, інтегруючими, сигналізуючими та іншими пристроями, що забезпечують видачу вимірювальної інформації про витрати у відповідній формі і вигляді. Вимірювальна діафрагма є диском, встановленим так, що центр його лежить на осі трубопроводу. При протіканні потоку води або газу (пари) трубопроводі з діафрагмою звуження його починається до діафрагми. На деякій відстані за нею під дією сил інерції потік звужується до мінімального перетину, а далі поступово розширюється до повного переріза трубопроводу. Перед діафрагмою і після неї утворюються зони завихрення. Тиск струменя біля стінки спочатку зростає із-за підпора перед діафрагмою. За діафрагмою воно знижується до мінімуму, потім знову підвищується. Перед діафрагмою і після неї утворюються зони завихрення. Тиск струменя біля стінки спочатку зростає із-за підпора перед діафрагмою. За діафрагмою воно знижується до мінімуму, потім знову підвищується, але не досягає попереднього значення, оскільки внаслідок тертя і завихрень відбувається втрата тиску. Таким чином, частина потенційної енергії тиску потік переходить в кінетичну. В результаті середня швидкість потоку в звуженому перетині підвищується, а статичний тиск в цьому перетині стає меншим статичного тиску перед звужуючим пристроєм. Різниця цього перепаду тиску служить мірою витрати, що протікає через звужуючий пристрій води. Вимірювання витрати за перепадом тиску є найпоширенішим методом для вимірювання рідких речовин в умовах високого тиску (до 100 МПа) та високих температур – до декількох сотень градусів за Цельсієм. Недоліком цього методу є порівняно не висока точність. Похибка витратомірів змінного перепаду тиску становить до 3,5 %, тобто не припустима величина.

Принцип дії *витратоміра обтікання* заснований на залежності переміщення тіла, що знаходиться в потоці і сприймає динамічний тиск оточуючого його потоку, від витрати речовини. Широко поширеними витратомірами обтікання є витратоміри *постійного перепаду тиску* — *ротаметри поплавцеві і поршневі*. Принцип дії витратомірів постійного перепаду тиску оснований на залежності від витрати речовини вертикального переміщення тіла — поплавця, що знаходиться в потоці і що змінює при цьому площу прохідного отвору приладу таким чином, що перепад тиску по обидві сторони поплавця залишається постійним. У деяких витратомірах обтікання, званих витратомірами обтікання компенсаційного типу, переміщення тіла обтікання вимірюється по величині тиску, що створює зусилля, прикладене до тіла і врівноважуючи динамічний тиск потоку на нього.

Витратоміри постійного перепаду тиску — *ротаметри* — застосовуються для вимірювання витрат однорідних потоків чистих і слабо-забруднених рідин, що протікають по трубопроводах і не схильні до значних коливань. Ротаметр є довгою конічною трубкою, що розташовується вертикально, уздовж якої під дією рухомого від низу до верху потоку переміщається поплавець. Поплавець переміщається до тих пір, поки площа кільцевого отвору між поплавцем і внутрішньою поверхнею конусної трубки не досягне такого розміру, при якому перепад тиску по обидві сторони поплавця не стане рівним розрахунковому. При цьому діючі на поплавець сили врівноважуються, а поплавець встановлюється на висоті, відповідній визначеному значенню витрати. Поплавцевий витратомір постійного перепаду тиску складається з поплавця і конічного сидла, розташованих в корпусі приладу. Конічне сидло виконує ту ж роль, що і конічна трубка ротаметра. Відмінність полягає в тому, що довжина і діаметр сидла приблизно рівні, а у ротаметрів довжина конічної трубки значно більше її діаметру.

У *поршневому витратомірі* чутливим елементом є поршень, що переміщається усередині втулки. Втулка має вхідний отвір і вихідний отвір, який є діафрагмою змінного перетину. Поршень за допомогою штока

сполучений сердечником передавального перетворювача. Рідина, що протікає через витратомір поступає під поршень і піднімає його. При цьому відкривається в більшій або меншій ступені отвір вихідної діафрагми. Рідина, що протікає через діафрагму, одночасно заповнює також простір над поршнем, що створює протидіюче зусилля. Поплавковий витратомір постійного перепаду тиску складається з поплавця і конічного сідла, розташованих в корпусі приладу. Конічне сідло виконує ту ж роль, що і конічна трубка ротаметра. Відмінність полягає в тому, що довжина і діаметр сідла приблизно рівні, а у ротаметрів довжина конічної трубки значно більше її діаметру.

Тахометричні витратоміри широко застосовуються практично у всіх галузях промисловості. Принцип їх дії заснований на використанні залежностей швидкості руху тіл - чутливих елементів, що поміщаються в потік, від витрати речовин, що протікають через ці витратоміри. Відоме велике число різновидів тахометричних витратомірів, проте в практиці для вимірювання витрати найрізноманітніших рідин і газів широко поширені турбінні, кулькові і камерні витратоміри.

Камерні тахометричні витратоміри мають один або декілька рухомих елементів, що відміряють або відсікають при своєму русі певні об'єми води. Існує велике число конструкцій, камерних витратомірів рідин і газів. Овально-шестерний лічильник рідин складається з двох однакових овальних шестерень, що обертаються під дією перепаду тиску води, що протікає через його корпус. У положенні права шестерня відсікає деякий об'єм води; оскільки на цю шестерню діє момент, що крутить, вона повертається за годинниковою стрілкою, обертаючи при цьому ліву шестерню проти годинникової стрілки.

Електромагнітний (індукційний) витратомір призначений для вимірювання витрати різних рідких середовищ з електричною провідністю не нижче від 5 Ом/м до 10 Ом/м, що протікають в закритих повністю заповнених трубопроводах. Витратоміри змінного рівня застосовуються для вимірювання витрати забруднених рідин. Принцип дії приладів заснований на залежності рівня води в судині від витрати при вільному закінченні її через отвір (щілину),

що калібрується, в дні або бічний стінці. Профіль і діаметр отвору розраховуються так, щоб вказана залежність була лінійною.

Витратоміри змінного рівня води застосовуються для вимірювання витрати забруднених рідин. Принцип дії приладів заснований на залежності рівня води в судині від витрати при вільному закінченні її через отвір (щілину), що калібрується, в дні або бічний стінці. Профіль і діаметр отвору розраховуються так, щоб вказана залежність була лінійною.

Щілинний витратомір з незатопленим отвором (щілиною), що калібрується, в стінці корпусу є місткістю — корпусом, що розділений перегородкою з профільованою щілиною. У лівій частині корпусу, куди подається вимірювана рідина через підведений патрубок, проводиться вимірювання її рівня за допомогою п'єзометричної рівномірної трубки вимірювального приладу — дифманометра. Щілинні витратоміри добре зарекомендували себе при вимірюванні сильно забруднених рідин і розчинів, що швидко кристалізуються. Діапазон вимірювання 0,1—50 м³/год; основна погрішність пристрою в комплекті з вторинним приладом $\pm 3,5\%$. Цей витратомір має велику складність виготовлення й велику погрішність.

