

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка електронного пристрою контролю запилення робочих приміщень промислових підприємств»

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕлС–15

(шифр групи)

напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»

(шифр і назва напрямку підготовки)

спеціальності Електронні системи

(шифр і назва спеціальності)

Гончаров Олександр Геннадійович

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник старший викладач

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Р.Н. Ахмедов

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2019 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра

Тема: «Розробка електронного пристрою контролю запилення робочих
приміщень промислових підприємств»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ЕлС – 15

Гончаров О.Г.

(підпис, дата, П.І.П)

Керівник

ст. викл. Ахмедов Р.Н.

(підпис, дата, П.І.П)

Консультанти:

проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.П)

проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.П)

ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.П)

Нормоконтроль

проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.П)

Покровськ – 2019

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра Електронна техніка

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалаврНапрямок підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи»

(шифр і назва)

Спеціальність Електронні системи

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

«_____» _____ 2019 року

З А В Д А Н И Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Гончаров Олександр Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка електронного пристрою контролю заповнення робочих приміщень промислових підприємств

керівник проекту (роботи) Ахмедов Рамін Нізамійович, старший викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 06.05.2019 року № 256

2. Строк подання студентом проекту (роботи).

3. Вихідні дані до проекту (роботи).

Технічна документація та матеріали з переддипломної практики

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз та характеристика об'єкту; обґрунтування та розробка структурної схеми електронного пристрою; розробка принципової схеми електронного пристрою; оцінка метрологічних характеристик; синтез мікропроцесорної частини електронного пристрою; розробка конструкції та зовнішнього вигляду електронного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	ст. викл. каф. ЕТ Ахмедов Р.Н.		
2	ст. викл. каф. ЕТ Ахмедов Р.Н.		
А	зав. каф. ЕТ, д.т.н., проф., Вовна О.В.		
3.1	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф., Зорі А.А.		
3.2	проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф., Зорі А.А.		
3.3	доц. каф. ЕТ, к.т.н., Лактіонов І.С.		
Б	ст. викл. каф. ОП, Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз характеристик і параметрів повітря в приміщеннях промислових підприємств		
2	Розробка технічного завдання на розробку електронного пристрою вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств		
3	Розробка структурної схеми електронного пристрою вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств		
4	Розробка принципової схеми електронного пристрою вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств		
5	Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві		

Студент

_____ (підпис)

Гончаров О.Г.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Ахмедов Р.Н.

_____ (прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Гончаров О.Г. Розробка електронного пристрою контролю запилення робочих приміщень промислових підприємств / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за напрямом підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи» спеціальності «Електронні системи». – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2019.

Пояснювальна записка: 47 стор., 7 рис., 6 таб., 19 посилань.

Виконано аналіз характеристик і параметрів повітря робочої зони промислових підприємств, а саме: видів пилу та шляхи їх потрапляння до повітря робочої зони, аналіз методів вимірювання концентрації пилу. Під час аналізу виконано обґрунтування необхідності вимірювання концентрації пилу в повітрі робочої зони промислових підприємств в діапазоні від 0 до 0.5 мг/м³ з величиною абсолютної основної похибкою не більше ± 0.01 мг/м³.

Виконано розробку структурної схеми електронного пристрою контролю концентрації пилу в повітрі робочих приміщень промислових підприємств. У принциповій схемі пристрою контролю концентрації пилу в повітрі робочих приміщень промислових підприємств розраховано параметри енергоспоживання пристрою. Розроблено алгоритм роботи мікропроцесорної частини пристрою. Розроблені рішення дозволяють виконувати вимірювання концентрації пилу в повітрі робочого приміщення промислових підприємств в діапазоні від 0 до 0.5 мг/м³ з величиною абсолютної основної похибкою не більше ± 0.01 мг/м³. Розроблений оптико-електронний пристрій може виконувати вимірювання концентрації пилу в режимі реального часу.

Ключові слова: вимірювання, концентрація, пил, оптико-електронний пристрій.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ	10
1.1 Класифікація пилу.....	10
1.2 Норми концентрації пилу в промисловому приміщені.....	11
1.3 Методи вимірювання концентрації пилу.....	16
1.4 Постановка задачі на проектування електронного пристрою.....	18
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ	19
3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДУ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПОВІТРІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	21
3.1 Параметри елементів схеми.....	21
3.1.1 Мікропроцесорний блок.....	21
3.1.2 Сенсор пилу Sharp GP2Y1010AU0F.....	21
3.1.3 Модулі вводу/виводу.....	23
3.2 Принципова схема приладу	25
3.3 Розрахунок енергоспоживання приладу.....	26
4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДУ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПОВІТРІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	27
4.1 Алгоритм роботи приладу.....	27
4.2 Дослідження роботи приладу.....	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31
ДОДАТОК А – Технічне завдання на розробку електронного приладу вимірювання концентрації пилу в повітрі промислових підприємств.....	33

ДОДАТОК Б – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	38
ДОДАТОК С – Програмне забезпечення електронного приладу вимірювання концентрації пилу в повітрі робочих приміщень промислових підприємств.....	45

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

РКІ – рідкокристалічний індикатор

ВСТУП

Вивантаження, завантаження і переміщення матеріалів, процеси сушіння і дроблення матеріалів, витяг виливків з піщано-глинистих форм і звільнення їх від відпрацьованих формувальних сумішей, процеси очищення лиття тощо призводять до того, що пил забруднює робочу зону промислового підприємства.

Ступінь агресивності шкідливих речовин визначається гранично допустимою концентрацією, яка для різних за своєю природою і хімічним складом пилу різна, зокрема, їх ГДК в робочій зоні коливаються від 2 до 10 мг/м³.

Дисперсний, фракційний і елементний склад пилу також визначають гігієнічний стан робочої зони виробництва. На думку фахівців, наявність в повітрі пилу розміром менше 10 мкм збільшує небезпеку отримання профзахворювань: пневмокониоза (силікозу), бронхітів через низьку швидкості осідання пилу і її тривалого перебування в повітрі робочої зони. Крім того, тонкодисперсна пил і пил розміром менше 10 мкм створює додаткові труднощі в пиловловлювання.

Аналізи частинок в пилеприймачах циклонів звичайного типу показують їх задовільну ефективність щодо пилу $d > 20$ мкм і недостатню щодо пилу меншого діаметру. Отже, доцільна оцінка параметрів пилу у викиді після пиловловлювача і в зоні розсіювання. Визначення істинною щільності частинок також необхідно для оцінки швидкостей витання пилу і правильного підбору пиловловлювача.

Виходячи з цього можна зробити висновок що актуальною є задача вдосконалення приладів вимірювання концентрації пилу в повітрі робочих приміщень промислових підприємств.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ

Пил - дрібні тверді частки органічного або мінерального походження. До пилу відносять частинки мінімального діаметра від часткою мікрона і до максимального - 0,1 мм. Більші частинки переводять матеріал в розряд піску, який має розміри від 0,1 до 5 мм. Частинки меншого діаметра класифікуються як дим .

