

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “ **Розробка пристрою для автоматичного
ввімкнення склоочисників»**”

Виконав: студент групи Ат-22СП
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Назарій Кудь

(ім'я та прізвище)

Керівник: _____
Юрій Габрієль
(ім'я та прізвище)

Дубляни 2023

УДК 629.032

Кудь Назарій Орестович. «Розробка пристрою для автоматичного ввімкнення склоочисників».

//Кваліфікаційна робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023. – 50 с.

Проведено аналіз різних типів автомобільних сенсорів дощу при чому вказані їх переваги та недоліки. Розглянуто теоретичні дослідження сенсора дощу оптоелектронного типу із використанням відхиленого світла із прямим та похиленим повітряним зазором. Розроблено макет сенсора дощу із похилим повітряним зазором, кут якого становить 6° . Розроблено алгоритм обробки сигналу, який надходить на фотодіод. Проведено дослідження осцилограм сигналів безпосередньо на передавачі та приймачі як без обробки так і після цифрової обробки сигналу при різній кількості краплин води на сенсорі. Наведено інструкції стосовно техніки безпеки при дослідженні електричних сигналів із сенсора дощу. Пораховано вартість виробництва сенсора дощу з нахиленим повітряним зазором.

Рис. 21, бібліогр. джерел 24

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ВСТУП	5
1 ІСНУЮЧІ ТИПИ СЕНСОРІВ ДОЩУ	6
1.1 Типи сенсорів дощу	6
1.2 Резистивний сенсор дощу	6
1.3 Ємнісний сенсор дощу	8
1.4 Оптичні сенсори дощу.....	12
1.4.1 <i>Сенсор дощу із використанням камери</i>	12
1.4.2 <i>Оптоелектронний сенсор дощу</i>	14
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕНСОРА ДОЩУ	21
2.1 Зондування розсіяного світла.	21
2.2 Розпізнавання відхиленого світла.	23
2.3 Розпізнавання відхиленого світла з нахиленим повітряним зазором.	25
2.4 Квантування інтенсивності дощу.....	26
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	29
3.1 Структура сенсора дощу.	29
3.2 Обробка сигналів та результати досліджень.....	30
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	38
4.1 Аналіз технологічного процесу дослідження електричних сигналів	38
4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час зняття осцилограм	38
4.3 Заходи щодо зниження аварійності та травматизму під час проведення досліджень.....	42
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	43
ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Розробка системи автоматичного ввімкнення діврників автомобіля є важливою задачею для забезпечення безпеки та комфорту водія під час дощу або снігопаду. Ця система дозволяє автомобілю самостійно визначати, коли необхідно включити діврники, зберігаючи при цьому час та енергію водія [1].

У даній кваліфікаційній роботі ми пропонуємо розробити систему автоматичного ввімкнення діврників, що буде базуватися на сенсорах дощу та освітлення. Система повинна включатися автоматично, коли дощові краплі потрапляють на скло автомобіля, а також система має мати можливість ручного керування, щоб водій міг ввімкнути діврники вручну за необхідності та при несправності сенсора дощу, в разі його відмови.

У процесі розробки системи будуть використовуватись сучасні технології програмування, а також сенсори дощу та освітлення. Для демонстрації роботи системи буде використано прототип, що буде досліджуватись в лабораторних умовах. Результатом проекту буде розробка функціонуючої системи, що може бути використана на реальному автомобілі.

Метою даної роботи є забезпечення безпеки та комфорту водія під час погодних умов, а також підвищення ефективності використання ресурсів автомобіля. В результаті розробки системи автоматичного ввімкнення діврників автомобіля буде досягнуто поєднання технічного прогресу та безпеки на дорозі, що є основним завданням сучасного автомобільного транспорту. Поряд із цим запропонований сенсор дощу повинен мати відносно просту будову, невисоку вартість виготовлення та можливість встановлення практично на будь-який автомобіль, який не оснащено даного типу сенсором.

1 ІСНУЮЧІ ТИПИ СЕНСОРІВ ДОЩУ

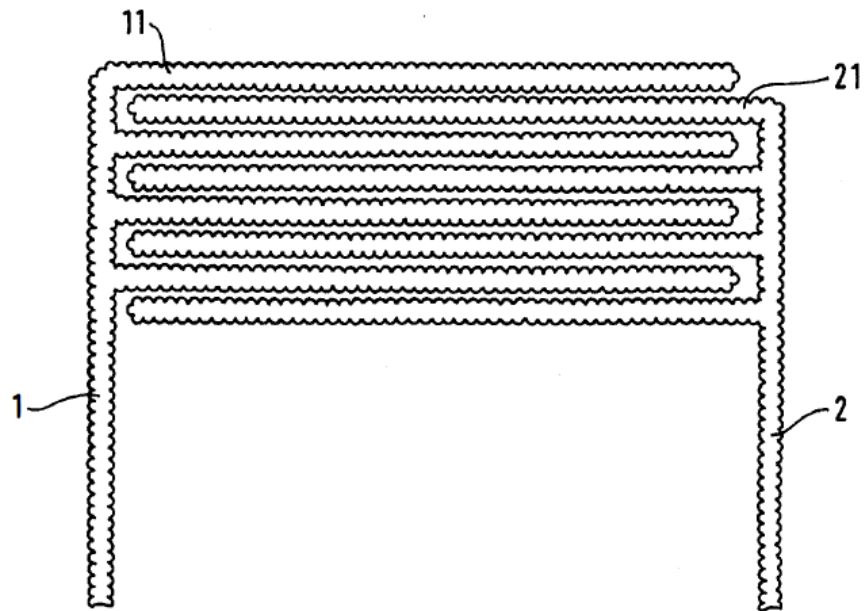
1.1 Типи сенсорів дощу

В даний час частка електроніки в автомобілях має тенденцію до постійного збільшення, і сенсор дощу є одним з таких електронних компонентів в автомобілі [2]. Сенсор дощу в автомобілі використовується для автоматичного ввімкнення склоочисника у разі виявлення дощу на лобовому склі та над ним. Численні ідеї та концепції щодо сенсора дощу на лобовому склі були запропоновані згідно принципу дії: механічні [3], акустичні [4], резистивні [5, 6], ємнісні [7], обробка оптичного зображення [8, 9], мікрохвильові [10] та оптоелектронні [11, 12, 13] сенсори дощу; однак такі проблеми, як лінійність, чутливість, перешкоди, несправність, зона чутливості та структурна складність, обмежили їх застосування до транспортного засобу. Це було пов'язано з випадковою природою дощу, яка властива рідині [14]. Однак при цьому необхідним є адекватна процедура визначення лінійності інтенсивності дощу для діапазону, в якому система повинна визначати момент ввімкнення протирання лобового скла для зручності водіння. Серед звичайних концепцій щодо сенсора дощу механічний сенсор відстежував зміну амплітуди та частоти вібрації краплями дощу, в той же час акустичним методом відстежуються звуки по краплі дощу за допомогою електретного мікрофона. Резистивний метод полягає у вимірюванні опору постійного струму між точковими, лінійними або гребінчастими електродами; однак, ці електроди були розташовані поза вітровим склом, внаслідок чого піддавалися стиранню та накопиченню пилу. Розглянемо деякі із описаних типів сенсорів дощу детальніше.

1.2 Резистивний сенсор дощу

Сенсор дощу з двома безконтактними струмопровідними доріжками, які вирівняні паралельно одна одній та розташовані на лобовому склі автомобіля, з підключеною до них електронною системою оцінювання сигналу. Щоб створити сенсор дощу, який має найменші можливі розміри, ширина

принаймні однієї струмопровідної доріжки робиться непостійною по її довжині (рис. 1.1) [5].



1,2 – струмопровідні доріжки.

Рисунок 1.1 – Резистивний сенсор дощу (US Patent 5,659,294).

Сенсори, розташовані на зовнішній стороні лобового скла, складаються з двох струмопровідних доріжок, які не контактують один з одним. які мають ділянки струмопровідної доріжки, які паралельні одна одній та гребінчасто входять одна в одну, але електрично не з'єднані одна з одною. Вони розроблені як конструкції постійної ширини. Струмопровідні доріжки забезпечені електричними сполучними пристроями. Під час дощу струмопровідні доріжки перекриваються краплями води, внаслідок чого змінюється опір між електричними доріжками.

Коротке замикання струмопровідних доріжок краплями води призводить до зміни загального опору сенсора. Таким чином можна створити відтворюваний електричний сигнал через зміну опору.

Щоб отримати питомий опір, струмопровідні доріжки сенсора дощу повинні мати задану довжину. Це призводить до того, що сенсор дощу займає певний простір на лобовому склі. Зокрема, при сенсорі дощу, розташованому на лобовому склі, сенсор великого розміру заважає полі зору водія. Щоб

зменшити цей недолік, сенсор дощу, як правило, влаштований таким чином, що він закритий дзеркалом заднього виду, яке знаходиться в автомобілі.

Струмопровідні доріжки 1 і 2 мають хвилеподібну форму по всій довжині, так що ширина кожної струмопровідної доріжки в цих ділянках безперервно змінюється. Завдяки хвилеподібній формі країв струмопровідної доріжки змінюється ефективна довжина та ефективний поперечний переріз струмопровідної доріжки, що призводить до зміни загального опору сенсора.

Струмопровідні доріжки 1, 2 подовжуються геометрично відповідно до обраного зовнішнього контуру. У випадку, якщо вони мають форму у вигляді півкіл, розташованих поруч одне з одним, виходить подовження струмопровідної доріжки на коефіцієнт $\pi/2$, що дає змогу зменшити розмір сенсора. Звичайні резистивні сенсори мають площу 70-80 см², ефективна довжина струмопровідних доріжок при цьому становить приблизно 6 метрів. При тій самій площі ефективна довжина конструкції із струмопровідними доріжками у вигляді півкіл становить близько 10 метрів, завдяки чому покращується чутливість сенсора.

Проте слід відмітити, оскільки сенсори такого типу розташовуються на зовнішній стороні лобового вікна, вони піддаються механічному впливу двірників, що призводить до стирання струмопровідних доріжок, а отже до зниження чутливості або відмови сенсора [15].

1.3 Ємнісний сенсор дощу

Ємнісний метод виявлення полягає у відстежуванні зміни ємності між електродами всередині лобового скла, і цю зміну ємності краплями дощу перетворювали на зміну опору в ємнісному мості або зміну частоти в резонансному контурі LC.

По суті, усі ємнісні датчики дощу залежать від різко відмінних діелектричних сталих води ($\epsilon=80$) і лобового скла ($\epsilon=2$). Стрижневий тип конденсатора, утворений на поверхні лобового скла або поблизу поверхні лобового скла, зазвичай використовується для виявлення присутності води. Ємність конденсатора датчика води зазвичай контролюється за допомогою

високочастотного збалансованого мостового детектора, схем прямого вимірювання ємності (заряду) або за допомогою методів радіочастотної модуляції. Спільним для всіх цих методів є необхідність підключення вимірювальної схеми до конденсатора датчика води. Кріплення до електродів сенсорного конденсатора є одним із критичних елементів ємнісних методів вимірювання води, які перешкоджають їх використанню.

У реальній практиці проводи чутливого конденсатора зазвичай виводяться на край скляної поверхні, де вони підключаються до чутливої схеми за допомогою коротких проводів або затискачів. Лобове скло зазвичай кріпиться за допомогою еластомерного клею до рами кузова, що забезпечує водонепроникність. Край лобового скла стає важкодоступним після того, як скло встановлено, а близькість навколишньої металевої опорної конструкції заважає проводам, які прикріплені до скла.

Другою проблемою, пов'язаною з ємнісними датчиками, є необхідність використання досить великої площі (зазвичай 10^4 мм²), яка може зменшувати оглядовість водія та має неестетичний вигляд.

Розглянемо один із таких типів сенсора, що зображено на рис.1.2 [7].

Блок лобового скла з датчиком дощу, що містить зовнішній шар скла, який має зовнішню поверхню номер один і внутрішню поверхню номер два, внутрішній шар скла, який має внутрішню поверхню номер три та внутрішню поверхню номер чотири, лист прозорого пластику, затиснутий між і прикріплений до двох і трьох поверхонь шарів скла, а також електропровідне та прозоре покриття, розташоване між пластиковим листом і однією з двох і трьох поверхонь шарів скла. Шари скла, пластикового листа та покриття є однаковими, щоб визначити периферію лобового скла. Конструкція характеризується ізольованою ділянкою покриття, електрично відокремленою від решти покриття для ємнісного визначення присутності вологи на поверхні номер один зовнішнього шару скла.