На даний час розроблено і мають дуже широкі перспективи застосування *вихровий витратомір*, принцип дії якого заснований на залежності від витрати частоти коливань тиску середовища, що виникають в потоці в процесі вихороутворення.

Для вимірювання витрат забруднених, агресивних і швидко-кристалізуючихся рідин, а також потоків, в яких можливі великі зміни (пульсації) витрат і навіть зміни напрямку руху, коли не можуть бути застосовані інші види витратомірів, використовуються *витратоміри акустичний*, найчастіше *ультразвуковий*. Перевагами акустичного витратоміра є безконтактність вимірювань, відсутність рухомих частин в потоці, відсутність витрат тиску в трубопроводах та ін.

Принцип дії *акустичного витратоміра*, заснований на залежності акустичного ефекту в потоці від витрати речовини. Відомо декілька методів

використання звукових (ультразвукових) коливань для вимірювання витрат рідин і газів. Один з них, так званий фазовий, заснований на тому, що при розповсюдженні звукової хвилі в рухомому середовищі час її проходження від джерела до приймача визначається не тільки швидкістю розповсюдження звуку в даному середовищі, але і швидкістю руху самого середовища. Якщо звукова хвиля направлена по руху потоку, швидкості їх складаються, якщо проти потоку, - віднімаються. Різниця часу проходження звуку по напрямку потоками проти нього пропорційна швидкості потоку, а отже, витраті протікаючої води.

Останнім часом набуває поширення *ультразвуковий витратомір*, в якому використовується ефект Допплера, що полягає в тому, що ультразвукові хвилі, що генеруються випромінювачами, відображаються від зважених частинок, завихрень, бульбашок газу і т.п. в потоці вимірюваного середовища і сприймаються приймачами відбитих випромінювань. Різниця між частотами випромінюваних і відбитих акустичних хвиль дозволяє визначити швидкість потоку. Вимірювальний перетворювач таких витратомірів є пристроєм, що складається з двох п'єзо- кристалів, один з яких є генератором ультразвукових коливань, що випромінюються під кутом до потоку вимірюваного середовища, а другий - приймачем відбитих коливань. Випромінюваний і відбитий сигнали порівнюються за допомогою спеціальних електронних пристроїв. В даний час акустичні витратоміри інтенсивно розробляються, і найближчим часом, очевидно, має відбутися їх широке застосування в різних галузях харчової промисловості. Недоліком являється складність виготовлення, вплив зовнішніх факторів на точність зняття показників, не економічно спроможність для серійного виробництва і складність використання.

Дія *термоанемометричних масових витратомірів* заснована на принципі теплової дисперсії, по якому співвідношення між швидкістю потоку і процесом охолодження безпосередньо залежить від масової витрати води. Таким чином, детектори забезпечують високоточні вимірювання швидкості потоку води з високою повторюваністю. Генератор імпульсів включається, коли температура терморезистора знижується до деякого заданого значення.

Очевидно, частота включення імпульсів буде мірою витрати. Із збільшенням останнього частота зростає. На відстані 6 мм від терморезистора, що нагрівається, поміщений другий такий же терморезистор, що служить для компенсації температури потоку. Вимірюється витрата води від 0,03 до 0,3 см³/с. Крім того, для вимірювання дуже малих витрат запропоновані теплові витратоміри спеціальних конструкцій, або такі що працюють в особливих теплових режимах. У спеціальній конструкції термоанемометричного витратоміру, в якому дротяний нагрівач перетинає прямокутний водовід заввишки 1 мм і шириною 9,7 мм, а для вимірювання різниці температур є велике число мідно-константанових пластинок, встановлених до і після нагрівача; вимірювалася витрата води, від 0,04 см³/год.

Тепловий витратомір може застосовуватися при вимірюванні невеликих витрат практично будь-яких середовищ при різних їх параметрах. Крім того, вони дуже перспективні для вимірювання витрати дуже в'язких матеріалів. Принцип дії їх заснований на використанні залежності ефекту теплової дії на потік речовини від масової витрати цієї речовини.

4 УДОСКОНАЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ ТИСКУ ТА ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ ВОДИ

Випробувальний стенд – це лабораторне устаткування, яке призначене для спеціальних, контрольних, приймальних випробувань різноманітних об'єктів в умовах впливу зовнішніх факторів, що створюються штучним шляхом. При даних випробуваннях об'єкти піддаються дії навантажень, порівнянних або більших від навантаження в реальних умовах. Метою подібних випробувань є з'ясування реакції об'єкта на специфічні умови та за граничних значень навантаження. Випробування, які проводять на випробувальних стендах, носять назву «стендові випробування».

Структурно випробувальний стенд являє собою сукупність робочого поля (плити, станини або іншого пристрою для закріплення тестованого пристрою), підсистеми навантаження зразка (вібраційну, електричну або іншу залежно від типу випробувань) та контрольно-вимірювальної апаратури, призначеної для зняття показників реакції зразка на навантаження.

Перевагою випробувань на стенді перед випробуваннями в реальних умовах є можливість оцінки реакції зразка на певний тип і величину навантаження при інших фіксованих параметрах, що дозволяє виявити приховані конструктивні недоліки.

На початку роботи було розроблено схему стенду, на якій було вказано порядок підключення всіх агрегатів та вузлів. Так як в системі буде створюватися тиск, то було прийнято рішення використати труби діаметром 25 мм та 40 мм які використовуються в опалювальних системах та трубопроводах. Дані труби витримують тиск в межах десяти атмосфер та не підлягають корозії.



Рисунок 4.1 – труби, які використовуються в опалювальних системах та трубопроводах

Для виміру тиску в системі даного стенду було обрано два датчика тиску (манометр) рисунок 4.2, аналоговий (а) "ANGO TS-673", та цифровий датчик (б) "INTERTOOL PT-0501".



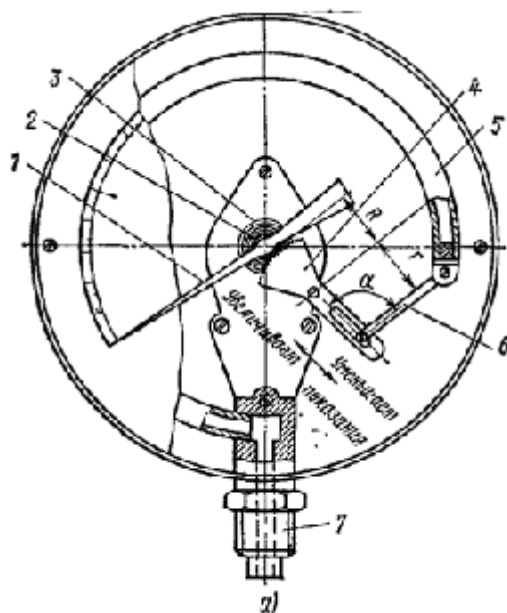
а)



б)

Рисунок 4.2 – Манометри для визначення тиску

Датчики тиску "ANGO TS-673" призначений для безперервного перетворення надлишкового тиску у механічну енергію. Діапазон вимірювання датчика 0 Bar до 4 Bar (від 0 Psi до 60 Psi).



