СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет ___інформаційних технологій та електроніки_____

Кафедра _____інформаційних технологій та програмування_____

# Пояснювальна записка

до магістерської дипломної роботи

_____магістр_____
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: __ Автомобільна система старт-стоп з урахуванням стану акумуляторної батареї та умов руху _____

Виконав: студент 2 курсу, групи_ЕЛ-24дм_
_____171 «Електроніка»_____
(шифр і назва спеціальності)
_____Швець О.І._____
(прізвище та ініціали)
Керівник __Зінченко В.Л._____
(прізвище та ініціали)
Рецензент_Меняйленко О.С._____
(прізвище та ініціали)

Київ – 2025 року

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет ___інформаційних технологій та електроніки_____
Кафедра _____інформаційних технологій та програмування_____
Освітньо-кваліфікаційний рівень __магістр_____
Спеціальність ____171 «Електроніка»_____
(шифр і назва спеціальності)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІТП
_____ д.т.н., проф.Захожай О.І.
(підпис)
« ___ » _____2025 р.

# ЗАВДАННЯ

на магістерську дипломну роботу студенту
_____ Швець_Олександр Ігорович_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи: _Автомобільна система старт-стоп з урахуванням стану акумуляторної батареї та умов руху
керівник роботи __доц., Зінченко Володимир Леонідович,_____
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ім'я, по батькові)
затверджені наказом університету від «_28_»_11_ 2025року №_241/17.03_
2. Строк подання студентом роботи: 18 грудня 2025 р._____
3. Вихідні дані до роботи: _Матеріали науково-дослідної практики, науково-методична література, дані інтернет-мережі_____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Вступ
4.2 Аналітичний огляд питання (огляд публічних джерел інформації)
4.3 Основна частина, в якої висвітлити методи, які будуть використовуватися для реалізації проекту.
4.4 Практична частина – огляд технологій, які використовуються під час реалізації проекту.
4.4 Висновки
4.5 Перелік використаних джерел

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | Завдання видав | Завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання __05.11. 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1. | Одержання завдання на виконання роботи | 05.11.2025 | виконано |
| 2. | Укладання і погодження з керівником плану і етапів виконання роботи | 08.11.2025 | виконано |
| 3. | Узагальнення даних літературних джерел | 12.11.2025 | виконано |
| 4. | Аналіз шляхів виконання завдання. Вибір і погодження з керівником оптимального шляху виконання завдання | 18.11.2025 | виконано |
| 5. | Аналіз технічних засобів та існуючих систем | 22.11.2025 | виконано |
| 6. | Реалізація практичної частини завдання | 07.12.2025 | виконано |
| 7. | Укладання, оформлення та погодження пояснювальної записки з керівником | 17.12.2025 | виконано |
| 8. | Надання пояснювальної записки на кафедру | 18.12.2025 | виконано |
| 9. | Підготовка доповіді та презентації | 22.12.2025 | виконано |

Студент _____ Швець О.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Зінченко В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: сторінок 56, рисунків 9,таблиць 6.

**Тема наукової роботи**: Робота системи старт-стоп з урахуванням стану АКБ та умов руху

**Об'экт дослідження:** система автоматичного вимикання та запуску ДВС.

**Мета роботи:** підвищити ефективність системи старт-стоп шляхом зменшення зносу АКБ і стартера.

**Що потрібно зробити в процесі роботи:** провести аналіз принципу роботи штатної системи Start-Stop, визначити її недоліки та розробити рішення.

**В результаті роботи**: розроблено удосконалений алгоритм керування системою Start-Stop, що забезпечує кращу роботи АКБ, без переходу в зону недозаряду.

**ЗМІСТ**

Вступ ..... 7

1. Аналітичний огляд роботи системи start-stop ..... 8

1.1 Призначення та загальний принцип роботи системи Start-Stop 8

1.2. Акумуляторні батареї у системі Start-Stop та особливості їх роботи при частих циклах запуску ..... 9

1.3. Архітектура та програмна реалізація системи Start-Stop у сучасному автомобілі ..... 13

1.4 Вплив умов руху на роботу системи Start-Stop та стан акумуляторної батареї ..... 17

2. Розробка удосконаленого алгоритму керування ..... 24

2.1 Загальна концепція удосконаленого алгоритму керування системою Start–Stop ..... 24

2.2 Математична модель удосконаленого алгоритму керування системою Start–Stop ..... 26

2.3. Режими роботи удосконаленого алгоритму керування системою ..... 29

2.4. Принципова схема системи Start-Stop та опис роботи вузлів ..... 36

3. Розрахункове моделювання роботи удосконаленого алгоритму start–stop у типових умовах руху та порівняльний аналіз стандартного та вдосконаленого алгоритмів ..... 40

3.1. Вихідні дані та загальні моделі для моделювання ..... 40

3.2. Моделювання руху в місті ..... 42

3.3. Моделювання руху в заторі ..... 43

3.4. Аналіз результатів моделювання та порівняння алгоритмів керування Start-Stop ..... 46

Висновки ..... 52

Список використаних джерел ..... 54

Додатки ..... 55

# ВСТУП

У сучасних умовах міського руху автомобіль значну частину часу проводить у короткочасних зупинках - на світлофорах, у заторах, під час повільного трафіку. При цьому двигун працює на холостому ходу, витрачаючи паливо та створюючи додаткові викиди без реальної потреби. Щоб зменшити ці втрати, виробники впроваджують системи Start-Stop, які вимикають двигун під час зупинки і повторно запускають його в момент відновлення руху.

Попри свою ефективність, традиційні алгоритми Start-Stop мають низку обмежень. Робота системи без урахування реального стану акумуляторної батареї та характеру руху призводить до прискореного зносу АКБ та стартера, особливо в умовах коротких поїздок. У таких режимах акумулятор не встигає повністю відновити заряд після чергового запуску двигуна, що з часом впливає на його ресурс. Додатково часте вимикання двигуна може створювати дискомфорт у салоні через паузи у роботі кондиціонування або клімат-контролю.

Стандартні алгоритми Start-Stop зазвичай опираються на фіксовані пороги та загальні умови. Вони не враховують інтенсивність руху, кількість зупинок, тривалість поїздки чи реальну динаміку заряду АКБ. У результаті система або занадто часто активується, збільшуючи навантаження на акумулятор і стартер, або навпаки - вимикається надто рано, втрачаючи свою користь.

Тому виникає потреба в удосконаленні принципів роботи системи Start-Stop таким чином, щоб вона адаптувалась до стану АКБ та реальних умов руху. Це дозволить зменшити механічне і електричне навантаження, підвищити ресурс акумулятора та стартера і водночас зберегти економічні та екологічні переваги системи.

Актуальність, теоретична та практична значущість проблеми, що вивчається, зумовили вибір теми дипломної роботи.

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОБОТИ СИСТЕМИ START-STOP

## 1.1 Призначення та загальний принцип роботи системи Start-Stop

Система Start-Stop була розроблена як спосіб зменшити витрати палива та кількість шкідливих викидів у міському русі, де автомобіль часто стоїть без руху. У таких режимах двигун продовжує працювати на холостому ходу, спалюючи паливо без будь-якої користі. Саме тому виникла ідея автоматично вимикати двигун у моменти зупинки та повторно запускати його тоді, коли водій починає рух.

У більшості сучасних автомобілів рішення про вимкнення двигуна приймає блок керування двигуном - ECU. Він аналізує цілий набір параметрів, серед яких:

- швидкість автомобіля (отримується від ABS через CAN-шину);
- положення педалі гальма або зчеплення;
- температура двигуна;
- положення коробки передач;
- сигнали від допоміжних систем.

Коли автомобіль зупиняється і водій утримує педаль гальма (або вижимає зчеплення - для механічних коробок), ECU перевіряє, чи можна безпечно вимкнути двигун. Якщо всі умови виконані, система Stop-команди зупиняє роботу двигуна. У цей момент подача пального припиняється, а електричне живлення переходить на акумуляторну батарею.

Запуск після зупинки відбувається автоматично. При відпусканні педалі гальма або натисканні педалі зчеплення (залежно від типу трансмісії) ECU подає сигнал на стартер або на старт-генератор (у гібридах). Сучасні стартери, які працюють у системах Start-Stop, мають підсилену конструкцію: міцніші шестерні, швидший привід і більший ресурс циклів запуску.

Окремо слід згадати про вимірювання стану акумулятора. У більшості автомобілів зі Start-Stop встановлений датчик IBS (Intelligent Battery Sensor), який моніторить: напругу батареї і температуру корпуса АКБ.

Окремі автомобілі можуть додатково враховувати роботу допоміжних систем, наприклад, кліматичної установки. Якщо навантаження на електросистему занадто велике, або якщо вимкнення двигуна призведе до суттєвого зниження комфорту, Start-Stop також може тимчасово не активуватися.

## 1.2. Акумуляторні батареї у системі Start-Stop та особливості їх роботи при частих циклах запуску

Акумуляторна батарея є ключовим елементом системи Start-Stop, оскільки саме вона забезпечує як запуск двигуна, так і живлення електроспоживачів під час його зупинки. У звичайному автомобілі акумулятор працює у відносно легких умовах: один запуск на поїздку, незначні струми розряду під час стоянки і постійний заряд від генератора під час руху. Система Start-Stop кардинально змінює характер його роботи, створюючи десятки мікроциклів розряду та заряду протягом коротких проміжків часу, часто не забезпечуючи повного відновлення заряду.

Типові значення, характерні для Start-Stop у місті, виглядають так: за 30-40 хвилин поїздки автомобіль може виконати від 30 до 60 запусків двигуна, кожен з яких супроводжується імпульсним струмом близько 250–400 А тривалістю 0,7–1,0 секунди. Один такий запуск забирає приблизно 0,07–0,1 Агод заряду. Додатково, під час кожної зупинки акумулятор живить прилади автомобіля - електронні блоки керування, освітлення, вентилятор салону, мультимедіа, що дає середній струм споживання близько 10–20 А. Для зупинки тривалістю 15–20 секунд це приблизно 0,04–0,08 Агод розряду. У сумі один цикл Start-Stop забирає 0,12–0,18 Агод. Таким чином, 50 циклів за

поїздку розряджають акумулятор на 6–9 Агод, що для батареї 60 Агод становить близько 10–15% ємності.

У звичайному режимі генератор повинен компенсувати ці втрати. Але в міському русі він працює в умовах низьких обертів і значного навантаження від додаткових електроспоживачів. Якщо генератор віддає 25 А на холостому ходу, а споживачі забирають 15–20 А, то на заряд акумулятора виділяється лише 5–10 А. За короткі проміжки руху між зупинками (15–30 секунд) це дає лише 0,02–0,06 Агод заряду. У результаті акумулятор за одну поїздку недоотримує декілька ампер-годин, і його зарядний стан (SOC) поступово падає до 60–70%.

Проблема полягає в тому, що при SOC нижче 75% у свинцево-кислотних батареях різко прискорюється сульфатація пластин - це утворення кристалів сульфату свинцю, які з часом роблять батарею неспроможною віддавати великий струм. Чим частіше акумулятор працює в цьому діапазоні, тим швидше він зношується. Батареї, призначені для звичайних авто, можуть втратити 30–50% ємності вже через кілька місяців роботи в системі Start-Stop.

Саме тому для таких систем використовують спеціалізовані батареї типу AGM або EFB. Вони мають посилену конструкцію пластин, кращу стабільність активної маси при імпульсних струмах та розраховані на більшу кількість циклів. AGM-батареї витримують до 600–900 циклів глибокого розряду та мають низький внутрішній опір, що дає можливість видавати струми понад 800 А. EFB-батареї, хоча й менш витривалі, все одно забезпечують до 300–400 циклів і кращу стійкість до частих запусків порівняно зі звичайними акумуляторами.

Незважаючи на це, навіть AGM та EFB не здатні компенсувати недоліки стандартного алгоритму Start-Stop. При частих зупинках батарея постійно працює в області зниженого заряду, а короткі інтервали руху не дозволяють генератору встигати компенсувати витрати. Внутрішній опір акумулятора зростає, SOC падає, напруга під час запуску просідає до критичних значень, а імпульсні навантаження погіршують механічну стабільність пластин.

