



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Коваль О. А.**

# **МІКРОПРОЦЕСОРНІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

**Конспект лекцій**

Затверджено методичною радою  
факультету, протокол № 1 від 7  
«вересня» 2018 р.

Харків  
2018

## ВСТУП

Проектування являє собою комплексний процес, перетворення початкового опису об'єкта в остаточне, на основі виконання робіт дослідницького, розрахункового та конструкторського характеру. Процес проектування вимагає від проектувальника крім спеціальних, предметних знань, також знань методології, засобів і правил виконання проектних процедур.

Метою проектування є формування знань, умінь і навичок роботи на різних етапах проектування сучасних приладів і систем, включаючи загальні принципи функціонування приладів, основні відомості про фізичні основи і принципи побудови приладів і систем, моделі перетворення інформації та сигналів в приладах і системах, системний підхід до проектування приладів, основні характеристики приладів і методи їх розрахунку, основні етапи проектування приладів і тенденції їх розвитку.

У промисловості вимір швидкості зводиться в більшості випадків до виміру швидкостей обертання обертових деталей і вузлів, коли за ними доводиться спостерігати в цілях безпеки або для створення умов їх роботи у бажаному режимі. У разі прямолінійного руху вимір швидкості часто також може бути зведене до виміру швидкості обертання. Тому тахометрические датчики є в своїй більшості датчиками кутової швидкості.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТАХОМЕТРИЧНОГО ДАТЧИКА

## 1.1 Характеристики реально існуючого тахометричного датчика

На даний момент у світі розроблено і створено багато датчиків з дуже різними параметрами. Також вже реально існує і датчик, характеристики якого підходять для даного завдання курсової роботи. Це датчик на Audi A4 2.8 quattro BOSCH 0 261 210 145

*Таблиця 1.1 – Характеристики реально існуючого тахометричного датчика*

Опір	860 Ом
Довжина кабелю	310 мм
Кількість імпульсів за оберт	6
Тип датчика	індуктивний
Кількість контактів	3



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд тахометричного індуктивного датчика на на Audi A4 2.8 quattro

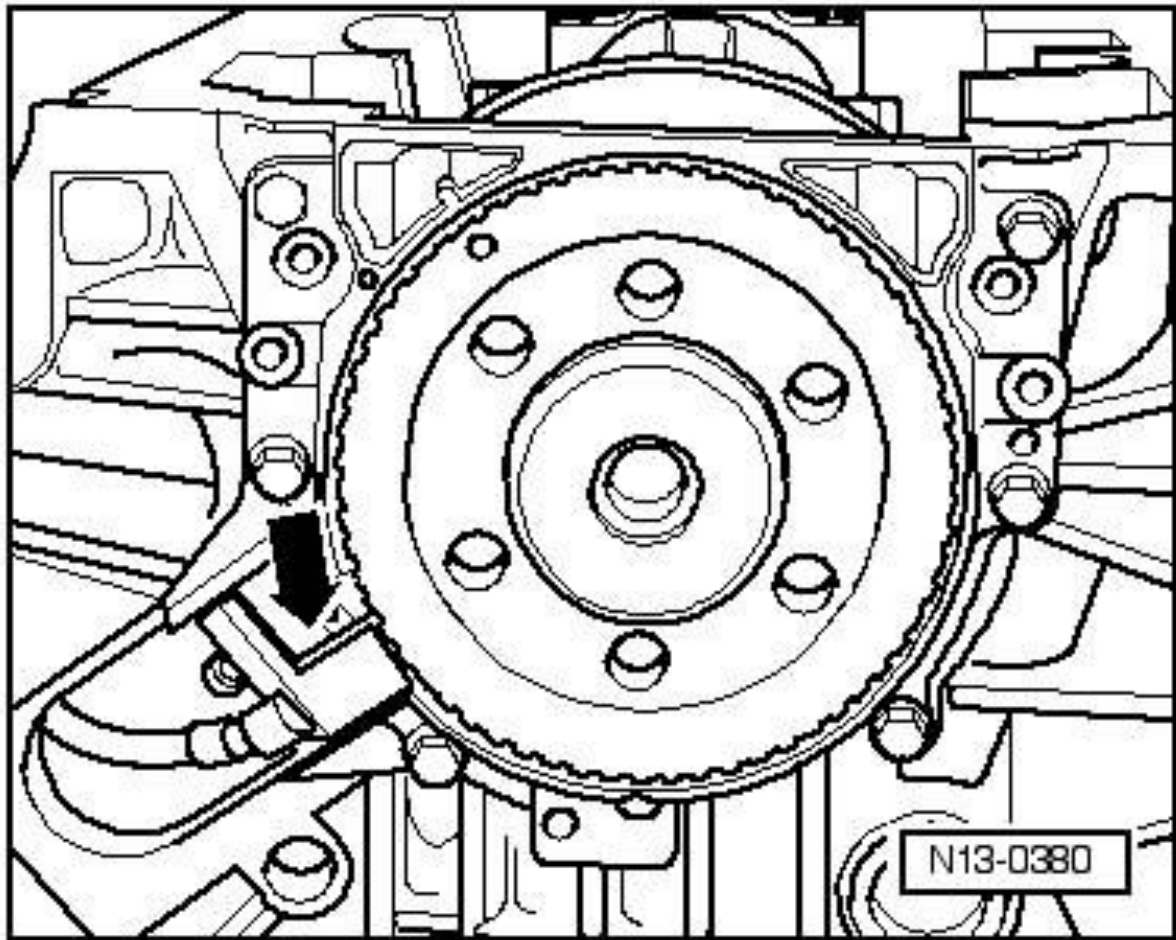


Рисунок 1.2 – Місце установки тахометричного індуктивного датчика на на Audi A4 2.8 quattro

## 2 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ АЛГОРИТМУ ВИМІРЮВАНЬ КІЛЬКОСТІ ОБЕРТІВ ВАЛУ

### 2.1 Види протоколів

На сьогоднішній день найбільш оптимальним шляхом програмно-алгоритмічного забезпечення процесу вимірювань є гібридний метод.

Його суть полягає в тому, що відповідно до завдань вимірів: точність представлення чисел, похибка квантування, шуми дискретизації, наявність і кількість портів введення-виведення вимірювальної інформації, обсяг оперативної пам'яті, багатозадачність, швидкість видачі інформації по необхідному протоколу: наступний протокол RS 232 (5B), промисловий RS 485 (12B), струмова петля I2C, CAN протокол (закодований), Line протокол.

— Протоколи RS 232, RS 485

На такті формування адреси ведучий пристрій (мікропроцесор) формує код, який одночасно по адресній шині надходить на всі споживачі. Кожен споживач аналізує прийнятий код адреси. При збігу коду з номером пристрою, споживач подає по шині передачі даних  $T_x$  на головне пристрій (мікроконтролер) на вхід  $R_x$  сигнал готовності до прийому інформації.

Головне пристрій після отримання сигналу готовності починає видачу інформації по шині  $T_x$  одночасно на всі пристрої, але інформацію буде приймати тільки той пристрій, де є збіг адреси.

– Протокол I2C

У цьому протоколі інформація представляється у вигляді кодують імпульсів струму по двухпроводной лінії. Код напруги знімається споживачем з навантажувального опору.

Джерелом струму може бути транзистор з відкритим колектором. Інформація передається в закодованому вигляді.

– Протоколи CAN и Line

Це протоколи обміну мікропроцесорними пристроями промислового зразка.

Як правило, вони реалізуються в бортових автономних вимірювальних системах. Будь-який сучасний автомобіль має CAN протокол.

В основу роботи CAN протоколу покладено принцип динамічної адресації пристроїв.

Ведені пристрої не мають власного номера.

Принцип динамічної адресації полягає в тому, що номер пристрою БО присвоюють відповідно до черговості їх підключення, незалежно від виконаних функцій веденим пристроєм

Провідних пристроїв може бути декілька, в залежності від числа автономних систем. Наприклад, стосовно автомобілів: система управління двигуном, система кондиціонування та клімат контролю, система управління трансмісією, система управління гальмуванням і т.д.

Головна відмінність даного протоколу перед іншими є те, що рівнозначні за своїм функціональним призначенням ведені пристрої при виході з ладу центрального блоку управління беруть на себе його функції – одне стає провідним (менший за рахунком), а другий залишається веденим.

Тахометричні датчики, в залежності від виконання і конструкції, можуть бути як аналоговими, так і цифровими.

Якщо датчик аналоговий, то він конструктивно являє собою індуктивність у вигляді котушки з кількістю витків в кілька сотень, які приєднуються до основної схемою екранованим проводом, при цьому довжина проводу може бути 1 ... 10м.

У цьому випадку проводи грають роль антени, в якій наводяться помехові коливання. В результаті на підсилювач-обмежувач надходить адитивна суміш сигнал плюс шум. Рівень шумів може коливатися від десятків мкВ до сотень мВ, при амплітуді імпульсу порядку 3-5 В.

Це призводить до того, що форма імпульсів сильно спотворюється і навіть застосування підсилювача-обмежувача в ряді випадків не може вирішити проблему виділення переднього фронту імпульсу. Тому, одним із шляхів підвищення достовірності та точності тахометричного датчика є його мініатюризація за рахунок використання цифрової обробки.

Взаємозамінність тахометричних датчиків увазі їх сумісність по габаритно ваговими параметрами, електричним і метрологічним.

Метрологічна сумісність передбачає:

- 1) діапазон вимірювань (кількість оборотів);
- 2) форма представлення результатів вимірювань;
- 3) амплітуда кодових імпульсів на виході датчика (2,7–3,3В; 4,9–5В; 10–12В).

## 2.2 Методи програмування тахометричних датчиків

Існує два метода програмування тахометричних датчиків:

1. на випробувальному стенді з використанням програматоров або ПК (ноутбука);
2. з використанням мікропрограмного бортового комп'ютера.

Переваги першого методу: гнучкість програмування, наочність, досягнення високої точності вимірювання.

Недолік той, що це можливо тільки на випробувальному стенді, тобто потрібно демонтувати датчик.

Переваги другого методу: простота та оперативність.

Але, як показує практика, домогтися точності калібрування неможливо.

Таким чином, для досягнення максимальної точності вимірювання лінійності функції перетворення, з урахуванням усіх дестабілізуючих факторів, віддають перевагу першому методу.

$$1) \tau_{и} = \frac{l}{V} \rightarrow V = \frac{l}{\tau_{и}} \quad (2.1)$$

2) Задано  $t_{изм}$ , измеряется T:

$$T = \frac{2\pi R}{V} \rightarrow V = \frac{2\pi R}{T} \quad (2.2)$$

3)  $t_{\text{вим}}, N_{\text{імп}}$ -вимірюється.  $T_{\text{вим}}=60\text{с}$ .