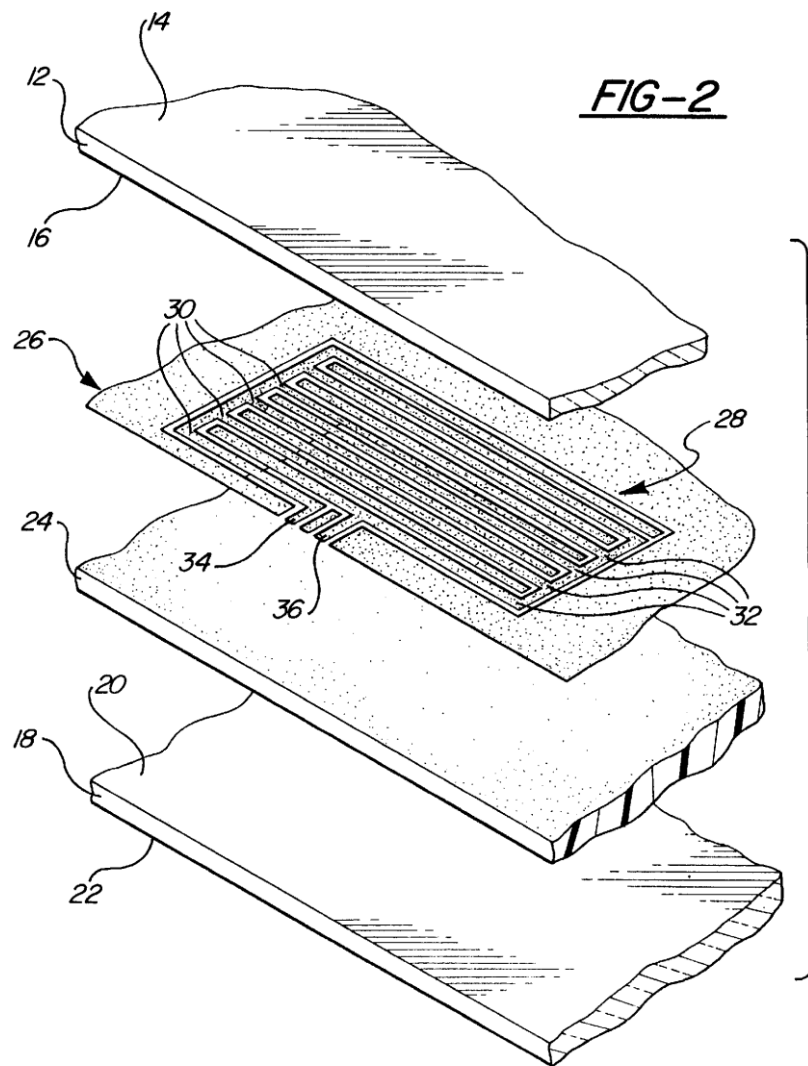


Рисунок 1.2 – Будова ємнісного сенсора дощу (US Patent 6,094,981).

Базовий вузол лобового скла містить зовнішній шар 12 скла і внутрішній шар 18 скла з листом прозорої плівки 24, розміщеної між шарами 12 і 18 скла і прикріпленої до них. Покриття 26 з оксиду металу розташоване між зовнішнім шаром 12 зі скла та пластиковим листом 24, добре відоме в даній галузі техніки, і є прозорим для фільтрації світла, а також є електропровідним. Відповідно, вузол характеризується ізольованою секцією, загалом позначеною позицією 28, покриття 26, електрично відокремленим від решти покриття для ємнісного визначення присутності вологи на зовнішній поверхні 14 зовнішнього шару 12 скла. Такі покриття 26 зараз наносяться на автомобільне скло як інфрачервоні фільтри або бар'єри для зменшення сонячного нагрівання салону автомобіля. Таким чином, покриття 26 фільтрує хвилі інфрачервоного

світла практично по всій площі лобового скла, тобто, за винятком зон спеціального використання для забезпечення радіо- та/або інфрачервоної передачі, наприклад, простору для відкривання дверей гаража.

Ізольована ділянка 28 покриття 26 містить першу множину електродів 30 і другу множину електродів 32, причому перша 30 і друга 32 множина електродів є паралельними, зміщеними між собою або перемежуються і віддалені один від одного. Ємність може бути визначена за допомогою схеми, приєднаної безпосередньо до електродів 30 і 32, або через ємнісний зв'язок з електродами.

Лист прозорого пластику 24 затиснутий між поверхнями номер два 16 і три 20 шарів 12 і 18 скла та прикріплений до них. Лист пластику 24 ламінований до шарів скла 12 і 18, як добре відомо в даній галузі техніки, і складається з полівінілбутиралу (PVB), як правило, товщиною 1 міліметр, шари 12 і 18 скла зазвичай мають товщину 2 міліметри. Лобове скло ламіноване відповідно до стандартних практик.

Електропровідне та прозоре покриття, загалом позначене позицією 26, розташоване між пластиковим листом 24 і однією з двох поверхонь 16 і трьох 20 шарів 12 і 18 скла, але, як показано, покриття 26 розташоване між номер два 16 поверхні зовнішнього шару 12 зі скла і пластикового листа 24. Шари 12 і 18 скла і пластикового листа 24 і покриття 26 є однаковими, щоб визначити периферію лобового скла. Покриття 26 може складатися з напиленого оксиду олова, оксиду індію-олова, оксиду срібла-срібла або інших оксидів металів або металевих покриттів в одному або декількох шарах, які демонструють необхідні оптичні характеристики.

Проте слід відмітити, що використання сенсорів такого типу вимагає їх виготовлення в процесі виробництва самого лобового скла, що досить таки є проблематичним при вимогах універсальності використання сенсора, тобто встановлення такого сенсора на звичайне лобове скло є неможливим.

Ще однією із проблем ємнісних сенсорів є приєднання проводів оскільки будь-яка значна довжина кабелю може перешкоджати ефективній роботі

датчика з різних причин: висока паразитна ємність і сприйнятливість до мікрофонії (механічний зсув і/або вібрація).

1.4 Оптичні сенсори дощу

Метод оптичного зображення з використанням матриці зображення [17–24] або камери [25, 26] має перевагу визначення більшої області за допомогою простого оптичного компонента; однак він є за своєю суттю сприйнятливий до зміни стрімких пейзажів під час водіння. Інший метод мікрохвильового радіолокаційного виявлення спробував імітувати розсіювання між мікрохвилями та дощем.

1.4.1 Сенсор дощу із використанням камери

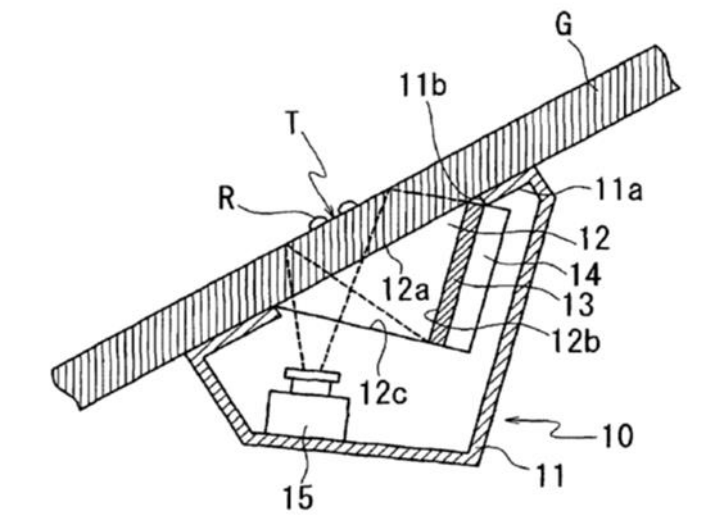


Рисунок 1.3 – Сенсор дощу із використанням камери (US Patent 8,362,453).

Датчик дощу (рис.1.3) [8] включає в себе: поверхнєве джерело світла 14, яке випромінює світло на лобове скло G, щоб спричинити падіння світла на область виявлення крапель дощу T, встановлену на лобовому склі G під критичним кутом або більше; камеру 15, яка розташована на оптичному шляху світла, повністю відбитого областю виявлення T, і охоплює область виявлення T; і блок детектування, який виявляє краплі дощу, що знаходяться на області детектування T, за контрастом у зображенні, захопленому камерою 15; блок виявлення виявляє краплі дощу, що знаходяться на області виявлення T, на основі щонайменше одного із захопленого зображення в області виявлення T,

до якого світло випромінюється від поверхневого джерела світла 14, і захопленого зображення в області Т, до якого потрапляє світло не випромінюється з поверхні джерела світла.

Датчик 10 дощу закріплюється на поверхні лобового скла G збоку салону транспортного засобу за допомогою клею або клейкого листа. Корпус 11 основного корпусу для датчика 10 дощу сформовано зі смоляного матеріалу, який не пропускає світло. Основний корпус 11 включає в себе прямокутну призму 12, рідкокристалічний затвор 13, поверхнєве джерело світла 14 і камеру (CCD камеру) 15.

Прямокутна призма 12 утворює рівнобедрений прямокутний трикутник, якщо дивитися з її поперечного перерізу. Отвір 11b для оголення грані 12a гіпотенузи прямокутної призми 12 передбачено в передній стінці 11a основного корпусу.

Грань 12a гіпотенузи прямокутної призми 12 прикріплена до поверхні лобового скла G збоку відсіку транспортного засобу за допомогою оптичного прозорого адгезиву або клейкого листа, які не показані в отворі 11b передньої стінки 11a.

Рідкокристалічний затвор 13 розташований по всій грані 12b серед граней 12b і 12c прямокутної призми 12, які ортогональні одна одній. Поверхнєве джерело 14 світла передбачено по всій поверхні рідкокристалічної шторки 13 навпроти прямокутної призми 12 (або поверхні на задній стороні транспортного засобу).

Рідкокристалічний затвор 13 має відкрите положення, в якому світло, що випромінюється від поверхневого джерела світла 14, пропускається, і закриті положення, в якому світло не пропускається. Блок керування перемикає між відкритим і закритим положенням рідкокристалічного затвора 13.

Блок керування керує вмиканням або вимиканням поверхневого джерела світла 14. Поверхнєве джерело світла 14 випромінює біле світло на прямокутну призму 12, коли його вмикають, щоб висвітлити область

виявлення дощових крапель Т, визначену на лобовому склі G зсередини салону автомобіля. .

Поверхнєве джерело 14 світла передбачено таким чином, що світло, випромінюване від поверхневого джерела 14 світла, падає на виявлення область Т лобового скла G під критичним кутом або більше і повністю відбивається областю виявлення Т. Поверхнєве джерело світла 14 завжди вмикається, коли працює датчик дощу. Рідкокристалічний затвор 13 перемикається між випромінюванням світла та відсутністю випромінювання світла в області виявлення Т. Камера 15 є, наприклад, CCD-камерою, яка розташована в корпусі 11 основного корпусу, при цьому камера 15 спрямована до 12с камери. прямокутна призма 12, закріплена на вітровому щитку G. Камера 15 розташована на оптичному шляху світла, що випромінюється від поверхневого джерела світла 14 і повністю відбивається областю виявлення Т. Поле зображення камери 15 встановлено в діапазоні де область виявлення Т може бути зображена, як показано пунктирною лінією на малюнку. Камера 15 сфокусована на області Т виявлення. Камера 15 безперервно знімає область Т виявлення зсередини салону транспортного засобу та виводить дані зображення, отримані шляхом захоплення зображення, на блок 17 керування, поки працює датчик дощу.

Для реалізації даного типу сенсора потрібно наявність досить таки складного алгоритму виявлення краплин дощу та їхньої кількості, а отже наявність складної електричної схеми.

1.4.2 Оптиелектронний сенсор дощу

Оптиелектронний метод виявлення зазвичай використовується для виявлення присутності крапель дощу на вітровому склі, оскільки оптично прозора природа скла лобового скла в межах обмеженого оптичного спектру пов'язує шлях оптичного сигналу між сенсором, розташованим усередині скла, та краплями дощу, розташованими поза склом. Метод визначення дощу з використанням прямого підключення джерела світла та фотодетектора, запропоновано всередині лобового скла [11], між якими розташовують бар'єр

для придушення первинного паразитного випромінювання; однак ця конфігурація мала обмеження щодо збільшення чутливості через небажане вторинне паразитне випромінювання, інакше мала низьку чутливість. Широке застосування в автотранспорті знайшли два типи оптоелектронних детекторів, принцип дії яких відрізняються проходженням оптичних променів. Сенсор типу відбиття використовує світло, відбите краплею дощу на поверхні лобового скла за допомогою камери [8] або похилої площини кріплення сенсора [16] або світлового променя [13]. Серед них метод із використанням колімованого світлового променя [13] від джерела світла був достатньо сильним, щоб відкинути ефект навколишнього освітлення під час досягнення фотодетектора; однак він утворює лише невелику площу виявлення краплин води на поверхні лобового скла, що призводить до недостатньої площі чутливості та лінійності для визначення інтенсивності дощу. Для компенсації цього недоліку була запропонована конфігурація з кількома оптичними шляхами [17].

Найпомітнішою схемою оптичного зондування є сенсор оптичного хвилеводного типу, у якому колімований інфрачервоний світловий промінь подається на скляну панель лобового скла за допомогою використання призми. У цій схемі лінія каналу між джерелом світла та фотодіодом утворює смугу вимірювання дощу, і кількість світла, що просочується краплями дощу, контролюється. Цей метод має обмежену зону сприйняття, але має чутливу реакцію на наявність дощової краплі зі зниженим впливом навколишнього світла. Однак він також є сприйнятливий до ударів і вібрації, що накладаються на інтерфейс зв'язку світла, і вимагає складних оптичних компонентів.

Більшість оптичних сенсорів дощу вимагають жорсткого кріплення [16, 17, 8]. Метод виявлення розсіяного світла є альтернативою попереднім способам, який може не тільки позбутися складного оптичного приладу, але й розширити зону виявлення в тривимірному просторі. Недоліком цих переваг є слабка реакція світла на дощову краплю.