Проблема ускладнюється тим, що система оцінює стан батареї через датчик IBS, який вимірює струм, напругу і температуру, але не враховує історію навантажень. ECU приймає рішення про вимкнення двигуна, орієнтуючись лише на моментний SOC, не враховуючи, наскільки швидко цей SOC падає та скільки циклів вже було виконано протягом останніх хвилин. Тому стандартна система може вимикати двигун навіть тоді, коли акумулятор вже перебуває на межі можливостей, через що ресурс батареї швидко вичерпується.

Під час кожного запуску двигуна відбувається різке збільшення струму розряду до сотень ампер, що призводить до локального нагрівання пластин. Хоча цей нагрів триває долі секунди, він створює нерівномірний тепловий розподіл у пластинах. За кілька тисяч таких імпульсів структура активної маси починає втрачати механічну цілісність, що проявляється у вигляді обсипання або осідання матеріалу на дні акумулятора.

Температурний режим сильно впливає на погіршення АКБ. За даними випробувань Bosch і Varta, кожні +10°C понад норму зменшують ресурс батареї приблизно вдвічі. Під капотом автомобіля влітку температура може досягати 60–70°C, а при частих пусках і роботі генератора температура АКБ піднімається ще на кілька градусів через внутрішні втрати. Таким чином, батарея в системі Start-Stop часто працює в умовах, коли теоретичний 4–5-річний ресурс скорочується до 1–2 років.

Ще один важливий фактор - внутрішній опір батареї. В міру старіння він збільшується з типових 3–5 мΩ до 7–12 мΩ. Здається, що це малі величини, але при стартовому струмі 300 А навіть додаткові 5 мΩ дають просідання напруги:

Це означає, що замість нормальних 11–11,5 В на стартері залишається лише близько 9,5–10 В. Такі умови є критичними для запуску двигуна, особливо в холодну пору року. ECU у деяких автомобілях реагує на це, блокуючи Start-Stop через Battery Protection, але робить це вже після того, коли

батарея просіла і вимикання системи не рятує ситуацію - АКБ вже суттєво зношений.

Приклад: якщо реальний SOC становить 68%, а IBS оцінює його як 75%, система вирішить, що двигун можна вимкнути. Після 20 секунд простою напруга впаде до 11,7–11,8 В, а після запуску до 9,8 В. Для нової батареї це нормально, але для батареї, що вже втратила 20–30% ємності, таке просідання може бути останньою краплею, після якої АКБ більше не зможе забезпечити старт двигуна.

Генератор - ще один важливий елемент. У сучасних автомобілях він часто керується через LIN-шину, що дозволяє ECU регулювати напругу зарядження залежно від режиму руху, температури та навантаження. Наприклад, при інтенсивному розгоні генератор знижує напругу, щоб зменшити навантаження на двигун і поліпшити економію палива. У реальності це означає, що під час більшої частини поїздки АКБ заряджається не повністю. Якщо раніше генератори працювали на фіксованих 14,4 В, то тепер вони можуть тримати 13,2–13,8 В, що сприяє довшому строку життя АКБ у звичайних умовах, але в системі Start-Stop це навпаки шкідливо: батарея потребує швидшого і більшого зарядження, ніж генератор їй дає.

Важливо також врахувати, що генератор видає номінальну потужність лише на 2500–3000 об/хв. На холостих - це 800–900 об/хв, і генератор не здатен віддати у повному обсязі заявлених 120–180 А. У реальному міському русі батарея постійно знаходиться у стані невеликого недозаряду - 5–15% щодня.

Окрім електрохімічних процесів, важлива й електронна частина системи. Рішення про вимкнення двигуна приймається на основі сукупності сигналів: від IBS, селектора передач, педалі гальма, педалі зчеплення (для МКПП), датчика швидкості, температури охолоджувальної рідини, датчика тиску в гідравлічній системі гальм і кондиціонера. З одного боку, це робить систему гнучкою, а з іншого - створює ризики неправильного керування, коли хоча б один параметр працює на межі допустимого значення. Наприклад, якщо температура охолоджувальної рідини лише наближається до мінімального

порога, система може вимкнути двигун занадто рано. Якщо ж компресор кондиціонера працює на високому навантаженні, Start-Stop вимикається але робить це не завжди вчасно, бо алгоритм орієнтується на середні значення, а не на пікові.

### 1.3. Архітектура та програмна реалізація системи Start-Stop у сучасному автомобілі

У сучасних автомобілях система Start-Stop не є окремим фізичним модулем. Вона інтегрована у прошивку основного блока керування двигуном ECU. Вся логіка прийняття рішення про вимкнення або повторний запуск двигуна - програмна, а виконання команд здійснюється вже іншими компонентами автомобіля.

ECU - це 32-бітний мікроконтролер (найчастіше Infineon Tricore TC1767/TC1796, Renesas RH850 або Motorola MPC56xx) із тактовою частотою 80–200 МГц. У Flash-пам’яті (1–4 МБ) знаходиться прошивка, де прописано алгоритм Start-Stop. У RAM (64–256 КБ) виконуються розрахунки: SOC батареї, граничні напруги, температура двигуна, робочі цикли. EEPROM - це тип енергонезалежної пам'яті, який зберігає дані навіть без живлення, на відміну від оперативної пам'яті. Він зберігає довготермінові параметри такі як кількість запусків, мінімальні напруги, адаптації генератора, статистику відмов Start-Stop. Схема блоку керування представлена на рисунку 1.

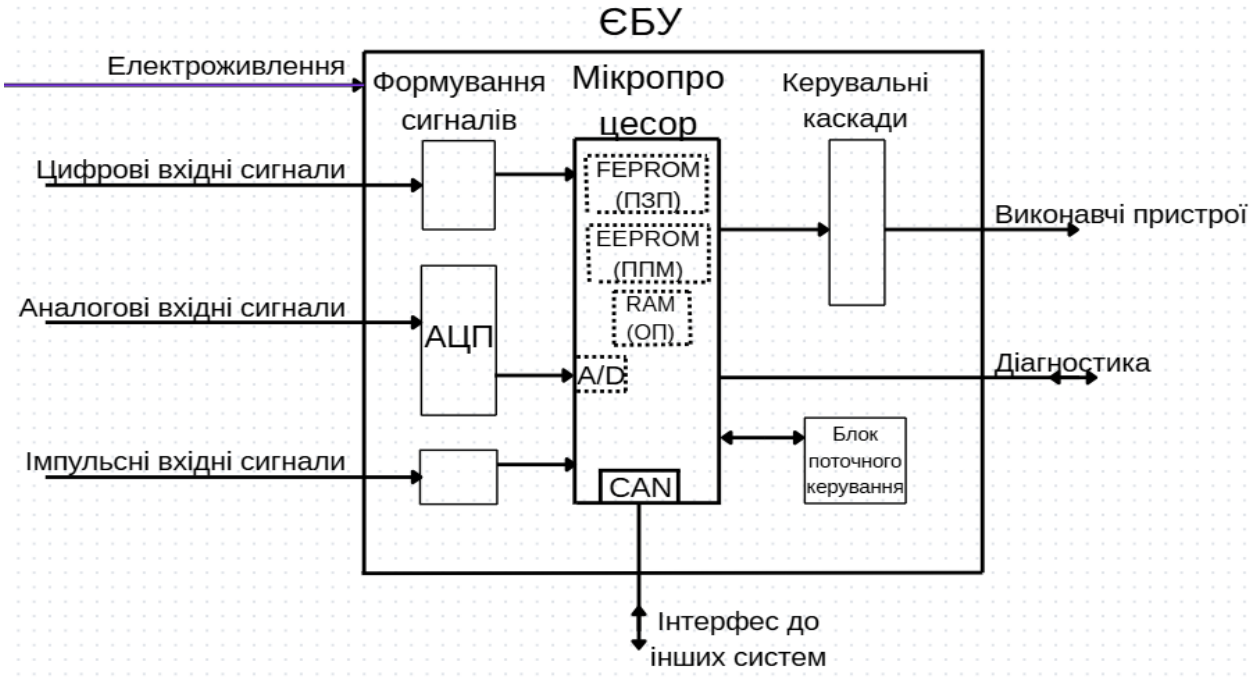
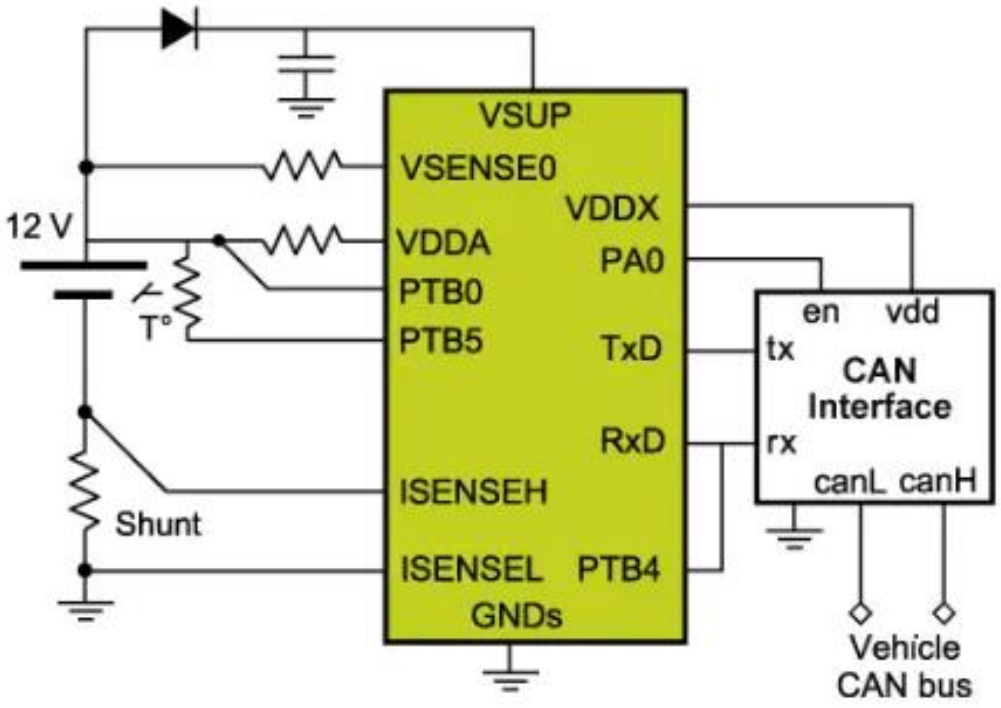



Рисунок 1- Структурна схема електронного блоку керування

Ключовим елементом системи є IBS - Intelligent Battery Sensor, розташований на мінусовій клемі АКБ. Основним вимірювальним елементом в IBS є шунт із опором приблизно 1 мΩ, за допомогою якого визначається струм заряду та розряду АКБ. Напруга на шунті знімається через аналогові входи мікроконтролера, де відбувається подальша обробка сигналів. Мікроконтролер також здійснює вимірювання напруги акумуляторної батареї та формує інформацію про її поточний стан. Передача розрахованих параметрів до електронного блоку керування автомобіля здійснюється через CAN-інтерфейс кожні 100–300 мс, що відповідає сучасній архітектурі автомобільних систем. Отримані дані використовуються алгоритмом керування системою Start–Stop для прийняття рішень щодо дозволу або заборони вимкнення двигуна. IBS показано на рисунку 2.




12 V Application, CAN Communication

Рисунок 2 – Узагальнена принципова схема інтелектуального датчика акумуляторної батареї (IBS) з CAN-інтерфейсом

Генератор сучасного авто також має власний LIN- або CAN-контролер і працює під командою ECU. На холостих обертах (800–900 об/хв) він може віддати лише 15–25 А, а більша частина цього струму йде на живлення електроспоживачів (пічка, кондиціонер, фари, електропідсилювач керма). У результаті на заряд батареї залишається лише 3–8 А, що недостатньо для відновлення заряду після кожних 20–40 секундних зупинок. Саме через це АКБ у міському режимі Start-Stop майже завжди працює у стані недозаряду.

Програмно алгоритм Start-Stop складається з кількох циклічних задач у прошивці. Головна з них виконується приблизно кожні 10–20 мс. У цьому циклі ECU перевіряє: SOC батареї, температуру АКБ, мінімальну напругу під час попереднього запуску, температуру охолоджувальної рідини (потрібно ≥

60°C), тиск у кондиціонері, сигнал педалі гальма, стан дверей, капота, ременя безпеки та швидкість автомобіля.