Кількість магнітів визначається кількістю імпульсів за 1 оборот:

$$V = \frac{N_{\text{імп}}}{n} \quad (2.3)$$

Розглянуті три методи вимірювання швидкості обертання колінчастого вала характеризуються такими показаннями:

- 1) необхідний час вимірювання  $t_{\text{вим}}$ ;
  - а) для першого метода  $t_{\text{вим}}=\tau_i$  становить мкс-мс;
  - б) для другого метода  $t_{\text{вим}}=T$  (мс-с);
  - в) для третього метода  $t_{\text{вим}}= t_{\text{вим зад}}$  (с-мин);

Найбільшим швидкодією володіє перший метод. Третій метод найбільшою мірою підходить для досліджень повільно змінних процесів і явищ.

2) Точність вимірювань  $\Delta_{\text{изм}}$

- а) точність вимірювань першого метода  $\Delta_{\text{вим}}=\frac{1}{2}T_{\text{тактове}} = \frac{1}{f_T}$ ;
- б) точність вимірювань другого метода  $\Delta_{\text{вим}}=\frac{1}{2}T = \frac{\pi R}{V_{\text{max}}}$ ;
- в) точність вимірювань третього метода  $\Delta_{\text{вим}}=T=t_{\text{вим}}/N_{\text{імп}}$ ;

Порівнюючи похибки трьох методів можна зробити висновок, що найвища точність вимірювань притаманна першим методом. Найнижча точність, але найбільш просто розраховується похибка, властива третьому методу.

В цілому, аналізуючи такі показники, як час вимірювання і точність для всіх трьох методів, можна зробити висновок про те, що найбільш достовірним і оперативним є перший метод. Найбільш просто реалізується третій метод.

Залежно від динаміки вимірювального об'єкта, необхідно правильно вибирати метод вимірювань кількості оборотів. Так, для швидкісних процесів доцільно використовувати перший метод, для дослідження повільно змінних



процесів – третій, для проведення вимірювань кількості оборотів об'єктів, які працюють в граничних режимах – другий.

Стосовно до автомобілебудуванню і дорожніх машин, яким притаманна перехідна динаміка навантажень, прискорень і швидкості, доцільно використовувати другий метод визначення кількості обертів колінчастого вала.

Недоліком використання другого методу є те, що вимірювання швидкості значною мірою визначається особливостями конструкції (розміри вала або маховика, кількість магнітів на валу). Цю особливість потрібно враховувати в процесі експлуатації машин (при тех. Обслуговуванні та ремонті), а саме – взаємозамінність деталей.

### 2.3 Сутність методики вимірювання кількості імпульсів на заданому часовому інтервалі

На рис.2.1 наведені часові діаграми, що розкривають суть методики вимірювання кількості імпульсів на заданому часовому інтервалі.

Часовий інтервал вимірювань визначається тактовою частотою. Період тактової частоти  $T_{\text{зад}}$ , як правило, дорівнює 1 с, але в ряду випадків цей період може бути в два рази менше або перебувати в інтервалі від 0,5с до 1с (діаграма 1).

Цими імпульсами формується строб виміру (діаграма 2) – часовий інтервал, протягом якого вимірюється кількість імпульсів.

Поступаючі на вхід імпульси з тахометричного датчика наведені на діаграмі 3.

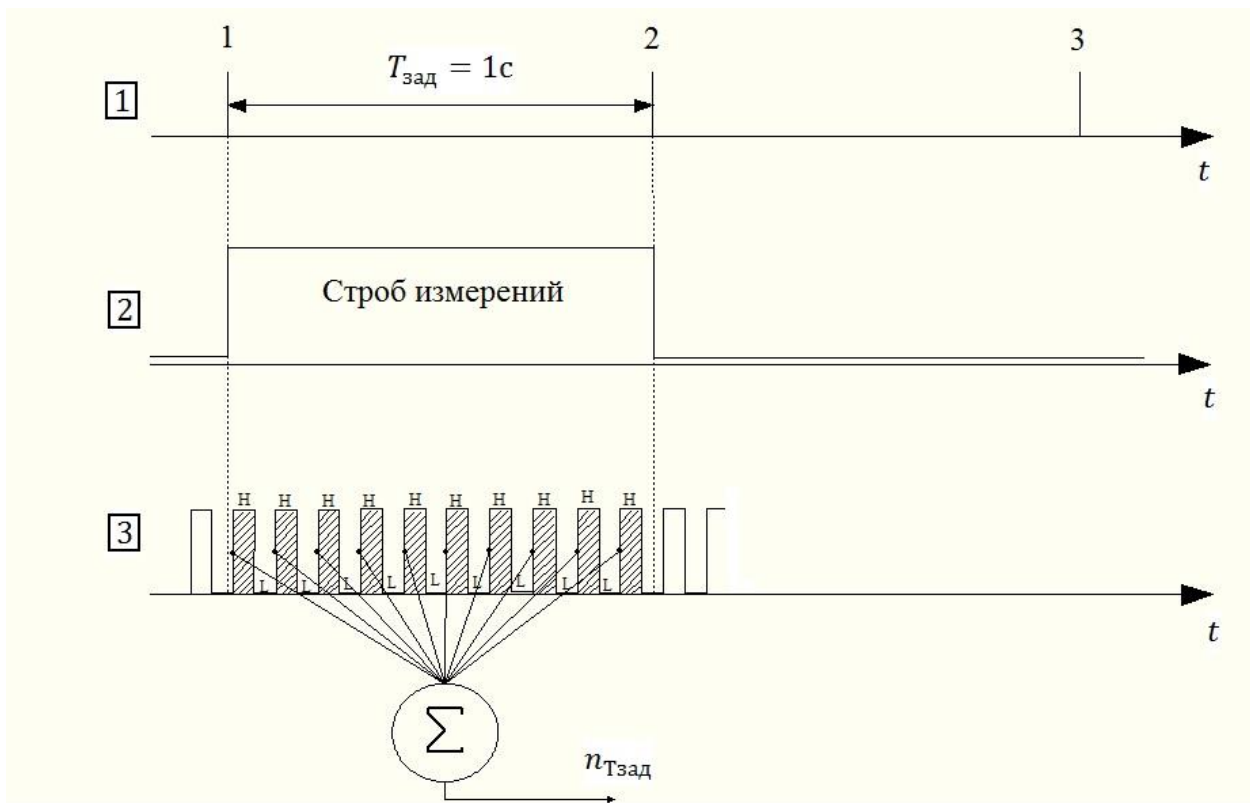


Рисунок 2.1 – Часові діаграми, що розкривають суть методики вимірювання кількості імпульсів на заданому часовому інтервалі

Підрахунок імпульсів в межах стробу можна реалізувати двома способами:

1) по передньому фронту;

На рис.2.2 наведена функціональна схема, реалізує спосіб підрахунку кількості імпульсів на задньому інтервалі по передньому фронту імпульсу тахометричного датчика.

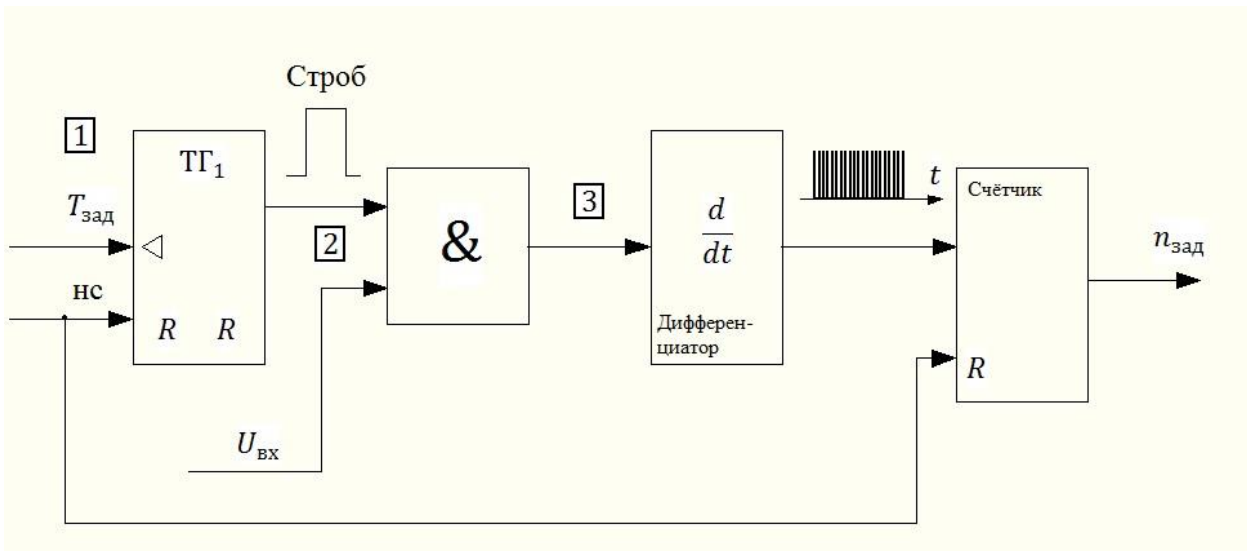


Рисунок 2.2 – Функціональна схема, реалізує спосіб підрахунку кількості імпульсів на задньому інтервалі по передньому фронту

Робота цієї системи полягає в наступному. Тактові імпульси з заданим періодом  $T_{зад}$  надходять на схему збігів (&). На виході схеми буде сигнал тільки при наявності на обох входах схеми збігу стробу вимірювань і  $U_{вх}$ , тобто входних імпульсів.

Таким чином, на виході схеми збігів буде послідовність імпульсів, що надходять з датчика, які потрапляють під стрібає вимірів (діаграма 3 рис.2.1, заштриховані імпульси).

Після схеми збігів, виділені імпульси надходять на диференціатор  $\frac{d}{dt}$ , який детально зображений на рис.2.4.

З диференціатора, виділене положення імпульсу (рис.2.3) надходить на лічильні входи лічильника, який підраховує імпульси на заданому інтервалі.

У початковий стан вся схема встановлюється імпульсами початкового скидання. Таким чином, на виході схеми матимемо число, рівне кількості імпульсів на заданому інтервалі.

На рис.3 наведено передній фронт імпульсу датчика.

Схема диференціюються ланцюжка наведена на рис.2.4.