1.1 Класифікація пилу

За природою утворення пил ділиться на наступні групи:

- органічний пил - пил рослинного походження (деревини, бавовни, льону, різних видів борошна, цукру, тютюну та ін.), тваринного (шкіри, вовни, волосу, розмелених кісток, пір'я, пуху та ін.).
- неорганічний пил – пил металів та їх оксидів, різних мінералів, неорганічних солей та інших хімічних сполук.
- синтетичний пил – пил пластмас, синтетичних волокон і інших органічних продуктів хімічних реакцій.
- змішаний пил, найбільш часто зустрічаються і космічний пил.

За місцем утворення пил:

- аерозоль дезінтеграції – що утворюються в результаті дроблення або стирання, розмелювання, просівання, обточування, розпилювання, пересипання;
- аерозоль конденсації – що виходять в результаті випаровування з подальшою конденсацією в тверді частинки;
- продуктів горіння (дими) – в результаті згоряння з утворенням в повітрі твердих частинок. За структурою пил:
 - аморфна - пилинки округлої форми;
 - кристалічна – пилинки з гострими гранями (утворюються при шліфуванні металу);

- волокнистої – пилинки подовженої форми:
- пластинчастої – порошинки у вигляді шаруватих пластинок і ін.

За походженням пил:

- розчинна (цукрова, борошняний пил) і
- нерозчинна (пил хлорного вапна) у воді і в інших рідинах, включаючи і біосередовищ (кров, лімфу, шлунковий сік і т. П.).

За дисперсності пил:

- видима (частки більш 10мкм);
- мікроскопічну (від 0,25 до 10 мкм);
- ультрамікроскопічних (менше 0,25 мкм), ступінь дисперсності визначає в основному глибину проникнення пилу в дихальні шляхи.

По впливу на організм пил:

- токсична, що містить SiO_2 ;
- нетоксичний, яка не містить кремній [1].

1.2 Норми концентрації пилу в промисловому приміщенні

Робочими місцями вважаються місця постійного або періодичного перебування працюючих для спостереження і ведення виробничих процесів. Якщо виробничі процеси відбуваються в різних пунктах виробничого приміщення, то робочим місцем вважається все виробниче приміщення.

Норми концентрації пилу в повітрі промислового приміщення наведені у таблиці 1[2].

Таблиця 1 – Норми концентрації пилу в повітрі промислового приміщення

№	Найменування речовини	Величини гранично допустимий. концентрацій в мг / мЗ
1	Азбестовий пил і пил змішана, яка містить понад 10% азбесту	2
2	Азбестоцементна пил з вмістом азбесту більше 10%	5
3	Пил аміноенантової, амінопеларгонової кислот	8
4	Пил асбестобакелітова, асбесторезінова	8
5	Пил бариту, апатитів, фосфорита, цементу з вмістом менш як 10% SiO ₂	5
6	Пил граніту	2
7	Пил штучних абразивів	5
8	Пил рослинного і тваринного походження (бавовняна, лляна, борошняна, зернова, деревна, вовняна, пил пуху та ін.) Містить 10% і більше вільної SiO ₂	2

Продовження таблиці 1

№	Найменування речовини	Величини гранично допустимий. концентрацій в мг / мЗ
9	Пил рослинного і тваринного походження, що містить до 10% SiO ₂	4
10	Пил горючих кукуерситних сланців	4
11	Пил слюди-сирцю (з домішкою вільної SiO ₂ до 28%)	2
12	Пил слюди (флагопіт, мусковіт)	4
13	Пил динасу, що містить близько 90% вільної SiO ₂	1
14	Пил залізного і нікелевого агломерату	4
15	Пил луб'яна	2
16	Пил магнезитова, що містить близько 1% вільної і до 3,5% загальної SiO ₂	10

Продовження таблиці 1

№	Найменування речовини	Величини гранично допустимий. концентрацій в мг / мЗ
17	Пил нафтового і пекового коксу	5
18	Пил вогнетривкої глини, що містить до 15% вільної і близько 50% загальної SiO ₂	5
19	Пил полівінілхлориду	6
20	Пил прес-порошків фенопластів і амінопластів	6
22	Пил що містить більше 10% і до 70% SiO ₂	2
23	Пил скляного і мінерального волокна	3
24	Пил інших силікатів (тальк, олівін і ін.), Що містить менше 10% вільної SiO ₂	4
25	Пил вугільна і вугільнопровідна, що містить більше 10% вільної SiO ₂	2

Продовження таблиці 1

№	Найменування речовини	Величини гранично допустимий. концентрацій в мг / мЗ
26	Пил вугільна, що містить до 10% вільної SiO ₂	4
27	Пил вугільна, яка не містить вільної SiO ₂	10
28	Пил фостеріта, що містить близько 2% вільної і близько 25% загальної SiO ₂	5
29	Пил шамоту, що містить 15-30% вільної і близько 50% загальної SiO ₂	2
30	Пил бавовняна що містить до 10% вільної SiO ₂	4
31	Пил бавовняна (бавовноочисних заводів), що містить більше 10% вільної SiO ₂	2
32	Пил тютюнова і чайна	3

Продовження таблиці 1

№	Найменування речовини	Величини гранично допустимий. концентрацій в мг / мЗ
33	Пил цементу, глини, матеріалів і їх сумішей, що не містять SiO ₂	6
34	Інші види мінеральної та рослинної пилу, що не містять SiO ₂ і домішок токсичних речовин	10

1.3 Методи вимірювання концентрації пилу

Методи діляться на дві категорії: з попереднім осадженням, без попереднього осадження .

З попереднім осадженням: ваговий, п'єзоелектричний, радіоізотопний, зарядо-контактний, оптичний, фотометричний, люмінесцентний, ємнісний, вібраційний, шляхом вимірювання тиску на фільтр.

Без попереднього осадження: оптичний, фотометричний, абсорбційний, інтегрального світлорозсіювання, лазерний, акустичний, електричний, індукційний, п'єзоелектричний, ємнісний, контактено-електричний[3].

Без попереднього осадження:

Абсорбційний – використовується явище поглинання світла під час проходження його крізь пило-газове середовище. Без інерційний, вимірювання виконуються у пилогазовому середовищі , не вносить збурень , можливість визначення дисперсності пилу . Має вузький інтервал вимірювання концентрації пилу, на результат вимірювання впливає дисперсність пилу.

Інтегрального світлорозсіювання – засновано на вимірюванні концентрації пилу за сумарною інтенсивністю розсіяного світла. Має високу чутливість. Величина похибки залежить від дисперсності пилу.

Лазерний – під час використання властивостей частинок поглинати або розсіювати лазерне випромінювання у широких просторах. Переважно використовується під час випромінювання малих концентрацій тонких монодисперсних частинок.