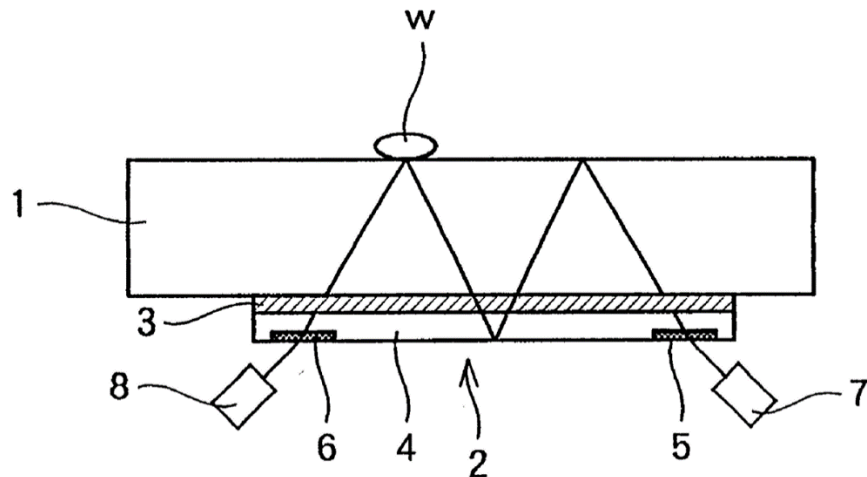


Рисунок 1.4 – Оптиелектронний сенсор дощу (US Patent 5,991,049)

Розглянемо типовий оптиелектронний сенсор дощу, зображений на рис. 1.4 [12]. Переднє вітрове скло 1, що має датчик дощу 2 для виявлення присутності крапель води W на одній його бічній поверхні, в залежності від зміни кількості відбитого світла, причому датчик 2 дощу містить: світловипромінюючий елемент 7 для введення сприйняття світлового променя в лобове скло 1; світлоприймальний елемент 8 для виявлення світлового променя, який поширюється шляхом повного внутрішнього відбиття всередині переднього лобового скла 1; і дифракційні решітки 5, 6, сформовані на поверхні скляної підкладки 4, через які світловипромінюючий елемент 7 і світлоприймальний елемент 8 розміщені на скляній поверхні, за допомогою чого датчик 2 дощу прикріплюється до іншої бічної поверхні переднього лобового скла 1 за допомогою клейкого матеріалу 3, що має показник заломлення, еквівалентний показнику заломлення скляної підкладки 4.

Кутове співвідношення між падаючим світлом і дифрагованим світлом можна представити наступним рівнянням, коли падаюче світло падає на дифракційну решітку. А саме, якщо припустити, що кут падаючого світла дорівнює θ_0 , кут дифрагованого світла θ m -го порядку, довжина хвилі падаючого світла λ , крок решітки d , показник заломлення середовища на стороні виходу світла n і показника заломлення середовища на стороні падіння світла n_0 , то кутова залежність визначається наступним чином [18]:

$$n \cdot \sin \theta - n_0 \cdot \sin \theta_0 = \frac{m\lambda}{2} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (1.1)$$

У випадку, коли стороною падіння світла є повітря, а стороною виходу світла є прозора скляна пластина, оскільки $n_0=1,0$, кут світла, що поширюється всередині прозорої пластини, можна регулювати, змінюючи кут падаючого світла на дифракційну решітку.

Як зазначалося вище, за допомогою дифракційної решітки можна вводити світло в прозору пластину під довільним кутом. Крім того, відповідним чином вибравши кут падіння світла на дифракційну решітку, також можна встановити його таким чином, щоб введене світло зазнавало повного внутрішнього відбиття всередині прозорої пластини.

Крім того, також можливо, щоб світло, яке поширюється всередині прозорої пластини при повному внутрішньому відбиванні, виходило в повітря на основі того самого принципу, що згаданий вище. Як загальний метод виготовлення дифракційних решіток, його формують шляхом точного вирізання канавок на поверхні м'якого металу, наприклад, алюмінію, за допомогою алмазної голки. Потім решітку отримують шляхом транскрибування канавок на шар епоксидної смоли, який наноситься на поверхню прозорої пластини, тобто скла.

Як альтернатива, світло випромінюється на поверхню світлочутливої смоли, яка покрита поверхнею прозорої пластини (скляної пластини), за допомогою двопрменевої інтерференції між двома джерелами світла, а потім лише відкрита частина витравлюється звідти. Крім того, шляхом травлення неекспонованої частини також можна отримати тонкі смуги.

Хоча дифракційна решітка, виготовлена згаданим вище способом транскрибуванням канавок на епоксидній смолі, або решітка, сформована на світлочутливій смолі, створює труднощі, коли вона застосовується для середовища використання, де потрібна механічна міцність та стійкість до погодних умов.

Крім того, при обробці лобового скла великого розміру важко застосувати технологію транскрибування або технологію експонування, згадану вище, і тому ці методи не є доречними з точки зору практичного використання.

Більш переважно, дифракційна решітка формується безпосередньо на прозорій пластині за допомогою процесу лазерної обробки, тобто з використанням явища часткової абляції або випаровування скляної поверхні лазерним променем, як зазначено вище.

Явище абляції виникає внаслідок поглинання лазерного променя (світлової енергії) склом. Зробивши скляну підкладку таким чином, щоб вона містила срібло на заданій глибині від її поверхні, у формі атомів Ag, колоїду Ag або іонів Ag, і далі організувавши градієнт концентрації так, щоб він був найвищим на поверхні, що підлягає обробці, і поступово зменшується до заданої глибини, абляція відбувається послідовно від обробленої частини поверхні до внутрішньої частини скла, таким чином уникаючи розтріскування або полонки в ньому.

А саме, у цьому варіанті здійснення оптична система побудована таким чином, що два лазерних промені з довжиною хвилі 253 нм падають один на одного під кутом падіння 20° . Період розподілу інтенсивності світла становить близько 1020 нм. Скляну підкладку 4 розташовують таким чином, що одна її поверхня знаходиться в інтерференційній області двох лазерних променів, а потім лазерний промінь опромінюється, щоб викликати абляцію.

Лінза, використовується з метою збільшення щільності енергії світла, випромінюваного на поверхню скляної підкладки 4, і щільність енергії на імпульс становить 30 Дж/см^2 у момент, коли відбувається абляція. Під час вимірювання періоду створеної дифракційної решітки було виявлено, що він збігається з очікуваним.

У випадку, коли показник заломлення скла становить $n=1,48$, а показник заломлення повітря $n_0=1$, умовою для отримання повного внутрішнього відбиття в скляній пластині є $\theta=90^\circ$. Відповідно, якщо кут падіння дорівнює

або перевищує цей кут (тобто $42,5^\circ$), повне внутрішнє відбивання відбувається в середовищі скла.

Крім того, у випадку, коли вода присутня на склі, умова повного внутрішнього відбивання полягає в тому, що кут падіння дорівнює $64,0^\circ$. Відповідно, за умови, що кут падіння а знаходиться в діапазоні від $42,5^\circ$ до $64,0^\circ$, повне внутрішнє відбивання відбуватиметься всередині скляної пластини, коли вода присутня на склі, тоді як повне внутрішнє відбивання не відбуватиметься, якщо вода не буде присутньою на склі, тобто світло, що відбивається всередині скла, просто пропускається назовні через воду.

Щоб викликати відбиття, регулюють кут падіння на дифракційну решітку. Кут падіння на дифракційну решітку такий, що кут відбиття становить $42,5^\circ$ у склі, розраховується за допомогою згаданого вище рівняння (1.1). На дифракційній решітці, сформованій на скляній поверхні з періодом 1020 нм, вона досягає 22° , коли прикладається позитивне первинне (+1) дифраговане світло 633 нм від He-Ne лазера.

Щоб зробити кут відбиття $64,0^\circ$ всередині скла, очевидно, що кут падіння на дифракційну решітку має становити 45° з того самого розрахунку. У цьому варіанті здійснення світло падає на дифракційну решітку 5 під кутом 45° . У цей час світло, яке зазнає повного внутрішнього відбиття, виходить з іншої дифракційної решітки 6.

Крім того, у випадку, коли крапля води W присутня в точці, де відбувається один період повного внутрішнього відбиття, світло, яке виходить з дифракційної решітки 6, зменшує інтенсивність, а у випадку, коли краплі води присутні в усіх точках повного внутрішнього відбиття, вихідне світло зменшується до однієї п'ятдесятої ($1/50$).

Можна переконатися, що присутність води на скляній поверхні може бути досить чутливо виявлена, що вказує на інтенсивність вихідного світла. Далі при поступовому збільшенні кута падіння на дифракційну решітку 5 відбувається те ж явище.

Однак, коли кут падіння перевищує 64° , кількість вихідного світла не змінюється, навіть якщо присутні краплі води. Це майже збігається з кутом, коли умова повного внутрішнього відбиття всередині скла не змінюється, навіть якщо вода присутня на поверхні.

Крім того, слід зазначити, що, незважаючи на те, що винахід застосовується до переднього лобового скла автомобіля, такий сенсор може бути застосований до будь-якого скляного екрана, який піддається впливу стихій. Крім того, незважаючи на те, що об'єктом виявлення називають краплі води, вода може мати іншу форму, наприклад, тонку плівку, за умови, що можливе явище повного внутрішнього відбиття.

Як бачимо, згідно вище описаного, сенсор дощу даного типу є дорогим виготовлені, оскільки потребує створення дифракційної решітки за допомогою лазерного випромінювання та мусить щільно прилягати до поверхні самого лобового скла.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СЕНСОРА ДОЩУ

2.1 Зондування розсіяного світла.

Традиційний оптоелектронний метод визначення дощу використовує колімований світловий промінь, щоб мінімізувати втрати оптичної потужності від джерела інфрачервоного світла. В загальному використовується два види сенсорів дощу. Концепція сенсора дощу відбивного типу, який визначає ступінь витоку світла на відбиваючу пляму за допомогою колімаційного оптичного приладу під вітровим склом, показана на рис. 2.1.а. Концепція сенсора дощу оптичного хвильоводного типу, що використовує світловий канал, сформований усередині лобового скла, що з'єднує джерело світла та фотодетектор, показана на рис. 2.1.б.

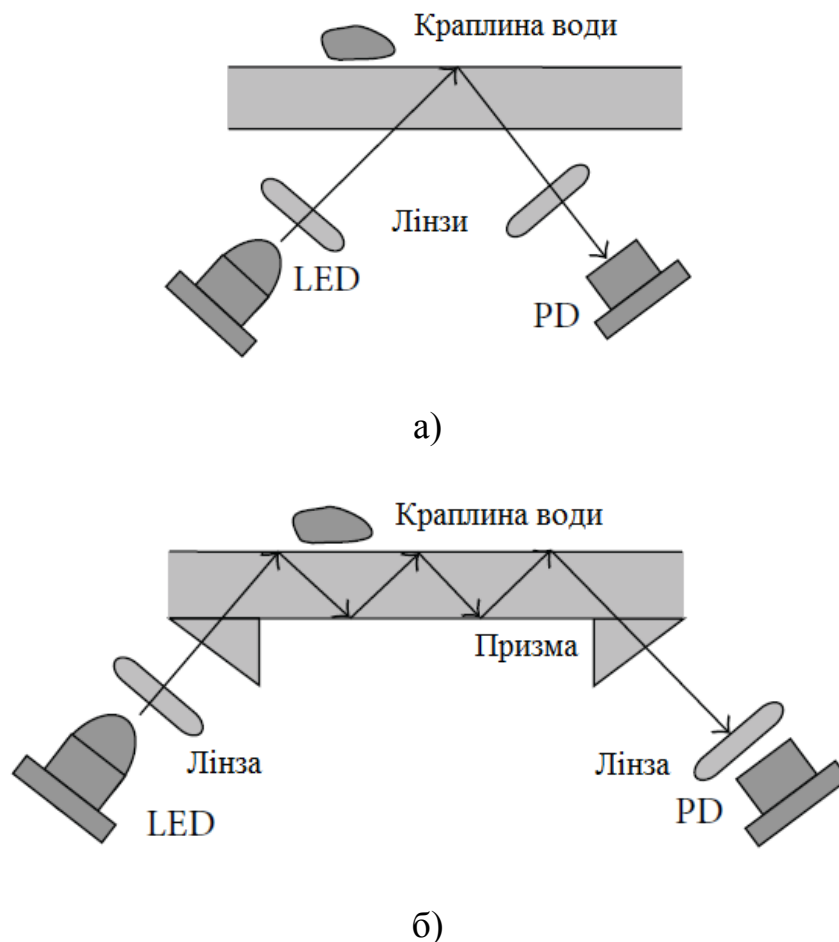


Рисунок 2.1. Оптичні сенсори дощу: а – відбиваючого типу, б – хвильоводного типу.

В сенсорі дощу автомобіля, що використовує розсіяне світло, джерело світла та фотодетектор є розташованими під вітровим склом. Світловий щит необхідний для блокування світла, що проходить безпосередньо від джерела світла. У цьому випадку світло, що враховується, відбивається на межі розділу двох оптично прозорих матеріалів, якщо показники їх заломлення різні, при цьому відбита оптична сила пропорційна різниці показників.

Концепція сенсора дощу, що використовує виявлення розсіяного світла, показана на рис. 2.2. Світло, що відбивається краплинами дощу, які знаходяться поблизу лобового скла, є основним джерелом сигналу для виявлення. Необхідно уникати прямого випромінювання та відбиття світла, крім крапель дощу на лобовому склі або над ним, щоб уникнути перешкод від розсіяного світла.