Команда на вимкнення двигуна подається програмно: ECU припиняє упорскування палива, закриває регулятор холостого ходу або електронну дросельну заслінку та відключає запалення. Стартер при цьому не задіюється - двигун просто зупиняється.

Запуск відбувається окремою командою ECU. У момент відпускання педалі гальма (або натискання зчеплення) блок формує імпульс на стартерне реле або на транзисторний драйвер, який живить стартер струмом 250–450 А. Одночасно ECU подає команду на початок упорскування, коригує кут запалення і стежить, щоб напруга не просіла нижче критичних 9,5–10 В. Уся процедура запускає двигун за 0,8–1,0 секунди.

Узагальнено, можна зазначити, що система енергоменеджменту автомобіля, поєднує двигун, генератор, акумуляторну батарею, електричних споживачів та інтелектуальний датчик акумулятора (IBS), як зазначено на рисунку 3.

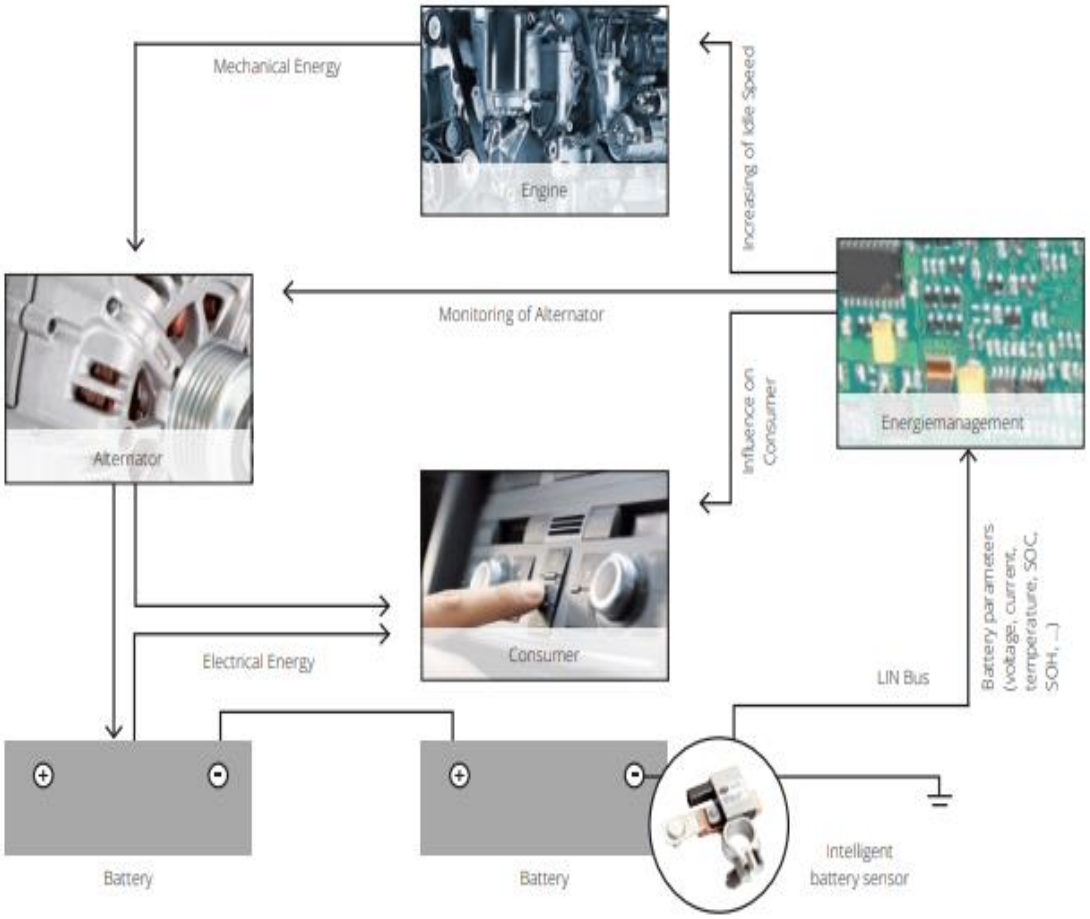



Рисунок 3 – Функціональна схема системи енергоменеджменту автомобіля з Intelligent Battery Sensor(IBS)

### 1.4 Вплив умов руху на роботу системи Start-Stop та стан акумуляторної батареї

Для розуміння, наскільки умови руху впливають на роботу Start-Stop, я взяв єдиний набір вихідних параметрів для всіх сценаріїв. Це була батарея типу EFB ємністю - 60 А · год з початковим зарядом 80%, що відповідає 48 А · год накопиченої енергії:

$$Q_0 = C \times SOC = 60А \cdot год \times 0{,}8 = 48А \cdot год \quad (1)$$

C – повна ємність АКБ; SOC – ступінь заряду акумулятора; $Q_0$ – початковий доступний заряд акумулятора

Під час зупинки з вимкненим двигуном, але увімкненими споживачами (ЕБУ, світло, вентилятор, мультимедіа) батарея віддає $I_{stop}$= 12 А. Під час запуску двигуна стартер короткочасно споживає $I_{start} = 300$ А протягом 1 секунди. У міському режимі генератор, після покриття всіх споживачів, заряджає батарею - $I_{gencity} = 6$ А , а в трасовому режимі - $I_{genroad} = 18$ А.

Моделюю поїздку тривалістю приблизно 30 хвилин, під час якої автомобіль зупиняється 30 разів. Приймаю, що кожна зупинка триває 20 секунд, а між зупинками автомобіль рухається приблизно 30 секунд.

Спочатку порахуємо, скільки енергії АКБ віддає під час однієї зупинки (Q), t – час, I – сила струму. Щоб скористатися формулою:

$$Q = I \times t, \quad (2)$$

час треба перевести в години:

$$t_{stop} = 20 \div 3600 = 0{,}00556\text{год}, \quad (3)$$

Розряд за одну зупинку:

$$Q_{stop} = I_{stop} \times t_{stop} = 12\text{A} \times 0{,}00556\text{год} = 0.0667\text{A} \cdot \text{год}, \quad (4)$$

$Q_{stop}$ – заряд витрачений під час зупинки; $I_{stop}$ – струм споживання під час зупинки; $t_{stop}$ – час в режимі зупинки

Округляю до $Q_{stop}$= 0,07 А · год.

Тепер розряд під час запуску двигуна. Стартер працює 1 секунду:

$$t_{start} = 1\text{c} \div 3600\text{c/год} = 0{,}00028\text{год}, \quad (5)$$

$t_{start}$ – час роботи стартера

Розряд при запуску двигуна:

$$Q_{start} = I_{start} \times t_{start} = 300A \times 0{,}00028год = 0{,}084A \cdot год, \quad (6)$$

$Q_{start}$ – заряд витрачений на запуск двигуна; $I_{start}$ – струм стартера

Для подальших розрахунків беру $Q_{start}$ = 0,08 А·год

Сумарний розряд на один цикл «зупинка + запуск» у місті:

$$Q_{cycle} = Q_{stop} + Q_{start} = 0{,}07\ A \cdot год + 0{,}08\ A \cdot год = 0{,}15\ A \cdot год, \quad (7)$$

$Q_{cycle}$ – розряд акумулятора, зупинка двигуна + повторний запуск

Далі враховую заряд від генератора між зупинками. Рух триває близько 30 секунд:

$$t_{move} = 30c \div 3600c/год = 0{,}00833\ год, \quad (8)$$

За цей час генератор підзаряджає акумулятор на величину ($Q_{charge}$):

$$Q_{charge} = I_{gencity} \times t_{move} = 6A \times 0{,}00833\ год = 0{,}04998\ A \cdot год, \quad (9)$$

$Q_{charge}$ – заряд від генератора під час руху; $t_{move}$ – час руху

Округляю до $Q_{charge}$= 0,05 А·год.

Тоді чистий розряд батареї за один цикл Start-Stop у місті ($Q_{cyclenet}$), без врахування заряду від генератора ($Q_{charge}$):

$$Q_{cyclenet} = Q_{cycle} - Q_{charge} = 0{,}15\ -\ 0{,}05\ =\ 0{,}10\ A \cdot год, \quad (10)$$

Якщо таких циклів за поїздку 30, то загальна втрата заряду становить:

$$Q_{city30} = 30 \times 0{,}10\ А \cdot год = 3{,}0\ А \cdot год, \quad (11)$$

$Q_{city30}$ – сумарна втрата заряду під час руху в місті

Початковий заряд батареї був: $Q_0 = 48\ А \cdot год$ , отже після міської поїздки залишиться:

$$Q_{aftercity} = 48 - 3 = 45А \cdot год, \quad (12)$$

$Q_{aftercity}$ – ємність АКБ після поїздки в місті

У відсотках від ємності це становить:

$$SOC_{aftercity} = \left(Q_{aftercity} \div C\right) \times 100\% = (45 \div 60) \times\ 100\ \% \ =\ 75\%, \quad (13)$$

$SOC_{aftercity}$ – рівень заряду АКБ після міського руху.

За одну відносно коротку поїздку містом з 30 зупинками заряд АКБ знижується з 80 % до 75 %.

Тепер беру більш важкий режим - щільний затор. За ті ж 30 хвилин автомобіль робить 50 зупинок, але кожна зупинка коротша - близько 10 секунд, і рух між ними також близько 10 секунд.

Час зупинки в годинах:

$$t_{stoptraf} = 10с \div 3600с/год = 0{,}00278\ год, \quad (14)$$

$t_{stoptraf}$ – час однієї зупинки в заторі

Розряд під час однієї такої зупинки:

$$Q_{stoptraf} = I_{stop} \times t_{stoptraf} = 12\ А\ \times\ 0{,}00278\ год =\ 0{,}033\ А \cdot год, \quad (15)$$

$Q_{stoptraf}$ – заряд витрачений під час зупинки в заторі; $I_{stop}$ – струм споживання під час зупинки

Розряд при запуску двигуна лишається однаковим, $Q_{start} = 0{,}08\ А \cdot год$. Тоді сумарний розряд на один цикл у заторі:

$$Q_{cycletraf} = Q_{stoptraf} + Q_{start} = 0{,}033 + 0{,}08 = 0{,}113\ А \cdot год, \quad (16)$$

$Q_{cycletraf}$ - розряд акумулятора, зупинка двигуна + повторний запуск

Для спрощення далі беру $Q_{cycletraf} = 0{,}11\ А \cdot год$.

Заряд від генератора між такими короткими переміщеннями надходить. Час руху:

$$t_{movetraf} = 10с \div 3600с/год = 0{,}00278\ год, \quad (17)$$

Заряд під час руху в заторі:

$$Q_{chargetraf} = I_{gencity} \times t_{movetraf} = 6А \times 0{,}00278\ год = 0{,}0167\ А \cdot год, \quad (18)$$

$Q_{chargetraf}$ – заряд в заторі від генератора; $I_{gencity}$ – струм заряду від генератора; $t_{movetraf}$ – час переміщення в заторі між зупинками

Округляю до $Q_{chargetraf} = 0{,}02\ А \cdot год$.

Чистий розряд за один цикл у заторі буде:

$$Q_{cycletrafnet} = Q_{cycletraf} - Q_{chargetraf} = 0{,}11 - 0{,}02 = 0{,}09\ А \cdot год, \quad (19)$$

$Q_{cycletrafnet}$ – розряд АКБ з урахуванням заряду генератора

Тоді за 50 циклів сумарна втрата:

$$Q_{traf50} = 50 \times 0{,}09\ \text{Агод} = 4{,}5\ \text{А} \cdot \text{год}, \quad (20)$$

$Q_{traf50}$ – сумарна втрата заряду під час руху в заторі

Порівнюючи з початковим зарядом це:

$$Q_{aftertraf} = 48 - 4{,}5 = 43{,}5\ \text{А} \cdot \text{год}, \quad (21)$$

$Q_{aftertraf}$ – ємність АКБ після поїздки в заторі

У відсотках від повної ємності це становить:

$$SOC_{aftertraf} = (43{,}5 / 60) \times 100\ \% \approx 72{,}5\ \%, \quad (22)$$

$SOC_{aftertraf}$ - рівень заряду АКБ після руху в заторі

З поданих розрахунків видно, що одна поїздка в заторі тривалістю 30 хвилин із активним Start-Stop може знизити заряд батареї приблизно з 80 % до 72–73 %. Якщо такі умови повторюються часто, АКБ більшу частину часу працює в зоні зниженого SOC, що прискорює її старіння.