1- стрілка; 2 – вісь; 3 – пружина; 4 – сектор; 5 – чутливий елемент; 6 – повідок; 7 –
штуцер

Рисунок 4.3 – Кінематичні схема манометра

Датчики тиску "INTERTOOL PT-0501" призначений для безперервного перетворення надлишкового, гідростатичного тиску, тиску рідини, газів в уніфікований електричний сигнал постійного струму, і виводиться на індикаторі семисегментного елементу. Цей датчик може вимірювати тиск у:

- КРа;
- РСІ;
- Ваг;
- кг/с.

Манометри застосовуються у всіх випадках, коли необхідно знати, контролювати і регулювати тиск. Найчастіше манометри застосовують в теплоенергетиці, на хімічних, нафтохімічних підприємствах, підприємствах харчової галузі. Окрім манометрів з безпосереднім відображенням показів (показувальні) чи їх реєстрацією (реєструювальні), широко використовуються так звані безшкальні манометри з уніфікованими пневматичними або електричними вихідними сигналами, які поступають в системи контролю, автоматичного регулювання і управління технологічними процесами. В диференційному датчику тиск впливає на чутливий елемент з двох сторін, ці прилади мають вхідних штуцери, для подачі більшого (+P) або меншого (- P) тиску.

Для створення штучного тиску, в системі стенду було встановлено циркуляційний насос, характеристики якого наведені у таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики циркуляційного насосу "Grundfos UPS 25-60/180"

Кількість швидкостей	3
Гідростатичний напір	6 м.
Максимальна продуктивність	4,3 м ³ /г.
Температура перекачуємої рідини	від 2 ⁰ С до 110 ⁰ С
Щільність	998,2 кг/м ³

Закінчення таблиці 4.1

Робоча рідина	Вода
Матеріал корпусу насосу	Чавун: EN-JL1030, ASTM 30 B
Матеріал робочого колеса	Складовий, PES/PP
Максимальна температура навколишнього середовища при температурі води 80°C	40°C
Діаметр вхідних і вихідних монтажних отворів	G 1 1/2
Тип двигуна	Асинхронний
Система аварійного відключення	Вбудоване реле автоматичного вимкнення
Потужність насосу при швидкості 1	50 Вт.
Потужність насосу при швидкості 2	60 Вт.
Потужність насосу при швидкості 3	70 Вт.
Сила струму при швидкості 1	0,22 А.
Сила струму при швидкості 2	0,27 А.
Сила струму при швидкості 3	0,30 А.
Ємність (Конденсатор)	2,5 мкФ.
Частота напруги у мережі	50 Hz
Напруга мережі	220 В.
Максимальний робочий тиск	10 бар.
Допустимий тиск	PN 10
Монтажна довжина	180 мм.
Рівень захисту	IP44
Ізоляція (IEC 85)	F
Розташування коробки управління	9H
Вага нетто	2,6 кг.
Повна вага	2,8 кг.

Зовнішній вигляд насоса встановленого на стенді рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Циркуляційний насос

Даний насос представляє собою не великих розмірів агрегат, який встановлюється в систему трубопроводу і переганяє воду по всім гілкам системи, тобто забезпечує циркуляцію води. Існує велика різноманітність циркуляційних насосів, але для даного стенду ми обрали насос з так званим «мокрим ротором». У чому конструктивна особливість цієї моделі?

Вся справа в тому, що рухливі деталі насоса, а це в основному ротор і крильчатка, охолоджуються і одночасно змащуються що протікає всередині насоса рідиною, тобто водою. Звідси і безшумність роботи, і високий показник надійності, і невеликі габарити самого агрегату. Приплюсуємо сюди довговічність, ефективність та економічність. До негативних рис відноситься його потреба у використанні лише чистої води без домішок, та дуже велика чутливість до перегрівання та макро часток. Така велика чутливість до макро часток і перегрівання, виникає із-за дуже близького розташування ротора до гільзи ротора, що приводить до зносу захисного покриття ротора. Зовнішній

вигляд насоса у розрізаному та розібраному стані представлені на рисунок 4.5, та 4.6.