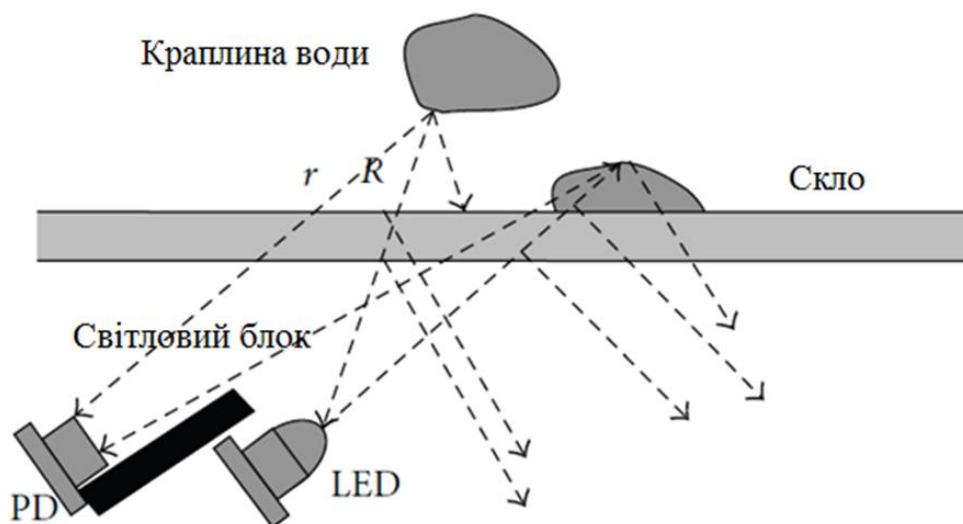


Рисунок 2.2 – Принципова будова сенсора дощу, що використовує виявлення розсіяного світла.

Світловий промінь, що проходить від джерела світла, проходить відстань « R » до краплі дощу та відбивається назад до фотодіода після того, як пройде відстань « r ». Отриману оптичну потужність світла в місці розташування фотодетектора можна виразити, як показано в (2.1) [19], і ця отримана потужність пов'язана з морфологією дощової краплі та відстанню між краплею дощу та світлодіодом.

$$\begin{aligned}
 P_i(t) &= P_0(t) \cdot P_{R1}(t) \cdot P_{R2}(t), \\
 P_{R1}(t) &= \frac{\pi r^2}{(4\pi R_1^2)} \cdot \Phi_{R1}(r, \theta, \phi, t), \\
 P_{R2}(t) &= \frac{S_{PD}}{(4\pi R_2^2)} \cdot P_{R1}(t).
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

де: $\Phi(r, \theta, \phi, t)$ – морфологія краплі дощу;

S_{PD} – світлочутлива область фотодетектора;

$P(t)$ – отримана інтенсивність;

$P_o(t)$ – інтенсивність випромінювання;

$P_{R1}(t)$ – відбиття ймовірність за краплею дощу;

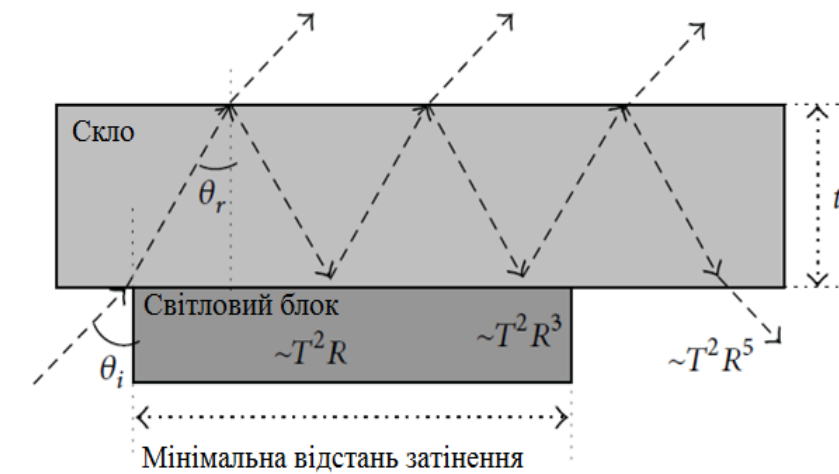
$P_{R2}(t)$ – ймовірність прийому сигналу на фотоприймачі.

2.2 Розпізнавання відхиленого світла.

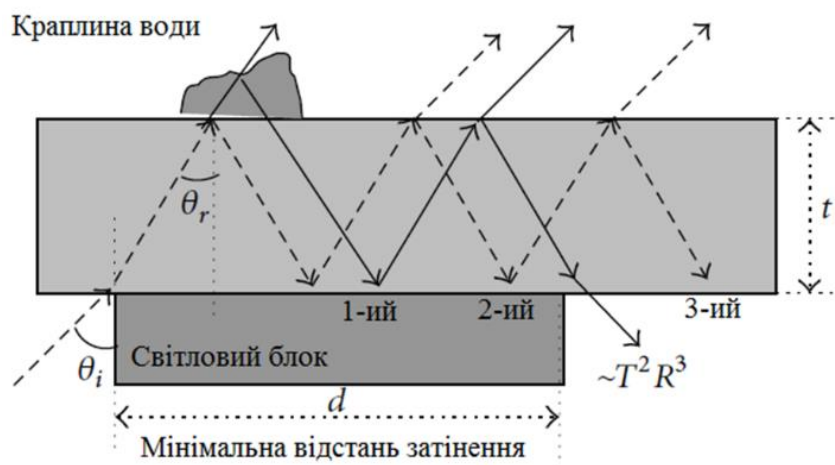
Якщо колімоване світло падає на скляне середовище, світло пропускається відповідно до інтенсивності пропускання T і відбивається відповідно до інтенсивності відбиття R на поверхні розділу двох прозорих матеріалів з різними показниками заломлення. Наприклад, інтенсивність пропускання становить близько 96%, а інтенсивність відбиття становить близько 4% на поверхні розділу між повітрям і скляним середовищем залежно від кута падіння та точного значення показників заломлення [20]. Якщо світловий блок, який перешкоджає прямій передачі світла від джерела світла до фотодіода, розміщено так, щоб пропускати лише сигнали після третього відбиття на верхній скляній поверхні, як показано на рис. 2.3.а, тоді сигнали після другого відбиття можуть досягати фотодетектора, оскільки крапля дощу на поверхні скла викликає збільшення товщини скла, що призводить до зміни шляху світла, як показано на рис. 2.3.б.

Різниця в інтенсивності світла між другим і третім відбиттям становить близько R^2 , що еквівалентно $1,6 \times 10^{-4}$, як показано на рис. 2.3. Таким чином, різниця інтенсивності показує майже дискретний крок і підходить для встановлення порогової точки, щоб визначити, чи падає дощ або ні. У випадку, якщо падаюче світло не є колімованим світлом, різниця інтенсивності між

другим і третім відбиттям близька до дискретного кроку через наявність освітлювального блоку, хоча різниця стає меншою, ніж у випадку колімованого падаючого світла.



а)



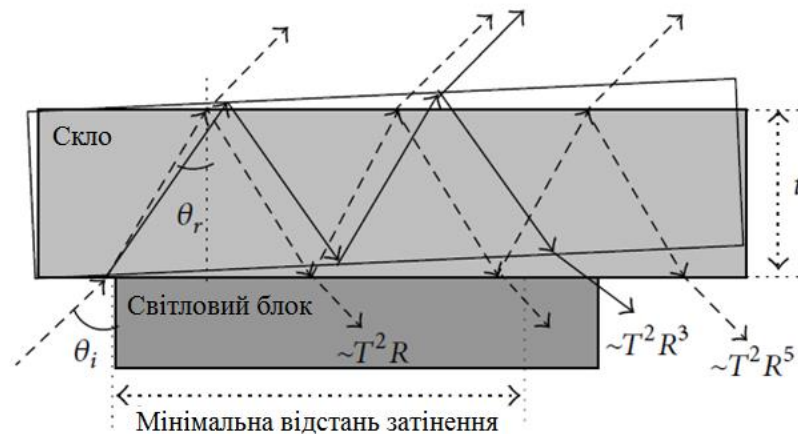
б)

Рисунок 2.3 – Принцип дії сенсора дощу, що використовує відхилене світло:
а – без краплини дощу; б – з краплиною дощу.

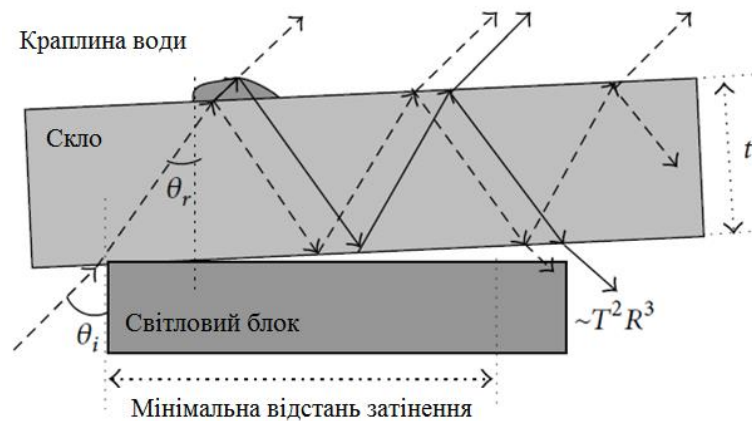
Якщо мінімальна відстань затінення d , на рис. 2.3 наближається до точки лише після другого відбиття, тоді ймовірність виявлення краплі дощу буде максимальною. Однак цей метод є дорогим для реалізації, оскільки він вимагає підтримки високого рівня точності в розмірах сенсора дощу [1].

2.3 Розпізнавання відхиленого світла з нахиленим повітряним зазором.

Замість того, щоб підтримувати високий рівень точності розмірів для точного налаштування мінімальної відстані поділу за допомогою перегородки, що блокує світло, розміщення похилого повітряного зазору між лобовим склом і світловипромінювачем для блокування світла є зручним способом постійного регулювання порогової точки для максимізації чутливості виявлення дощу.



а)



б)

Рисунок 2.4 - Принцип дії сенсора дощу, що використовує відхилене світло із повітряним зазором: а – без краплини дощу; б – з краплиною дощу.

Коли нахилений повітряний зазор відсутній, друге світло, відбите верхньою скляною поверхнею, блокується світлоблокуючим приладом. У цьому стані невеликої краплі дощу буде недостатньо, щоб відхилити шлях

світла вище другого відбитого світла від світловипромінювача, що блокує світло. Коли присутній нахилений повітряний зазор, друге світло, відбите верхньою скляною поверхнею, ледве блокується світлоблокуючим приладом, як показано на рис. 2.4.а. У цьому стані лише невеликої краплі дощу буде достатньо, щоб відхилити шлях світла від випромінювача, що блокує світло, і потрапити в отвір фотодетектора, як показано на рис. 2.4.б.

Регулюючи кут нахилу між скляним хвилеводом і світлоблокуючим приладом, можна безперервно регулювати відхилення світла шляхом регулювання кута нахилу між вітровим склом і світлоблокуючим приладом, що забезпечує високу чутливість. Вплив кута нахилу на ступінь відхилення можна пояснити, як показано на рис. 2.5. У випадку, коли світло падає на нижню поверхню лобового скла під кутом падіння θ_i , тоді це світло буде проходити через нижню поверхню і знову падати на верхню поверхню лобового скла під кутом падіння θ_r . Якщо ми встановимо кут нахилу як θ_t , тоді кут відбиття буде $\theta_r + 2\theta_t$.

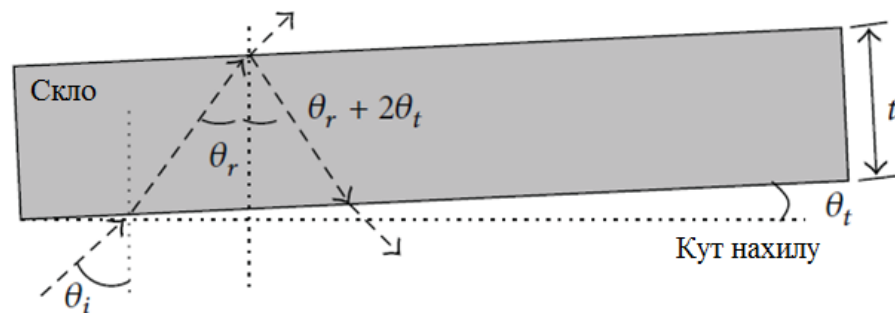


Рисунок 2.5 - Ефект впливу кута нахилу пластини на зміну шляху проходження світлового променя.

Це відхилення зміщує шлях світла як $t \cdot (\tan(\theta_r + 2\theta_t) - \tan(\theta_r))$ у горизонтальному напрямку, якщо ми припускаємо, що кут нахилу є невеликим, зазвичай у межах кількох градусів.

2.4 Квантування інтенсивності дощу.

Важливо визначити інтенсивність дощу, щоб контролювати інтервал спрацьовування склоочисників в автомобілі. Проте відповідь сигналу на

процес розсіювання світла [20] має випадкові стохастичні характеристики; таким чином, його важко налаштувати лінійно залежно від інтенсивності дощу. Таким чином, необхідно квантувати інтенсивність дощу шляхом трансформації процесу розсіювання. Пряме квантування аналогового значення неможливе, оскільки вихід сенсора є цифровим значенням. Таким чином, в сенсорі дощу необхідно використовувати алгоритм, що перетворює цифрове значення інтенсивності дощу в аналогове значення.

Для визначення інтенсивності дощу використовується частота виявлення дощу в заздалегідь визначений інтервал часу. А цифра, яка вказує на ступінь безперервного виявлення дощу, використовується для визначення розміру краплі дощу. Один часовий проміжок, який є заздалегідь визначеним інтервалом часу, ділиться на кілька часових проміжків, і кожен проміжок часу представляє подію виявлення дощу; таким чином, він формує перетворення часу в інтенсивність. За допомогою цього перетворення ймовірність дощу визначається шляхом підрахунку активних часових інтервалів у заздалегідь визначеному інтервалі часу.

Структура одного часового інтервалу, що має кілька часових інтервалів, проілюстрована на рис.2.6. У випадку слабкого дощу лише один часовий інтервал представляє активний інтервал; однак більше слотів буде активним під час дощу. У випадку дрібнодисперсного дощу всі часові інтервали будуть активними. Ми можемо отримати дані щодо інтенсивності дощу та розміру крапель, проаналізувавши шаблон активного часового інтервалу в одному кадрі.