Тепер розгляну чи може трасовий режим компенсувати цей розряд. Після поїздки SOC впав до 70 %. Це означає, що в батареї залишилося:

$$Q_{70\%} = C \times 0{,}7 = 42\ \text{А} \cdot \text{год}, \quad (23)$$

Щоб повернутися до рівня 80 %, потрібно знову мати 48 А · год. Різниця становить 6 Агод.

На трасі генератор віддає в батарею близько $I_{genroad} = 18$ А, то час, необхідний, щоб віддати назад ці 6 Агод, складає:

$$t_{road} = \Delta Q \div I_{genroad} = 6\ \text{Агод} \div 18\ \text{А} = 0{,}33\ \text{год}, \quad (24)$$

$t_{road}$ – час руху по трасі для відновлення 6 Агод і рівня заряду АКБ у розмірі 80%

По часу це 20 хвилин руху трасою.

У міському режимі з помірною кількістю зупинок (30 циклів «зупинка–запуск») встановлено, що кожен цикл Start-Stop супроводжується чистим розрядом акумулятора приблизно 0,10 А·год. Сумарна втрата заряду за поїздку становить 3,0 А·год, що призводить до зниження рівня заряду акумуляторної батареї з 80 % до 75 %. Отриманий результат свідчить про те, що навіть стандартний міський режим руху створює додаткове навантаження на АКБ при активній роботі системи Start-Stop.

У режимі щільного затору, за наявності 50 коротких зупинок, сумарний розряд акумулятора зростає до 4,5 А·год, а рівень SOC знижується до 72–73 %. Незважаючи на меншу тривалість окремих зупинок, збільшення кількості запусків двигуна призводить до більш інтенсивного розряду батареї. Це підтверджує, що саме кількість циклів запуску, а не лише тривалість зупинок, є критичним фактором зношування АКБ у міських умовах.

Якщо акумулятор отримує стабільний струм 18 А, він швидко повертається у здорову зону заряду. Але тут є ключовий момент, який часто ігнорується у реальних умовах експлуатації. Хоч на трасі АКБ і заряджається швидко та насправді більшість водіїв майже не виїжджають на трасу, а їхні щоденні поїздки це місто, затори, короткі переїзди. Тому акумулятор не отримує умов повної дозарядки. У місті і у заторі Start-Stop забирає заряд швидко, а часу на відновленя у типовій ситуації немає. У результаті – акумулятор перебуває у низькому заряді, а це область де активно росте внутрішній опір, погіршується приймання заряду і в результаті батарея старіє у рази швидше.

Саме тому й виникає потреба у вдосконаленому алгоритмі, система повинна аналізувати не тільки факт зупинки, а і те, чи була можливість підзарядитися останнім часом, чи поточний рівень розряду - це тимчасове просідання або тривала тенденція, що веде до виснаження батареї.

# 2. РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ

## 2.1 Загальна концепція удосконаленого алгоритму керування системою Start–Stop

Мета удосконаленого алгоритму керування системою Start-Stop полягає в тому, щоб система економії пального працювала тільки за умови енергетичної безпеки акумуляторної батареї. Тобто, Start–Stop не повинен розряджати АКБ, а має підключатися лише тоді, коли батарея вже відновила свій заряд до достатнього рівня.

Основою запропонованого підходу є використання плаваючого еталонного значення рівня заряду акумулятора. На відміну від простих порогових схем, де для всіх ситуацій задається одна фіксована межа, у запропонованому алгоритмі враховується фактичний стан батареї на момент запуску двигуна. Це дозволяє підлаштовувати роботу системи Start-Stop під реальний стан АКБ, в тому числі з урахуванням її поступового старіння.

Алгоритм починає свою роботу з моменту запуску двигуна. У цей момент електронний блок керування фіксує поточний рівень заряду батареї, який надалі позначається як $\mathrm{SOC}_{\mathrm{start}}$. Це значення відображає реальний енергетичний стан АКБ на початку поїздки: для нової батареї воно може становити, 95–100 %, для частково зношеної 85-90 %, а для старої - ще менше. Важливим є те, що алгоритм не вимагає від акумулятора ідеальних умов, а працює з тим станом, який є наразі.

Разом із $\mathrm{SOC}_{\mathrm{start}}$ у алгоритмі задається мінімально допустимий безпечний рівень заряду $\mathrm{SOC}_{\mathrm{min}}$ . Це фіксоване значення, нижче якого робота Start-Stop вважається небажаною з точки зору ресурсу АКБ (70 - 75 %). $\mathrm{SOC}_{\mathrm{min}}$ використовується як межа, що не дозволяє системі працювати, якщо батарея вже знаходиться у зоні підвищеного зносу.

Далі формується цільовий рівень заряду $\mathrm{SOC_{target}}$ , до якого акумулятор повинен повернутися в ході поїздки, перш ніж буде дозволена робота Start-Stop. $\mathrm{SOC_{target}}$ обчислюється як максимальне із двох значень:

$$\mathrm{SOC_{target}} = \max(\mathrm{SOC_{start}}, \mathrm{SOC_{min}}), \qquad (25)$$

Якщо АКБ у доброму стані і на момент запуску має, наприклад, 92 % заряду, то саме 92 % і стає цільовим значенням для даної поїздки. Якщо ж батарея зношена і на старті має лише 70 %, то алгоритм вважає достатнім мінімумом не 70, а 75 %, тобто нижче певної межі Start-Stop принципово не працюватиме, доки АКБ не буде заряджена хоча б до безпечного рівня.

Одна з ключових ідей полягає в тому, що кожна поїздка розглядається як окремий енергетичний цикл. На початку поїздки система фіксує, з чим стартували $\mathrm{SOC_{start}}$, а далі стежить, чи вдалося в процесі руху повернутися хоча б до цього рівня або якщо він нижчий за $\mathrm{SOC_{min}}$, до мінімально безпечного порога. Поки фактичне значення SOC нижче $\mathrm{SOC_{target}}$ , система Start–Stop перебуває в режимі очікування: двигун на зупинках не вимикається, а генератор має можливість відновлювати заряд.

Коли в ході поїздки SOC досягає або перевищує $\mathrm{SOC_{target}}$, алгоритм переходить у режим нормальної роботи Start-Stop. Від цього моменту система може глушити двигун на зупинках, оскільки базовий запас енергії вже відновлений, і АКБ не зазнає додаткового виснаження порівняно з початковим станом. Таким чином, Start-Stop не погіршує енергетичний стан батареї в межах даної поїздки, а підключається лише тоді, коли умови для цього є безпечними.

Дана ідея роботи системи дозволяє досягти кількох цілей, адаптувати сустему до стану АКБ, шляхом автоматичного підлаштування значення цільового заряду до початкового заряду батареї, також, захистити від

хронічного недозаряду і зробити логічною поведінку системи для водіїв, адже у дуже коротких маршрутах і важких умовах система не буде спрацьовувати.

## 2.2 Математична модель удосконаленого алгоритму керування системою Start–Stop

Математична модель удосконаленого алгоритму Start-Stop описує енергетичний стан акумуляторної батареї, динаміку його змін під час руху автомобіля та формальні умови, за яких система може або не може виконувати черговий цикл вимкнення двигуна. Модель ґрунтується на кількох базових величинах, що мають однозначне фізичне трактування й можуть бути виміряні або обчислені в реальному часі електронним блоком керування. Основна вимога до моделі - це її операційна придатність: усі параметри повинні бути формально визначені, придатні до дискретного обчислення та стабільні при роботі в умовах шумових даних.

У центрі моделі знаходиться величина SOC - стан заряду акумуляторної батареї. SOC визначає, яку частину від номінальної ємності батареї становить наявний заряд у момент часу - t. Формально SOC визначається як:

$$\mathrm{SOC}(t) = \frac{Q(t)}{C_{bat}}, \tag{26}$$

де: Q(t) - фактична кількість заряду в батареї; $C_{bat}$ - номінальна ємність акумулятора; SOC - нормований параметр, що змінюється у діапазоні від 0 до 1 (або від 0 до 100 %)

Зміна SOC визначається співвідношенням між струмом генератора та струмом навантаження:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = I_{gen}(t) - I_{load}(t), \tag{27}$$

де: $I_{gen}(t)$ – струм що надходить від генератора в акумулятор в момент часу t; $I_{load}(t)$ – сумарний струм споживачів електроенергії автомобіля у момент часу t

Формула описує основний енергетичний баланс:

Якщо $I_{gen} > I_{load}$ – акумулятор заряджається,

Якщо $I_{gen} < I_{load}$ – акумулятор розряджається.

Це рівняння переходить у дискретну форму, що дозволяє реалізувати його у ЕБУ:

$$SOC[k+1] = SOC[k] + \frac{\Delta t}{C_{bat}} \times \left(I_{gen}[k] - I_{load}[k]\right), \quad (28)$$

де: SOC[k] - рівень заряду акумуляторної батареї на k-му кроці; Cbat - номінальна ємність акумулятора; Δt - інтервал дискретизації; $I_{gen}[k]$, $I_{load}[k]$ - струм генератора та сумарний струм споживачів на k-му кроці

ЕБУ працює дискретно, саме це рівняння використовується як основа для оцінки SOC у реальному часі.

Для оцінки не лише поточного, але й історичного стану батареї вводиться величина:

$$\Delta Q(k) = \sum_{i=k-N+1}^{k} \left(I_{load}[i] - I_{gen}[i]\right) \times \Delta t, \quad (29)$$

де: $\Delta Q(k)$ - сумарна зміна заряду акумуляторної батареї за інтервал аналізу, А·год; $I_{load}[i]$ - сумарний струм споживачів електроенергії на *i*-му кроці дискретизації, А; $I_{gen}[i]$ - струм, що надходить від генератора на і-му кроці, А; Δt - інтервал дискретизації часу; N - кількість відліків у вікні аналізу, що відповідає часовому проміжку 300–600 с; і - індекс дискретного часу; k - поточний момент часу

Якщо $\Delta Q > 0$ то батарея протягом останніх хвилин працювала у режимі розряду.

Якщо $\Delta Q < 0$ то батарея заряджалась.

$\Delta Q$ дозволяє виявляти режими хронічного недозаряду, які не розпізнає стандартний алгоритм Start–Stop.

Для моделі вводиться порогове значення:

$$\Delta Q_{max} = 0.3\ А \cdot год, \tag{30}$$

Це величина, приблизно рівна енергоспоживанню одного запуску двигуна. Перевищення цього порогу означає небажаний режим роботи алгоритму.

Модель враховує три ключові значення SOC:

$SOC_{start}$ - стан заряду на момент запуску двигуна, фіксує початковий ресурс батареї на поїздку:

$$SOC_{start} = SOC(t_0), \tag{31}$$

$SOC_{min}$ - мінімально допустиме значення для безпечної роботи, запобігає переходу у зону глибокого розряду:

$$SOC_{min} = 0.75, \tag{32}$$

$SOC_{target}$ - цільовий рівень, якого має досягти батарея, адаптивна межа, яка гарантує, що батарея не завершить поїздку у гіршому стані, ніж розпочала:

$$SOC_{target} = \max(SOC_{start}, SOC_{min}), \tag{33}$$

Математична модель враховує енергетичний вплив кожної події Start–Stop.

Енергетичні витрати циклу описуються як:

$$\Delta Q_{cycle} = Q_{start} + Q_{stop} - Q_{rec}, \quad (34)$$

де: $Q_{start}$ - енергія необхідна для запуску двигуна; $Q_{stop}$- енергія, витрачена на живлення споживачів при вимкненому двигуні; $Q_{rec}$ - енергія, відновлена генератором після запуску.

Умова безпечного циклу, якщо

$$\Delta Q_{cycle} \leq 0, \quad (35)$$

Це правило, яке визначає, чи дозволить алгоритм вимкнути двигун наступного разу.