Індукційний – вимірювання природних частинок пилу. Вимірювач має просту конструкцію, високу чутливість. Похибка залежить від різного розподілу зарядів на частинках.

П'єзоелектричний – Вимірювання рахункової концентрації частинок пилу шляхом складання електричних імпульсів, що виникають під час зіткнення частинок з п'єзокристалом. Має високу роздільну здатність та швидкодію. Нелінійна характеристика перетворення.

Ємнісний – вимірюється зміна ємності конденсатора за наявності пилу між його пластинами. Можливе проведення вимірювань концентрації діелектричного пилу та пилу, що проводить електричний струм. Низька чутливість, похибка залежить від вологості повітря та хімічного складу.

Контактно-електричний – метод заснований на здатності частинок пилу електризуватися під час зіткнення з металом. Вимірювач має лінійну характеристику перетворення під час вимірювання малих концентрацій на похибку вимірювання впливає дисперсний склад пилу, вологість і швидкість повітря.

Характеристики методів виміру концентрацій пилу без попереднього осадження наведені у таблиці 2[3].

Таблиця 2 – Характеристики методів вимірювання пилу без попереднього осадження

Метод	Діапазон Вимірювання, мг/м ³	D,мкм	Відносна похибка, %	Швидкодія , мс
Абсорбційний	0-12000	0.1-150	До ± 30	Від 10
Інтегрального світлорозсіювання	0.1-500	0.04-4	До ± 30	Від 1 хв
Лазерний	0-100	0,1-10	До ± 20	1-60
Контактно- електричний	До 2500	0,1-200	До ± 20	Від 1 хв
Ємнісний	0-100	0,01-10	До ± 15	1-5 хв
П'єзоелектричний	0,02-100	Більше 2	До ± 15	10-3600

1.4 Постановка задачі на проектування електронного пристрою

Прилад має відповідати наступним вимогам:

- 1) Вимірювання концентрації пилу у діапазоні від 0 до 10 мг/м³
- 2) Швидкодія 10-15 мс
- 3) Точність вимірювання концентрації пилу 0.01 мг/м³
- 4) Відображення інформації щодо результатів вимірювання оператору
- 5) Збереження даних щодо результатів вимірювання для подальшого аналізу.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ

Електронний пристрій вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств має мати наступний функціонал:

- 1) первинна обробка вимірювальної інформації;
- 2) відображення інформації щодо процесу вимірювання оператору;
- 3) збереження інформації для подальшої статистичної обробки.

Виходячи з запропонованого функціоналу синтезовано структурну схему електронного приладу вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств (рис 2.1).

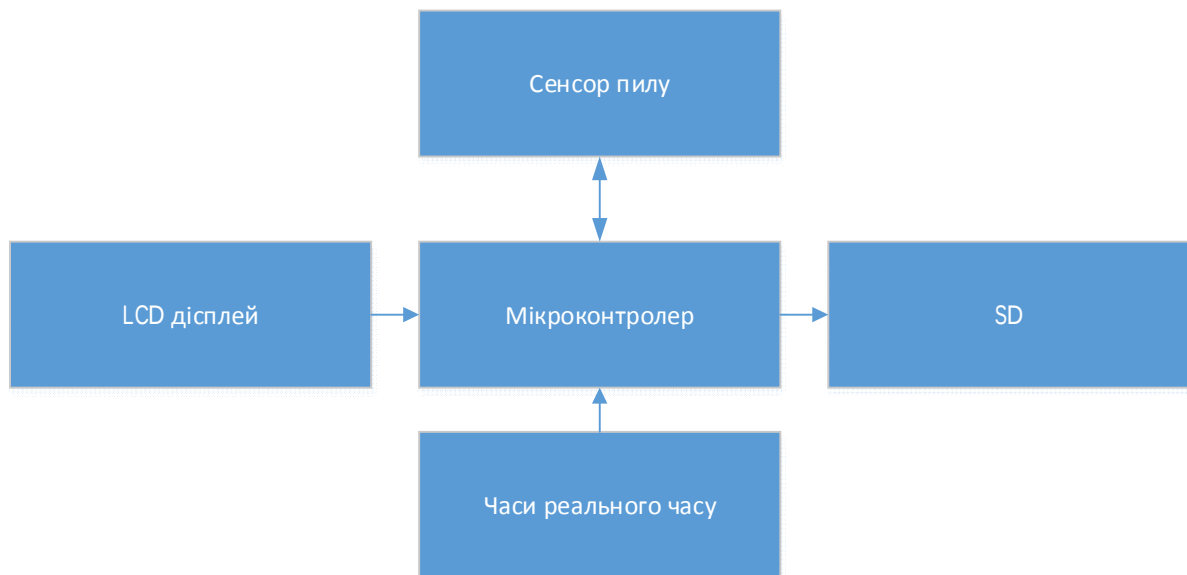


Рисунок 2.1 – Структурна схема приладу

Схема складається з наступних компонентів:

- 1) сенсор пилу;
- 2) дисплей;
- 3) модуль SD картки ;
- 4) часи реального часу;
- 5) мікроконтролер.

Мікроконтролер виконує збір вимірювальної інформації, що надходить з сенсору та виконує первинну обробку результатів вимірювання. Після цього інформація щодо результатів вимірювання концентрації пилу та часу проведення вимірювання записується на SD карту та відображається на графічному дисплеї.

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДУ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПОВІТРІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

3.1 Параметри елементів схеми

3.1.1 Мікропроцесорний блок

В якості мікропроцесорного модуля виступає плата ArduinoUno на основі мікроконтролера ATmega328, яка має: 14 цифрових входів / виходів (з них 6 можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрисхемного програмування (ICSP) і кнопка скидання. Технічні характеристики наведені у таблиці 3.

Таблиця 3 – Технічні характеристики плати ArduinoUno.

Мікроконтролер	ATmega328
Робоча напруга	5 В
Напруга живлення	7...12 В
Цифрові входи/виходи	14
Аналогові входи	6
Максимальний струм	40 мА
Flash-пам'ять	32 кБ
SRAM	2 кБ
EEPROM	1 кБ
Тактова частота	16 МГц

3.1.2 Сенсор пилу Sharp GP2Y1010AU0F

Принцип роботи датчика заснований на вимірюванні фотодатчиком ступеня розсіювання інфрачервоного випромінювання світлодіоду в

вимірюваному середовищі. Вимірювання проводяться в імпульсному ($T = 10 \pm 1$ мс, $U = 5 \pm 0.5$ В) режимі, що знижує споживаний від джерела живлення струм. Вихідний сигнал датчика є аналогове напруга пропорційне вимірюваній щільності пилу. Електрооптичні характеристики сенсору наведені у таблиці 4.

