

Силова установка автомобіля

ДВЗ — порівняльна конфігурація

Від калібрування компонентів до тягової потреби, потоків потужності та зміни заряду батареї.

10,81 кВт

Потрібно на колесах у розрахунковій
точці

0

кВт·год/100 км, нетто на клеммах

0 в.п.

Зміна SOC у заданій місії

Місія чисельно забезпечена, але модель силової установки не має повної експериментальної валідації.

Поза оцифрованою областю / генераторні припущення: 0 із 600 с. Установлені пакети компонентів: 7. Їхня доказовість наведена окремо.

720° розрахунок ДВЗ збережено окремо: <ice.html>. Експорт цього документа містить поточні параметри й результати, а не застарілий базовий PDF.

Зміст

0. Вихідні дані двигуна та необов'язковий вибір автомобіля

1. Силова установка як система

2. Калібрування та межі доказовості

3. Карти ДВЗ та електромашин

4. Вибір агрегатів та обмеження

5. Тяговий та енергетичний розрахунок

6. Результати сценарію та графіки

7. Перевірки, відтворення та подальші дані

8. Вимоги, прямий розгін і поради вибору

9. Числові карти та контроль незалежних поїздок

Реєстр параметрів

Джерела

0. Вихідні дані двигуна та необов'язковий вибір автомобіля

Розрахунок починається з уже заповнених редагованих полів. Початковий приклад: ДВЗ 1ZR-FAE з обмеженою огинаючою 97 кВт / 160 Н·м. Геометрію, тиск і сили збережено в окремому модулі 720°. Вибір автомобіля не є обов'язковим.

Параметри двигуна, електропривода й автомобіля відокремлено. Поля потужності, моменту та частоти ДВЗ звужують огинаючу джерела; вони не створюють нової виміряної характеристики. Підвищення понад межу джерела не додає потужності. Для іншого двигуна потрібні його дані.

Вибір профілю або поради спочатку відкриває перелік запропонованих змін. Ручне редагування захищає поле від підстановки; прапорець захисту можна зняти. Застосування відбувається тільки окремою кнопкою. Одну останню підстановку можна скасувати.

Профілі автомобілів є авторськими початковими припущеннями, а не паспортами готових машин. Порадник не змінює вимоги, щоб оголосити варіант придатним. Відсутня паливна карта 1ZR означає невідому витрату, не нуль.

Параметр початкової конфігурації	Значення
Схема	ДВЗ — порівняльна конфігурація
ДВЗ / джерело	1ZR-FAE — двоточкове узгодження вихідного моменту
Введена межа потужності / моменту	97 кВт / 160 Н·м
Введений інтервал частот	1500–6400 хв ⁻¹
Маса / радіус колеса	1600 кг / 0.31 м
Статус паливної витрати	Немає карти — значення невідоме
Підстановка	Профіль → перегляд → застосування незахищених полів

1. Силова установка як система

Верхній рівень розрахунку — автомобіль і його силова установка, а не ізольований ДВЗ. Підтримано акумуляторний електропривід BEV, паралельну схему P2, послідовний гібрид і звичайний ДВЗ як варіант для порівняння. Чинний 720° розрахунок ДВЗ збережено окремо в [ice.html](#): він не підмінений таблицею ККД.

У P2 двигун внутрішнього згоряння та електромашина працюють на спільний вал перед коробкою передач. На заданій швидкості автомобіля їхні моменти додаються тільки за сумісних частот обертання, передатного числа та обмежень батареї. Паспортні максимальні потужності не додаються незалежно від частоти. У послідовній схемі до коліс механічно приєднана тільки тягова електромашина; ДВЗ живить генератор і DC-шину [9].

Це квазістаціонарний зворотний розрахунок: задані $v(t)$, ухил і параметри автомобіля визначають потрібне зусилля. Обмеження силової установки перевіряються на кожному кроці. Якщо зусилля або допоміжне навантаження не забезпечене, зберігається величина дефіциту, а місія позначається невиконаною. Задана швидкість не оголошується фактично досягнутою.