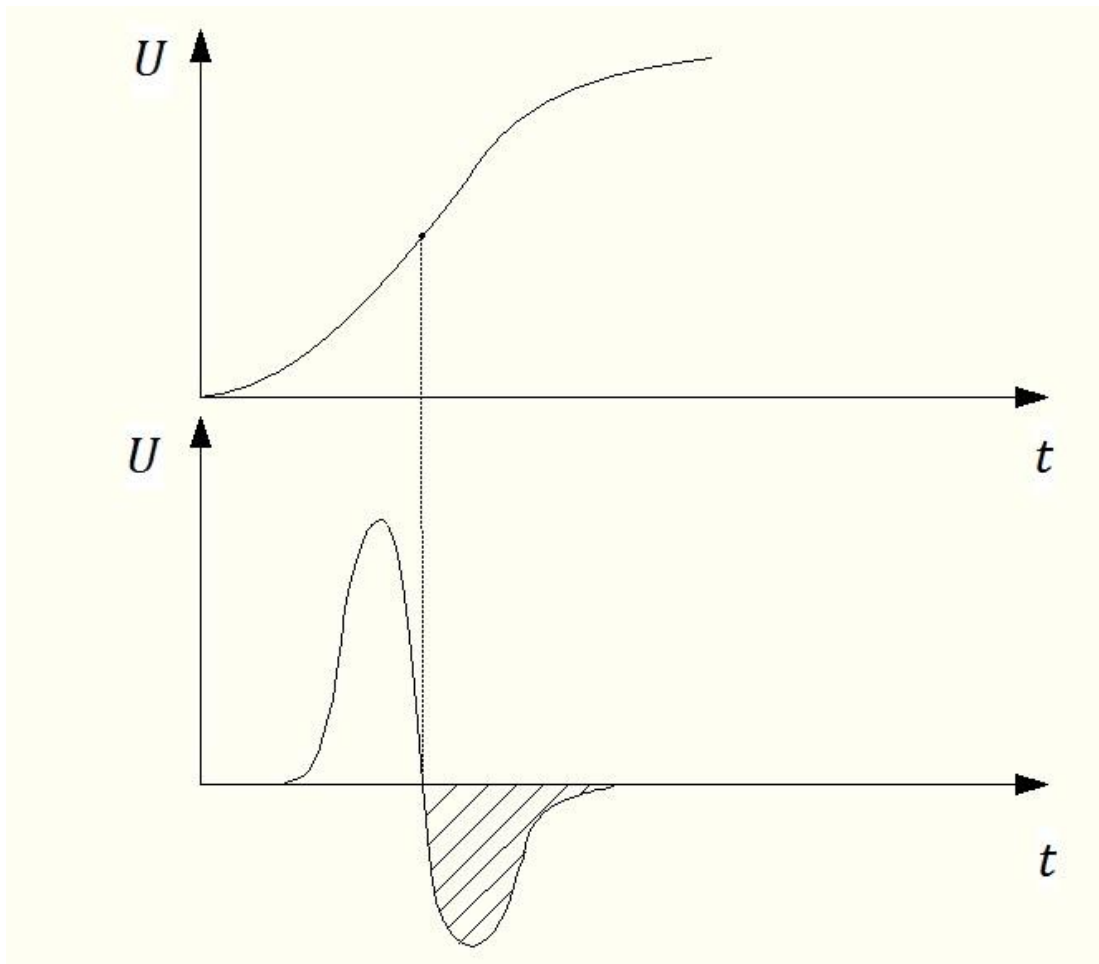


Рисунок 2.3 – Виділене положення імпульсу

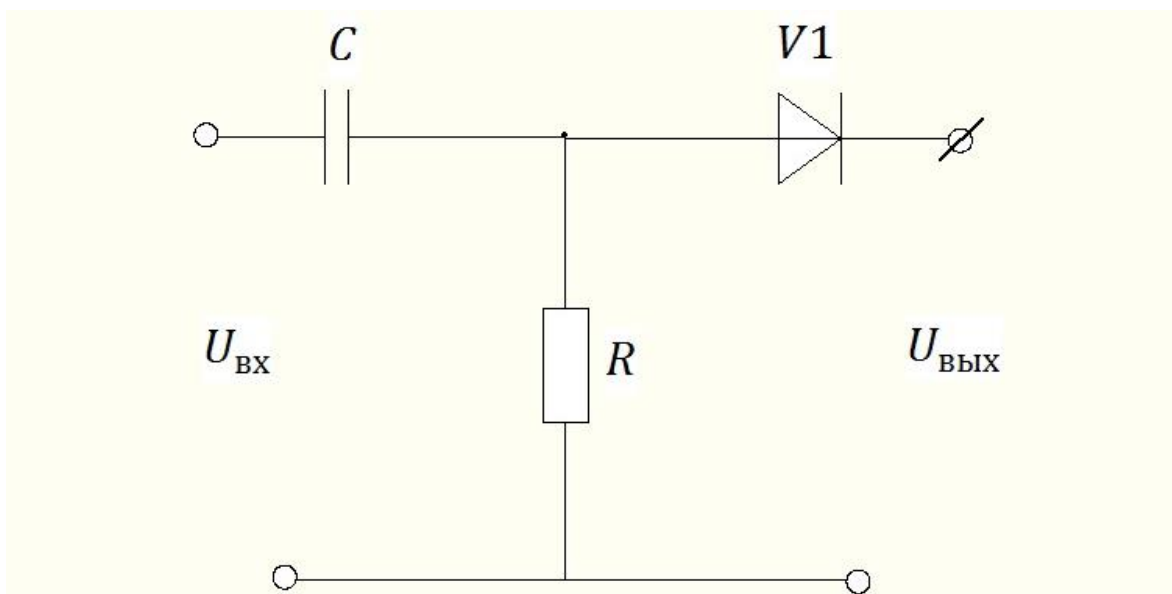


Рисунок 2.4 – Схема диференцюємого ланцюжка

2) по логічному рівню

Суть даного методу полягає в аналізі логічних рівнів вхідного порту мікропроцесора, на який надходять імпульси з тахометричного датчика.

Оскільки, імпульси з датчика мають форму, відмінну від прямокутної і амплітуду, що відрізняється від рівня логічної одиниці, то в цьому випадку необхідно попередньо перетворити вхідні імпульси за допомогою формувача імпульсів (ФІ).

ФІ являє собою підсилювач-обмежувач. На його виходах формуються прямокутні імпульси.

Робота схеми полягає в наступному. На лічильні входи тригера надходять тактові імпульси заданої тривалості. На виході тригера формується строб вимірювань імпульсів з тахометричного датчика.

Вхідні імпульси з датчика надходять на ФІ. ФІ з колокольськообразним відеоімпульсом формує прямокутні імпульси з крутими фронтами. В якості ФІ використовується підсилювач-обмежувач на операційному підсилювачі з коефіцієнтом підсилення від одиниць до десятків тисяч.

Формування імпульсів прямокутної форми надходить на схему збігів. Схема збігів стробується стробом вимірювань (стробування – подача дозволяючого потенціалу на потенційний вхід схеми збігів).

Вихідна імпульсна послідовність схеми збігів далі надходить на аналізатор логічних рівнів (АЛР). Саме в ньому реалізується здатність підрахунку кількості імпульсів по логічним рівням.

Суть аналізу логічних рівнів полягає в наступному. При наявності стробу вимірювань, зчитується стан цифрового порту.

У початковому стані вхідний цифровий порт встановлюється в стан логічного "0" (низький рівень "LOW"). При появі імпульсів, потенціал на вході порту змінюється з логічного "0" на логічну "1" (відбулася зміна логічного стану порту).

Лічильник логічних станів, який у вихідному положенні встановлений в "0", збільшується на одиницю. Далі триває опитування стану вхідного порту з метою визначення закінчення імпульсів.

У момент зміни поточного стану логічного рівня з високого на низький ("LOW" → "HIGH"), приймається рішення про закінчення імпульсів. Поточному стану порту присвоюється значення "LOW", а значення лічильника не змінюється.

При надходженні наступних імпульсів, на вхідному порту знову з'являється високий логічний рівень. По ньому поточному стану порту присвоюється протилежний стан порту. А значення лічильника збільшується на одиницю. Далі всі ці операції циклічно повторюються.

Після закінчення стробу вимірювань закінчується надходження імпульсів на АЛУ. Таким чином, на виході схеми буде число, рівне кількості імпульсів на заданому інтервалі часу.

### 3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПРИЛАДУ ТА АЛГОРИТМУ ВИМІРЮВАНЬ

В процесі експлуатації, внаслідок впливу різних стабілізованих факторів (зовнішній вплив, кліматичні дії, «старіння» датчика), функція перетворення відрізняється від еталонної. Це призводить до того, що виникає помилка вимірювання.

Природа помилки тахометра, як пристроя, що визначається кількістю оборотів в одиницю часу, визначається помилками, викликаними відходом від еталонного значення функції перетворення.

#### 3.1 Індуктивний датчик

На відміну від герконових датчиків, на виході індукційних імпульси будуть мати дзвонову форму (рис.3.1). при цьому "брязкіт" контактів відсутня.

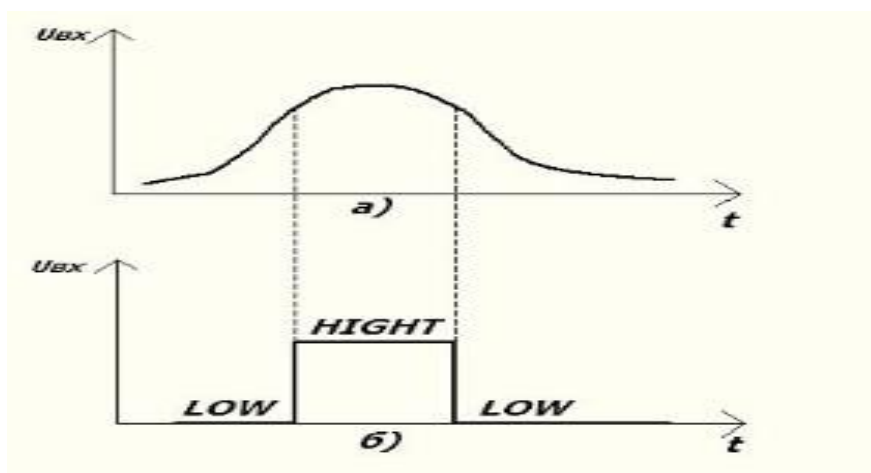


Рисунок 3.1- індуктивні імпульси

Алгоритм вибору порогового рівня полягає в тому, щоб  $U_{пор} > U_{bx}$  хв. Але при використанні індуктивних датчиків слід вживати заходів захисту від імпульсних перешкод, які можуть наводитися в котушці датчика.