Характеристики:

- Напруга живлення: 3.3...5 В
- Робоча температура: -10...65 ° С
- Струм споживання: 20 мА max
- Розмір мінімальної виявленої частки: 1 мкм
- Температура зберігання: -20 ... 80 ° С
- Розмір: 46мм × 30мм × 17.6mm
- Струм: 20mA імпульсний на час вимірювання
- розрізняє дим від пилу різних вихідною напругою
- Час вимірювання: 32 мс
- Виконано відповідно до вимог RoHS (2002/95 / EC)

Таблиця 4 – Електрооптичні параметри сенсору

Параметр	Символ	Умови	MIN	ТYP.	MAX	одиниці
Чутливість	K		0.35	0.5	0.65	V/(0.1mg/m ³)
Вихідна напруга відсутня	Voc		0	0.9	1.5	V
Діапазон вихідної напруги	Voh	RL=4.7kOm	3.4	—	—	V
Світлодіодний термінальний струм	Iled	LED terminalvoltage = 0	—	10	20	mA
Струм споживання	Icc	RL = ∞	—	11	20	mA

Сенсор має лінійну характеристику перетворення в діапазоні від 0 до 0.5 мг/м³ (рис 3.1).

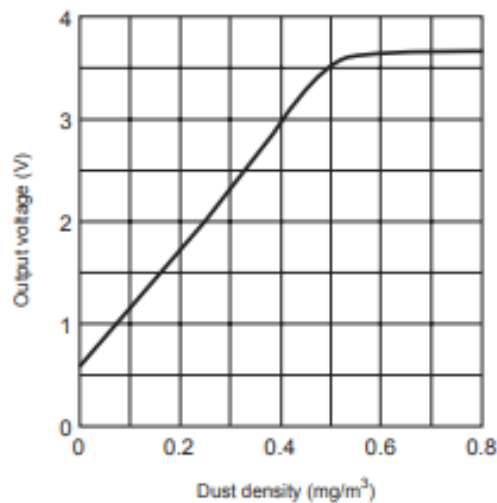


Рисунок 3.1 – Характеристика перетворення сенсору

3.1.3 Модулі вводу/виводу

В якості графічного дисплею використано модуль екрану від телефону Nokia 5110, що керується за послідовним інтерфейсом SPI і дозволяє відображати найпростішу графіку і до 70 літер та цифр. Дисплей виготовлений на основі РКІ контролера фірми Philips PCD8544.

Основні характеристики:

- дозвіл дисплея 84 x 48 пікселів;
- розмір робочого поля 31 x 19 мм;
- крок пікселів 0,38 мм;
- РКІ контролер PCD8544;
- напруга живлення 2,7 ... 3,3 В;
- струм споживання дисплея < 5мА;
- розмір модуля 43 x 45мм;
- робоча температура від 0 до +50°C

Опис контактів для підключення екрану наведено у таблиці 5.

Таблиця 5 – Контакти для підключень екрану

№	Ім'я	Функція
1	RST	Скидання контролера
2	CE	Дозвіл запису
3	DC	Вибір дані/команда
4	DIN	Вхідні бітові дані для запису
5	CLK	Побітове тактування
6	VCC	2,7...3,3 В
7	BL	Підсвічування
8	GND	Загальна земля

В якості годинника реального часу використано модуль на базі мікросхеми DS3231SN.

Основні характеристики:

- Висока точність годинного генератора з термокомпенсацією і корекцією ходу;
- Лічильники секунд, хвилин, годин, днів тижня, днів, місяців і років з календарем з корекцією високосного року до 2100 року;
- Стабільність генератора ± 2 ppm в діапазоні температур від 0 ° C to + 40 ° C;
- Стабільність генератора $\pm 3,5$ ppm в діапазоні температур від -40 ° C to + 85 ° C;
- Точність внутрішнього цифрового датчика температури ± 3 ° C;
- Регістр корекції точності ходу годинника;
- Програмований вихід прямокутних імпульсів;
- Два режими шини I2C: стандартний (100кГц) і швидкий (400 кГц);
- Робоча напруга живлення від 3.0В до 5.5В;
- Робочий температурний діапазон від 0 ° C to + 70 ° C;

Для зберігання даних щодо результатів вимірювання використано універсальний SD модуль. Технічні характеристики:

- Діапазон робочих напруг 4,5...5 В;
- Підтримка SD карти до 2 Гб;
- Струм 80 мА;
- Файлова система FAT 16.

3.2 Принципова схема приладу

Принципова схема приладу вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств наведена на рисунку 3.2.