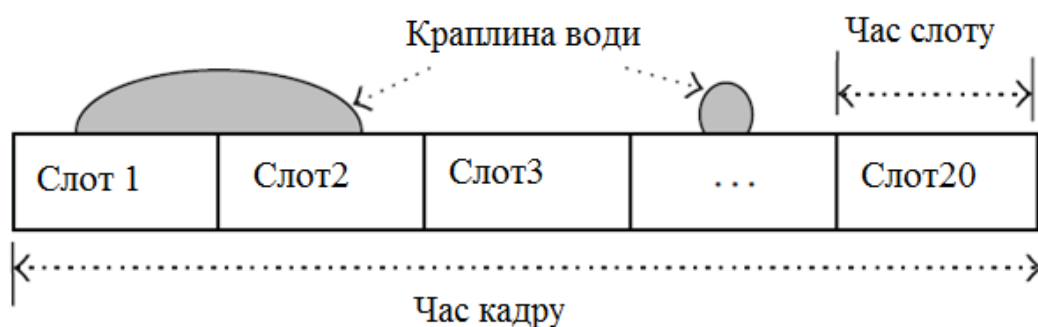


Рисунок 2.6 – Кадрування сигналу.

У перетворенні від часу до інтенсивності ймовірність дощу $P(t)$ за один час кадру оцінюється шляхом поєднання ймовірності розміру краплі дощу та ймовірності тривалості дощу, як показано в (2.2), де N представляє час номеру слота, A_i представляє коефіцієнт зважування розміру краплі дощу, B представляє коефіцієнт зважування для активних часових інтервалів, $S(t)$ представляє безперервний час слоту, а $n_{ts}(t)$ представляє кількість часових інтервалів, що виявляють краплю дощу:

$$P(t) = \sum_{i=1}^N A_i S_i(t) + B \cdot \frac{n_{ts}(t)}{N} \quad (2.2)$$

Таким чином, цей процес перетворення від часу до інтенсивності використовує дані про розмір краплі дощу, A код, і час дощу, B код, щоб визначити інтервал спрацьовування склоочисників. У разі дощу A код надсилає сигнал для активації з високою швидкістю, а B код надсилає сигнал для активації склоочисника. У разі невеликого дощу A код надсилає сигнал для ввімкнення з низькою швидкістю, а B код надсилає сигнал для ввімкнення склоочисника. Хоча лише в умовах туману, B код надсилає сигнал для активації двигуна склоочисника лише тоді, коли виявлено краплю дощу.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Структура сенсора дощу.

Лобове скло автомобіля має структуру багат шарового скла, в яку встановлено тонку плівку полівінілбутиральної смоли як амортизатор. Показник заломлення вищевказаної полімерної плівки знаходиться в діапазоні від 1,6 до 1,8, що близько до показника заломлення скла, а товщина плівки незначна порівняно з товщиною скла. Сенсор дощу було виготовлено із звичайного скла товщиною 6 мм, як показано на рис. 3.1. Кут нахилу скла було відрегульовано таким чином, щоб друге відбиття від верхньої скляної поверхні ледве блокувалося світлоблокуючим приладом. Якщо краплі дощу присутні на верхній скляній поверхні або над нею, тоді новий шлях відхиленого світла створюється шляхом відбиття на поверхні краплі дощу.

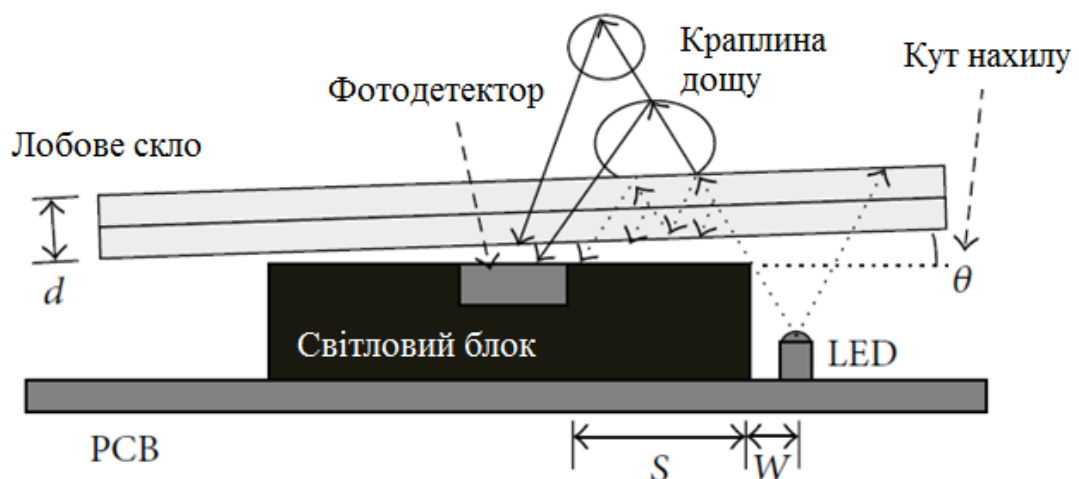
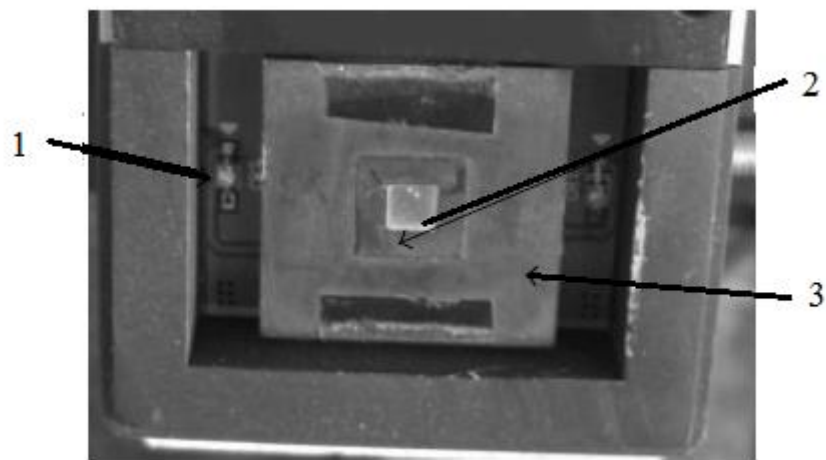


Рисунок 3.1 – Структура запропонованого сенсора дощу.

Це відхилення призводить до зменшення кроку відбиття, що призводить до збільшення оптичної потужності, що надходить до фотодетектора, на порядок вище, ніж у стані без краплі дощу. Відхилений світловий шлях за межами лобового скла є основним джерелом сигналу для активації склоочисника. Фотодетектор сприймає два шляхи сигналу: відбите світло краплями дощу на лобовому склі та розсіяне світло краплями дощу. Оптична потужність, відбита від краплі дощу на лобовому склі, регулюється близько до розсіяної оптичної потужності краплею дощу, яка падає над склом лобового

скла, дотримуючись достатньої відстані S для вирівнювання інтенсивності сигналу крапель дощу. Кут падіння від джерела світла контролюється шляхом регулювання відстані W між світловим блоком і джерелом світла. Світло, що прямо поширюється від джерела світла, є заблоковано світлоблокуючим приладом перед тим, як досягти фотодетектора, як показано на рис. 3.2. Швидкість посилення сигналу для відхиленого та розсіяного світла є обмеженою кількістю розсіяного світла навіть під час розміщення фотодетектора всередині світлоблокуючого елемента.



1 – світлодіод, 2 – фотодіод, 3 – світлоблокуючий елемент.

Рисунок 3.2 – Вигляд експериментального сенсора дощу.

3.2 Обробка сигналів та результати досліджень

Кут випромінювання джерела світла є критичним для виявлення дощу. Широкий кут забезпечує ширшу область виявлення, тоді як вузький кут випромінювання розширює роздільну здатність виявлення в межах обмеженої зони виявлення. Світлодіод із плоским верхнім вікном із кутом половинної потужності 90 градусів був обраний для розширення зони виявлення. Високий періодичний миттєвий струм із коефіцієнтом наповнення 25% силою 60 мА живить світлодіод, щоб запобігти перегріву, оскільки звичайний струм живлення даного світлодіода становить 20 мА. Частота модуляції світла була обрана на рівні 73 кГц, щоб уникнути небажаного ефекту впливу зовнішнього освітлення. Вища частота вигідна для збільшення ймовірності виявлення через

більшу частоту дискретизації, однак, з практичної точки зору, це також збільшує ймовірність коливань через високий коефіцієнт підсилення приймача та складність смугового фільтра схеми приймача. Випромінювання змінного світла використовувалося для відстеження швидких падаючих крапель дощу на широкій території.

Центральну довжину хвилі джерела інфрачервоного світла було обрано 875 нм, що було близько до пікового відгуку кремнієвого фотодіода з використанням $Ga_{1-x}Al_x$, як випромінювача з відповідним складом у потрібному складному напівпровіднику III–V. Крім того, довжина хвилі випромінювання світлодіоду повинна відповідати спектральному діапазону пропускання фотодіода з фільтром денного світла, щоб забезпечити додаткове відхилення від частоти сонячного світла, задля зменшення його впливу на роботу сенсора. Блок-схема передавача показана на рис. 3.3, а виміряна форма хвилі передавача показана на рис. 3.4.

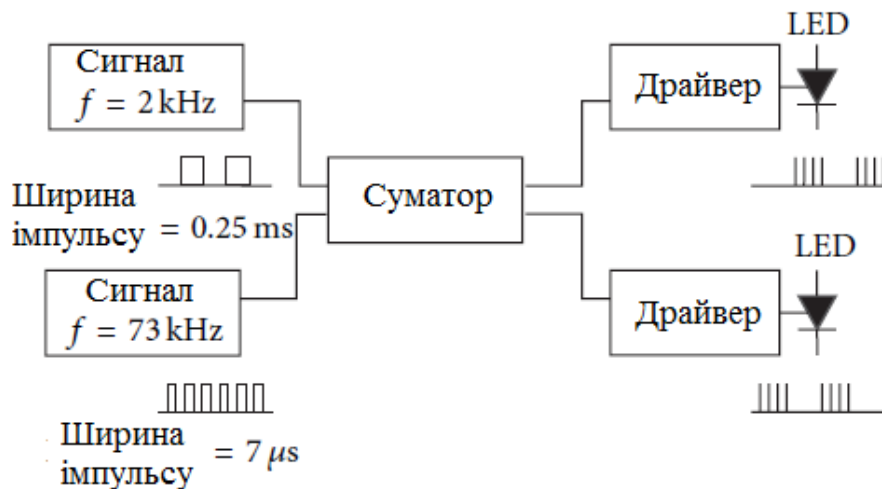


Рисунок 3.3 – Блок-схема передавача.

Фільтр оптичних перешкод був розміщений на вікні фотодетектора оптичного приймача для запобігання небажаній довжини хвилі та електричної демодуляції, задля покращеного співвідношення сигнал/шум. Відновлений відгук було збільшено до рівня сигналу, який можна використовувати для аналого-цифрового перетворення з покращеним відношенням сигнал/шум.

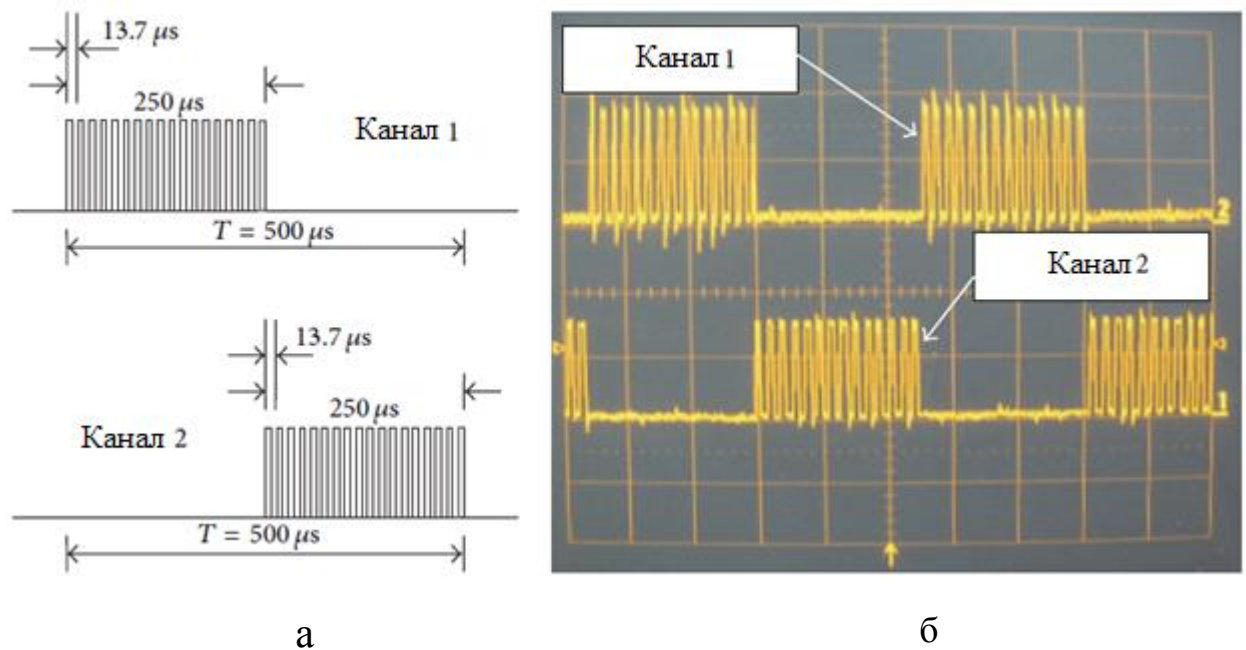


Рисунок 3.4 – Сигнал передавача. а – формат сигналу; б – виміряна осцилограма. $X=0,1$ мс/под, $Y=2$ В/под.