Рисунок 4.5 – Циркуляційний насос у розрізаному вигляді

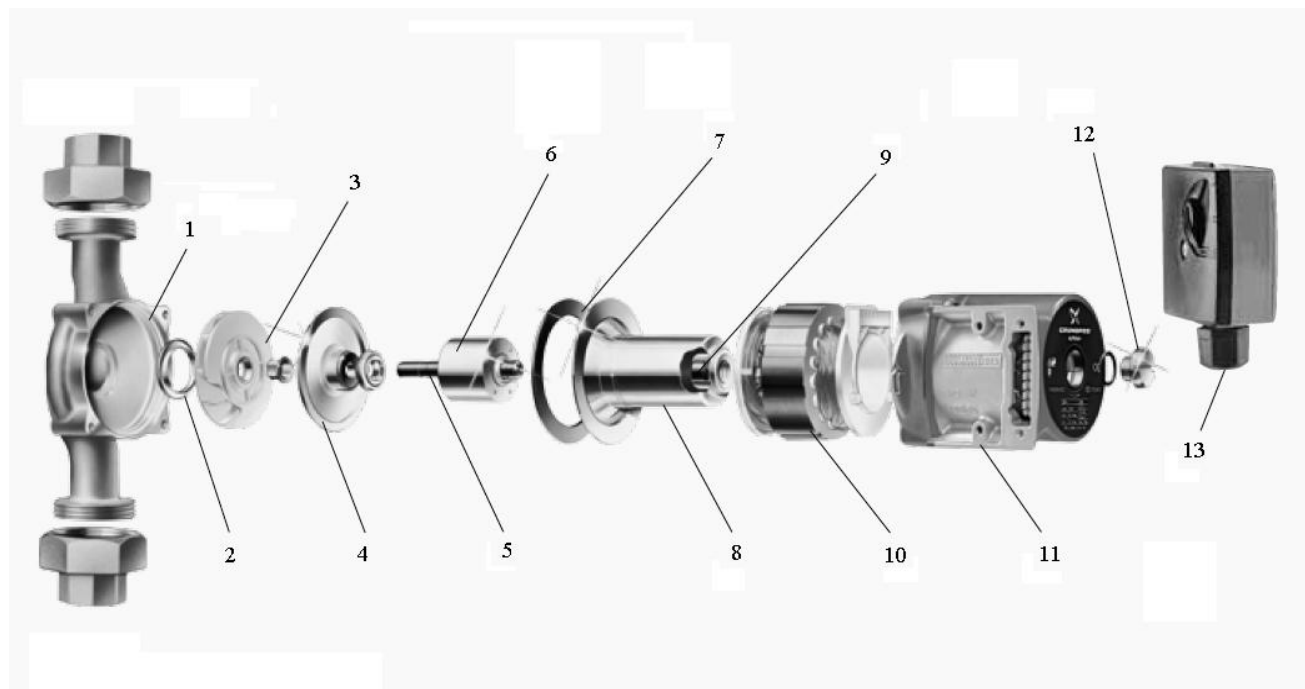


Рисунок 4.6 – Циркуляційний насос у розібраному стані

На рисунку 4.6 позначено: 1 – корпус з чавуну; 2 - щілинне ущільнення з нержавіючої сталі; 3 - робоче колесо з техномолімеру; 4 - підшипникова пластина з нержавіючої сталі; 5 - керамічний вал; 6 - ротор в оболонці з нержавіючої сталі; 7 - ущільнююча прокладка з етиленпропіленового каучука; 8 - Монолітна гільза ротора з феритної нержавіючої сталі; 9 - керамічний підшипник ковзання; 10 - статор з обмотками; 11 - корпус двигуна з алюмінієвого сплаву; 12 - нарізна пробка; 13 - коробка управління.

Для того, щоб в насос потрапляла тільки чиста вода, було встановлено поліпропіленовий фільтр, зовнішній вид та і складова фільтра наведені на рисунку 4.7.

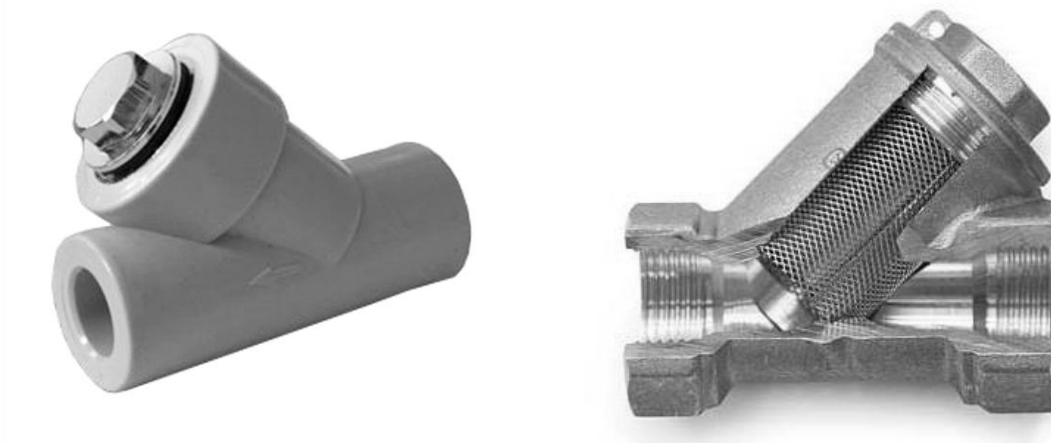


Рисунок 4.7 – Фільтр для очистки води

В якості розходоміру ми обрали лічильник для холодної води та встановили його в кінці контуру.

Лічильник це пристрій призначений для вимірювання та обліку обсягу води, що проходить по водопроводу у місці установки лічильника. Як правило, обсяг вимірюється в кубометрах або літрах. Також в якості одиниць виміру можуть застосовуватися галони, кубічні фути і інші одиниці виміру. Найбільш часте практичне застосування водолічильників - облік витрат води.

Водолічильник складається з витратоміра і рахункового механізму, як правило, ізольованого від попадання води. У побутових приладах зазвичай застосовуються тахометричні витратоміри, засновані на вимірі кількості

оборотів крильчатки або мікротурбіни, обертається потоком води. На крильчатку насаджений круглий провідний магніт з полюсами в його протилежних сторонах. У витратомірі вставлений ведений магніт. При обертанні крильчатки магнітне поле магніту крильчатки взаємодіє з магнітним полем магніту витратоміра і призводить його в обертання. Обертання за допомогою системи редукторів передається лічильникам.

У промислових пристроях також можуть застосовуватися вихрові, ультразвукові та електромагнітні витратоміри. Зовнішній вигляд тахометричного витратоміру наведені на рисунку 4.8.

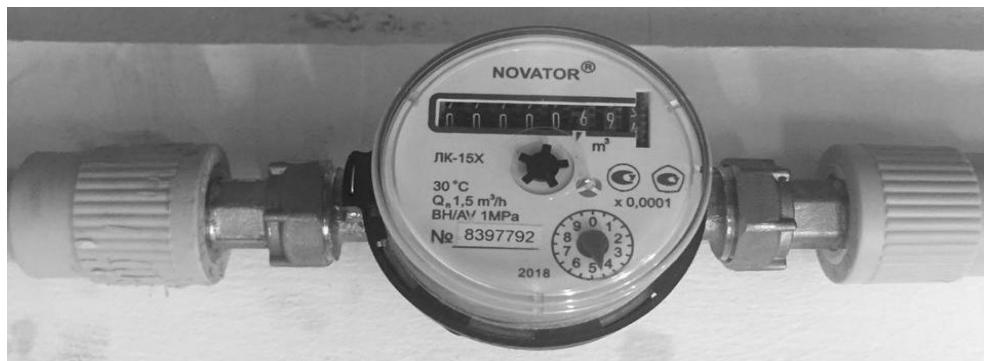
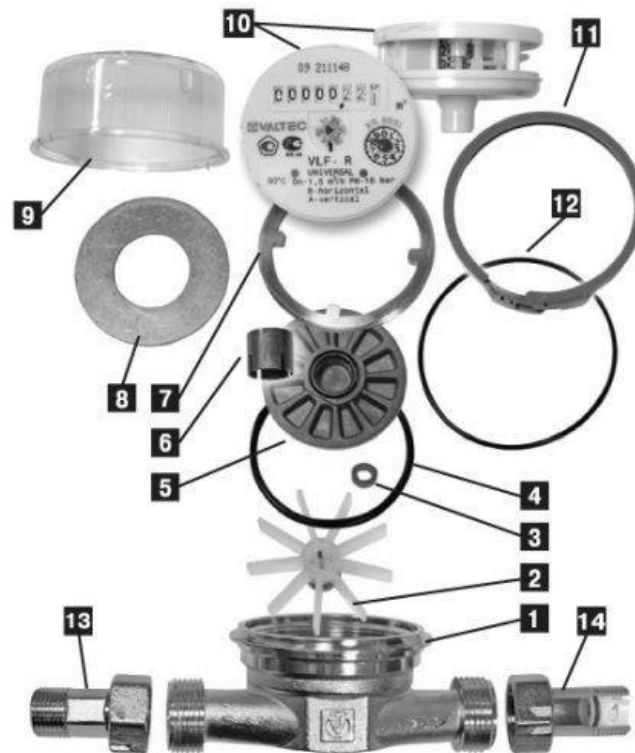