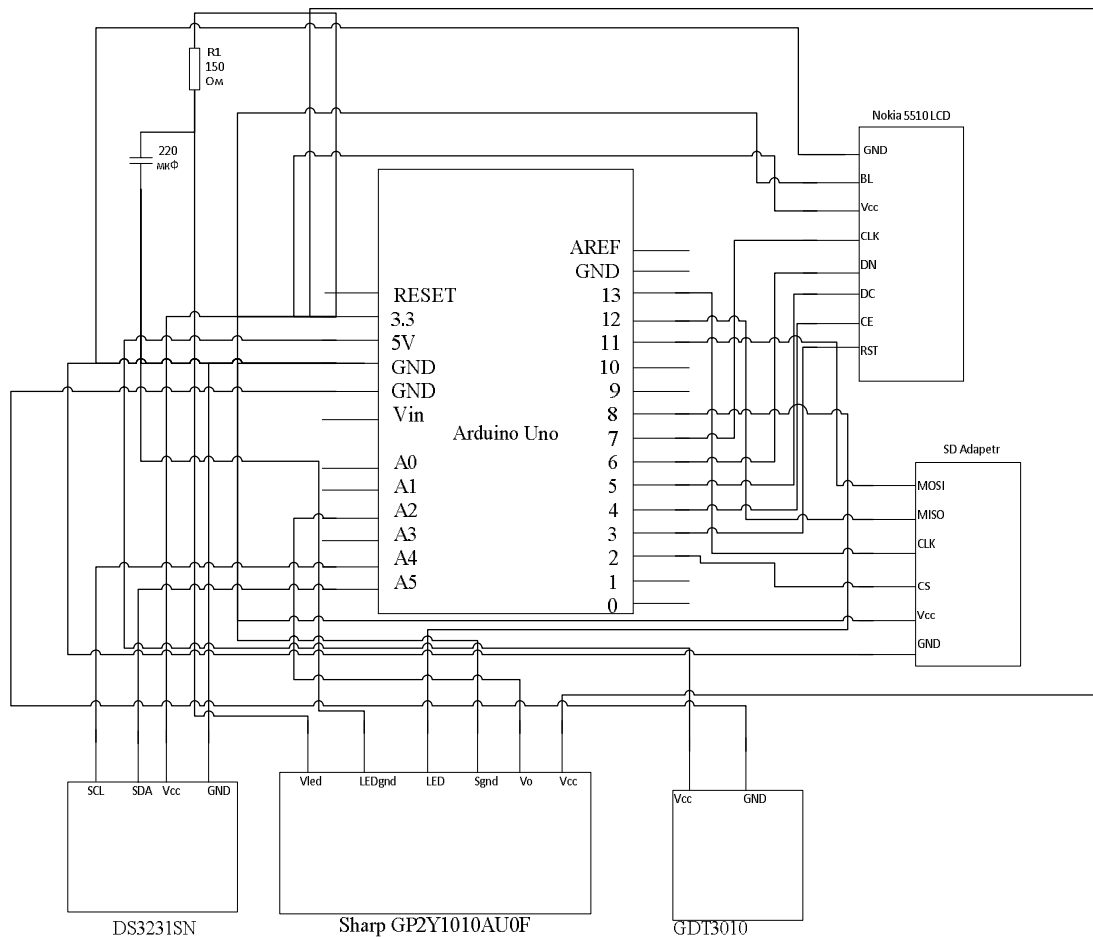


Рисунок 3.2 – Принципова схема електронного пристрою

Окрім зазначених вище компонентів на схемі додатково присутні підтягуючий опір номіналом 150 Ом та конденсатор ємністю 220 мкФ що виконує функцію фільтру за живленням. Використання даних компонентів

обумовлене технічними умовами використання сенсору Sharp GP2Y1010AU0F, що наведені у документації.

3.3 Розрахунок енергоспоживання приладу

Одним з основних параметрів портативного електронного приладу є час автономної роботи. Для розрахунку часу автономної роботи врахуємо максимальний струм споживання кожного модуля (таблиця 6).

Таблиця 6 – Максимальний струм споживання модулів

Модуль	Струм споживання, мА
Sharp GP2Y1010A	20
LCD Nokia-5110	15
DS3231SN	13
MircroSDCardAdapter	80
ArduinoUno	43

Виходячи з даних таблиці 6 отримуємо максимальний струм споживання пристрою 171 мА. Використовуючи лужний елемент живлення напругою у 9 В та ємністю 600 мАгод отримуємо мінімальний час автономної роботи 3.5 годин..

4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИЛАДУ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ПИЛУ В ПОВІТРІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

4.1 Алгоритм роботи приладу

Алгоритм роботи електронного приладу вимірювання концентрації пилу у робочих приміщеннях представлена на рисунку 4.1. Алгоритм синтезовано виходячи зі структурної та принципової схем, а також виходячи з поставлених задач проектування електронного приладу вимірювання концентрації пилу в повітрі робочих приміщень промислових підприємств.

У Блоці 2 проходить ініціалізація SD картки. У Блоці 3 іде перевірка на успішність ініціалізації картки. Якщо ініціалізація пройшла успішно на дисплей виводиться «InitializationDone» та встановлюється флаг успішної ініціалізації карти (блок 6). У випадку невдалої ініціалізації SD карти на екран буде виведено повідомлення «InitializationFailed» (блок 5) та флаг ініціалізації карти буде встановлено в 0 (блок 7).

Блоки 8,9 – відповідають за зчитування мікроконтролером вихідної напруги сенсору концентрації пилу та перетворення вихідної напруги у код АЦП. Сигнал напруги перераховується у концентрацію пилу згідно з передавальною функцією сенсору Sharp GP2Y1010AU0F (4.1).

$$C_{\Pi} = 0.17 \cdot U_{\text{вых}} - 0.1 \quad (4.1)$$

Після перерахунку напруги в концентрацію відбувається відображення результатів вимірювання на РКІ (блок 10). Система перевіряє флаг ініціалізації SD карти (блок 10), та у випадку успішної ініціалізації записує дані на карту пам'яті (блок 11). Окрім цього передбачено можливість виводу даних у послідовний порт (блоки 12,13) в якості резервного пристрою індикації.

Якщо було надіслано сигнал завершення роботи або вимкнено живлення – прилад завершує свою роботу (блок 14). Інакше – прилад переходить на наступний цикл зчитування даних (блок 8).