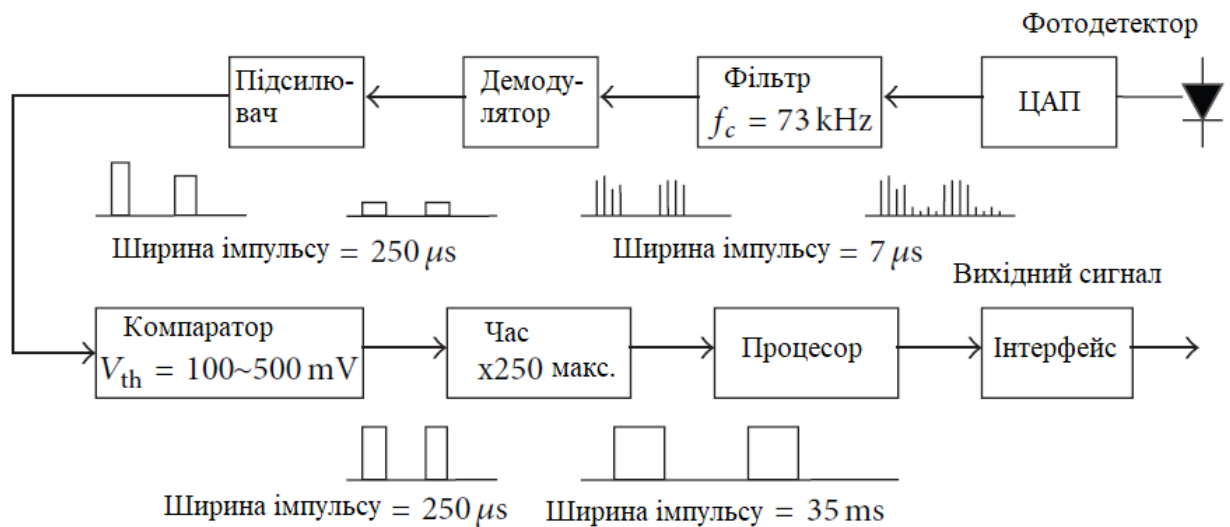


Рисунок 3.5 – Блок-схема приймача.

Блок-схема оптичного приймача показана на рис. 3.5, а виміряна форма хвилі приймача показана на рис. 3.6 та рис.3.7. В автомобілі необхідно мати кілька робочих кроків для коректного моніторингу інтенсивності дощу. Алгоритм виявлення дощу, заснований на процесі перетворення часу в інтенсивність, використовується для отримання даних про дощ, таких як розмір і кількість крапель дощу, а також для точного узгодження вихідних даних сенсора з фактичними умовами дощу.

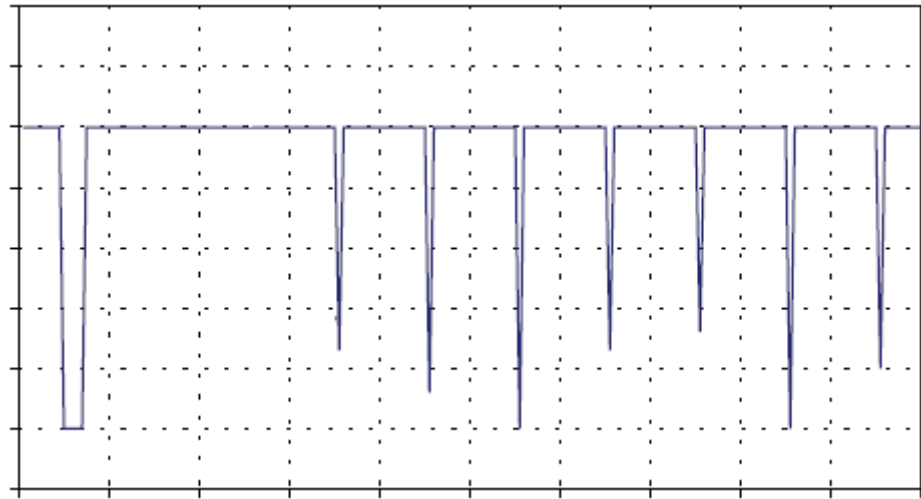


Рисунок 3.6 – Сигнал отриманий із фотоприймача при невеликій кількості води (слабкий дощ). $X = 0,5$ мс/под $Y = 1$ В/под.

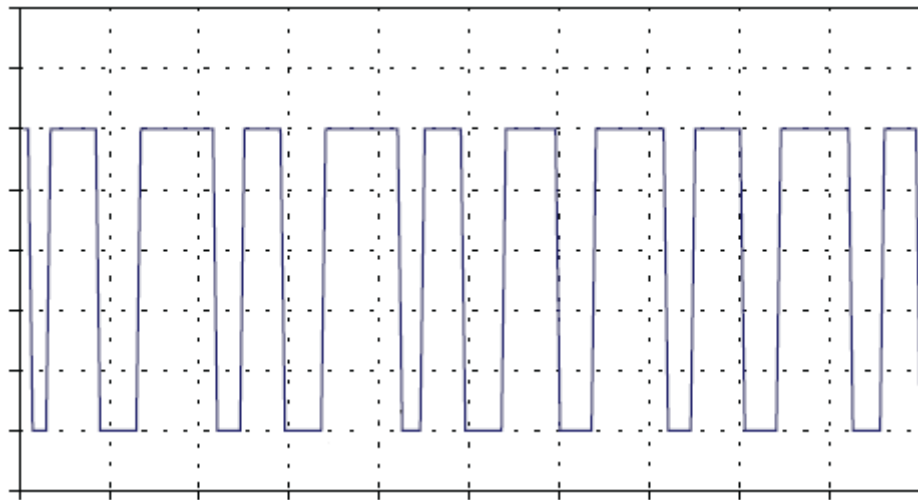


Рисунок 3.7 – Сигнал отриманий із фотоприймача при великій кількості води (сильний дощ). $X = 0,5$ мс/под, $Y = 1$ В/под.

Алгоритм виявлення краплин дощу полягає у виявленні кількості відбитих променів за один кадр переданого сигналу, порівнюючи його із певним пороговим значенням напруги, що можна змінювати (використання тригера) та усереднення цих даних за час проходження трьох кадрів. Сигнал відповідно інвертується та подається на вихід із нашого мікроконтролера. В якості мікроконтролера використовувалась плата Arduino Mega та електронна обв'язка з використанням операційного підсилювача OP01, в якості тригера.

Сенсор дощу було встановлено під склом товщиною 6 мм за допомогою клею та з кутом нахилу близько 6° і цю експериментальну установку використовували для моніторингу максимальної чутливості у вигляді накопичення туману краплин води на поверхні скла. Симуляція дощу відбувалась за рахунок розбризкування води на поверхню над сенсором дощу. Вихідний сигнал сенсора дощу показав достатню чутливість для виявлення туману на скляній поверхні, як показано на рис. 3.6. Показану форму сигналу було змінено після перетворення в цифровий сигнал шляхом застосування порогової напруги.

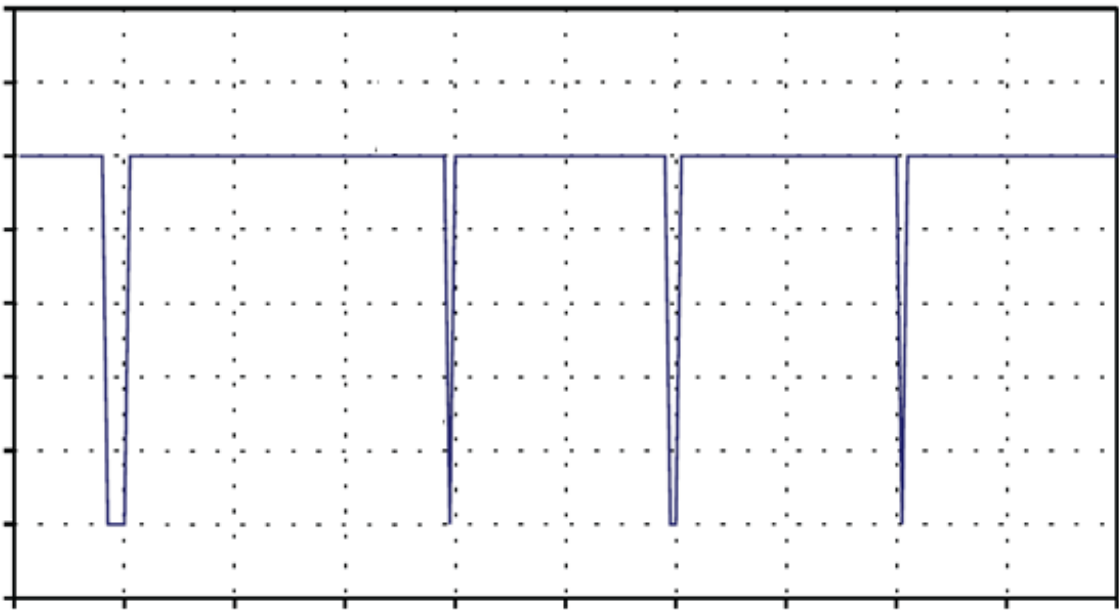


Рисунок 3.8 – Форма отриманого сигналу фотодетектором після перетворення в цифровий сигнал шляхом застосування порогової напруги.

$$X = 0,5 \text{ мс/под}, Y = 1\text{В/под}.$$

Два різних типи розпилювання води використовувалися для імітації умов легкого дощу та умов нормального дощу. Форма сигналу вихідного сигналу сенсора дощу після оцифрування та розширення за часом ($\times 140$) для схеми керування показана на рис. 3.9 та рис. 3.10. Форма сигналу на рис. 3.9 показує реакцію на легкий дощ, а форма сигналу на рис. 3.10 показує реакцію на звичайний дощ.

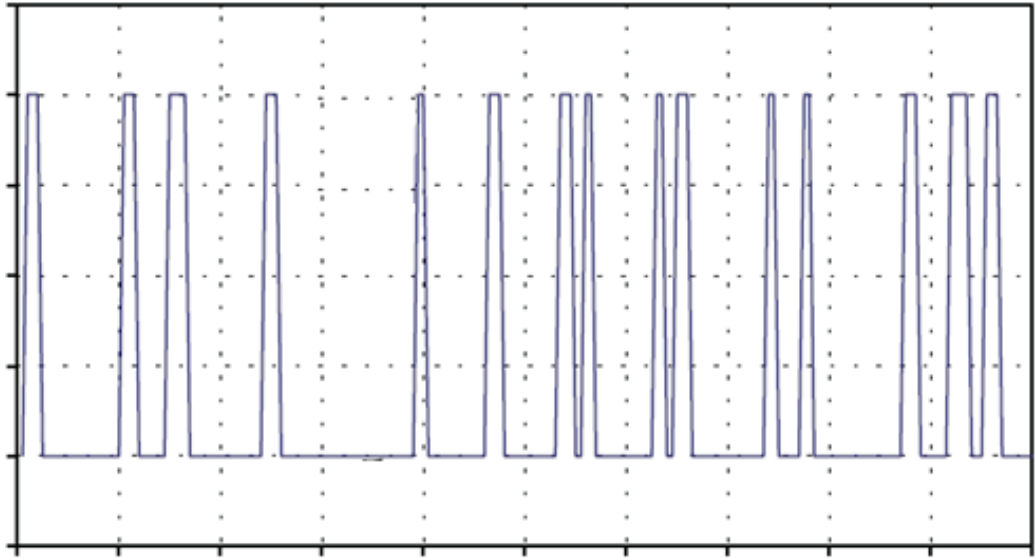


Рисунок 3.9 – Форма вихідного сигналу сенсора для умов слабкого дощу (невелика кількість води). $X = 400$ мс/под, $Y = 1$ В/под.

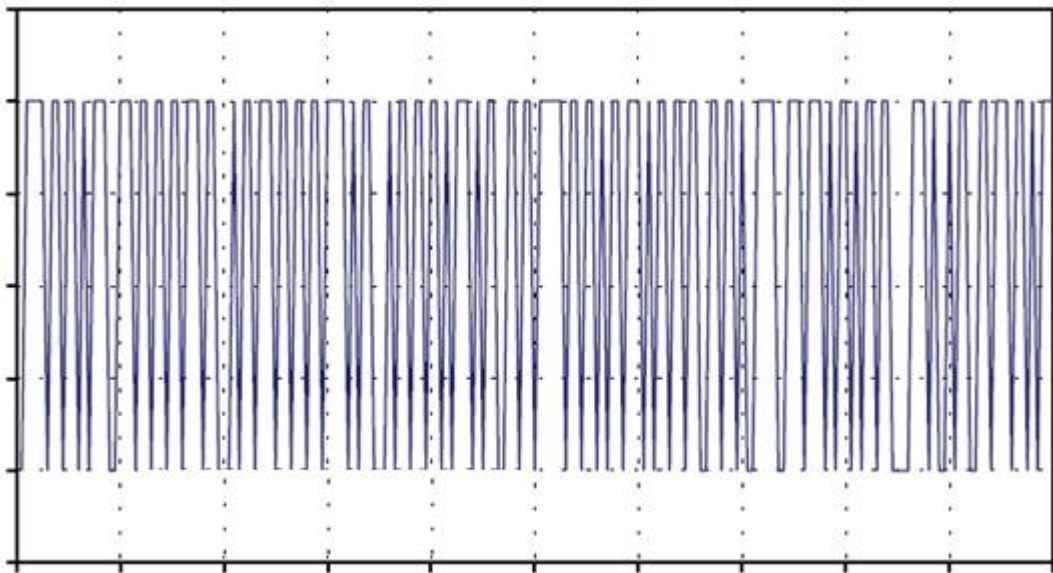


Рисунок 3.10 – Форма вихідного сигналу сенсора для умов сильного дощу (велика кількість води). $X = 400$ мс/под, $Y = 1$ В/под.