Рисунок 4.8 – Лічильник холодної води

Принцип дії лічильника (складова частина лічильника наведені на рисунку 4.9) заснований на вимірюванні числа оборотів крильчатки, що обертається за рахунок кінетичної енергії рідини. Потік води направляється через струєвипрямитель вхідного патрубку корпусу лічильника в вимірювальну порожнину, де під його дією обертається крильчатка 2 з прикріпленням до неї магнітом 3. Число оборотів крильчатки пропорційно кількості протікає через лічильник води. Магніт 3, встановлений в ступиці крильчатки 2, передає обертання на ведений магніт синхронної муфти, що знаходиться в рахунковому пристрої 10. Лічильний механізм ізольований від вимірюваного середовища спеціальною кришкою 9 з кільцем ущільнювача 12. Корпус лічильника з'єднується з рахунковим пристроєм пластмасовим хомутом з замковою кліпсою 11.



1 – корпус; 2 – крильчатка; 3 – провідний магніт; 4 – ущільнювальне кільце; 5 – налагоджувальний диск; 6 – екрануюча муфта; 7 – притискна гайка; 8 – розподільна пластина; 9 – кришка лічильного механізму; 10 – лічильний механізм; 11 – пломбувальний хомут; 12 – ущільнювальне кільце; 13 – приєднувальний полусгон; 14 – полусгон із зворотним клапаном.

Рисунок 4.9 – Складова лічильника холодної води

Вимір витрат води в залежності від швидкості роботи насосу. Зняття показників проводились на підставі знятого відеоматеріалу. Під час вимірювання вираховувався час за який один літр води проходить через витратомір (4.1-4.2).

$$V = \frac{t}{t_v} \quad (4.1)$$

$$t_v = \frac{(t_1 - t_2)}{t_y} \quad (4.2)$$

де V – об'єм витрати води, л;

t – одна година, с;

t_v – час, за який один літр води проходить через витратомір;

t_y – величина вповільнення відео, 0.125;

t_1, t_2 , – час початку і кінця відліку проходження одного літра води через витратомір.

Були проведення розрахунки витрат води при відкритті усіх кранів, і при роботі з контуром на якому був встановлений манометр. Результати вимірювання представлені у таблиці 4.2

.Таблиця 4.2 – Об'єм витрати води на різній швидкості

Швидкість роботи двигуна	Об'єм витрати води (л)	
	Повністю відкритий	Один контур
1	542,17	566,00
2	825,70	825,70
3	1114,55	1068,30

Під час вимірювання манометр не зареєстрував зміни у тиску. Провів додаткові заходи (відео із демонстрацією) було виявлено що насос видає дуже маленький тиск, який дорівнює 0,1 bar. Ознайомившись із додатковою літературою, був обраний ряд наступних формул (4.3-4.11)

$$V_{cp} = \frac{Q}{A} \quad (4.3)$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (4.4)$$

де V_{cp} – середня швидкість потоку;

Q – витрата води через трубопровід;

A – площа живого перетину;

d – внутрішній діаметр труби, м;

π – математична постійна, $\pi = 3,1415$.

$$R_e = \frac{V4R_r}{\nu} \quad (4.5)$$

де R_e – числа Рейнольдса;

V – середня швидкість течії рідини, м/с;

R_r – гідравлічний радіус, для круглої труби $R_r = d/4$;

ν – кінематичний коефіцієнт

Для ламінарної течії $R_e < 2000$ використовується формула Пуазеля (1.6).

$$\lambda_I = \frac{64}{R_e} \quad (4.6)$$

Для перехідного стану $2000 < R_e < 4000$ – залежність (4.7).

$$\begin{aligned} \lambda_{II} &= (1 - \chi)\lambda_I + \chi\lambda_{III} \\ \chi &= \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{R_e}{2000} - 1 \right) \right] \end{aligned} \quad (4.7)$$

Для турбулентної течії $R_e > 4000$ універсальна формула Альтшуля.

$$\lambda = 0,11 \left(k + \frac{68}{R_e} \right)^{0,25} \quad (4.8)$$

де $k = \Delta/d$;

Δ – абсолютна еквівалентна шорсткість.

Втрати напору по довжині трубопроводу обчислюються за формулою Дарси – Вейсбаха:

$$\Delta h = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (4.9)$$

Втрати напору і тиску пов'язані залежністю:

$$\Delta p = \Delta h \rho g \quad (4.10)$$

де ρ – щільність;

g – прискорене вільне падіння;

Втрати тиску по довжині можна обчислити використовуючи формулу Дарсі – Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \frac{l}{D} \frac{V^2}{2} \rho \quad (4.11)$$

За результатами розрахунків витрати води і характеристик стенду, витрати тиску повинні бути таблиця 4.3.

Таблиця 4.3 – розрахунки тиску

Вимірювання	Показники манометру, bar
Теоретичні показники тиску з урахуванням втрат	0,34
Показники в залежності від витрати води	0,39
Реальні показники	0,10

Для розширення системи було встановлено розширювальний бак. Його використовують для прийому надлишку води.