Такі перешкоди виникають в бортових мережах автомобілів та інших схемах, в яких присутня джерело високої напруги. Амплітуда такої перешкоди може досягати 70-80 В при тривалості 100мкс-1мс.

Таким чином, на вхід АЦП мікроконтролера будуть надходити вхідні імпульси з амплітудою значно перевищує максимально допустиму.

Виникає необхідність обмеження (захист від перенапруги) вхідного аналогового порту. Одна з можливих схем наведена на рис.6.

У цій схемі обмеження амплітуди сигналу досягається за рахунок використання стабилитрона V1.

Стабілітрон-зворотний діод. Має вольт-амперну характеристику. Наведену на рис.6б. Робоча точка Устаб вибирається виходячи з максимально допустимої напруги на вході АЦП (0,9Епіт).

Таким чином, при формуванні алгоритму мікроконтролерного тахометра необхідно:

1. проаналізувати й обґрунтувати тип тахометричного датчика, який забезпечує найбільш достовірні вимірювання;
2. вибрати алгоритм підрахунку кількості імпульсів або по тривалості імпульсів, або шляхом підрахунку кількості імпульсів на заданому інтервалі часу;
3. правильно сформувані поріг для виявлення імпульсів на аналогових входах за його логічному рівню.

### 3.2 Разработка структурной схемы калибратора

$$\tau_{и} = \frac{l_{м}}{V_{вращ}}$$

$V_{оберт}=[0\ 100\ 500\ 1000\ 3000\ 5000]$  об/хв,



$$\tau_{и} = \frac{l_{м} * 10^{-3}}{V_{оберт} * 60}, c$$

$$\tau_{и} = 3нс - 16мкс, f_{т} = 20МГц$$

$$T_{д} = \frac{1}{f_{т}} = \frac{1}{20 * 10^6} = 0,05 * 10^{-6} = 5 * 10^{-8} = 50 * 10^{-9} = 50нс$$

$$T_{дтр} = 1,5 * 10^{-9}$$

$$f_{ттр} = \frac{1}{T_{дтр}} = \frac{1}{1,5 * 10^{-9}} = 0,7 * 10^9 = 7 * 10^8 = 700МГц$$

Т.ч., як видно з вищенаведених розрахунків, для вимірювання тривалості імпульсів в діапазоні від 3нс до 16мкс необхідно використовувати МК з тактовою частотою не нижче 700МГц. Заданим вимогам задовольняє будь промисловий МП.

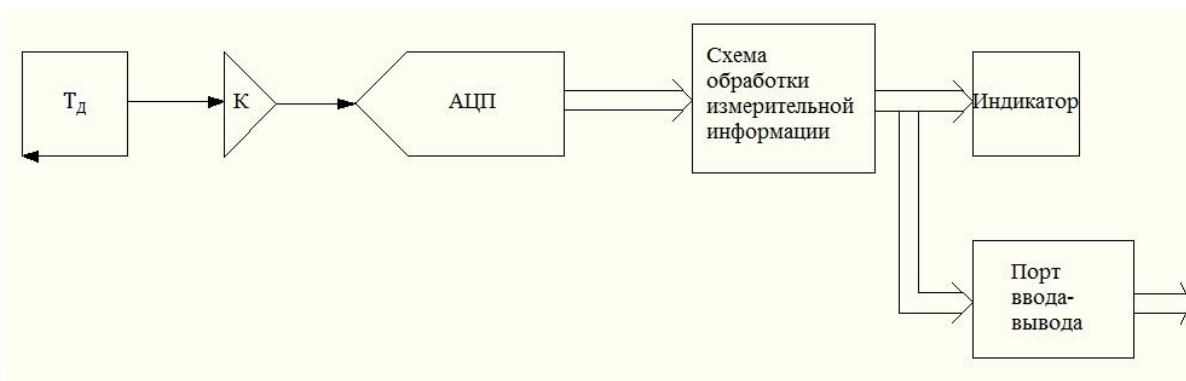


Рисунок 3.8 – Структурна схема тахометричного датчика

Перший канал – канал вимірювання частоти обертання, на вхід якої надходить сигнал з ЕГ сигналів.

ЕГ формує високостабільну послідовність прямокутних імпульсів тривалістю  $\tau_{и}=3нс-16мкс$  і заданим періодом  $T_{зад}$ . Сигнал з виходу ЕГ надходить на комутатор. На другий вихід комутатора поступає посилений сигнал з тахометричного датчика.

Алгоритм схеми управління організовує вимірювальний процес таким чином, що спочатку включається перший комутатор і сигнал з ЕГ надходить спочатку на АЦП, а потім в схему обробки ШП. При цьому організовується режим сканування: тривалість імпульсів плавно змінюється від мінімального до максимального.

Т.ч. у схемі обробки П буде формуватися залежність швидкостей обертання від тривалості імпульсів, тобто буде сформований масив значень еталонної функції перетворення. Цей масив зберігається в незалежній пам'яті схеми обробленої П.

Другий етап роботи комутатора (1-й відключається).

Проводиться вимірювання швидкості обертання в схемі обробки П в якійсь одній точці. Ці свідчення порівнюються з відповідальним елементом масиву і незалежної пам'яті (з еталонною функцією перетворення).

Номер елемента масиву визначається методом послідовного наближення вимірювань тривалості імпульсів, що надходять від датчиків.

Різниця між вимірюваною функцією перетворення та еталонною функцією перетворення в даній точці і буде поправочним коефіцієнтом для калібрування тахометра.

### 3.3 Алгоритм вимірювань

Алгоритм вимірювання часових інтервалів призначений для вимірювання часових інтервалів сигналів, що надходять на входи таймерів мікропроцесора.

Вимірювання можуть проводитися у двох шкалах: у шкалі мілісекунд і в шкалі мікросекунд.

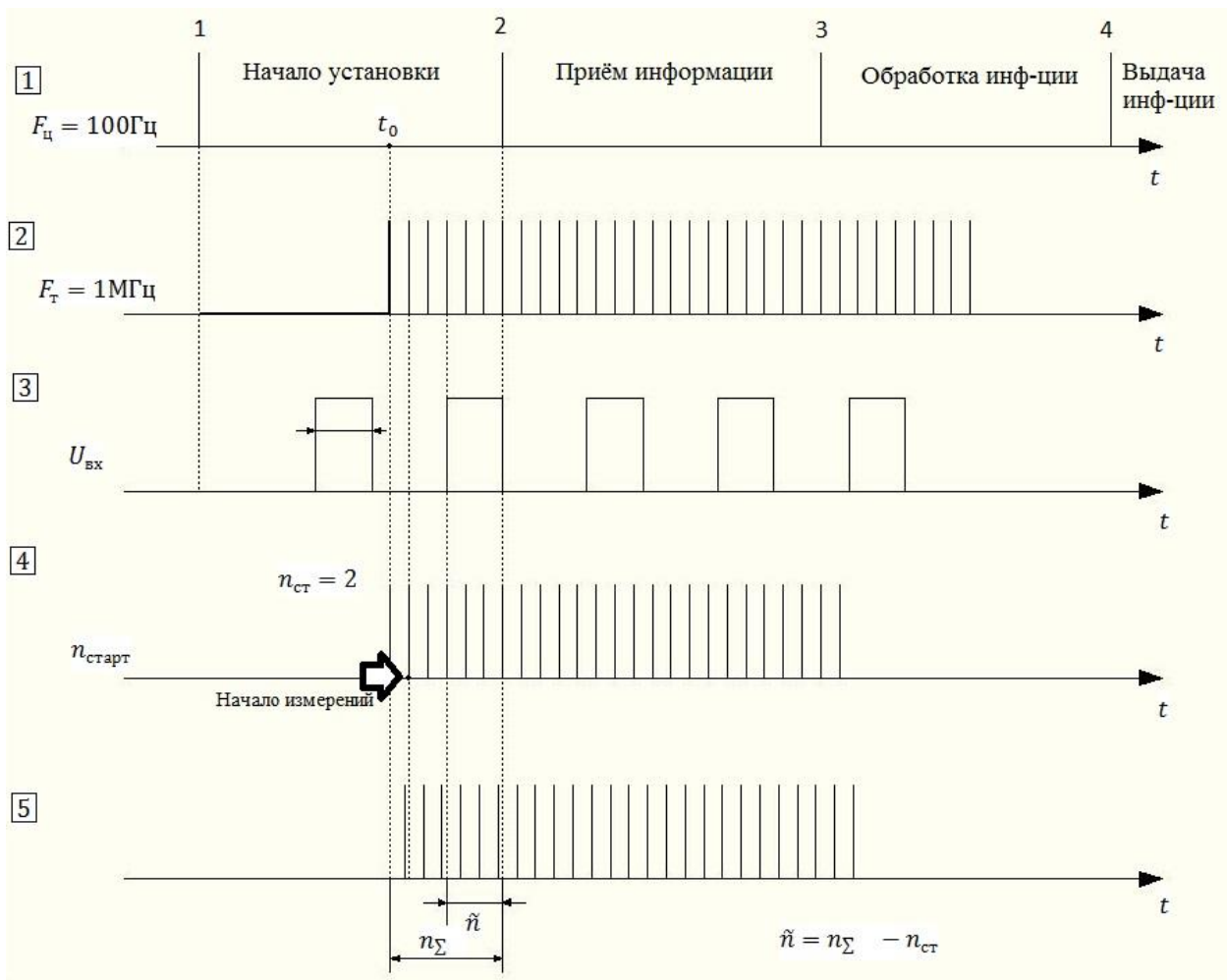


Рисунок 3.9 – Часові діаграми

Таймінг – вимірювання часових інтервалів шляхом використання еталонних проміжків часу з подальшим підрахунком їх кількості.

На першій діаграмі показана робота мікроконтролера по циклах із зазначенням операцій, що виконуються по циклу.

На другий діаграмі наведена послідовність імпульсів тактової частоти, яка починає формуватися після початкових установок з моменту часу  $t_0$ .

На третьому зображенні імпульси з тахометричного датчика, які надходять на вхід мікроконтролера, незалежно від його стану.

На четвертій – послідовність імпульсів, яка буде підрахована від моменту запуску програми  $t_0$  до початку вимірювань (до моменту появи переднього фронту імпульсу тахометричного датчика на вхід мікроконтролера).