Експериментальний результат показав чітку різницю між випадками легкого та звичайного дощу. У випадку, коли використовується функція усереднення для підрахунку часових проміжків дощу, відгук сенсора показав тенденцію до трохи слабшого відгуку, ніж у випадку без усереднення. У запропонованій структурі сенсора дощу кут нахилу сенсора дощу відносно лобового скла є ключовим параметром для визначення чутливості. Також цей

кут можна регулювати в залежності від товщини лобового скла та відстані до лобового скла. Корпус сенсора дощу повинен бути надійно прикріпленим до лобового скла за допомогою клею.

Вся оптична структура сенсора дощу була розташована близько до поверхні скла в межах 0,5 мм зазору всередині корпусу. Кут нахилу в експерименті був встановлений в межах 6 градусів. Однак, якщо ми спробуємо інтегрувати цей сенсор дощу на лобове скло автомобільної зовнішньої лабораторії, необхідно додатково розглянути методологію жорсткого кріплення, щоб уникнути механічного зміщення через вібрацію під час руху. Також необхідна проста процедура калібрування для зазначеної чутливості, щоб відповідати умовам масового виробництва шляхом подальших досліджень.

Оптоелектронний сенсор дощу зі складеним світловим хвилеводом із нахиленим повітряним зазором було досліджено для застосування в автомобільному сенсору дощу. Цей відкритий тип без оптичного колімаційного приладу має перевагу широкого охоплення зондування та простої конструкції, та має підвищену чутливість і лінійність. Запропонований сенсор дощу виявляє відхилений шлях світла краплею дощу на верхній поверхні скла хвилеводу та відбиття розсіяного світла краплею дощу над склом хвилеводу; Таким чином, він заміняє складну хвилеподібну оптику, що використовується в сенсорах дощу. Ширококутова система випромінювання світла від джерела світла розширила охоплення зондування, а нахилений повітряний зазор між світлоблокуючим приладом і складеним скляним хвилеводом зіграли важливу роль не тільки в підвищенні чутливості, але й у підвищенні лінійності проти інтенсивності дощу. Зона чутливості сенсора дощу охоплює прилеглу область, що з'єднує джерело світла та фотодетектор, що можна порівняти з хвильовим оптичним сенсором, який має чутливість лише в лінії, що з'єднує джерело світла та фотодетектор.

Адекватне співвідношення сигнал/шум підтримувалося за допомогою фільтра оптичних перешкод, що присутнє в фотодетекторі і модуляції

електричного сигналу, щоб мати можливість придушення шуму, зберігаючи при цьому великий коефіцієнт підсилення сигналу. Алгоритм виявлення, заснований на процесі перетворення часу в інтенсивність, використовувався для перетворення інтенсивності дощу в лічильний процес дощу за допомогою слотів визначення поділу часу.

Сенсор дощу, встановлений на лабораторному пристосуванні, показав високу чутливість для визначення скупчення туману та дощу на поверхні лобового скла. Проте природний дощ є випадковим; таким чином, результат тесту поза лабораторією може відрізнятись від отриманого результату. У цьому випадку для оптимізації буде корисним тривалий експеримент у зовнішньому дощовому середовищі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз технологічного процесу дослідження електричних сигналів

Небезпечна подія «ураження електричним струмом» при дослідженні електричних сигналів із сенсора може виникнути у таких випадках:

1. Безпосереднього дотику до відкритих струмоведучих частин і проводам.
2. Дотику до металевих частин устаткування, що випадково опинились під напругою.
3. Відсутність або пошкодження захисного заземлення.

Аналізуючи процес одержання травм при процесі дослідження електричних сигналів та тестування виконавчих механізмів, використовуємо метод логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф, що має на меті розробити досконалу систему управління охороною праці при проведенні досліджень та лабораторних робіт.

Даний метод дає можливість шляхом побудови «дерева» відказів і помилок робітника ввести математичну обробку моделі з метою одержання ймовірності виникнення таких випадкових подій як аварія та травма [21].

4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час зняття осцилограм

Після визначення відповідних травмонебезпечних та аварійних ситуацій та їхньої кількості, також визначаємо види інших подій, що належать до кожної такої ситуації, логічним аналізом із використанням операторів «І» та «АБО». Процес побудови логіко-імітаційної моделі процесу формування та виникнення аварій та травматизму під час проведення діагностики триває до тих пір, поки не буде знайдено всі події, що утворюють межу моделі [22].

Ймовірність базових подій визначаємо згідно даних виробництва.

Після обчислення ймовірностей усіх подій, що розташовані в ромбах і базової події, починаючи з лівого нижнього кута «дерева», позначаємо за допомогою номерів усі випадкові події логіко-імітаційної моделі.

На цьому вважаємо, що дана модель готова до математичної обробки. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій застосовуємо формули [23].

Нехай маємо дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 , котрі за допомогою оператора «І» утворюють слідувачу подію. Тоді ймовірність утворення такої події P_3 можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2 \quad (4.1)$$

За допомогою оператора «І» три події з ймовірностями P_1, P_2, P_3 формують випадкову четверту подію. Тоді ймовірність цієї події обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (4.2)$$

Якщо за допомогою оператора «І» об'єднується n подій з ймовірностями $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$, тоді ймовірність, що складається з n подій буде дорівнювати:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n \quad (4.3)$$

Дві базові події з ймовірностями P_1 і P_2 за допомогою оператора «АБО» входять до третьої події. Тоді така ймовірність P_3 буде дорівнювати:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2 \quad (4.4)$$

Якщо за допомогою оператора «АБО» об'єднуються три базові події з ймовірностями P_1, P_2 і P_3 , які за допомогою цього оператору входять у наступну подію з ймовірністю P_4 , таку ймовірність цієї події визначаємо за формулою:

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \quad (4.5)$$

Так, поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Для проведення обчислень ймовірності травм використаємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис.4.1).

Ймовірність події 3:

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2. \quad (4.6)$$

Умовно приймаємо, що ймовірність базових подій $P_1 = 0,4$, а $P_2 = 0,6$.

Підставивши дані наших ймовірностей базових подій, одержимо:

$$P_3 = 0,4 + 0,6 - 0,4 \cdot 0,6 = 0,76.$$

Слід зауважити, що обчислення ймовірностей випадкових подій проводяться відповідно до положень булевої алгебри.

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_6 = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5; \quad (4.7)$$

$$P_6 = 0,4 + 0,6 - 0,4 \cdot 0,6 = 0,76;$$

$$P_7 = P_3 + P_6 - P_3 \cdot P_6; \quad (4.8)$$

$$P_7 = 0,76 + 0,76 - 0,76 \cdot 0,76 = 0,94;$$

$$P_{10} = P_8 + P_9 - P_8 \cdot P_9; \quad (4.9)$$

$$P_{10} = 0,4 + 0,6 - 0,4 \cdot 0,6 = 0,76;$$

$$P_{13} = P_{11} + P_{12} - P_{11} \cdot P_{12}; \quad (4.10)$$

$$P_{13} = 0,4 + 0,5 - 0,4 \cdot 0,5 = 0,7;$$

$$P_{14} = P_{10} + P_{13} - P_{10} \cdot P_{13}; \quad (4.11)$$

$$P_{14} = 0,76 + 0,7 - 0,76 \cdot 0,7 = 0,93;$$

$$P_{15} = 0,3;$$

$$P_{16} = P_7 + P_{14} - P_7 \cdot P_{14}; \quad (4.12)$$

$$P_{16} = 0,94 + 0,93 - 0,94 \cdot 0,93 = 0,99;$$

$$P_{17} = P_{16} \cdot P_{15}; \quad (4.13)$$

$$P_{17} = 0,99 \cdot 0,3 = 0,297.$$

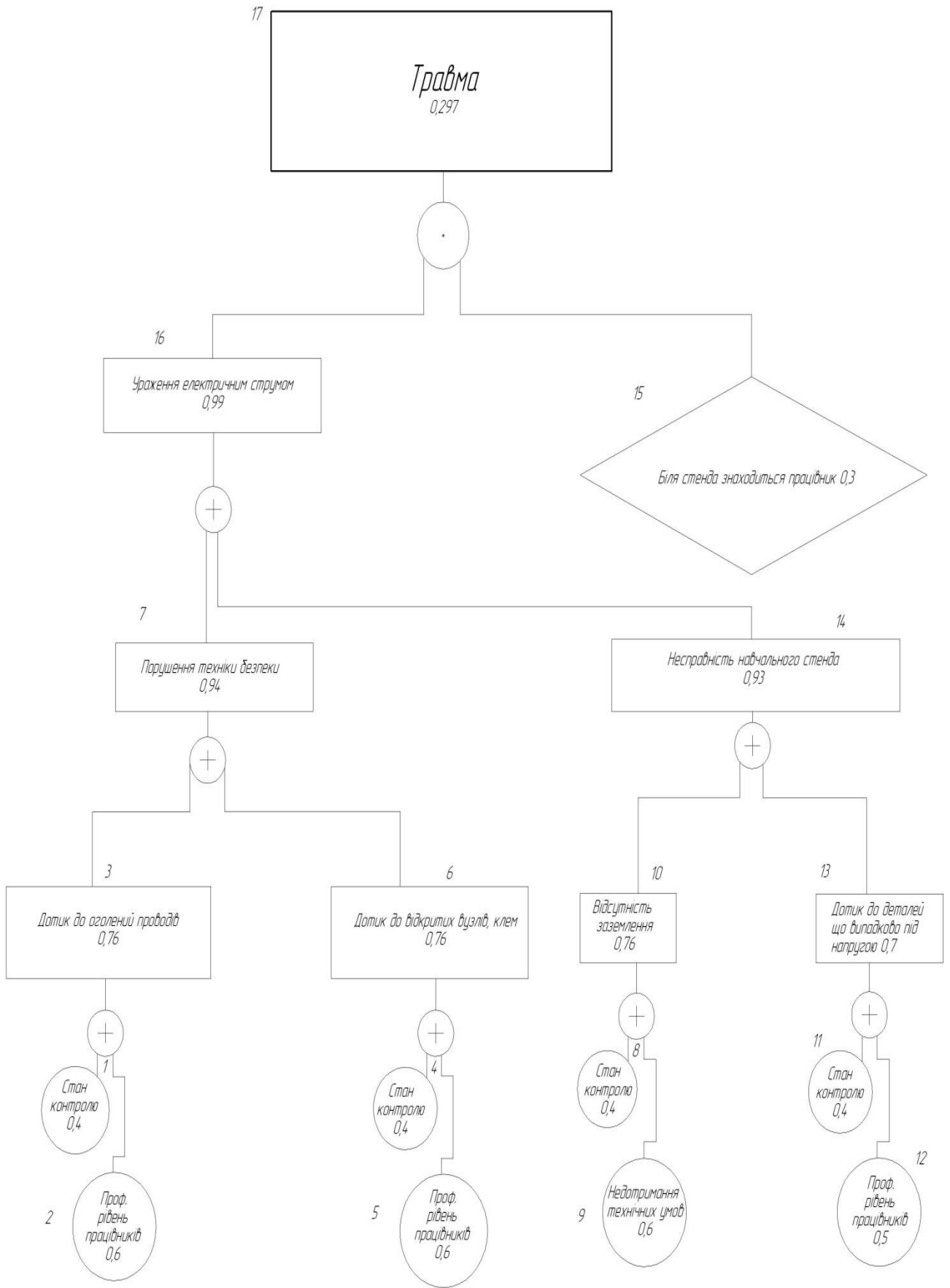


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травми при роботі з навчальним стендом

4.3 Заходи щодо зниження аварійності та травматизму під час проведення досліджень.

Із розрахунків видно, що на 100 таких травмонебезпечних місць припадає 0,297 травми. Що є досить низьким показником травмонебезпечності.

Для того, щоб зменшити ймовірність виникнення травм та аварій під час даного технологічного процесу, потрібно:

- технічним рішенням, що виключають можливість включення людей у ланцюг струму між однією фазою й землею, способом, при якому струмоведучі частини, що нормально перебувають під напругою, недоступні для випадкового дотику. Це забезпечується надійною ізоляцією, огороженням, розташуванням їх на недоступній висоті або під землею, блокуваннями й іншими способами;

- перевіряти справність та наявність заземлення металевих частин лабораторного стенду;

- обладнати розетки пристроями автоматичного відключення, що забезпечують у разі зміни величини струму відносно нуля і фази відключення лабораторного устаткування;

- застосовувати в лабораторному електроустаткуванні безпечної напруги величиною до 24В, що виключає небезпеку ураження електричним струмом;

- правильному вибору виробничого середовища. Лабораторія повинна бути захищена від дії високої вологості, опалюватись та містити діелектричну підлогу;

- на приладах, які мають рухомі елементи слід розмістити захисні кожухи, задля унеможливлення дотику до них.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Ціну проектування та виготовлення сенсора дощу можна визначити по формулі:

$$C = Z_{од} + B_c + E_c + B_{рем} + B_{вд} + B_{ину} + A_{обу} + B_n + B_{експ}, \quad (5.1)$$

де $Z_{од}$ – основна та додаткова заробітна плата, грн.;

B_c – нарахування у фонд соціального страхування та інші типи фондів (приймається на рівні 38% від $Z_{од}$);

E_c – затрати на енергію;

$B_{рем}$ – затрати стосовно ремонту та обслуговування обладнання;

$B_{вд}$ – витрати на додаткові матеріали;

$B_{ину}$ – витрати на експлуатацію ріжучих інструментів;

$A_{обу}$ – амортизаційні відрахування;

B_n – витрати на утримання приміщення;

$B_{експ}$ – експлуатаційні витрати.