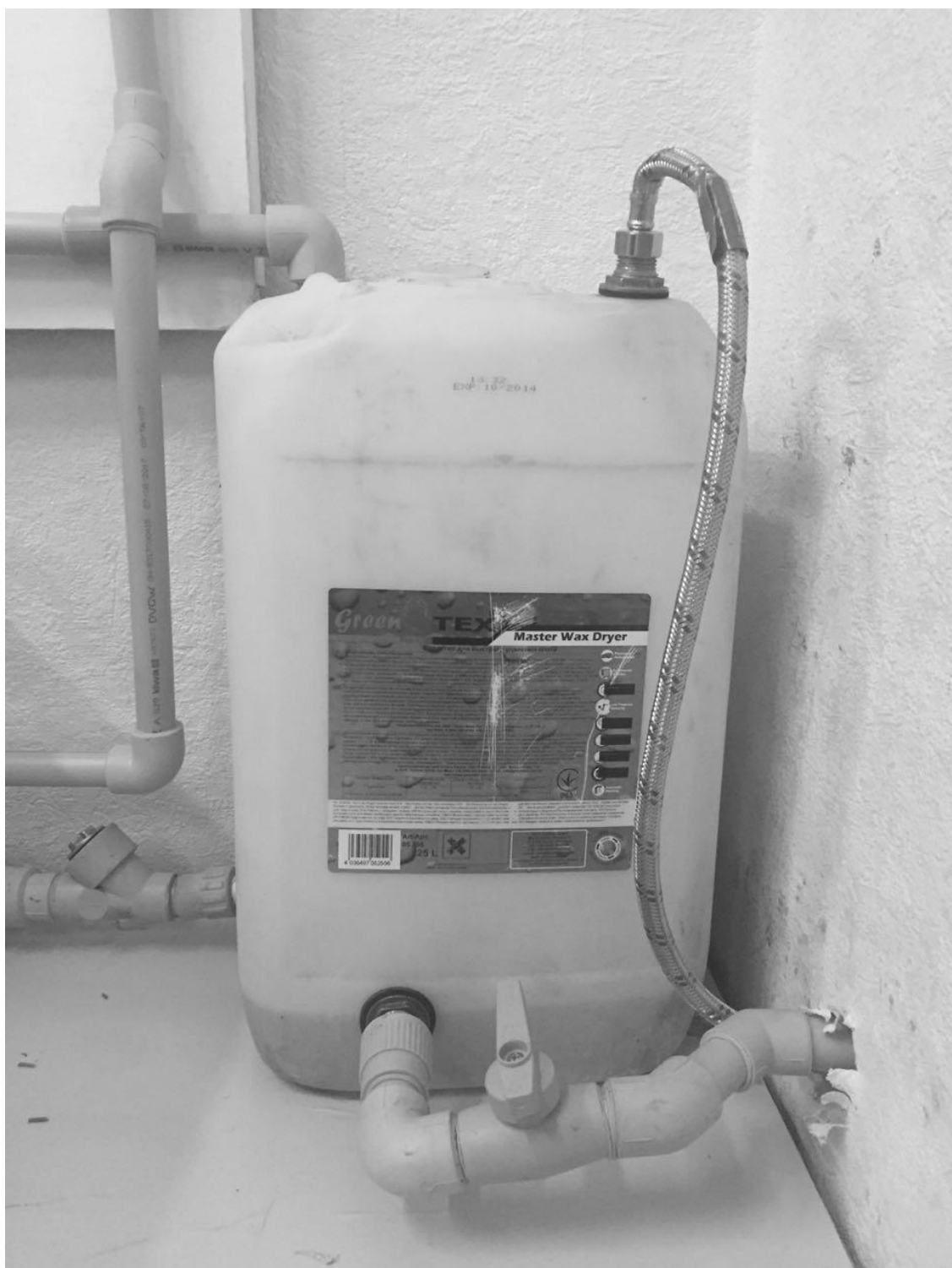


Рисунок 4.10 – Розширювальний бак

По закінченню складання всіх компонентів системи, стенд набув вигляд як на даному фото:

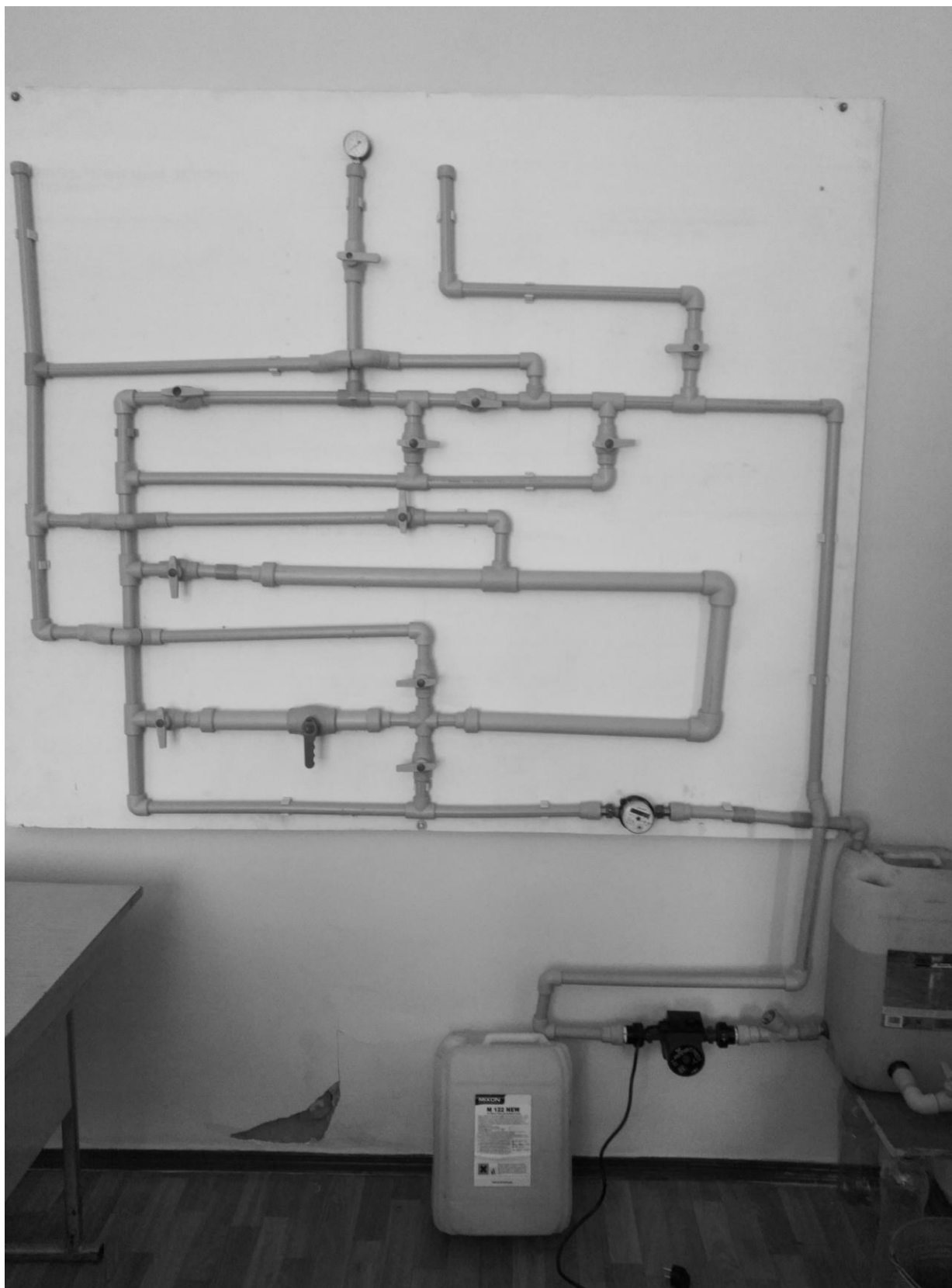


Рисунок 4.11 – Лабораторний стенд для оцінки параметрів вимірювального каналу тиску

У подальшому розвитку на стенді повинні бути встановлені перед кожним краном електронні датчики тиску, ті після кранів повинні бути встановлені електронні витратоміри. Також можливе використання стенду за двох умов:

- при використанні циркуляційного насосу, але повинні бути встановлені датчики тиску, які показують наднизькі значення тиску (до 100кПа).
- при використанні у вигляді системи живлення стаціонарного водопроводу високого тиску. Це вирішить проблему встановлення датчиків тиску.