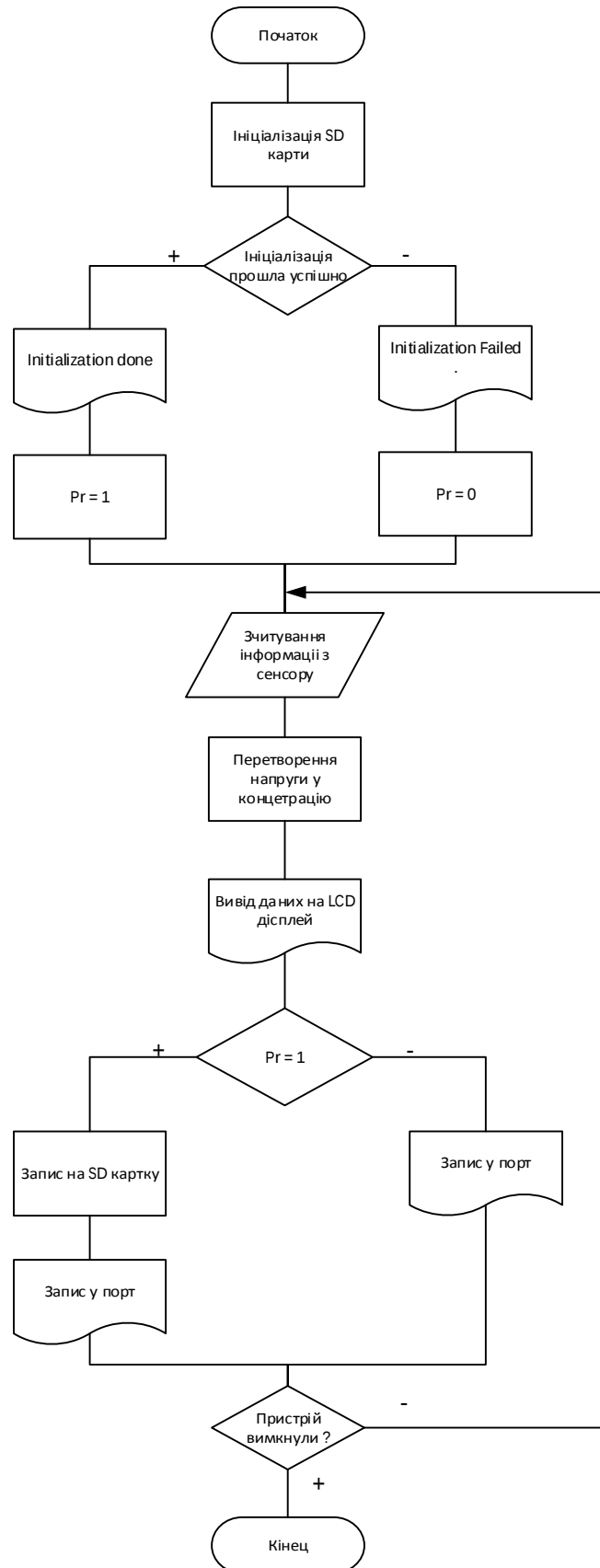


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритму роботи пристрою

4.2 Дослідження роботи приладу

Експериментальні дані було знято за допомогою плати ArduinoUno. Напруга живлення сенсору складала 5 В. Результати вимірювання концентрації пилу наведені на рисунку 4.2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	0	-	Voltage:	0		Dust	Density:	-0,1
2	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	170	-	Voltage:	1,133	-	Dust	Density:	0,0416
3	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	188	-	Voltage:	1,9212	-	Dust	Density:	0,0566
4	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	321	-	Voltage:	2,5729	-	Dust	Density:	0,0674
5	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	767	-	Voltage:	3,7583	-	Dust	Density:	0,5389
6	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	767	-	Voltage:	3,7583	-	Dust	Density:	0,5389
7	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	767	-	Voltage:	3,7583	-	Dust	Density:	0,5389
8	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	772	-	Voltage:	3,7828	-	Dust	Density:	0,5431
9	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	768	-	Voltage:	3,7632	-	Dust	Density:	0,5397
10	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	766	-	Voltage:	3,7534	-	Dust	Density:	0,5381
11	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	767	-	Voltage:	3,7583	-	Dust	Density:	0,5389
12	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	767	-	Voltage:	3,7583	-	Dust	Density:	0,5389
13	Raw	Signal	Value	{0-1023}:	767	-	Voltage:	3,7583	-	Dust	Density:	0,5389

Рисунок 4.2 – Результати вимірювання концентрації пилу

При нормальних умовах та повністю відкритому оптичному каналі вихідна напруга сенсора не перевищувала значення 1 В. При повному перекритті оптичного каналу, що відповідає максимальній вимірюваній концентрації пилу, вихідна напруга сенсору не перевищила 3.76 В. Отримані дані відповідають лінійній характеристиці перетворення сенсору, що наведена у документації (рис 4.3) у діапазоні від 0 до 0.5 мг/м³.

Для оцінки чутливості сенсору проведені дослідження з безперервним вимірюванням концентрації пилу впродовж декількох годин (рис 4.4). Результати вимірювань перераховані з вихідної напруги до концентрації пилу. На рисунку 4.4 можна виділити декілька характерних зон: 1 – реакція на безпосередню зміну концентрації пилу, 2 – вплив брязкоту контактів макетної плати, 3 – реакція сенсору на дим цигарок.