### 2.3. Режими роботи удосконаленого алгоритму керування системою

Побудовані залежності для SOC, ΔQ та енергетичного балансу одного циклу дозволяють кількісно оцінювати стан акумуляторної батареї у будь-який момент часу. Однак для практичної реалізації алгоритму цього недостатньо. Система Start–Stop повинна не просто реагувати на миттєві параметри, а працювати як керована динамічна система з формально визначеними режимами роботи. Такий підхід дає змогу уникнути хаотичного вмикання та вимикання двигуна, запобігти накопиченню недозаряду та забезпечити прогнозовану поведінку акумулятора в різних умовах руху. З цією метою алгоритм організовано у вигляді кінцевого автомата, що складається з трьох режимів: режиму захисту (Protection), режиму стабілізації (Stabilization) та нормального режиму роботи (Economy).

Режим захисту активується у ситуаціях, коли виконання циклу Start-Stop створює ризик переходу батареї у небезпечну зону розряду. Математично цей режим визначається сукупністю умов, що контролюють:

- поточний рівень заряду SOC;
- накопичений енергетичний дефіцит ΔQ;
- виконання базових обмежень для безпечного запуску двигуна.

Основна умова входу в режим захисту - досягнення рівня SOC нижче допустимого мінімуму:

$$\mathrm{SOC}[k] < \mathrm{SOC}_{\min}, \tag{36}$$

$\mathrm{SOC}_{\min} = 0.75$

Числове значення 0.75 вибране тому що при SOC < 75 % у свинцево-кислотних батарей спостерігається зростання внутрішнього опору, зменшення здатності приймати заряд і збільшення просідання напруги при запуску двигуна.

У дискретній моделі це формує бінарну умову:

$$\mathrm{U}_1[k] = \begin{cases} 1, \mathrm{SOC}[k] < \mathrm{SOC}_{\min} \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}, \tag{37}$$

Друга умова враховує накопичений дефіцит енергії за останній часовий інтервал.

Алгоритм переходить у режим захисту, якщо:

$$\Delta\mathrm{Q}[k] > \Delta\mathrm{Q}_{\max}, \tag{38}$$

$\Delta\mathrm{Q}_{\max}$ = 0.3А·год – витрати на 1 запуск двигуна.

Тобто за 5–10 хвилин АКБ втратила стільки ж енергії, як один запуск двигуна. Така ситуація є типовою для заторів, коротких міських поїздок, роботи з великим навантаженням.

Дискретна форма:

$$U_2[k] = \begin{cases} 1, \Delta Q[k] > \Delta Q_{max} \\ 0, \text{інакше} \end{cases}, \quad (39)$$

Режим захисту активується, якщо хоча б одна з умов є істинною:

$$\text{Protection}[k] = U_1[k] \text{ or } U_2[k], \quad (40)$$

Якщо SOC $<$ 75 % - вхід у захист.

Якщо $\Delta Q$ $>$ 0.3 Агод - вхід у захист.

Режим захисту має найвищий пріоритет:

$$\text{StartStop}_{\text{allow}[k]} = 0, \text{якщо Protection}[k] = 1, \quad (41)$$

Двигун не може бути вимкнений ні за яких зовнішніх умов.

Для виходу з режиму захисту необхідне одночасне виконання двох умов:

$$\text{Exit}_{\text{Protection}[k]} = (SOC[k] \geq SOC_{min}) \text{ and } (\Delta Q[k] \leq \Delta Q_{max}), \quad (42)$$

Режим стабілізації активується після виходу з критичного стану, коли акумулятор вже не перебуває в зоні ризику, але ще не досяг адаптивного цільового рівня заряду $SOC_{target}$. Завдання режиму - це забезпечити відновлення енергетичного балансу батареї до безпечного рівня перед тим, як система Start-Stop зможе працювати у нормальному циклі.

Режим стабілізації активується тоді, коли виконуються одночасно дві умови:

- батарея вийшла з режиму захисту:

$$U_1[k] = \begin{cases} 1, Exit_{Protection[k]} = 1 \\ 0, \text{інше} \end{cases}, \quad (43)$$

- SOC не досяг цільового рівня:

$$U_2[k] = \begin{cases} 1, SOC[k] < SOC_{target} \\ 0, \text{інше} \end{cases}, \quad (44)$$

Режим активується якщо 2 умови виконані:

$$Stabilization[k] = U_1[k] \text{ and } U_2[k], \quad (45)$$

Двигун не може бути вимкнений:

$$StartStop_{allow}[k] = 0, \text{якщо } Stabilization[k] = 1, \quad (46)$$

SOC уже достатній для роботи батареї без загрози (вище 75 %) але ще недостатній, щоб дозволяти цикли Start-Stop.

Умовами виходу з цього режиму є досягнення або перевищення цільового порогу:

$$SOC[k] \geq SOC_{target}, \quad (47)$$

Для виходу з режиму необхідне виконання умови:

$$Exit_{Stabilization}[k] = SOC[k] \geq SOC_{target}, \quad (48)$$

Нормальний режим роботи є основним режимом функціонування удосконаленого алгоритму Start–Stop. У цьому режимі система виконує свою функцію - вимикання та запуск двигуна під час зупинок автомобіля з метою зменшення витрат палива, однак лише за умови, що така дія не призводить до погіршення енергетичного стану акумуляторної батареї.

Режим Economy активується після завершення режиму стабілізації, коли акумулятор досяг цільового рівня заряду $\mathrm{SOC_{target}}$ і більше не перебуває у стані енергетичного дефіциту. Таким чином, перед початком нормальної роботи система має підтвердження того, що батарея повністю компенсувала втрати, накопичені під час попередніх режимів руху.

Умови переходу:

$$\mathrm{U_1[k]} = \begin{cases} 1, \mathrm{Exit_{Stabilization}[k]} = 1 \\ 0, \text{інше} \end{cases}, \tag{49}$$

Умова переходу:

$$\mathrm{Economy[k]} = \mathrm{U_1[k]}$$

На відміну від режимів захисту та стабілізації, у нормальному режимі робота системи Start–Stop не забороняється, а визначається на основі оцінки енергетичної доцільності кожного окремого циклу. Для цього використовується показник енергетичних витрат одного циклу Start-Stop, який визначається як:

$$\Delta \mathrm{Q_{cycle}} = \mathrm{Q_{start}} + \mathrm{Q_{stop}} - \mathrm{Q_{rec}}, \tag{50}$$

Якщо значення $\Delta \mathrm{Q_{cycle}}$ є додатним, це означає, що виконання циклу Start–Stop призводить до чистих енергетичних втрат акумуляторної батареї. У такому випадку виконання чергового циклу вважається недоцільним. Якщо ж

$\Delta Q_{cycle} \leq 0$, то енергетичні витрати циклу повністю компенсуються або перевищуються генератором.

Умови роботи системи StartStop:

$$U_1[k] = \begin{cases} 1, \text{Economy}[k] = 1 \\ 0, \text{інше} \end{cases}, \quad (51)$$

$$U_2[k] = \begin{cases} 1, \Delta Q_{cycle} \leq 0 \\ 0, \text{інше} \end{cases}, \quad (52)$$

Система працює якщо:

$$\text{StartStop}_{allow[k]} = 1, \text{якщо } U_1[k] \text{ and } U_2[k], \quad (53)$$

Запропонована математична модель описує роботу системи Start-Stop як керований процес з трьома взаємопов'язаними режимами. Режим захисту забезпечує негайне блокування системи у випадку ризику глибокого розряду, режим стабілізації відповідає за відновлення енергетичного балансу, а нормальний режим дозволяє економію палива за умов енергетичної доцільності. Перехід між режимами здійснюється на основі формально визначених умов, що враховують як поточний стан заряду акумулятора, так і його енергетичну динаміку за попередній період. Після досягнення цільового рівня заряду алгоритм переходить у режим економії, в якому дозвіл на роботу Start-Stop визначається знаком та величиною зміни заряду за один цикл $\Delta Q_{cycle}$. Такий підхід дозволяє адаптивно враховувати умови руху та мінімізувати деградацію акумуляторної батареї.

Режими і їх значення зазначені у таблиці 1. Алгоритм керування зображено на рисунку 4.

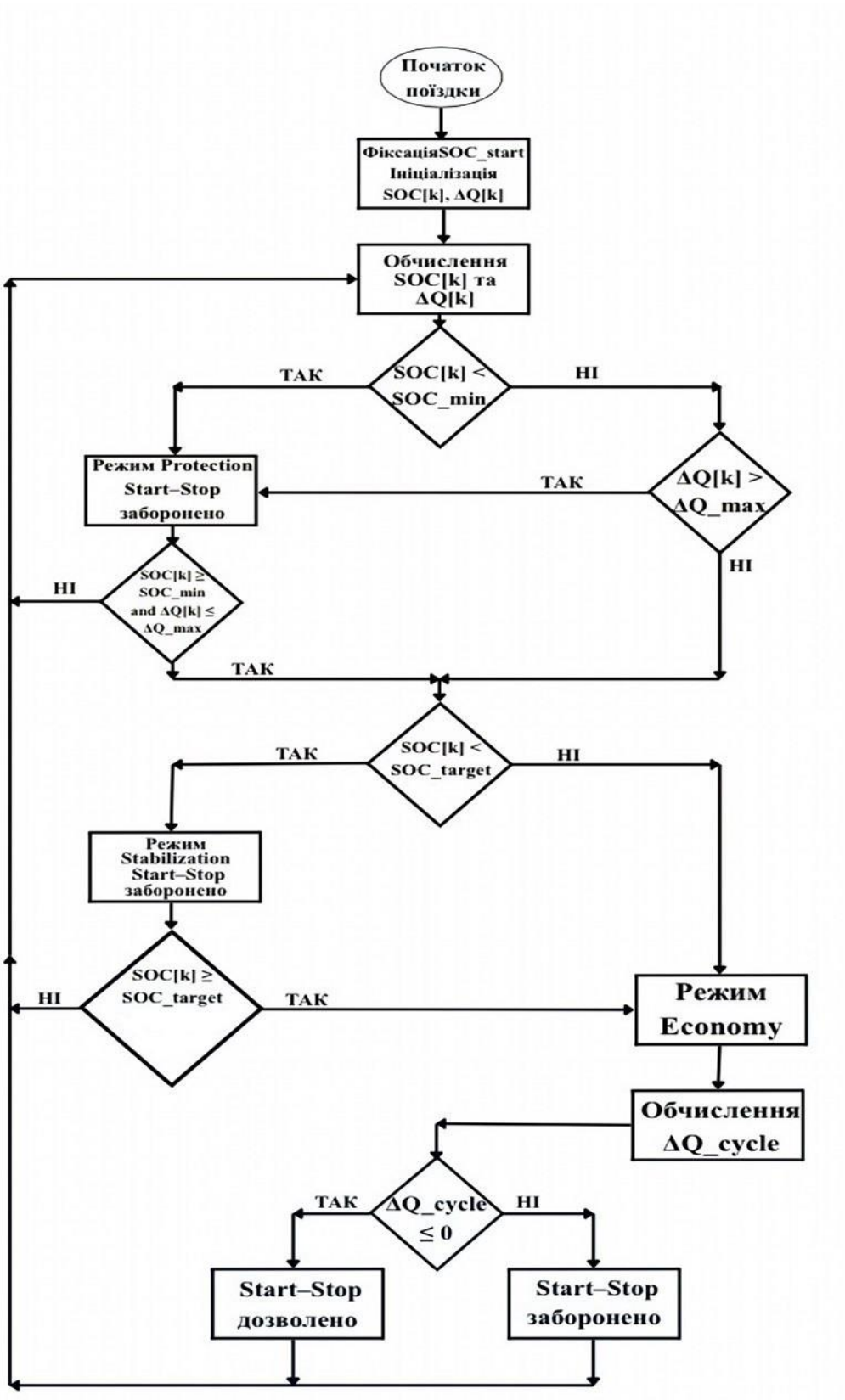



Рисунок 4 - Блок-схема алгоритму керування системою Start–Stop з урахуванням стану акумулятора

Таблиця 1 – Режими роботи алгоритму

| **Режим** | **Умови входу** | **Start–Stop** | **Мета режиму** |
|---|---|---|---|
| Protection | SOC < 0.75 або $\Delta Q > 0.3$ Агод | Заборонено | Захист АКБ |
| Stabilization | $\text{Exit}_{\text{Protection[k]}} = 1$ і SOC < $\text{SOC}_{\text{target}}$ | Заборонено | Відновлення заряду |
| Economy | $\text{SOC} \geq \text{SOC}_{\text{target}}$ | Дозволено за $\Delta Q_{\text{cycle}} \leq 0$ | Економія палива |

## 2.4. Принципова схема системи Start-Stop та опис роботи вузлів

На рисунку 5 наведено спрощену принципову схему системи Start-Stop, призначену для демонстрації логіки керування. Схема побудована як функціональна модель: частина сигналів (рух чи зупинка, педаль гальма, фізична кнопка увімкнення Start-Stop) задається вручну за допомогою перемикачів, а вихідні команди контролера відображаються світлодіодною індикацією.