Кількість алгоритмів вимірювання на даному стенді дуже схожа на двійкову систему числення, отже може досягати 2048 варіацій, але це повинно зберігатись та оброблятись на платформі Arduino.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ З КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ПРИБЛАДАМИ

Для забезпечення нормальних умов експлуатації та запобігання аварій і вибухів посудини, апарати та трубопроводи, що працюють під тиском, повинні бути оснащені запірною або запірно-регулювальною апаратурою, запобіжними пристроями, приладами для вимірювання тиску, температури, показниками рівня води і т. ін. Кількість, тип і місце встановлення контрольно-вимірювальних приладів, запобіжних пристроїв, арматури обирається організацією-розробником проекту, виходячи з конкретних умов експлуатації.

Посудини, що споряджені швидкозмінними затворами, повинні мати запобіжні пристрої, які виключають можливість вмикання посудини під тиск при неповному закритті кришки і відкриття її при наявності у посудині тиску. Для запобігання підвищення тиску вище допустимого в посудинах, апаратах та трубопроводах встановлюють пружинні або важільно-вантажні запобіжні клапани (рис. 5.1, а, б). Вони автоматично відкриваються при підвищенні тиску вище значення, що задається (регулюється) гвинтом стиснення пружини або вантажем, який встановлюється на важіль клапана. Для того щоб запобігти дії газу чи пари на обслуговуючий персонал при спрацюванні запобіжного клапана, до нього під'єднують пристрої, що відводять пар чи газ у безпечне місце. Встановлювати запірну арматуру (крани, засувки) між посудиною та запобіжним клапаном не допускається.

Посудини для вибухо- та пожежонебезпечних речовин, речовин 1-го і 2-го класів небезпеки за ГОСТ 12.1.007-76, а також випарники з вогневим чи газовим обігрівом повинні мати на підвідній лінії від насоса або компресора зворотний клапан, який автоматично закривається тиском з посудини і запобігає виходу з неї речовин у разі падіння тиску в підвідній лінії. За принципами роботи клапани поділяються на підйомні (пружинні) та поворотні (рис. 5.1, в).

Якщо посудина під'єднана до джерела живлення, в якому тиск більший за робочий тиск у посудині, то на підвідній лінії встановлюють редукційний клапан (рис. 5.1, г), який автоматично підтримує задане значення робочого тиску. Регулюючи маховичком 4 зусилля пружини 3, можна одержати на лінії за золотником 2 пару чи газ необхідного тиску.

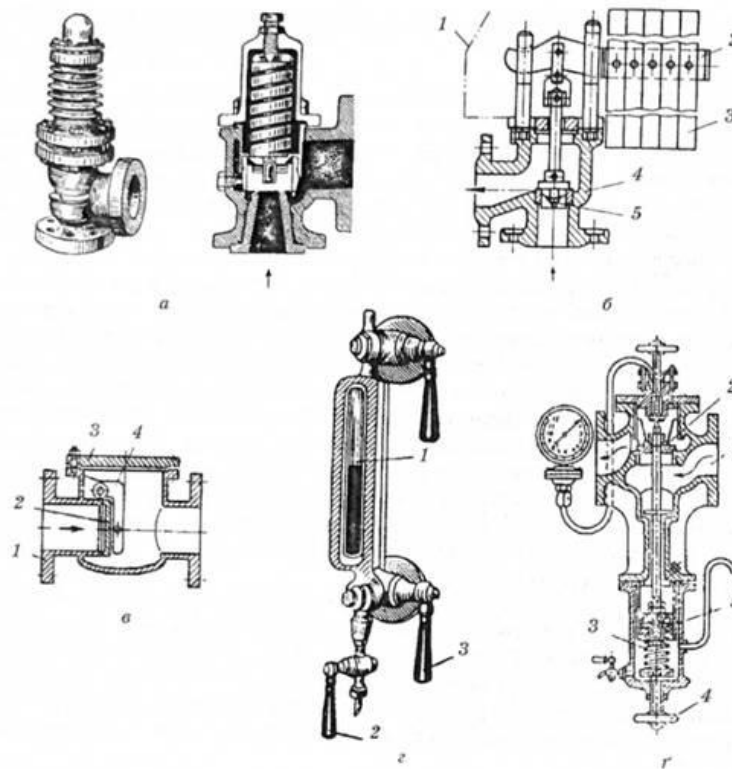
У разі необхідності контролю рівня води в посудинах, що мають межу поділу середовищ застосовують показчики рівня води (рис. 5.1, г). На посудинах, що обігріваються полум'ям або гарячими газами, в яких можливе зниження рівня води нижче дозволеного, має бути встановлено не менше двох показчиків рівня прямої дії. На кожному показчику рівня повинні бути вказані допустимий верхній і нижній рівні. Крім показчиків рівня, на посудинах можуть бути встановлені звукові, світлові та інші сигналізатори і блокування за рівнем води.

Кожну посудину і самостійну порожнину з різним тиском необхідно опоряджувати манометрами - приладами для вимірювання тиску.

Манометри повинні мати клас точності не нижче: 2,5 - при робочому тиску посудини до 2,5 МПа; 1,5 - при робочому тиску посудини понад 2,5 МПа.

Треба вибирати манометри з такою шкалою, щоб межа вимірювання робочого тиску знаходилась у другій третині шкали. На шкалу манометра наноситься червона риска, яка вказує на робочий тиск у посудині.

Манометр встановлюється так, щоб його покази було чітко видно обслуговуючому персоналу.



а - пружинні запобіжні клапани; б - важільно-вантажний запобіжний клапан:

1 - кожух; 2 - важіль; 3 - вантаж; 4 - сидло; 5 - золотник; в - поворотний зворотний клапан: 1 - корпус; 2 - засув; 3 - кришка; 4 - серга; г - показчик рівня води: 1 - скло;

2 - ручка спускного крана; 3 - ручка запірного крана; д - редукційний клапан:

1 - канал; 2 - золотник; 3 - пружина; 4 - маховичок; 5 - поршень

Рисунок 5.1 – Контрольно-вимірювальні прилади та запобіжні пристрої.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.

Аварійна ситуація може виникнути у разі: ураження електричним струмом, падіння з висоти, термічних опіків та інше.