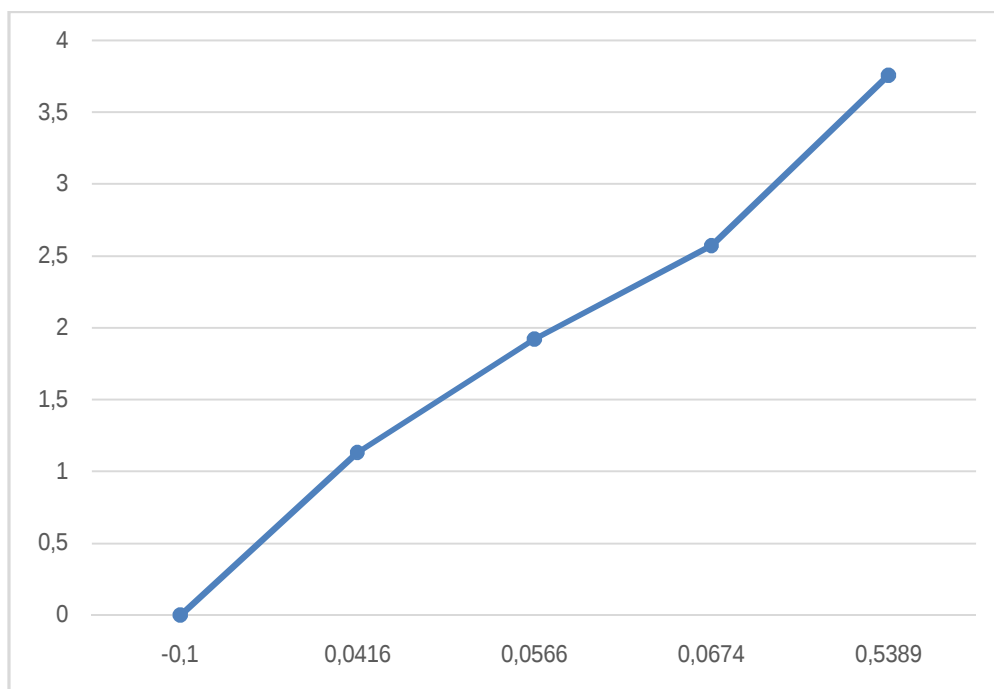


Рисунок 4.3 – Експериментальна характеристика перетворення сенсору

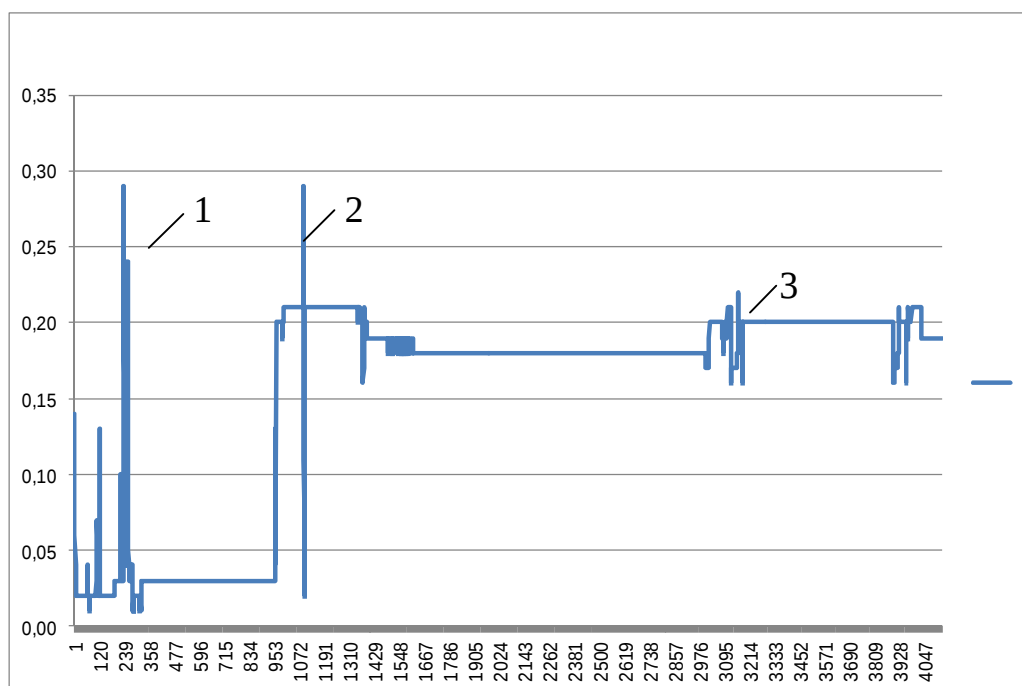


Рисунок 4.4 – Дослідження чутливості сенсору пилу

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Илонова В. А. Откуда родом пыль? / В. А. Илонова., 1996. – 24 с.
2. "ИНСТРУКЦИЯ ПО САНИТАРНОМУ СОДЕРЖАНИЮ ПОМЕЩЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ" [Электронный ресурс] / . // ГЛАВНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ САНИТАРНЫЙ ВРАЧ СССР. – 3112. – Режим доступа до ресурсу: <https://zakonbase.ru/content/part/313306>.
3. Вовна О. В. Оптоелектронні Вимірювальні системи концентрації метану та пилу в рудничій атмосфері шахт / О. В. Вовна. – Покровськ: Донецький національний технічний університет, 2016. – 308 с.
4. Пневмокониоз [Электронный ресурс] // wikipedia. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%BC%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%BE%D0%B7>.
5. Силікоз [Электронный ресурс] // wikipedia – Режим доступа до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Силікоз>.
6. Силикатоз [Электронный ресурс] // wikipedia – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B7.7>
7. Отравление свинцом и здоровье [Электронный ресурс]. – 23. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.
8. Система мониторинга качества московского воздуха [Электронный ресурс]. – 4. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/150807/>.
9. You F. Measurement of dust concentration based on VBAI [Электронный ресурс] / F. You – Режим доступа до ресурсу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/418/1/012079>.
10. Kelemenová T. MEASUREMENT OF DUST MASS CONCENTRATION [Электронный ресурс] / T. Kelemenová, M. Dovica, E. Jakubkovič. – 2018. –

http://actamechatronica.eu/issues/2018/III_2018_01_Kelemenova_Dovica_Jakubkovi_c.pdf.

11. Яковлева М. В. КОНТРОЛЬ ЗАПЫЛЁННОСТИ, МОДЕЛЬ ДАТЧИКА ПЫЛИ, ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ, МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, ПРИЛОЖЕНИЕ И ОБЛАЧНЫЙ СЕРВИС, СЕНСОРНЫЕ СЕТИ / М. В. Яковлева.. – 86 с.

12. GP2Y1010AU0F CompactOpticalDustSensor, 2006. – 9 с.

13. Standalone: SharpDustSensor [Электронный ресурс] // ArduinoTutorials – Режим доступа до ресурсу: <http://arduinodev.woofex.net/2012/12/01/standalone-sharp-dust>

sensor/?fbclid=IwAR2NSl6bakPx9sU9DIU3tSvMjdbSONW_bkokhjrdDpZv5Ti3GXDDvNOQ5_M.

14. LCD Nokia-5110 Nokia-5110 – 03113 Україна м.Київвул.Шутова. – 1 с.

15. ArduinoUno [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3-a000066>.

16. RealTimeClock Модуль на DS3231SN с батареейИсточник <https://arduino.ua/prod1142-real-time-clock-modyl-s-batareikoi-ds3231>

[Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://arduino.ua/prod1142-real-time-clock-modyl-s-batareikoi-ds3231>.

17. GDT 3010 s 3 см 30x30x10 мм 30 мм маленький DC 12 В [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.aliexpress.com/item/3D-printer-GDT-3010s-3cm-30-x-30-x-10mm-30mm-Small-DC-12V-Brushless/32596820821.html>.

18. Батарейка Videx 6LR61 / 9V BP1 / 23235 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://primetrade.com.ua/shop/batarejka-videx-6lr61-9v-bp1-23235/>.

19. Подключение sd карты к ардуино [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/podklyuchenie-sd-karty-k-arduino/>.

ДОДАТОК А – Технічне завдання на розробку електронного приладу вимірювання концентрації пилу в повітрі промислових підприємств

А.1 Найменування й область застосування пристрою

А.1.1 Повне найменування пристрою

Електронний пристрій вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщення промислових підприємств, скорочено ЕПВКП.

А.1.2 Область застосування пристрою

ЕПВКП повинен виконувати вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщення промислового підприємства. Пристрій має використовуватись автономно.

А.1.3 Загальна характеристика об'єкту контролю

Пил - дрібні тверді частки органічного або мінерального походження. До пилу відносять частинки мінімального діаметра від часткою мікрона і до максимального - 0,1 мм. Більші частинки переводять матеріал в розряд піску, який має розміри від 0,1 до 5 мм. Частинки меншого діаметра класифікуються як дим .

Робочими місцями вважаються місця постійного або періодичного перебування працюючих для спостереження і ведення виробничих процесів. Якщо виробничі процеси відбуваються в різних пунктах виробничого приміщення, то робочим місцем вважається все виробниче приміщення.

Вивантаження, завантаження і переміщення матеріалів, процеси сушіння і дроблення матеріалів, витяг виливків з піщано-глинистих форм і звільнення їх від відпрацьованих формувальних сумішей, процеси очищення лиття тощо

призводять до того, що пил забруднює робочу зону промислового підприємства.

Ступінь агресивності шкідливих речовин визначається гранично допустимою концентрацією, яка для різних за своєю природою і хімічним складом пилу різна, зокрема, їх ГДК в робочій зоні коливаються від 2 до 10 мг / м³.

Дисперсний, фракційний і елементний склад пилу також визначають гігієнічний стан робочої зони виробництва. На думку фахівців, наявність в повітрі пилу розміром менше 10 мкм збільшує небезпеку отримання профзахворювань: пневмокониоза (силікозу), бронхітів через низьку швидкості осідання пилу і її тривалого перебування в повітрі робочої зони. Крім того, тонкодисперсна пил і пил розміром менше 10 мкм створює додаткові труднощі в пилоловлювання.

А.2 Підстави для проведення проектних робіт

Підставою для проведення проектних робіт є наказ по ДВНЗ «ДонНТУ» № 256 від 06.05.2019 р. про затвердження тем випускних кваліфікаційних робіт бакалаврів.

А.3 Мета та призначення розробки

А.3.1 Мета розробки

Розробити оптико-електронний пристрій вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств, що дозволить оперативно реагувати на виникнення ситуацій, що несуть шкоду здоров'ю працівників.

А.3.2 Призначення розробки

Оптико-електронний пристрій призначено для вимірювання концентрації пилу в повітрі приміщень промислових підприємств від 0 до 0.5 мг/м^3 з величиною основної абсолютної похибки $0.01 \pm \text{мг/м}^3$.

А.4 Джерела розробки

Технічна документація та звіт з переддипломної практики.

А.5 Технічні вимоги

А.5.1 Склад пристрою та вимоги до його складових частин

А.5.1.1 Найменування, кількість і призначення блоків пристрою

До складу ЕПВКП входять пристрої: СІ – система індикації, БЗД – блок збереження даних, ГРЧ – годинник реального часу, КВКП – канал вимірювання концентрації пилу; МБ – мікропроцесорний блок; СПІ – система передачі інформації.