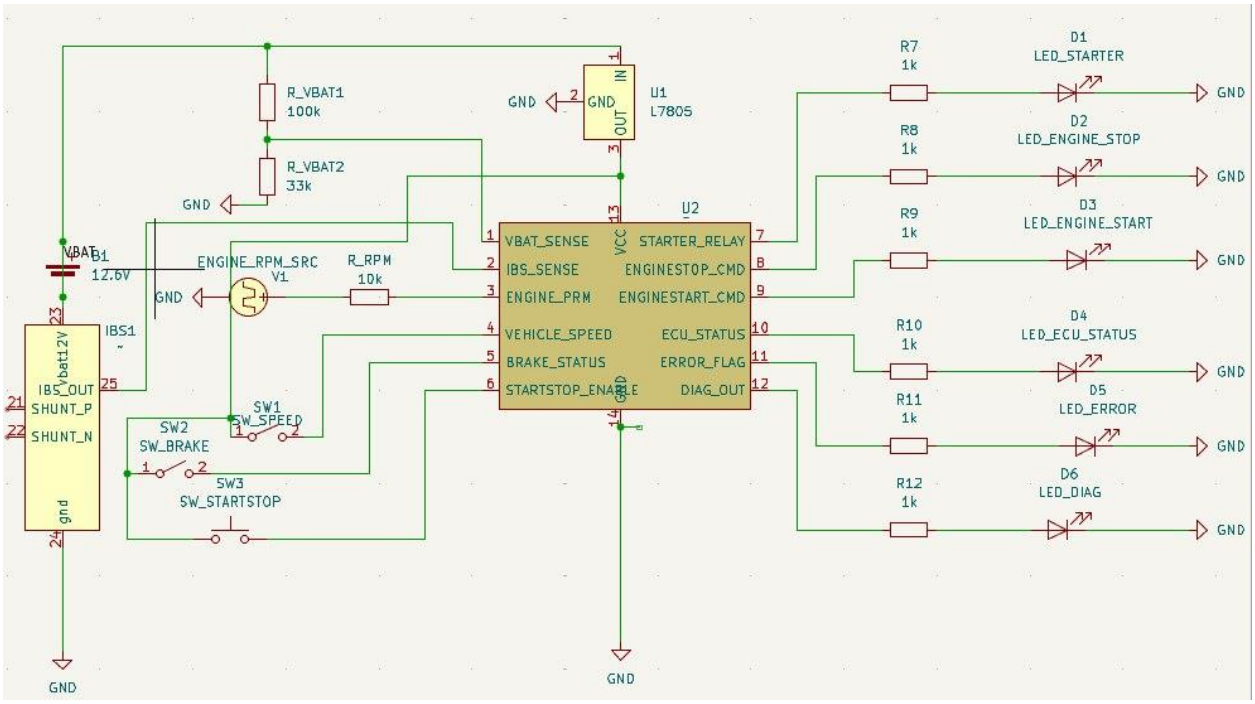



Рисунок 5 - Спрощена принципова схема системи Start-Stop з датчиком IBS, формуванням входів умов руху та світлодіодною індикацією вихідних команд.

Первинним джерелом живлення є акумуляторна батарея VBAT1 (12,6 В). Для живлення логічної частини та контролера використано лінійний стабілізатор U1 (L7805), який формує стабілізовану напругу 5 В (VCC) для мікроконтролерного/логічного блоку U2. Загальна шина GND на схемі відповідає масі, тобто, кузову автомобіля, тому підключення до GND використовується як спільна точка відліку потенціалу для всіх вузлів. Для вимірювання напруги батареї реалізовано подільник R_VBAT1 = 100 кОм та R_VBAT2 = 33 кОм, який зменшує рівень VBAT до безпечного діапазону входу контролера. Вихід подільника підключено до входу VBAT_SENSE (пін 1 U2). Таким чином контролер отримує інформацію про напругу АКБ у масштабованому вигляді.

У схемі передбачений вузол інтелектуального датчика батареї IBS1, який моделює вимірювання струму через шунт та формування вихідного

сигналу датчика. До IBS1 підключені виводи SHUNT_P/SHUNT_N, що відповідають точкам “до” і “після” шунта. Це місце вимірювання падіння напруги при протіканні струму. Вихід датчика IBS_OUT подається на вхід IBS_SENSE (пін 2 U2).

Для моделювання умов експлуатації використано декілька груп вхідних сигналів, що подаються на входи U2. ENGINE_PRM (пін 3 U2) - сигнал частоти обертання двигуна (RPM). На схемі він імітується джерелом ENGINE_RPM_SRC (V1) через резистор R_RPM = 10 кОм. Цей сигнал дозволяє контролеру визначати стан двигуна працює чи зупинений та приймати рішення щодо запуску або зупинки. VEHICLE_SPEED (пін 4 U2) - це статус швидкості руху автомобіля. У спрощеній моделі задається перемикачем SW1 (SW_SPEED) і використовується як ознака авто стоїть або рухається. BRAKE_STATUS (пін 5 U2) - це сигнал натискання педалі гальма. У моделі реалізовано перемикачем SW2 (SW_BRAKE), що дозволяє відтворювати типову умову Start-Stop: зупинка двигуна можлива лише при натиснутому гальмі та нульовій швидкості. STARTSTOP_ENABLE (пін 6 U2) - це дозвіл роботи системи Start-Stop, що відбувається фізичним ввімкненням або вимкненням через кнопку користувачем. У схемі реалізовано перемикачем SW3 (SW_STARTSTOP).

Виходи контролера U2 у цій схемі відображені через світлодіоди з обмежувальними резисторами 1 кОм (R7–R12). Це зроблено для наочного контролю роботи алгоритму. STARTER_RELAY (пін 7 U2) і індикація D1 (LED_STARTER) - команда на реле стартера, у системі це керування силовим каскадом/реле, у моделі - світлодіод. ENGINESTOP_CMD (пін 8 U2) і D2 (LED_ENGINE_STOP) - команда на зупинку двигуна. ECU_STATUS (пін 10 U2) і D4 (LED_ECU_STATUS) - статус логіки, умовний сигнал справності. ERROR_FLAG (пін 11 U2) і D5 (LED_ERROR) - сигнал помилки/заборони виконання Start-Stop, наприклад, низький заряд АКБ. DIAG_OUT (пін 12 U2) і D6 (LED_DIAG) - діагностичний вихід, для контролю станів алгоритму.

Світлодіодна індикація є типовим способом представити роботу керуючих сигналів під час моделювання: вона не впливає на логіку алгоритму але дає можливість однозначно фіксувати моменти запуску або зупинки двигуна та реакцію системи на вхідні умови.

# 3. РОЗРАХУНКОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМУ START–STOP У ТИПОВИХ УМОВАХ РУХУ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТАНДАРТНОГО ТА ВДОСКОНАЛЕНОГО АЛГОРИТМІВ

## 3.1. Вихідні дані та загальні моделі для моделювання

Щоб побачити принцип роботи нового алгоритму керування системою Start-Stop треба провести аналогічний підрахунок, що був виконаний для стандартного алгоритму, але з урахуванням нових умов дозволу на вимкнення двигуна. Під час роботи використовуються однакові вихідні параметри акумуляторної батареї, навантажень і режимів руху, що дозволяє порівнювати алгоритми за отриманими даними.

Для всіх сценаріїв руху використовується акумуляторна батарея типу EFB з номінальною ємністю - C=60 А·год.

Початковий заряд АКБ перед початком поїздки становить - $SOC_0 = 80\% = 0.8$

Початковий запас електричного заряду в батареї становить:

$$Q_0 = C \times SOC = 60А \cdot год \times 0{,}8 = 48А \cdot год, \quad (54)$$

Під час зупинки автомобіля з вимкненим двигуном, але з увімкненими споживачами середній струм навантаження - $I_{stop}$= 12 А

Під час запуску двигуна стартером споживається короткочасний, але значний струм - $I_{start} = 300$ А.

Тривалість запуску стартера - $t_{start} = 1$ с.

У міських умовах руху генератор після покриття поточних споживачів забезпечує чистий зарядний струм акумулятора на рівні $I_{gencity} = 6$ А**.** Саме

цей струм використовується для розрахунку накопичення заряду, оскільки він відображає внесок генератора в SOC батареї.

Для міського режиму приймається, що тривалість однієї зупинки становить - $t_{stop} = 20$ с.

В годинах це дорівнює:

$$t_{stop} = 20 \div 3600 = 0{,}00556 \text{год}, \quad (55)$$

Заряд, який віддає акумулятор за одну зупинку:

$$Q_{stop} = I_{stop} \times t_{stop} = 12\text{A} \times 0{,}00556 \text{год} = 0.0667\text{A} \cdot \text{год}, \quad (56)$$

Округляю до $Q_{stop}$= 0,07 А·год.

Час запуску двигуна стартером становить:

$$t_{start} = 1\text{с} \div 3600\text{с/год} = 0{,}00028 \text{год}, \quad (57)$$

Тоді розряд при запуску:

$$Q_{start} = I_{start} \times t_{start} = 300\text{A} \times 0{,}00028 \text{год} = 0{,}084\text{A} \cdot \text{год}, \quad (58)$$

Для подальших розрахунків беру $Q_{start}$ = 0,08 А·год

Сумарний розряд на один цикл «зупинка + запуск» у місті:

$$Q_{need} = Q_{stop} + Q_{start} = 0{,}07 \text{ Агод} + 0{,}08 \text{ А} \cdot \text{год} = 0{,}15 \text{ А} \cdot \text{год}, \quad (59)$$

де: $Q_{need}$ - сумарний заряд, необхідний для одного повного циклу роботи системи Start-Stop («зупинка двигуна + повторний запуск»); $Q_{start}$ - кількість

заряду, витраченого на запуск двигуна стартером; $Q_{stop}$ - кількість заряду, яку акумуляторна батарея віддає під час однієї зупинки двигуна

### 3.2. Моделювання руху в місті

Розглядається поїздка протягом якої автомобіль зупиняється 30 разів. Тривалість кожної зупинки становить близько 20 секунд, а середній час руху між зупинками 30 секунд. Якщо система Start-Stop не вимикає двигун на конкретній зупинці, двигун продовжує працювати. Сумарний час роботи двигуна:

$$t_{on} = 20 + 30 = 50с \div 3600с/год = 0{,}01389 \text{ год}, \qquad (60)$$

$t_{on}$ - сумарний час безперервної роботи двигуна внутрішнього згоряння у випадку, коли система Start-Stop не виконує його вимкнення на зупинці. Протягом цього часу генератор залишається активним та забезпечує підзаряд акумуляторної батареї:

$$Q_{res} = I_{gen} \times t_{on} = 6 \times 0{,}01389 = 0{,}0833 \text{ А} \cdot \text{год}, \qquad (61)$$

$Q_{res}$ - це накопичений (відновлений) заряд акумуляторної батареї який генератор встиг передати в АКБ за певний час безперервної роботи двигуна; $I_{gen}$ - чистий зарядний струм генератора (після покриття споживачів)

Згідно з логікою удосконаленого алгоритму, вимкнення двигуна можливе лише тоді, коли - $Q_{res} \geq Q_{need}$.

Для одного періоду роботи двигуна між зупинками недостатньо - $0{,}0833 < 0{,}15$.

Після двох таких інтервалів:

$$2 \cdot 0{,}0833 = 0{,}1666\ \text{А} \cdot \text{год} \geq 0{,}15\ \text{А} \cdot \text{год}, \quad (62)$$

В міському русі система пропускає дві зупинки без вимкнення двигуна, після чого на третій зупинці Start–Stop може бути дозволений. За 30 зупинок така логіка призводить до того, що система Start–Stop спрацьовує приблизно 13 разів, а решта зупинок використовуються для накопичення енергетичного резерву.