На п'ятій – послідовність імпульсів, яка буде підрахована на інтервалі тривалості імпульсів датчика. Ця кількість імпульсів  $n$  підраховується як різниця кількості імпульсів  $n_{\Sigma}$  від моменту запуску алгоритму до закінчення імпульсів. Кількість імпульсів, яке буде підраховано за час дії імпульсів, визначається виразом:

$$\tilde{n} = n_{\Sigma} - n_{ст.}$$

Розрізняють довготривалу нестабільність (на інтервалах часу добу, місяць, рік) і короткочасну нестабільність (на інтервалах 100, 1000 тактів).

$$\delta F_{T \text{ внутр}} = 10^{-2} = \frac{\Delta f}{f_T}$$

$$\delta F_{T \text{ зовн}} = 10^{-4} \text{ (зовнішній кварцевий генератор)}$$

Для підвищення точності вимірювання часових інтервалів, необхідно використовувати зовнішній кварцовий резонатор, при цьому точність вимірювання часових інтервалів буде підвищена на два порядки.

Блок – схема алгоритму:

- 1) проведення початкових установок мікроконтроллера (діаграма 1,2);
- 2) зчитування (поточного початкового)  $t_{пoch}$  в момент появи на вході переднього фронту імпульсів;
- 3) зчитування  $t_{потоch}$  в момент появи на вході заднього фронту імпульсів;
- 4) обчислення  $\tau_{и} = t_{потоch} - t_{пoch}$ ;
- 5) присвоєння  $t_{потоch} = t_{пoch}$ .

Далі відбувається повторення циклу з п'ятого пункту по другій.

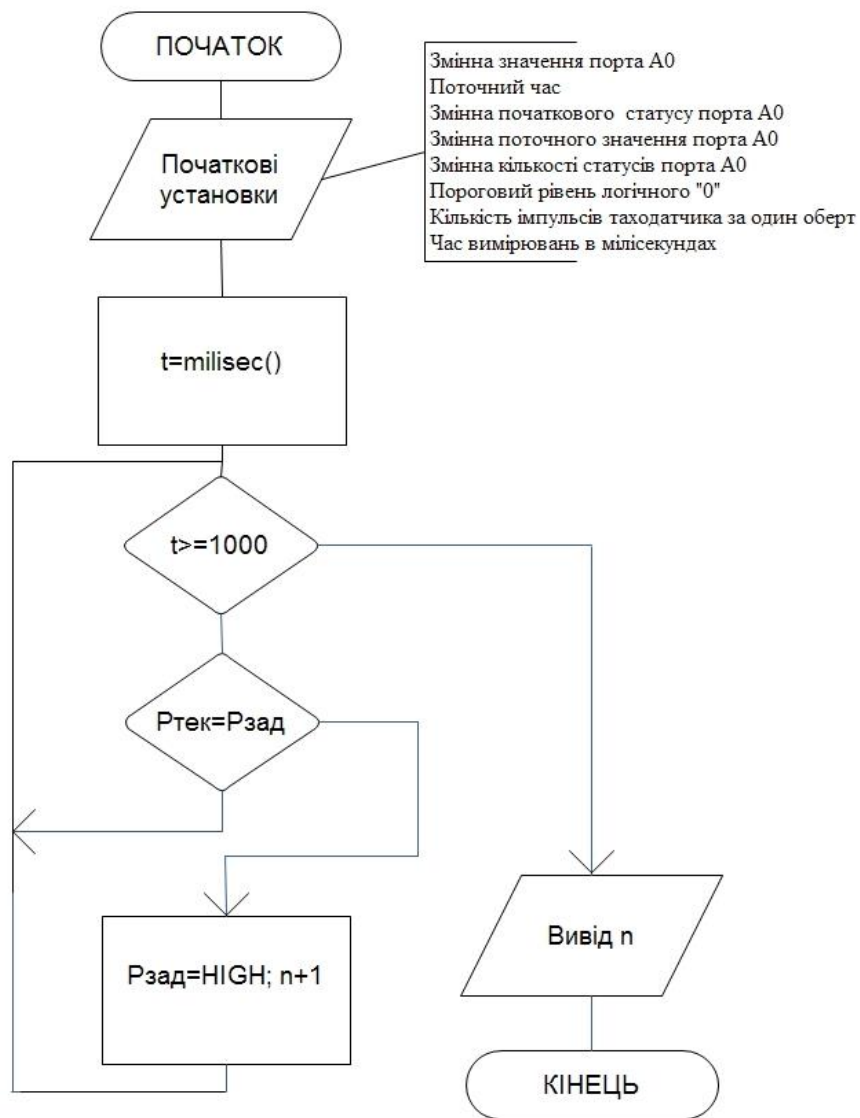


Рисунок 3.10 Алгоритм вимірювання часових інтервалів

#### 4 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ В СЕРЕДОВИЩІ IDE

```
/**
 *
 * Програма "Тахометр". Лихачов Д. Є. Датчик – герконовий
 *
 */

// Опис змінних

int val; // змінна значення порта A0

long last=0; // поточний час

int stat=LOW; // змінна початкового статусу порта A0

int stat2; // змінна поточного значення порта A0

int n_stat=0; // змінна кількості статусів порта A0

int MinSens=5; // Пороговий рівень логічного "0"

int nPalas=6; // Кількість імпульсів таходатчика за один оберт

int milisegundos=1000; // час вимірювань в мілісекундах

// Початкові установки

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Ініціалізація серійного порта, 9600 біт/с
  digitalWrite(A0,HIGH); // підключаємо підтягуючий резистор порта A0
}

// Основне тіло програми

void loop()
{
```

```

val=analogRead(A0); // читання порта A0

if(val<MinSens) // якщо значення порта A0 менше порога
  stat=LOW; // то статусу порта A0 присвоюється 0
else
  stat=HIGH; // інакше - присвоюється 1
if(stat2!=stat) // перевірка зміни статусу порта A0
{
  n_stat++; // якщо статус змінився на протилежний, то кількість статусів
збільшити на 1
  stat2=stat; // значення поточного статусу порта A0
}

if(millis()-last>=milisegundos) // перевірка чи знаходимось в інтервалі
вимірювань
{
  double rps=(n_stat/nPalas)*1000.0/milisegundos; // обчислення кількості
обертів за сек
  double rpm=(n_stat/nPalas)*60000.0/(milisegundos); // обчислення кількості
обертів за хв
  //вивід результатів в серійний порт
  Serial.print(" rpm/sek = ");
  Serial.print(rps);
  Serial.print(" rpm/min = ");
  Serial.println(rpm);
  n_stat=0; // Повернення до початкових установок
  last=millis();
}
}

```

5 ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИБОРУ

ПРИБОРУ





## ВИСНОВКИ

Проникнення мікропроцесорів в вимірювальну техніку поліщило багато характеристик засобів вимірювань, додало їм нових властивостей. За допомогою мікропроцесорних систем досягаються багатифункціональність приборів, спрощення управління вимірювальної процедурою, автоматизація регуліровок, самокалібрування і автоматична повірка, поліпшення метрологічних характеристик, виконання обчислювальних операцій, статистична обробка результатів спостережень, створення програмованих, повністю автоматизованих приладів.

У сучасній промисловості для оптимального управління технологічними процесами потрібне отримання інформації про великому числі параметрів об'єктів, а також оперативна обробка цієї інформації. Це привело до появи і розвитку складних систем, призначених для автоматичного збору і переробки інформації. Такі системи отримали назву вимірювальних інформаційних систем (ВІС).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРИ

1. Агамалов Ю.Р. Оптимизация выходного контроля многофункциональных средств измерений иммитанса// Датчики и системы.– 2007.– №5.– С.2–9.
2. Безикович А.Я., Прицкер В.И., Эскин С.П. Автоматизация поверки электроизмерительных приборов. – Л.: Энергия, 1976. – 216 с.
3. Конюхов А.Г. Автоматизация поверки: старые подходы и перспективные принципы// Измерительная техника. 1987. – № 11. – С. 12 – 15.
4. Владимиров В.Л., Андрусяк С.А., Ясенецкий Е.И. Методы и алгоритмы автоматизированной поверки средств измерений электрических величин с кодовым выходом. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 145 с.
5. Агамалов Ю.Р., Бобылев Д.А., Боровских Л.П., Кнеллер В.Ю. Виртуальный самоверяемый анализатор иммитанса с адаптивными функциональными возможностями// Датчики и системы. – 2008. – №7. – С.21–27.
6. D.F. Williams, A. Lewandowski, D. LeGolvan, R. Ginley, C.M. Wang and J. Splett, Use of Electronic calibration units for vector-network-analyzer verification.// 74th ARFTG Microwave Measurement Conference, Boulder, Colo, Dec. 1–4, 2009.
7. Агамалов Ю.Р. Возможности построения многофункциональных средств измерений на основе принципа самоверяемости //Метрология. – 2007. – № 12. – С. 7–11.
8. Агамалов Ю.Р. Новый подход к построению и поверке средств измерений (пленарный доклад)// Росс. научно-техн. конф. с международным участием “Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ’08)”: Сб. докладов. – Электронное издание. – М.: ИПУ РАН, 2008.– С.13 – 25. – ISBN 978–5–91450–022–8.

# АНАЛІЗ ТА ВИБІР ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ МОДЕЛЬОВАНОГО ПРОЦЕСУ

## 1.1 Вимірювання тиску в основних елементах гідросистеми

Гідросистема дорожньої машини служить для управління робочим обладнанням та поворотом машини.

Гідросистема дорожньої машини має два самостійних контура закритого типу та гідроциліндри.

Перший контур являє собою систему управління робочим обладнанням. Живлення системи забезпечується насосом, який, забираючи робочу рідину з бака, нагнітає цей потік в блок гідророзподільників. П'ять секцій гідророзподільника за допомогою трубопроводів пов'язані з гідроциліндрами подвійної дії, призначеними для підйому та опускання відвалу, виносу тягової рами, виносу відвалу та управління кайловщика. Одна секція гідророзподільювача пов'язана з гідромотором механізму повороту відвалу. У середніх і легких автогрейдерів в перший контур входить також гідроциліндр нахилу передніх коліс. Масло, яке перепускають потоком з гідророзподільювача в бак, проходить через фільтр.

Другий контур системи призначений для живлення рульового управління і повороту передніх коліс. Крім того, другий контур автогрейдера забезпечує роботу сервомеханізму муфти зчеплення. Насос другого контуру нагнітає масло з бака в дільник потоку, звідки частина рідини спрямовується в сервомеханізм муфти зчеплення, а частина — в гідророзподільник рульового управління.

Гідроциліндри (рисунок 1.1) дорожніх машин мають багато схожостей. Це гідроциліндри подвійної дії, тобто забезпечують переміщення штока і передачу зусилля в обидві сторони.