А.5.1.2 Конструктивні вимоги

ЕПВКП повинна бути виконана у вигляді пластикового корпусу з кришкою, на передню панель якого виводиться необхідна інформація. Комутаційні елементи виводяться на бічну панель. Габаритні розміри якого не повинні перевищувати $270 \times 100 \times 150 \text{ мм}$.

А.5.1.3 Вимоги до ваги

Вага електронного пристрою не повинно перевищувати 1 кг.

А.5.2 Показники призначення

Технічні вимоги до вимірювального каналу концентрації пилу оптико-електронного пристрою:

– зміна струму фотодіода I_{LED} , мА	від 10 до 20;
– зміна вихідної напруги U_{IN} , В	від 0 до +3,4;
– вихідний опір вимірювального каналу R_I , кОм	4,7;
– Період імпульсу T , мс	від 9 до 11;
– Ширина імпульсу P , мс	від 0,3 до 0,34;

А.5.3 Вимоги до надійності

Середній наробіток на відмову, годин	не менш 40 000;
Середній час відновлення, годин	не більш 1,0;
Імовірність безвідмовної роботи	не менш 0,95.

А.5.4 Вимоги до технологічності, рівня уніфікації та стандартизації

ЕПВКП повинен бути технологічним у виготовленні та мати максимальну кількість уніфікованих та стандартизованих збірних одиниць.

А.5.5 Умови експлуатації

ЕПВКП, що проектується, повинен нормально функціонувати під час зміни температури навколишнього середовища від 0 до + 40° С, відносної вологості до 98 % та барометричного тиску від 700 до 800 мм.рт.ст.

А.5.6 Вимоги безпеки, охорони праці, здоров'я і навколишнього середовища

Заходи щодо охорони праці потрібно розробити відповідно до НПАОП, ДСТУ, ССБТ, СНіПами, правилами по ПУЕ, ПТБ та іншими спеціальними документами та підтвердити розрахунками або обґрунтуванням із посиланням на відповідний документ.

А.6 Етапи розробки

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра відповідає стадії розробки «Технічне проектування» і повинен мати такі документи: пояснювальна записка; схема електрична структурна; схема електрична принципова.

ДОДАТОК Б – Охорона праці та безпека під час надзвичайних ситуацій на підприємстві

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа осклянілості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених , МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотнім пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і

спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Б.1 Мікроклімат робочого місця

У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (Б.1)$$

де $Q_{НАД}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР}, \quad (Б.2)$$

де $Q_{УСТ}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{ПЕР}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{ОСВ}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{СР}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{УСТ} = P \cdot K_a \cdot K_{\sigma} \cdot 860, \quad (Б.3)$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{уст} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{осв} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м^2 підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м^2 .

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{ср} = F \cdot g_2 \cdot K_{осл} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год,} \quad (\text{Б.6})$$

де F – площа віконних прорізів ($3 \times 2,5 = 7,5 \text{ м}^2$); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м^2 віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{осл}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо $0,4$.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{ОСВ} + Q_{СР} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування та вентилявання має продуктивність $2200 \text{ куб. м./годину}$, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати $(22 - 24)$ градуса за Цельсієм, $0,1$ метра в секунду та $40-60 \%$ відповідно. При збереженні всіх параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати $(23 - 25)$ градусів Цельсія, рухливість повітря $(0,1 - 0,2)$ метрів секунду, вологість $(40 - 60) \%$. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Б.2.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності

Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c = 0,4$ м. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5–4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,1 - 0,4 = 2,7 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,7 = 1,9 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника (Φ_L) визначається за формулою:

$$\Phi_L = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_3 – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{стелі} = 70\%$, $P_{стін} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{CB}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

ДОДАТОК С – Програмне забезпечення електронного приладу вимірювання
концентрації пилу в повітрі робочих приміщень промислових підприємств

```
#include<iarduino_RTC.h>
#include<Adafruit_GFX.h>
#include<Adafruit_PCD8544.h>
#include<DS3231.h>
#include<SPI.h>
#include<SD.h>
Adafruit_PCD8544 display = Adafruit_PCD8544(7, 6, 5, 4, 3);
DS3231 rtc(SDA, SCL);
FilemyFile;
intmeasurePin = 2;
intledPower = 8;
intsamplingTime = 280;
intdeltaTime = 40;
intsleepTime = 9680;
floatvoMeasured = 0;
floatcalcVoltage = 0;
floatdustDensity = 0;
voidsetup(){
  delay(300);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPower,OUTPUT);
  display.begin();
  rtc.begin();
  display.setContrast(60);
  display.display(); // showsplashscreen
  delay(2000);
```

// Установка поточного часу. Викликати один раз під час першого програмування пристрою.

```

//rtc.setDOW(FRIDAY);
//rtc.setTime(12,44, 0);
//rtc.setDate(24, 05, 2019);
display.clearDisplay();
Serial.print("Initializing SD card...");
if (!SD.begin(2)) Serial.println("initializationfailed!");
elseSerial.println("initializationdone.");
}
voidloop(){
myFile = SD.open("Meassure.csv", FILE_WRITE);
display.clearDisplay();
digitalWrite(ledPower,LOW); // poweronthe LED
delayMicroseconds(samplingTime);
voMeasured = analogRead(measurePin); // readthedustvalue
delayMicroseconds(deltaTime);
digitalWrite(ledPower,HIGH); // turnthe LED off
delayMicroseconds(sleepTime);
calcVoltage = voMeasured * (3.3 / 1024);
dustDensity = 0.17 * calcVoltage - 0.1;
display.setTextSize(1);
display.setTextColor(BLACK);
display.setCursor(23,0);
display.println(rtc.getDOWStr());
display.setCursor(13,9);
display.println(rtc.getDateStr());
display.setCursor(17,17);
display.println(rtc.getTimeStr());
display.setCursor(5,25);
display.print("DustDensity: ");
display.setCursor(15,35);
display.print(dustDensity);
display.println(" mg/m3");

```

```
display.display();
Serial.print(rtc.getDOWStr());
Serial.print(" ");
Serial.print(rtc.getDateStr());
Serial.print(" ");
Serial.print(rtc.getTimeStr());
Serial.print(" RawSignalValue (0-1023): ");
Serial.print(voMeasured);
Serial.print(" - Voltage: ");
Serial.print(calcVoltage);
Serial.print(" V - ");
Serial.print("DustDensity: ");
Serial.print(dustDensity);
Serial.println(" mg/m3");
myFile.print(rtc.getDOWStr());
myFile.print(" ");
myFile.print(rtc.getDateStr());
myFile.print(" ");
myFile.print(rtc.getTimeStr());
myFile.print(" RawSignalValue (0-1023): ");
myFile.print(voMeasured);
myFile.print(" - Voltage: ");
myFile.print(calcVoltage);
myFile.print(" V - ");
myFile.print("DustDensity: ");
myFile.print(dustDensity);
myFile.println(" mg/m3");
myFile.close();
delay(1000);
}
```