Оскільки кожен цикл Start-Stop виконується лише після попередньої компенсації його енергетичних витрат, систематичного зменшення SOC не відбувається. У кінці поїздки залишається невеликий позитивний резерв заряду, який не був використаний на запуск двигуна - $\mathrm{SOC}_{\mathrm{after}} = 80\%$.

### 3.3. Моделювання руху в заторі

Після аналізу типового міського режиму доцільно розглянути більш несприятливий сценарій експлуатації - щільний затор. Саме в таких умовах стандартний алгоритм Start-Stop створює найбільше навантаження на акумуляторну батарею, оскільки поєднує велику кількість запусків двигуна з мінімальним часом для відновлення заряду.

Приймається, що в щільному заторі автомобіль здійснює 50 зупинок. Середня тривалість зупинки - 10 с. Середній час руху між зупинками – 10 с. Струмові параметри залишаються незмінними.

Розряд акумулятора під час однієї короткої зупинки з вимкненим двигуном визначається за формулою:

$$\mathrm{Q}_{\mathrm{stoptraf}} = \mathrm{I}_{\mathrm{stop}} \times \mathrm{t}_{\mathrm{stoptraf}}, \quad (63)$$

де: $Q_{stoptraf}$ - кількість заряду, втрачена акумуляторною батареєю під час однієї зупинки в заторі; $I_{stop}$ - сумарний струм споживачів електроенергії при вимкненому двигуні; $t_{stoptraf}$ - тривалість однієї зупинки в умовах затору

Переводимо час зупинки в години:

$$t_{stoptraf} = 10 \div 3600 = 0{,}00278 \text{ год}, \quad (64)$$

Розряд під час однієї такої зупинки:

$$Q_{stoptraf} = I_{stop} \times t_{stoptraf} = 12 \text{ А} \times 0{,}00278 \text{ год} = 0{,}03 \text{ А} \cdot \text{год}, \quad (65)$$

Розряд при запуску двигуна лишається однаковим, $Q_{start}$ = 0,08 А·год. Тоді сумарний розряд на один цикл у заторі:

$$Q_{needtraf} = Q_{stoptraf} + Q_{start} = 0{,}03 + 0{,}08 = 0{,}11 \text{ А} \cdot \text{год}$$

$Q_{needtraf}$ - сумарна енергетична потреба одного циклу Start-Stop у заторі; $Q_{stoptraf}$ - заряд, який акумулятор втрачає під час однієї короткої зупинки в заторі з вимкненим двигуном

Якщо Start-Stop не активується, двигун працює. Сумарний час роботи двигуна між потенційними циклами:

$$t_{ontraf} = 10 + 10 = 20 \div 3600 = 0{,}00556 \text{ год}, \quad (66)$$

Заряд, який генератор може передати акумулятору за цей час:

$$Q_{rectraf} = I_{gen} \times t_{ontraf} = 6 \times 0{,}00556 = 0{,}033 \text{ А} \cdot \text{год}, \quad (67)$$

$Q_{rectraf}$ - заряд, відновлений (накопичений) акумулятором за один інтервал роботи двигуна в заторі

Згідно з логікою удосконаленого алгоритму, вимкнення двигуна можливе лише після того, як акумулятор накопичить заряд, достатній для компенсації енергетичних витрат одного циклу - $Q_{rec} \geq Q_{needtraf}$.

Для одного інтервалу роботи двигуна в заторі:

$$0{,}033 < 0{,}11, \tag{68}$$

Одного інтервалу недостатньо:

- після 2 інтервалів: $2 \cdot 0{,}033 = 0{,}066$ А · год;
- після 3 інтервалів: $3 \cdot 0{,}033 = 0{,}099$ А · год;
- після 4 інтервалів: $4 \cdot 0{,}033 = 0{,}132$ А · год.

Лише після чотирьох циклів “рух + зупинка” без вимкнення двигуна накопичений заряд стає достатнім для компенсації одного циклу Start-Stop:

$$Q_{rec(4)} > Q_{needtraf}, \tag{69}$$

Під час руху в заторі автомобіль здійснює 50 зупинок. З урахуванням того, що для одного дозволеного вимкнення двигуна необхідно попередньо накопичити заряд протягом приблизно 4 інтервалів, кількість можливих циклів Start-Stop оцінюється як:

$$N = 50 \div 4 \approx 10$$

N = кількість спрацювань Start-Stop

Покращений алгоритм в умовах щільного затора не відключає повністю Start-Stop але працює рідше у порівнянні з стандартним. Після проходження

затору SOC знижується незначно або залишається незмінним - $SOC_{aftertraf} = 80\%$

Удосконалений алгоритм не допускає переходу акумулятора в зону хронічного недозаряду, навіть у найбільш несприятливих умовах руху.

### 3.4. Аналіз результатів моделювання та порівняння алгоритмів керування Start-Stop

Щоб узагальнити результати проведеного розрахункового моделювання та наочно показати відмінності між стандартним і удосконаленим алгоритмами керування системою Start-Stop, результати були зведені у таблиці та представлені у вигляді графіків. Це дозволяє не лише порівняти кінцеві значення, а й оцінити характер впливу кожного алгоритму на стан акумуляторної батареї в різних умовах руху. У таблиці 2 зібрані підсумкові параметри батареї до та після поїздки: SOC, заряд Q (в Агод), їх зміни (ΔSOC та ΔQ), а також кількість циклів Start-Stop. Для стандартного алгоритму видно помітне зменшення SOC: у міському режимі до 75% (втрата 3 Агод), а в заторі до 72,5% (втрата 4,5 Агод). Удосконалений алгоритм, навпаки, утримує SOC на початковому рівні 80%, що означає відсутність сумарного розряду батареї за поїздку. Такий ефект досягається через іншу логіку дозволу вимкнення двигуна: Start-Stop не спрацьовує на кожній зупинці, а активується лише тоді, коли заряд від генератора попередньо компенсує витрати на майбутній запуск.

Таблиця 2 - Узагальнені результати моделювання для алгоритмів

| **Режим руху** | Місто | Місто | Затор | Затор |
|---|---|---|---|---|
| **Алгоритм** | Стандартний | Новий | Стандартний | Новий |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| **SOC до, %** | 80 | 80 | 80 | 80 |
| **SOC після, %** | 75 | 80 | 72,5 | 80 |
| **ΔSOC, %** | −5 | 0 | −7,5 | 0 |
| **Q до, А·год** | 48 | 48 | 48 | 48 |
| **Q після, А·год** | 45 | 48 | 43,5 | 48 |
| **ΔQ, А·год** | −3 | 0 | −4,5 | 0 |
| **Кількість циклів Start–Stop** | 30 | 10 | 50 | 10 |

Підсумкові зміні заряду батареї ΔQ, у стандартному алгоритмі ΔQ має від'ємні значення. Для удосконаленого алгоритму ΔQ дорівнює нулю в обох сценаріях. Зазначено у таблиці 3.

Таблиця 3 - Порівняння сумарної зміни заряду акумулятора

| Умови руху | ΔQ стандарт, А·год | ΔQ новий, А·год |
|---|---|---|
| Місто | -3 | 0 |
| Затор | -4,5 | 0 |

У стандартному алгоритмі найбільші втрати заряду спостерігаються в заторі (–4,5 А·год), оскільки часті запуски й короткі інтервали руху не дають генератору достатньо часу на відновлення заряду. У міському режимі картина м'якша, але все одно від'ємна (–3 А·год). Для удосконаленого алгоритму $\Delta Q \approx 0$, що демонструє відсутність накопиченого розряду навіть у важкому сценарії. Зображено на рисунку 6.

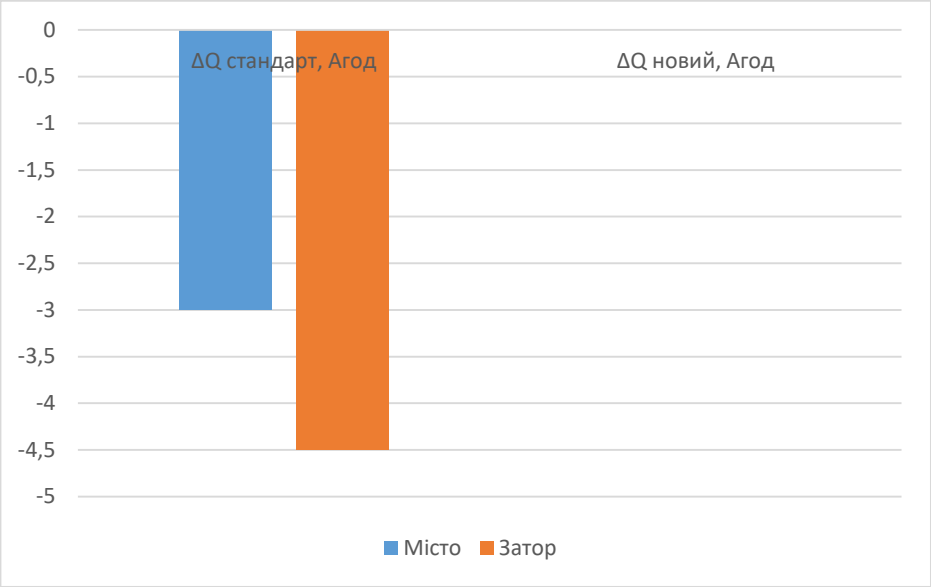



Рисунок 6 - Сумарні втрати заряду акумулятора (ΔQ) у місті та в заторі

Стандартний алгоритм повторює кількість зупинок: 30 спрацювань у місті та 50 у заторі. Удосконалений алгоритм скорочує кількість циклів до 10 у кожному сценарії, зменшує число запусків у кілька разів. Скільки разів автомобіль зупиняється та як часто алгоритм запускає цикл зображено в таблиці 4.

Таблиця 4 - Інтенсивність роботи Start-Stop

| **Умови руху** | **Зупинок** | **Стандарт** | **Новий** |
|---|---|---|---|
| Місто | 30 | 30 | 10 |
| Затор | 50 | 50 | 10 |

Стандартна логіка сприймає кожну зупинку як привід для вимкнення та подальшого запуску двигуна, тому кількість циклів співпадає з кількістю зупинок. Удосконалений алгоритм працює вибірково й обмежує частоту

циклів до рівня, який не змушує батарею наближатися в мінус. В результаті Start-Stop зберігається як функція, але перестає бути джерелом постійного недозаряду у важких умовах. Це забражено на рисунку 7.

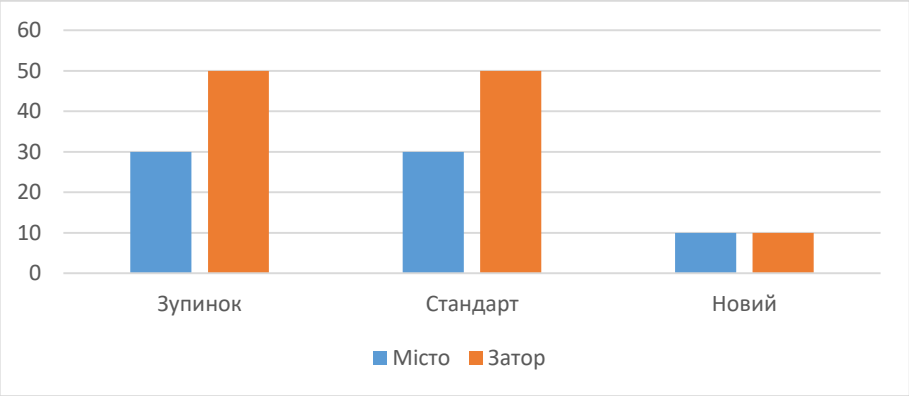



Рисунок 7 - Порівняння кількості циклів Start-Stop для стандартного та удосконаленого алгоритмів

У таблиці SOC подано у вигляді за трьома етапами: стартовий рівень, після міського режиму та після руху в заторі і видно як заряд з часом знизився. У новому алгоритмі всі значення залишаються на рівні 80%, що означає відсутність деградації заряду на розглянутій дистанції. Показано у таблиці 5.