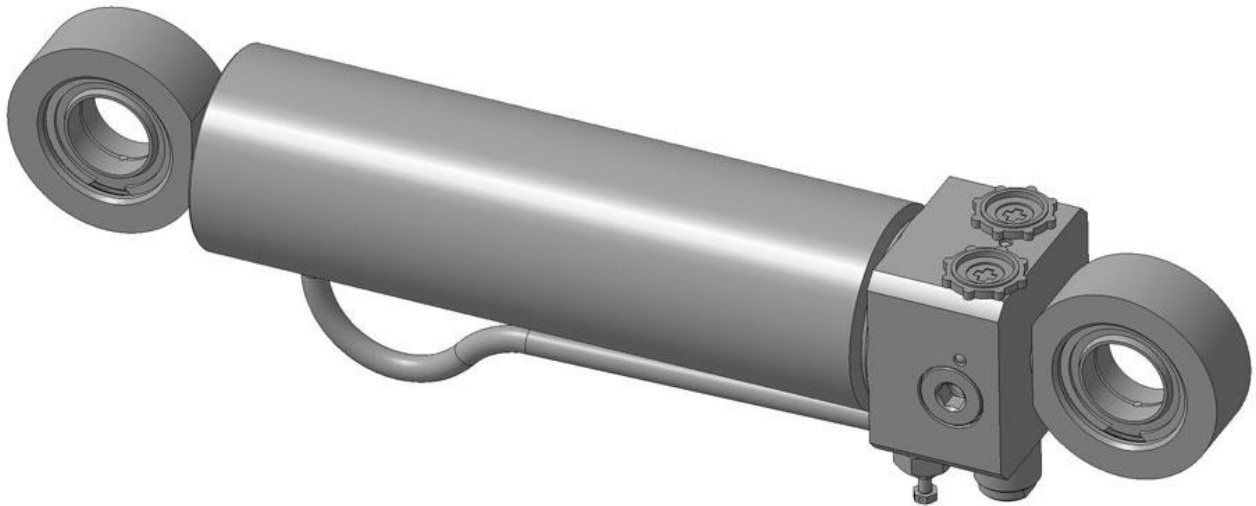


Рисунок 1.1 — Гідроциліндр

Для нормального функціонування машини на її робочий орган має бути передана певна сила (крутний момент) з певною швидкістю і в певному напрямку. В гідросистемі повинна бути відповідність цих параметрів заданим, перетворюючи гідравлічну енергію потоку рідини в механічну енергію вихідної ланки. Правильна робота виконуючого органу залежить від параметрів потоку — тиску, витрати і напрямку.

Отже, для перевірки роботи гідросистеми необхідно перевіряти всі необхідні параметри.

Одним з найважливіших параметрів гідросистеми є тиск.

Для перевірки тиску необхідно під'єднати датчик тиску або манометр в систему будь-якого робочого (виконуючого) органу і, включивши гідророзподільник, довести шток гідроциліндра до кінця.

Інформація з датчиків тиску говорить про правильну або неправильну роботу системи, про її можливі несправності, швидкий вихід з ладу або руйнуванні. Тому знання поточних значень тиску в гідросистемі є дуже важливим.

## 1.2 Вибір і характеристики засобу вимірювання тиску

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

На відміну від датчика тиску, манометр — це прилад, призначений для вимірювання (а не просто перетворення) тиску. У манометрі від тиску залежать показання приладу, які можуть бути лічені з його шкали, дисплея або аналогічного пристрою.

Найбільше застосування отримали прилади з трубчастою пружиною. Їх випускають у вигляді показуючих манометрів с максимальною межею вимірювань. В таких приладах зі зміною вимірюваного тиску  $p$  трубчаста пружина змінює свою кривизну.

Датчики тиску встановлені на двох контурах гідросистеми і гідроциліндрі.

Беручи до уваги дуже високі значення вимірювального тиску у гідросистемах (до 100 МПа  $\approx$  1000 атм.), потрібно підібрати відповідний датчик, який би міг адекватно відображати дані та не перевищував свої допустимі похибки під впливом великих навантажень.

Датчики надлишкового тиску серії ТКН призначені для вимірювання надлишкового тиску в діапазоні 0–1000 атм. рідких і газоподібних неагресивних середовищ в системах контролю і регулювання, що використовуються в машинобудуванні, приладобудуванні та інших галузях.

Основні особливості:

- Стійкість до агресивних середовищ (частини датчиків, які стикаються із зовнішнім середовищем, виготовлені з нержавіючої сталі);
- Висока стабільність і достовірність показань, що досягається за рахунок вбудованої системи калібрування і термокомпенсації;
- Стійкість до триразових перевантажень тиском;
- Модифікації зі стандартними аналоговими і цифровими вихідними сигналами;
- Герметичне виконання;

– Сталевий корпус.

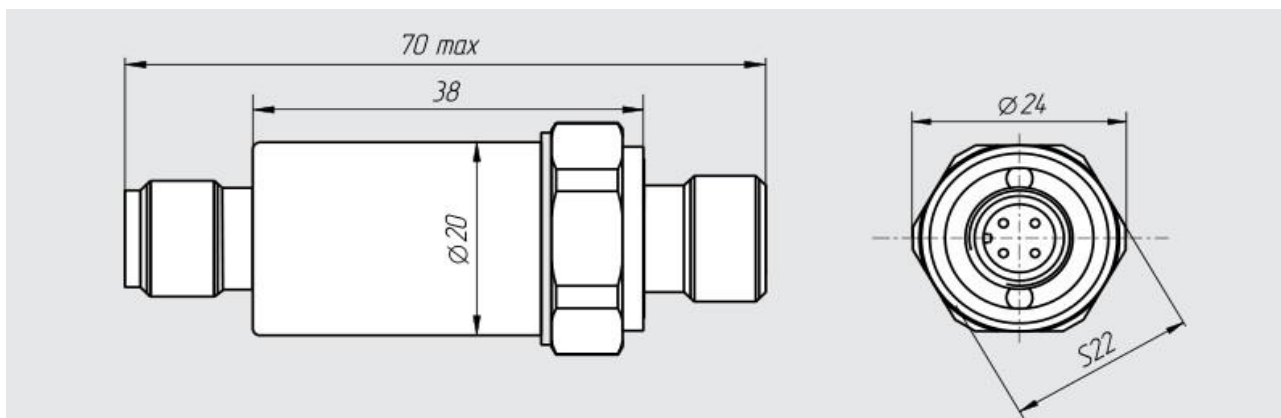


Рисунок 1.2 – Габаритні та установочні розміри датчика тиску

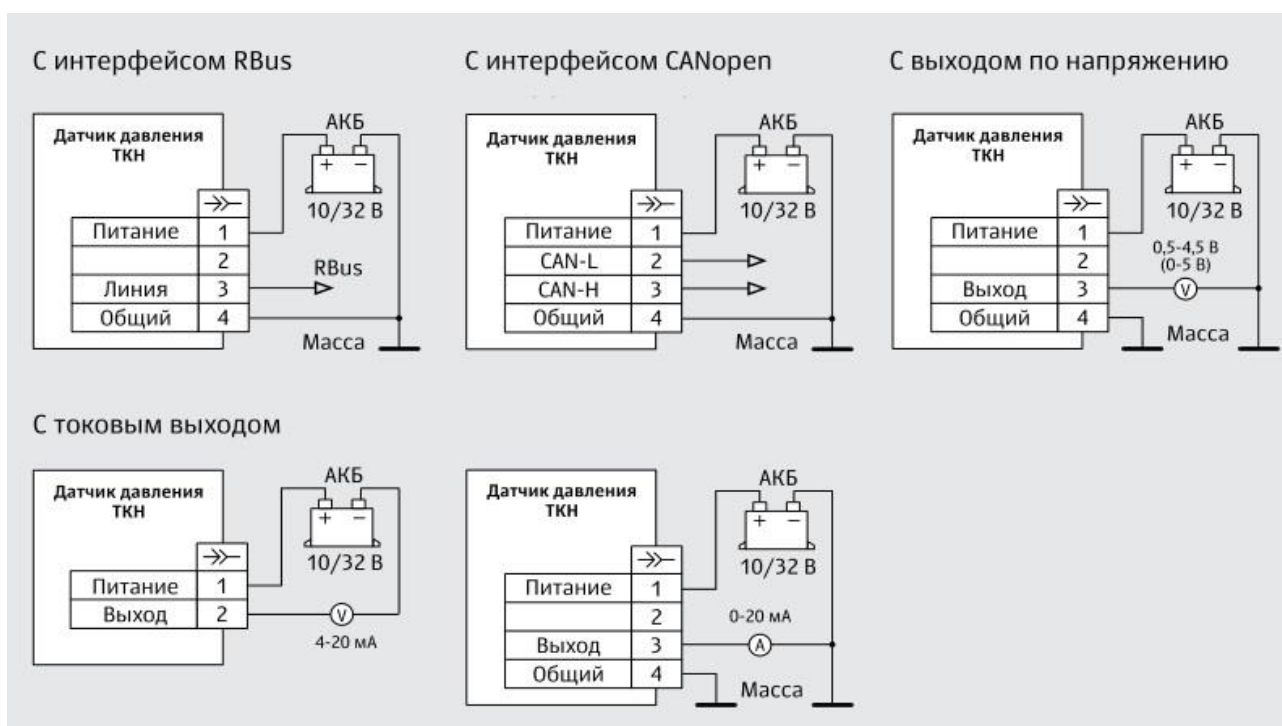


Рисунок 1.3 – Варіанти схеми підключення датчика тиску

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики датчику тиску ТКН

Параметр	Значення
Діапазон вимірювань	до 100 МПа

Приведена основна похибка вимірювання: – датчиків с аналоговими інтерфейсами; – датчиків с цифровими інтерфейсами	не більше 0,5%  не більше 0,2%
Додаткова температурна похибка на кожні 10 °С	не більше 0,08%
Стійкість до короткочасних перевантажень по тиску	триразова, але не більше 140 МПа
Напруга живлення	від 10 до 32 В
Діапазон температур: – робочих – межових – вимірюваної середи	від –40 до +55 °С від –50 до +65 °С від –40 до +95 °С
Режим роботи по ГОСТ 3940-84	тривалий S1
Ступінь захисту від зовнішніх факторів по ГОСТ 14254-96	IP67
Допустимі вібраційні навантаження: – максимальне прискорення – в діапазоні частот	не більше 50 м/с <sup>2</sup> від 0 до 250 Гц
Допустимі ударні навантаження	не більше 150 м/с <sup>2</sup>
Габаритні розміри, довжина x діаметр	не більше 70 x 24 мм
Маса	не більше 0,3 кг