Розрахунок затрат по кожній статті проводиться таким чином [24].

Заробітна плата (як основна, так і додаткова) виробничого персоналу розраховується за формулою:

$$Z_{од} = l_r \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha) \cdot (1 + 0,01 \cdot \beta), \quad (6.2)$$

де: l_r – тарифна годинна ставка працівника, $l_r = 100$ грн./год;

$t_{ум}$ – час виготовлення деталі на i -тій операції;

α, β – додаткова зарплата за відпрацьований час, ($\alpha=12\%, \beta=8\%$);

$$Z_{од} = 100 \cdot \frac{120}{60} \cdot (1 + 0,01 \cdot 12) \cdot (1 + 0,01 \cdot 8) = 241,92 \text{ грн};$$

$$B_c = 0,38 \cdot Z_{од} = 0,38 \cdot 120,96 = 91,9296 \text{ грн};$$

Витрати на по використанню електричної енергії:

$$E_c = \frac{N_g \cdot K_{oi} \cdot K_N \cdot K_{\eta}}{\eta_d \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot C_e \quad (6.3)$$

де N_6 – потужність електроприладів, що використовуються під час виготовлення сенсорів, кВт;

$$N^B = N^H = 0,1 \text{ кВт};$$

$K_{oi} = 0,6 \dots 0,7$ – коефіцієнт одночасності використання електроприладів;

$K_N = 0,7 \dots 0,85$ – коефіцієнт, що враховує завантаженість електроприладів по потужності;

$K_{\tau} = 0,5 \dots 0,7$ – коефіцієнт, що враховує завантаженість електроприладів по часу;

$$\eta_0 = 0,86 \dots 0,9 \text{ – ККД електроприладів};$$

$\eta_m = 0,92 \dots 0,96$ – коефіцієнт, що враховує втрати електропостачання в електричній мережі;

$$C_e = 4,3 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} \text{ – ціна електроенергії};$$

$$E_c = \frac{0,5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,6}{0,9 \cdot 0,92} \cdot \frac{120}{60} \cdot 4,3 = 1,53 \text{ (грн)};$$

Витрати, що стосуються ремонту обладнання визначаються так:

$$B_{рем} = \frac{W \cdot R \cdot K_e \cdot t_{ум}}{T_{рм} \cdot 60} \quad (6.4)$$

де W – витрати на ремонт і обслуговування, що припадають на одиницю складності приладу (приймаються в залежності від складності приладу);

$$R \text{ – категорія ремонтної складності обладнання; } R = 114;$$

$K_e = 1,3$ – коефіцієнт, що показує кількість додаткових витрат на ремонт приладу;

$T_{рм}$ – тривалість життєвого циклу приладу між ремонтами, год.:

$$T_{рм} = A \cdot \beta_m \cdot \beta_{mv} \cdot \beta_n \cdot \beta_6;$$

де A – нормативна тривалість циклу між ремонтами ($A = 2000$ годин для паяльної станції);

$$\beta_m = 0,85 \text{ – для паяльної станції};$$

$$\beta_{mv} = 1,5 \text{ – для одиничного виробництва};$$

$\beta_n = 1$ – для нагрівача печатних плат;

$\beta_g = 1$ – для вловлювача шкідливих парів.

$$T_{pm} = 2000 \cdot 0,85 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 = 2550 \text{ год.}$$

Витрати на ремонт визначаємо по формулі:

$$B_{pm} = \frac{900 \cdot 114 \cdot 1,3 \cdot 120}{2550 \cdot 60} = 104,62 \text{ грн};$$

Витрати на допоміжні матеріали розраховуємо по формулі:

$$B_{md} = \frac{M_{zd} \cdot t_{um}}{60} \cdot K_T \quad (6.5)$$

де $M_{zd} = 10,75$ – годинні витрати на додаткові матеріали та на одиницю складності ремонтної частини всіх типів приладів, грн;

K_T – коефіцієнт, що враховує тип виробництва ($K_T = 0,9$ – для одиничного виробництва).

$$B_{md} = \frac{10,75 \cdot 120}{60} \cdot 0,9 = 19,35 \text{ (грн)};$$

Затрати на експлуатацію різноманітних витратних матеріалів (припій, флюс, очищувач печатних плат) розраховуємо за формулою:

$$B_{inu} = \frac{(B_n + B_{nep}) \cdot \gamma \cdot t_{um}}{t_e} \cdot K_g \quad (6.6)$$

$B_n = 120$ грн – початкова ціна припою;

$B_{nep} = 50$ грн – ціна змивки для печатних плат;

$t_e = 600$ хв – економічна стійкість інструменту;

$K_g = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність вибуття інструменту;

$\gamma = 0,7$ – коефіцієнт часу використання витратних матеріалів під час

роботи.

$$B_{inu} = \frac{(120 + 50) \cdot 0,7 \cdot 120}{600} \cdot 0,8 = 19,04 \text{ (грн)};$$

Витрати на експлуатацію різноманітних пристосувань складають:

$$B_{np} = \frac{(0,6 \dots 0,7) \cdot C_{np} \cdot t_{um}}{F_{drp} \cdot 60 \cdot \eta_i} \quad (6.7)$$

де $C_{np} = 5500$ грн – початкова вартість пристосувань;

$\eta_i = 0,95$ – коефіцієнт, що враховує завантаженість обладнання на конкретній операції.

$$B_{нру} = \frac{0,6 \cdot 5500 \cdot 120}{3809 \cdot 60 \cdot 0,95} = 1,82(\text{грн});$$

Амортизаційні відрахування на різноманітне обладнання визначають за формулою:

$$A_{обу} = \frac{B_{бал} \cdot 2,5 \cdot H_{ам} \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зав}} \quad (6.8)$$

де $B_{бал}$ – балансова вартість обладнання, $B_{бал} = 18462$ грн;

$H_{ам} = 15\%$ – відсоток амортизаційних відрахувань;

$\eta_{зав} = 0,9$ – нормативний коефіцієнт використання обладнання для даного виду виробництва.

$$A_{обу} = \frac{18462 \cdot 2,5 \cdot 15 \cdot 120}{3809 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,9} = 4,03(\text{грн});$$

Витрати, які стосуються експлуатації приміщення, розраховуємо визначаємо за формулою:

$$B_n = \frac{S_{од} \cdot K_F \cdot B_{нл} \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot \eta_{зав}} \quad (6.9)$$

де $S_{од}$ – виробнича площа, яка припадає на робоче місце, $S_{од} = 2,97$ кв.м;

$K_F = 3,5$ – коефіцієнт, що враховує необхідну виробничу площу;

$B_{нл} = 1500$ грн – річні витрати, які пов'язані з використанням 1 м^2 виробничих приміщень.

$$B_n = \frac{2,97 \cdot 3,5 \cdot 1500 \cdot 120}{3809 \cdot 60 \cdot 0,9} = 9,10(\text{грн});$$

Собівартість виготовлення сенсора дощу:

$$C = 241,92 + 91,93 + 1,53 + 104,62 + 19,04 + 1,82 + 4,03 + 9,1 = \\ = 493,52 \text{ грн.}$$

Хоча на даний момент часу ми ще не врахували усіх затрат, що стосуються виготовлення нашого сенсора.

Сюди враховуємо таку елементну базу:

- Світлодіоди, 2шт – 75 грн;

- Фотодіод – 45 грн;
- Печатна плата – 20 грн;
- Мікропроцесор – 145 грн;
- Операційний підсилювач OP07, 2 шт – 108 грн;
- Резистори та конденсатори в корпусі 0805 – 10 грн;
- Стабілізатор напруги – 20 грн.

Отримані дані розрахунків зводимо в таблицю 6.1.

Таблиця 5.1 – Статті витрат та ціни виготовлення сенсора дощу

Статті витрат	Ціна, грн
Заробітна плата	241,92
Відрахування до соцстраху та інш.ф.	91,93
Електрична енергія	1,53
Ремонт	104,62
Допоміжні матеріали	19,04
Витрати на експлуатацію пристосувань	1,82
Амортизаційні відрахування	4,03
Експлуатація приміщення	9,1
Світлодіоди, 2шт	75
Фотодіод	45
Печатна плата	20
Мікропроцесор	145
Операційний підсилювач OP07, 2 шт	108
Резистори та конденсатори в корпусі 0805	10
Стабілізатор напруги	20
Всього	896,99

Беручи до уваги отримані дані в табл. 6.1, можемо визначити ціну нашого сенсора дощу, що становить 896,99 грн.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз різних типів автомобільних сенсорів дощу при чому вказані їх переваги та недоліки. Детально розглянуто принцип роботи резистивного, ємнісного та оптичного сенсорів виявлення дощу.

2. Розглянуто теоретичні дослідження сенсора дощу оптоелектронного типу із використанням відхиленого світла із прямим та похиленим повітряним зазором. Згідно цих досліджень обрано за прототип оптоелектронний сенсор із похилою площиною.

3. Обґрунтовано вибір світлодіоду та тип сигналу його сигналу. Розроблено макет сенсора дощу із похилою площиною, кут якої становить 6° . Розроблено алгоритм обробки сигналу, який надходить на фотодіод.

4. Проведено дослідження осцилограм сигналів безпосередньо на передавачі та приймачі як без обробки так і після цифрової обробки сигналу при різній кількості краплин води на сенсорі. Сенсор дощу, встановлений на лабораторному пристосуванні, показав високу чутливість для визначення скупчення туману та дощу на поверхні лобового скла. Проте природний дощ є випадковим; таким чином, результат тесту поза лабораторією може відрізнятися від отриманого результату. У цьому випадку для оптимізації буде корисним тривалий експеримент у зовнішньому дощовому середовищі.

5. Наведено інструкції стосовно техніки безпеки при дослідженні електричних сигналів із сенсора дощу.

6. Пораховано вартість виробництва сенсора дощу з нахиленим повітряним зазором. Ціна виготовлення сенсора із врахуванням елементної бази та процесу виготовлення становить 896,99 грн за одиницю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bosch. Automotive Mechatronics. Automotive Networking, Driving Stability Systems, Electronics. Springer Vieweg, 2015. 538 pp.
2. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. / Львів: Видавництво НУЛП, 2006. 440 с.
3. Kobayashi K., Kato M., Fujisawa K., Nagamine Y., Nakajima F. Rain sensor in an automatic wiper drive control, US Patent 4,584,508, 1986.
4. Trono E.M., Guico M.L., Libatique N.J. Rainfall monitoring using acoustic sensors / Proceedings of the IEEE Region 10 Conference: Sustainable Development Through Humanitarian Technology (TENCON '12). Cebu, Philippine. 2012.
5. Schroder H.J. Rain Sensor, US Patent 5,659,594, 1997.
6. Joshi M., Jogalekar K., Sonawane D., Sagare V., Joshi M. A novel and cost effective resistive rain sensor for automatic wiper control: Circuit modelling and implementation / Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Sensing Technology (ICST '13). Wellington, New Zealand. 2013. pp. 40-45.
7. Hochstein P.A. Capacitive rain sensor for windshield, US Patent 6,094,981, 2000.
8. Taoka T. Rain sensor, US Patent 8,362,453B2, 2013.
9. Hochstein P.A. Stereo imaging rain sensor, US Patent 6,596,978B2, 2003.
10. Booth J. Weather and radar interactions / Proceedings of the IEEE Aerospace Conference. Big Sky, Mont, USA. 2005. pp. 1202–1212.
11. Schmid B. Rain sensor with bonded chips, US Patent 6,526,820B1, 2003.
12. Tanaka S. Transparent substrate having rain sensor, US Patent 5,991,049, 1999.
13. Sautter H. Rain sensor with light-conducting body for amotor, US Patent 6,810,729B2, 2004.

14. Halderman J.D. Automotive technology. Boston: Prentice Hall, 2011. Electronic Book.
15. Мазепа С.С., Куцик А.С. Електрообладнання автомобіля. / Львів: Видавництво НУЛП, 2004. 168 с.
16. Han S.Y. Rain sensor, US Patent 8,471,513B2, 2013.
17. Teder R.S. Multi-mode rain sensor, US Patent 7,847,255B2, 2010.
18. Reif K. Fundamentals of Automotive and Engine Technology: Standard Drives, Hybrid Drives, Brakes, Safety Systems. Springer, 2014. 277 pp.
19. Mishchenko M.I. Electromagnetic Scattering by Particles and Particle Groups: An Introduction. Cambridge University Press, 2014. 472 pp.
20. Mishchenko M., Hovenier J., Travis L. Light Scattering by Nonspherical Particles: Theory, Measurements, and Applications. Elsevier, 1999. 690 pp.
21. Гряник Г.М. Охорона праці. / Київ: Урожай, 1994. 272 с.
22. Панкратов О.М., Міляєв О.К. Безпека життєдіяльності людини у надзвичайних ситуаціях. / Київ: КНЕУ, 2005. 237 с.
23. Жидецький В.Н., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. / Львів: Афіша, 2001. 349 с.
24. Шегда А.В. Економіка підприємства: Навч. посібник. / Київ: Знання, 2005. 431 с.