Таблиця 5 – Рівень SOC акумулятора на ключових етапах

| Сценарій | Стандартний | Новий |
|---|---|---|
| Початок | 80% | 80% |
| Місто | 75% | 80% |
| Затор | 72,50% | 80% |

Для стандартного алгоритму видно поступове просідання заряду. Для удосконаленого алгоритму всі рівні залишаються на одній лінії, тобто

акумулятор не втрачає заряд у сумі за поїздку. Така стабілізація SOC означає зменшення ризику експлуатації батареї в зоні недозаряду, що є критично важливим для ресурсу АКБ у автомобілях із Start-Stop. Продемонстровано різницю у поведінці SOC на рисунку 8.

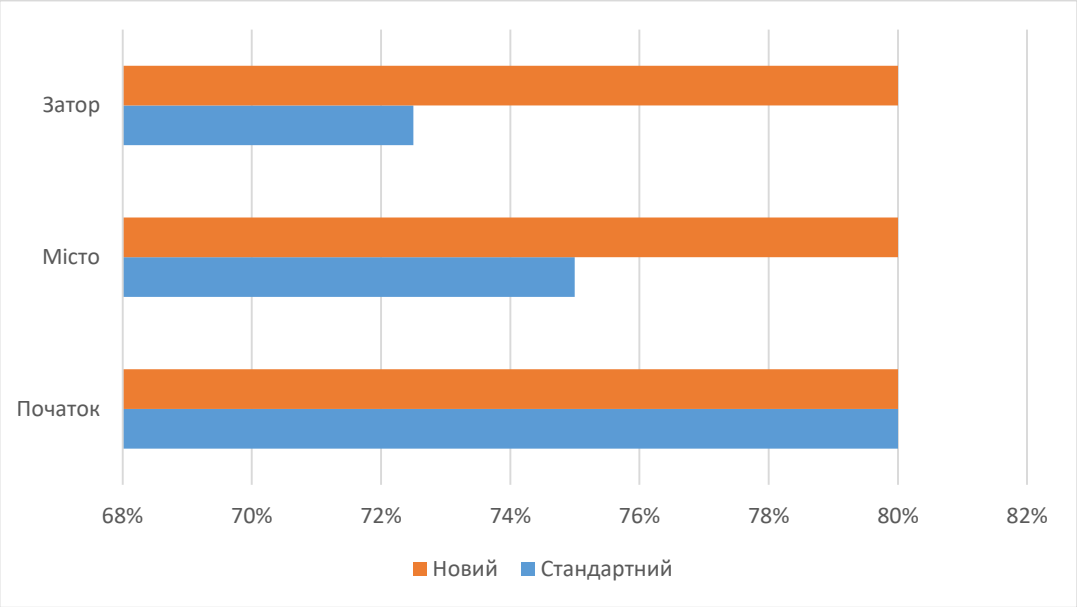



Рисунок 8 - Зміна рівня SOC акумулятора при стандартному та удосконаленому алгоритмах

Найгірший момент по SOC протягом поїздки зображено у таблиці 6.

Таблиця 6 - Мінімальний SOC за поїздку та глибина розряду акумулятора в різних сценаріях

| Умови руху | SOC на початку, % | Мінімальний SOC за поїздку, % | Глибина розряду ΔSOC, % |
|---|---|---|---|
| Місто, стандарт | 80 | 75 | 5 |
| 1 | 2 | 3 | 4 |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| Місто, новий | 80 | 80 | 0 |
| Затор, стандарт | 80 | 72,5 | 7,5 |
| Затор, новий | 80 | 80 | 0 |

В стандартному алгоритмі різниця між початковим та мінімальним SOC суттєва, особливо у заторі, де глибина просідання найбільша. Для нового алгоритму всі показники змикаються. Мінімальний SOC дорівнює початковому, а ΔSOC практично нульовий. Представлено на рисунку 9.

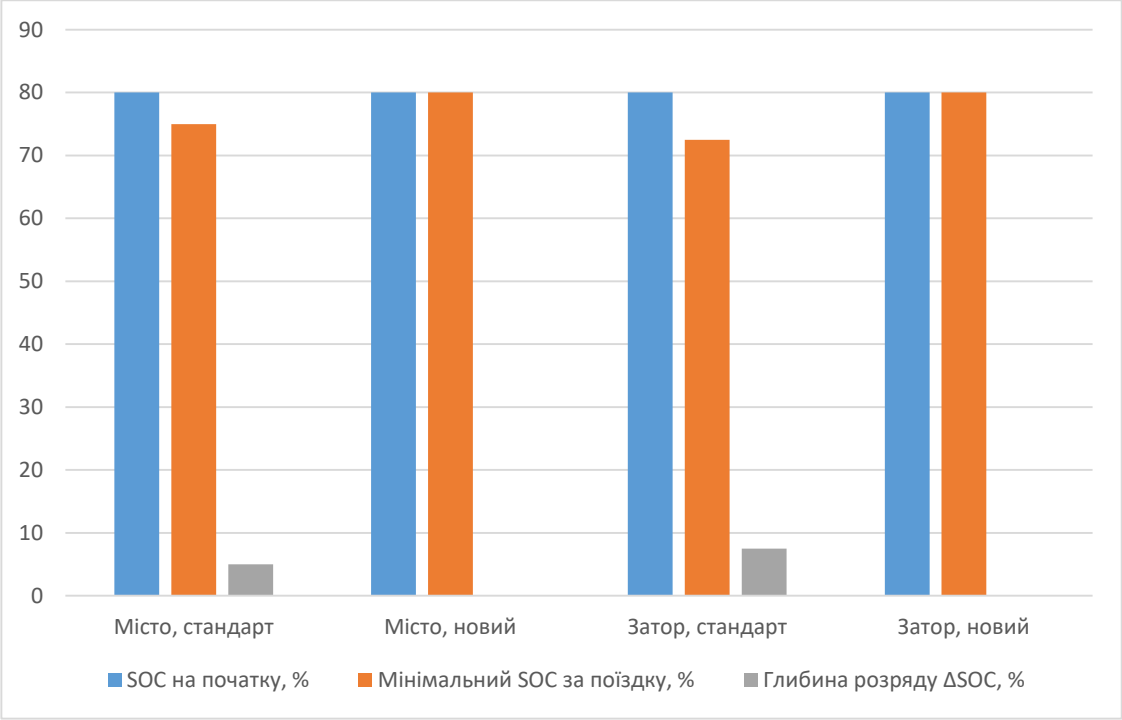



Рисунок 9 - Порівняння глибини просідання SOC: початковий рівень, мінімальний SOC та ΔSOC

# ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи основною проблемою було протиріччя між енергозберігаючою ідеєю системи Start–Stop та її реальною роботою в умовах міського руху. Формально система зменшує витрати палива, однак при цьому створює підвищене навантаження на акумуляторну батарею та стартер, особливо за частих зупинок, заторів і нестабільних режимів руху. Аналіз існуючих підходів показав, що стандартні алгоритми керування орієнтовані переважно на миттєвий стан.

Щоб вирішити цю задачу, у роботі було сформовано концепцію керування Start-Stop, в основі якої лежить рівень заряду акумулятора і динаміка його зміни. Ключовими параметрами є SOC, глибина розряду ΔSOC та зміна заряду ΔQ за цикл роботи. Це дозволило перейти до адаптивного на збереження енергетичного ресурсу батареї.

На основі обраного рішення було розроблено алгоритм керування, структурований у вигляді логічної схеми з чітким поділом на режими Protection, Stabilization та Economy. Він забезпечує послідовний контроль стану акумулятора, поступове відновлення заряду до цільового рівня $SOC_{target}$ та дозвіл роботи системи Start-Stop лише за умов енергетичної доцільності. Запропонована логіка дозволяє уникнути ситуацій, коли Start-Stop погіршує стан акумулятора.

Розрахунки для різних сценаріїв руху показали суттєву різницю між стандартним та запропонованим алгоритмами. У стандартному режимі зафіксовано зниження SOC до 75 % у міському циклі та до 72,5 % у режимі затору, а це відповідає негативному балансу заряду ΔQ = -3 ΔQ = -4,5. Покращений алгоритм забезпечує стабілізацію SOC на рівні 80 % незалежно від умов руху, при цьому сумарна зміна заряду за цикл прямує до нуля. Це свідчить про досягнення енергетичної рівноваги системи.

Додатково було показано, що зменшення кількості циклів Start–Stop у складних режимах руху є не обмеженням, а інструментом захисту електроенергетичної системи автомобіля. Зниження кількості запусків двигуна з 30–50 до 10 у межах одного сценарію дозволяє зменшити деградацію акумулятора та підвищити надійність роботи системи в довгостроковій перспективі.

При виконанні роботи було здійснено перехід від формального керування системою Start-Stop до енергетично обґрунтованого підходу, який враховує реальні умови експлуатації автомобіля. Отримані результати підтверджують, що запропонований алгоритм може бути ефективно інтегрований у системи енергоменеджменту сучасних транспортних засобів та слугувати основою для подальшого розвитку інтелектуальних систем керування електричним балансом автомобіля.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Intelligent battery sensor (IBS) for 24 V vehicle electrical systems. *FORVIA*. 07.06.2022. URL: https://www.hella.com/soe/en/News/Intelligent-battery-sensor-IBS-for-24-V-vehicle-electrical-systems-5273/?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 04.12.2025).

2. Berger F., Wu Z. Benchmarking battery management system algorithms - Requirements, scenarios and validation for automotive applications. *ELSEVIER*. 2024. Vol. 22 : ETransportation. P. 6–27.

3. Buchberger T., Dieh S. Critical Review of Intelligent Battery Systems: Challenges, Implementation, and Potential for Electric Vehicles. *MDPI*. 2021. Vol. 14. P. 5989.

4. Cai N., Chen X. Dual time-scale state-coupled co-estimation of SOC, SOH and RUL for lithium-ion batteries via Deep Inter and Intra-Cycle Attention Network. *Preprint submitted to Elsevier*. 2022. P. 60–87.

5. Guerra M. What Is an Intelligent Battery Sensor?. *Battery Tech*. 2022.

6. Hu G., Liao K. Adaptive Dead-Zone Dual Sliding Mode Observer for Reliable Electrochemical Model-Based SOC Estimation. *School of Vehicles and Intelligent Transportation,Fuyao University of Science*. 2025. P. 532–568.

7. Paul W., Laughlin M. Stop and Restart Effects on Modern Vehicle Starting System Components. *National Technical Information Service*. 1991.

8. Цеслік В., Пелеча І. ВПЛИВ СИСТЕМИ СТАРТ-СТОП НА РОБОТУ СИСТЕМИ ПРИВОДУ В УМОВАХ МІСЬКОГО РУХУ. *ResearchGate*. 2015.

# ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця - Призначення виводів контролера U2

| **№ піна** | **Назва виводу** | **Тип сигналу** | **Джерело / навантаження** | **Призначення** |
|---|---|---|---|---|
| 1 | VBAT_SENSE | Аналоговий вхід | Подільник R_VBAT1–R_VBAT2 | Контроль напруги акумуляторної батареї |
| 2 | IBS_SENSE | Аналоговий вхід | Вихід датчика IBS | Оцінка струму заряду/розряду АКБ |
| 3 | ENGINE_PRM | Вхід | ENGINE_RPM_SRC | Визначення стану двигуна (RPM) |
| 4 | VEHICLE_SPEED | Вхід | SW1 (SW_SPEED) | Ознака руху / зупинки автомобіля |
| 5 | BRAKE_STATUS | Вхід | SW2 (SW_BRAKE) | Стан педалі гальма |
| 6 | STARTSTOP_ENABLE | Вхід | SW3 (SW_STARTSTOP | Дозвіл або заборона |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | роботи Start-Stop |
| 7 | STARTER_RELAY | Вихід | LED D1 | Команда на запуск стартер |
| 8 | ENGINESTOP_CMD | Вихід | LED D2 | Команда на зупинку двигуна |
| 9 | ENGINESTART_CMD | Вихід | LED D3 | Команда на запуск двигуна |
| 10 | ECU_STATUS | Вихід | LED D4 | Індикація стану логіки керування |
| 11 | ERROR_FLAG | Вихід | LED D5 | Сигнал помилки або заборони запуску |
| 12 | DIAG_OUT | Вихід | LED D6 | Діагностичний сигнал |
| 13 | VCC | Живлення | Стабілізатор L7805 | Живлення логічної частини (5 В) |
| 14 | GND | Загальний | Маса автомобіля | Опорний потенціал |