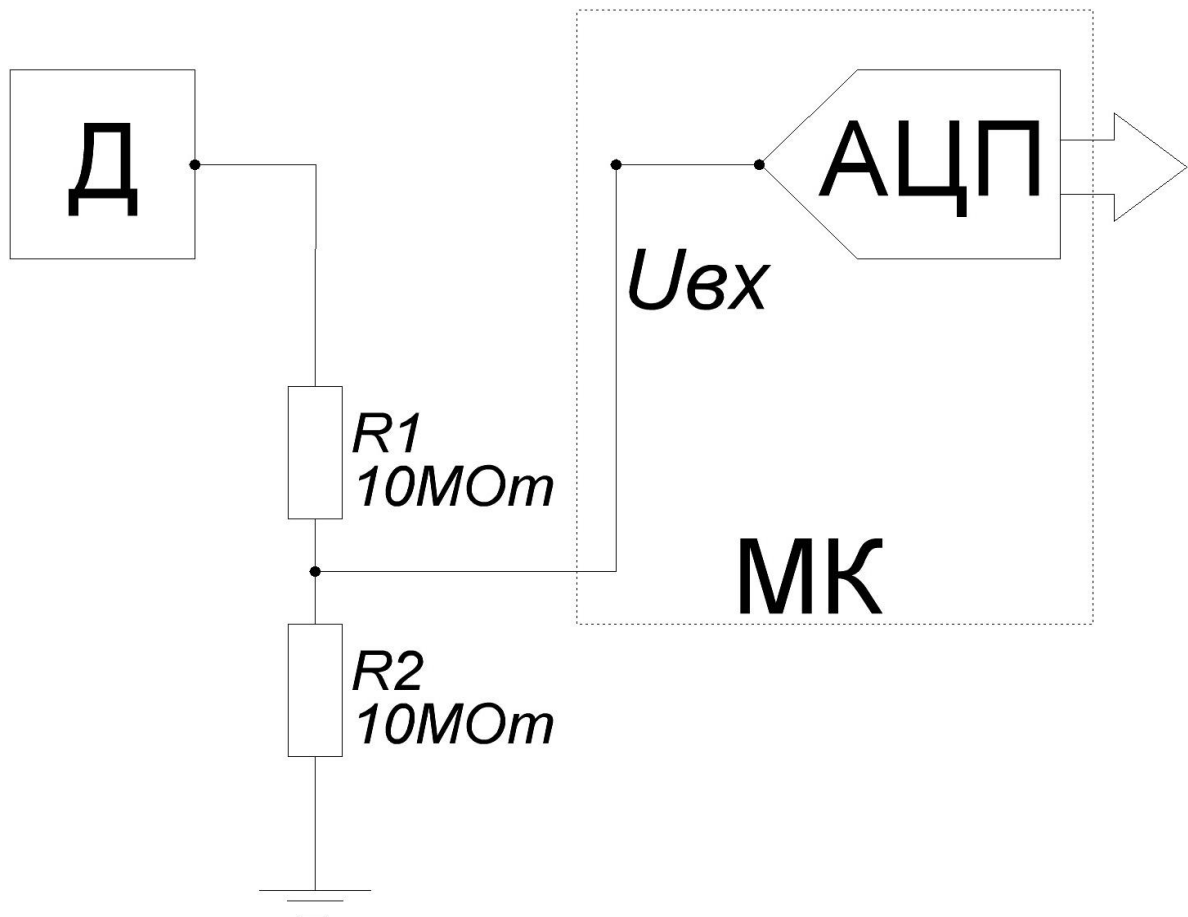


Рисунок 1.4 – Схема підключення датчику тиску у вимірювальну систему: Д – датчик надлишкового тиску серії ТКН,  $U_{вх}$  – вхідна напруга на АЦП, МК – мікроконтролер вимірювальної системи,  $R_1$ ,  $R_2$  – резистори зі значенням опору 10 МОм



## 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ

У процесі, яких підлягає моделюванню, з трьох датчиків надходять значення тиску, формуючи випадковий процес. Потім формуються масиви даних, які формують процес, розподілений за нормальним законом розподілення.



Рисунок 2.1 – Структурна схема моделі моделювання

Алгоритм моделювання з початку містить в собі введення п'яти початкових даних, створення циклу для трьох рівнянь сигналів з трьох датчиків тиску довжиною в тисячу вимірювань. Після завершення циклу будуються і виводяться на екран графіки і гістограми сигналів з датчиків, чим і завершують алгоритм.

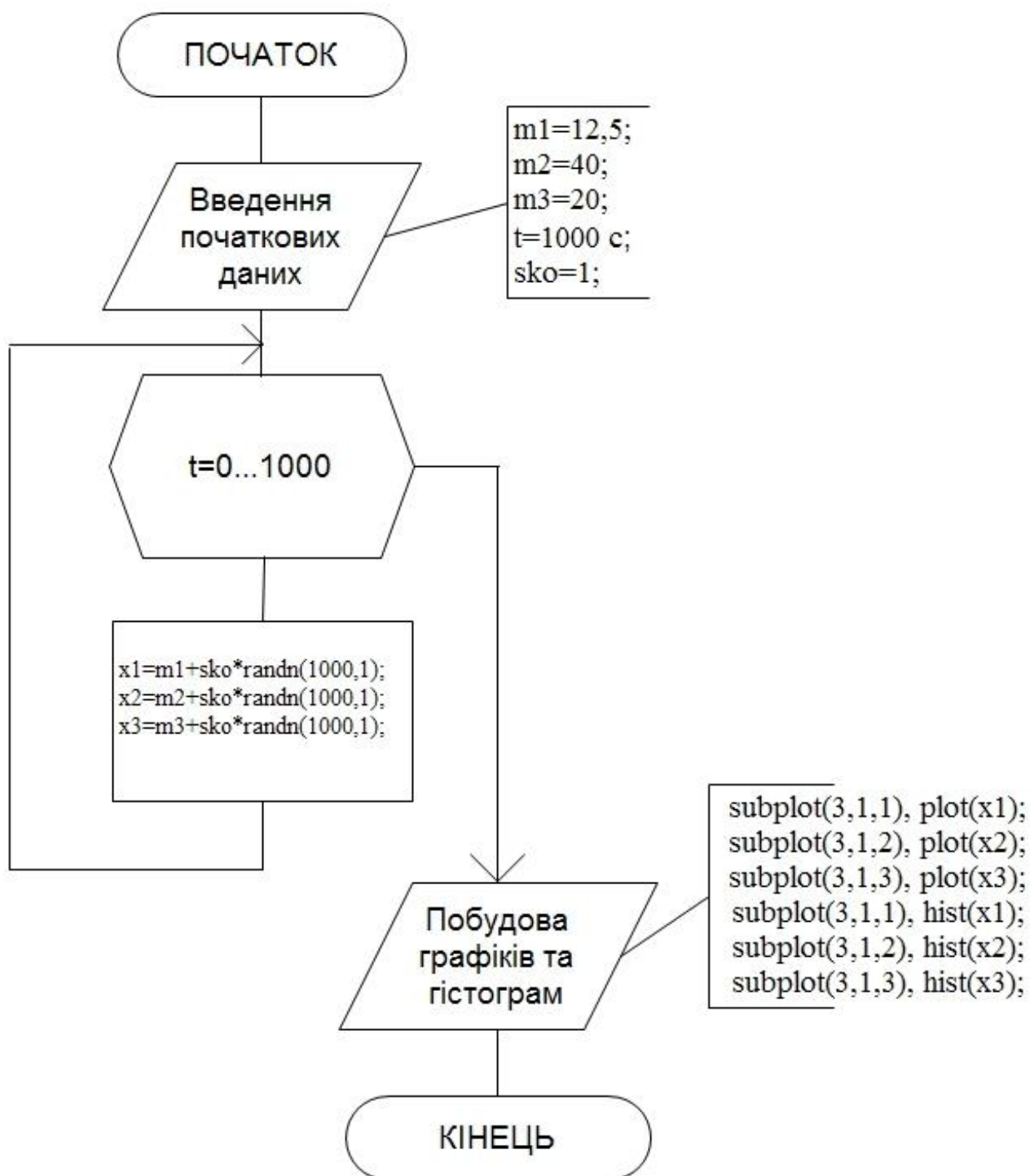


Рисунок 2.2 – Алгоритм моделювання

### 3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ І ОТРИМАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ В MATLAB

Сигнали вимірювань надходять з трьох датчиків тиску. Перший датчик встановлений на першому контурі гідросистеми і має діапазон вимірювань від 0 до 25 МПа, другий встановлений на гідроциліндрі і має діапазон вимірювань від 0 до 80 МПа, а третій – на другому контурі гідросистеми з діапазоном від 0 до 40 МПа.

Для створення моделі у Matlab було розраховано середнє значення діапазону вимірювань кожного датчика і як математичне очікування було введено у програму моделювання вихідних сигналів у якості початкових даних. Дисперсія задана умовами завдання і дорівнює одиниці. Для формування нормального розподілення масиву даних для кожного з трьох датчиків у формулах була використана функція «randn» із середовища Matlab.

Результати моделювання виводяться у двох програмних вікнах: у першому графіки сигналів, у другому – гістограми. Для виведення графіків сигналів в одному вікні використані функції «subplot(3,1,N), plot(xN)», для гістограм – «subplot(3,1,N), hist(xN)», де N – номер сигналу з відповідного датчика.