При виникненні такої ситуації слід негайно припинити роботу; огородити небезпечну зону; не допускати до неї сторонніх осіб; повідомити про те, що сталося керівника робіт.

Якщо є потерпілі надавати їм першу медичну допомогу, при необхідності викликати "швидку допомогу".

Надання першої медичної допомоги:

Надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

При ураженні електричним струмом необхідно негайно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електроустановку від

джерела живлення, а при неможливості відключення - відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал.

При відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані необхідно негайно приступити до оживлення потерпілого і викликати швидку медичну допомогу.

Перша допомога при пораненні.

Для надання першої допомоги при пораненні необхідно розкрити індивідуальний пакет, накласти стерильний перев'язочний матеріал, що міститься у йому на рану і зав'язати її бинтом.

Якщо індивідуального пакету якимсь чином не буде, то для перев'язки необхідно використати чисту носову хустинку, чисту полотняну ганчірку і т. ін. На те місце ганчірки, що приходить безпосередньо на рану, бажано накапати декілька капель настойки йоду, щоб одержати пляму розміром більше рани, а після цього накласти ганчірку на рану. Особливо важливо застосовувати настойку йоду зазначеним чином при забруднених ранах.

Перша допомога при переломах, вивихах, ударах.

При переломах і вивихах кінцівок необхідно пошкоджену кінцівку укріпити шиною, фанерною пластинкою, палицею, картоном або іншим подібним предметом. Пошкоджену руку можна також підвісити за допомогою перев'язки або хустки до шиї і прибинтувати до тулуба.

При передбачуваному переломі черепа (несвідомий стан після удару голови, кровотеча з вух або роту) необхідно прикласти до голови холодний предмет (грілку з льодом або снігом, чи холодною водою) або зробити холодну примочку.

При підозрінні перелому хребта необхідно потерпілого покласти на дошку, не підіймаючи його, чи повернути потерпілого на живіт обличчям униз,

наглядаючи при цьому, щоб тулуб не перегинався з метою уникнення ушкодження спинного мозку.

При переломі ребер, ознакою якого є біль при диханні, кашлю, чханні, рухах, необхідно туго забинтувати груди чи стягнути їх рушником під час видиху.

Надання першої допомоги при теплових опіках.

При опіках вогнем, парою, гарячими предметами, ні в якому разі не можна відкривати пухирі, які утворюються, та перев'язувати опіки бинтом.

При опіках першого ступеня (почервоніння) обпечене місце обробляють ватою, змоченою етиловим спиртом.

При опіках другого ступеня (пухирі) обпечене місце обробляють спиртом, марганцевим розчином або 5%-им розчином таніну.

При опіках третього ступеня (зруйнування шкіряної тканини) накривають рану стерильною пов'язкою та викликають лікаря.

Перша допомога при кровотечі.

Для того, щоб зупинити кровотечу, необхідно:

- підняти поранену кінцівку вгору;
- кровоточиву рану закрити перев'язочним матеріалом (із пакета), складеним у клубочок, придавити її зверху, не торкаючись самої рани, потримати на протязі 4-5 хвилин: якщо кровотеча зупинилася, то не знімаючи накладеного матеріалу, поверх нього покласти ще одну подушечку з іншого пакета чи кусок вати і забинтувати поранене місце (з деяким натиском);
- при сильній кровотечі, яку не можна запинити пов'язкою, застосовується здавлювання кровоносних судин, які живлять поранену область, при допомозі згинання кінцівок в суглобах, а також пальцями, джгутом або закруткою; при великій кровотечі необхідно терміново викликати лікаря.

Якщо сталася пожежа необхідно викликати пожежну частину і приступити до гасіння наявними засобами пожежогасіння. Виконувати всі вказівки керівника робіт по ліквідації небезпеки.

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи було проведено аналіз методів дослідження вимірювальних каналів тиску, досліджено загальну методику вимірювання тиску, методи вимірювання витрати води та удосконалено лабораторний стенд для оцінки параметрів вимірювального каналу тиску та вимірювання витрат води.

Отже, стенд був зібраний до запланованої стадії розвитку, в майбутньому планується встановлення різних типів датчиків та демонстрація їх роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дімов Ю. В. Метрологія, стандартизація і сертифікація : Підручник для вузів. 2-е вид. : СПб.: *Пітер*, 2006. 250 с.
2. Борисов Ю. І., Сігов А. С. та ін. Метрологія, стандартизація і сертифікація: Підручник : М. Форум: *Инфра-М*, 2005. 248 с.
3. Керівництво за висловом невизначеності вимірювання : *ВНИИМ*, С-Пб.: 2005. 124 с.
4. Фарзане Н. Г., Ілясов Л. В., Азім-Заде А. Ю. Технологічні вимірювання і прилади: підручник, 3-е вид. : М.: *Вища школа*, 1989. 345 с.
5. Промислові роботи і засоби автоматизації. Довідник : Під. Ред. В. В. Черенкова. Л.: *Машинобудування*, 1987. 847 с.
6. Келін Ю. М. Типові елементи систем автоматизованого управління : М.: Форум: *інфаМ.*, 2002 р. 178 с.
7. Таланов В. Д. Технічні засоби автоматизації : за редакцією Ключова. 2-е вид., перероб. і доп.: *Исто-сервіс*, 2002. 248 с.
8. Крюков О. М. Повірка та калібрування засобів електро- і радіовимірювальної техніки : Харків, ХНАДУ, 2008. 95 с.
9. Безвесільна О. М. Витратометрія та витратоміри: монографія : Житомир : ЖДТУ, 2011. 220 с.
10. Безвесільна О. М., Подчашинський Ю. О., Тимчик Г. С. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин : Житомир : ЖДТУ, 2011. 876 с.
11. Помогайбо А. А., Дудник К. А. Особливості ризикоорієнтованого підходу до управління охороною праці : *Безпека людини у сучасних умовах* : Збірник доповідей XI Міжнародної наукової конференції Європейської Асоціації наук з безпеки (EAS), (5 – 6 грудня 2019 р.). Харків : НТУ «ХП», 2019. С. 79-80.
12. Помогайбо А. А., Дудник К. А. Оцінка небезпеки на основі застосування методу HAZOP : *Безпека людини у сучасних умовах* : Збірник

доповідей XI Міжнародної наукової конференції Європейської Асоціації наук з безпеки (EAS) (5 – 6 грудня 2019 р.). Харків : НТУ «ХПІ», 2019. С. 81-82.

13. Помогайбо А. А. Аналіз небезпеки виробництва і оцінки ризик виникнення нещасного випадку : *Безпека людини і реалізація права на працю в сучасних умовах життєдіяльності* : Збірник доповідей XI студентської наукової інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (23-24 квітня 2020 р.). Харків : НТУ «ХПІ», 2020. С. 20-23.

ДОДАТОК А

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