Лістинг розробленої програми наведений нижче:

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
%               Модель вимірювальних сигналів датчиків тиску
%               в гідросистемі дорожньої машини
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clc;
m1=12,5;                               %математическое ожидание первого датчика
m2=40;                                  %математическое ожидание второго датчика
m3=20;                                   %математическое ожидание третьего датчика
sko=1;                                   %дисперсия
x1=m1+sko*randn(1000,1);                 %нормально распределенный массив данных
x2=m2+sko*randn(1000,1);                 %нормально распределенный массив данных
x3=m3+sko*randn(1000,1);                 %нормально распределенный массив данных
% Графики функцій
figure('Name','Графіки сигналів з трьох датчиків гідросистеми')
subplot(3,1,1), plot(x1);
title(['Сигнал с 1-го контура гідросистеми (0-20 МПа)']);
% метки осей
xlabel('\bft,c');
ylabel(['\bfP, МПа' ]);
subplot(3,1,2), plot(x2);
title(['Сигнал с гідроциліндра (0-80 МПа)']);
% метки осей
xlabel('\bft,c');
ylabel(['\bfP, МПа' ]);
subplot(3,1,3), plot(x3);
title(['Сигнал со 2-го контура гідросистеми (0-40 МПа)']);
% метки осей
xlabel('\bft,c');
ylabel(['\bfP, МПа' ]);
figure('Name','Гістограми сигналів з трьох датчиків гідросистеми')
subplot(3,1,1), hist(x1);
title(['Сигнал с 1-го контура гідросистеми (0-20 МПа)']);
% метки осей
xlabel('\bfP, МПа');
ylabel(['\bft,c' ]);
subplot(3,1,2), hist(x2);
title(['Сигнал с гідроциліндра (0-80 МПа)']);
% метки осей
xlabel('\bfP, МПа');
ylabel(['\bft,c' ]);
subplot(3,1,3), hist(x3);
title(['Сигнал со 2-го контура гідросистеми (0-40 МПа)']);
% метки осей
xlabel('\bfP, МПа');
ylabel(['\bft,c' ]);

```

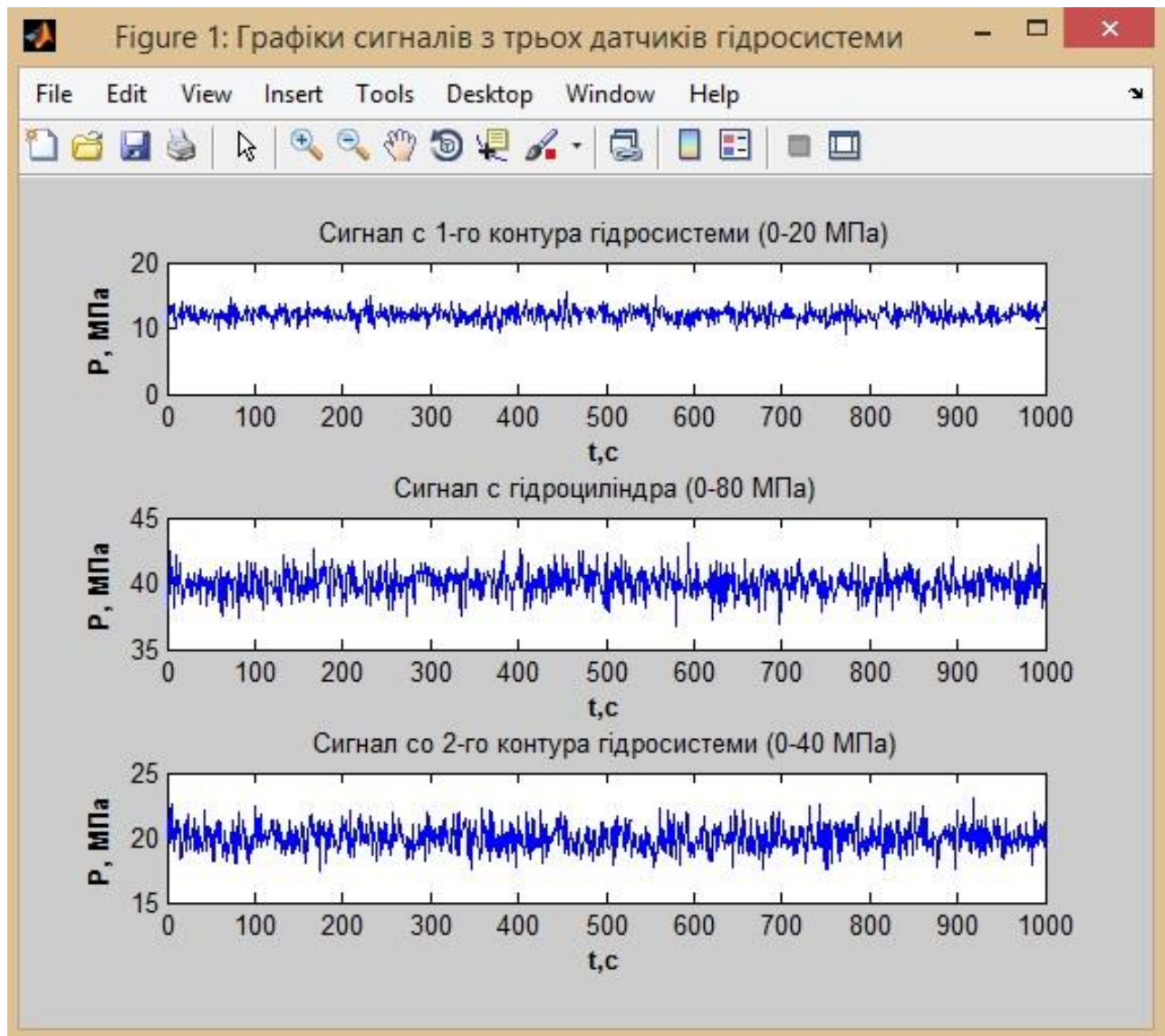


Рисунок 3.1 – Результати моделювання сигналів з трьох датчиків тиску у вигляді графіків

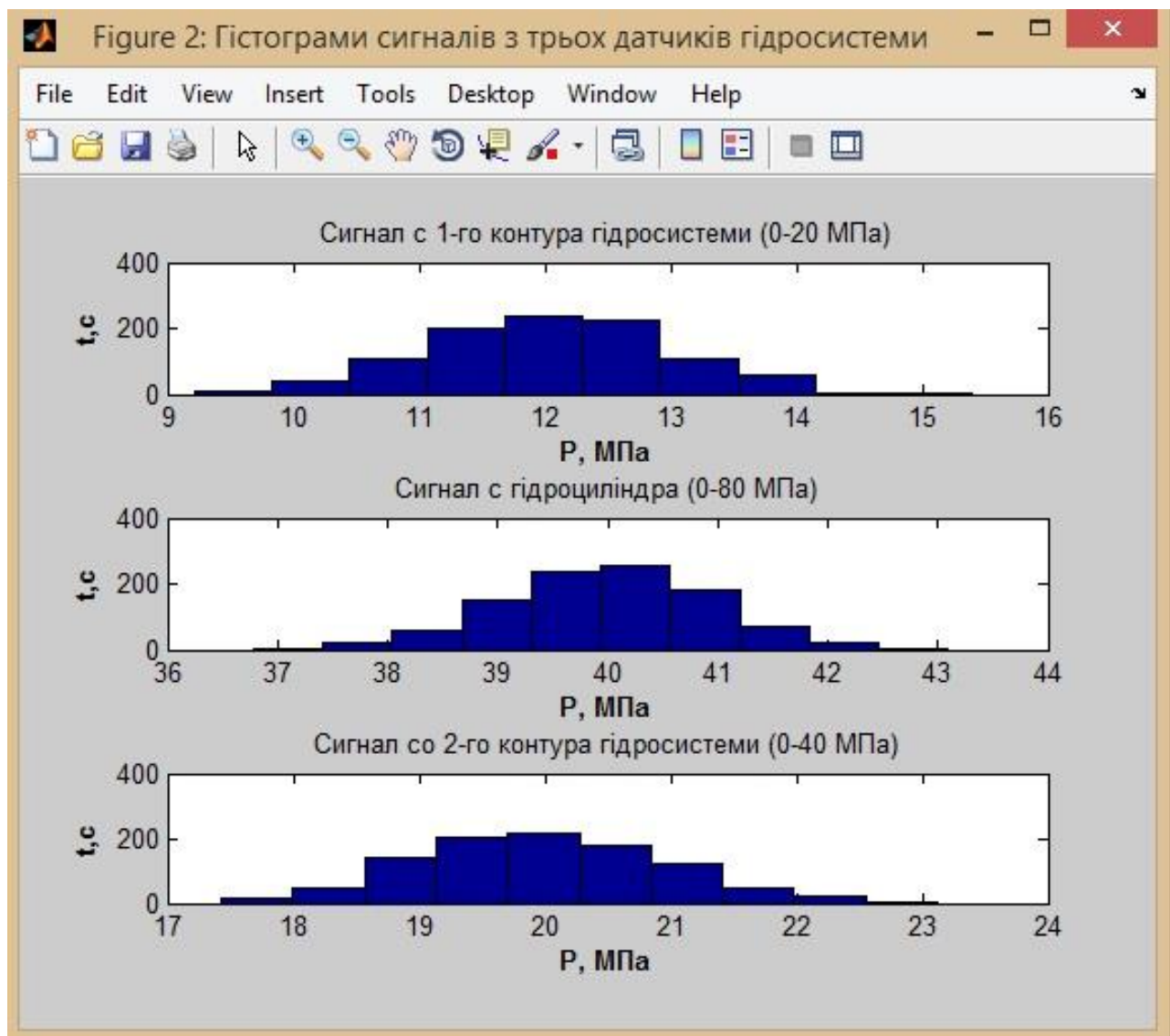


Рисунок 3.2 – Результати моделювання сигналів з трьох датчиків тиску у вигляді гістограм

## ВИСНОВКИ

Тиск є одним із найважливіших параметрів гідросистеми, який потребує постійного контролю.

Для вимірювання тиску використовуються датчики, які можуть витримувати великі навантаження, обумовлені великим тиском в гідросистемі (до 100 МПа).

Розроблена структурна схема моделі та алгоритм дозволяють промодельовати вихідні сигнали з датчиків тиску у заданих діапазонах.

Таке моделювання стає можливим за допомогою програмного середовища Matlab, де можна розробити модель у вигляді програми.

Після цього можливе зручне виведення результатів моделювання для аналізу у вигляді графічних зображень.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Волков В.Л. Программное обеспечение измерительных процессов. Метод. указания к лаб. работам /АПИ НГТУ; сост.: В.Л. Волков. – Арзамас: ОО «Ассоциация ученых», 2009. – 63 с.
2. Волков В.Л. Разработка алгоритмов оценивания процессов на основе Matlab. Методические указания к лабораторным работам /АПИ НГТУ; сост.: В.Л. Волков. – Арзамас: ОО «Ассоциация ученых», 2009. – 58 с.
3. Дьяконов В. П. Справочник по применению системы РС MATLAB. – М.: «Физматлит», 1993. – С. 112.
4. Дьяконов В. П., Абраменкова И. В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник. – СПб.: «Питер», 2002. – С. 608.
5. Коткин, Черкасский – Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB. Уч. пос. Новосибирск, 2001. – 173 с.
6. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: учеб. курс / Лазарев Юрий. – СПб.: Питер ВHV, 2005. – 512 с.
7. Поршнева С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB – 2003. – 226 с.