Приклади конфігурацій є інженерними сценаріями, а не моделями серійного Outlander чи Toyota Hybrid. Базова маса 1950 кг, $C_d = 0,33$ і $A = 2,65 \text{ м}^2$ запозичені як приклад із конфігурації бібліотеки; нові передатні числа, батарея, керування й електромашини не відтворюють цей автомобіль. Однакова маса в порівнянні навмисно ізолює вплив схеми; масу реального батарейного пакета та агрегатів треба врахувати окремо [2,3].

Немає заяв про Euro 5/6 типове схвалення, стендову валідацію всієї силової установки або сертифікаційний пробіг. Наявність нового двигуна чи каталожного максимуму ККД не визначає його повну карту, калібрування контролера або теплові можливості.

2. Калібрування та межі доказовості

Для 1ZR-FAE виконано лише двоточкове узгодження вихідного моменту: $M_{\text{cor}}(n) = M_{720}(n) \cdot (a + b \cdot n)$. Опорні умови — 160 Н·м при 4400 хв^{-1} і 97 кВт при 6400 хв^{-1} , тобто 144,732 Н·м у другій точці. Два коефіцієнти визначені за двома точками; незалежних перевірочних режимів немає. Це інтерполяційне узгодження виходу, не ідентифікація процесів горіння [1].

Необмежене продовження поправки до низьких частот перевищує паспортний максимум моменту. Тому для попереднього вибору застосовано явно задані межі 160 Н·м і 97 кВт. Частина нижче 4400 хв^{-1} є припущеною обмеженою огинаючою; її плато не є виміряною характеристикою Toyota. Некоригований результат і необмежена поправка збережені в артефакті калібрування.

Тиск, температура, тепловий баланс, паливна витрата і динамічні навантаження в 720° модулі залишаються результатами початкової некаліброваної моделі. Для узгодженої огинаючої 1ZR паливна карта невідома: застосунок повертає «немає паливної карти», а не масштабує витрату палива разом із моментом. Так зберігається відмінність між характеристикою для вибору потужності та фізичним циклом.

Outlander GG2W — власний експериментальний проєкт користувача з OBD-II логером (уточнення автора 24.09.2026). За README джерела канал Engine Power обчислюється застосунком MX+, тому це не стендова потужність. У Willans-артефакті вхід названо `engine_power_kw_obd`, а ціль — `fuel_g_s_maf`: витрата, отримана через $\text{MAF}/(14,1 \cdot \lambda)$, а не незалежний паливомір. Такий набір придатний для автомобільно-специфічної емпіричної моделі, але похибка відносно цього еталона не є абсолютною похибкою фізичної витрати [2].

З vehicle_model_library_examples_v0.11 перенесено без зміни коефіцієнти Willans для GG2W: $\dot{m}_f = 0,0700027543 + 0,0655540723 \cdot P_e$, де $\dot{m}_f$ у г/с, P_e у кВт. За $H_u = 43$ МДж/кг граничний за нахилом ККД становить близько 35,48%. Перетин регресії 0,0700 г/с не є виміряною витратою холостого ходу: окремо задано припущення $\max(0,22; b_0 + b_1 P_e)$ г/с; вона запобігає падінню витрати нижче прийнятого холостого ходу і не була калібрована разом із коефіцієнтами бібліотеки.

У наданому артефакті похибка інтегрального палива відносно MAF/lambda-оцінки на test для паливної моделі окремо — -3,088%, але для повного гібридного ланцюга — -66,565%. Другий результат не є прийнятним підтвердженням моделі автомобіля. Початкових сирих поїздок у використаному пакеті немає; зазначені метрики — звіт бібліотеки, а не повторно виконана нами валідація. Контролер цього ланцюга не переносився як перевірений [2].

Для повторного навчання на нових спостереженнях додано fit-willans.mjs: CSV group_id,power_kw,fuel_g_s,dt_s. Відокремлюються цілі групи/поїздки, кожна п'ята впорядкована група утворює holdout. Мінімізується зважена за часом квадратична похибка при невід'ємних коефіцієнтах; потрібні щонайменше 5 груп, 20 точок і варіація потужності. $P < 1$ кВт, нечислові та некоректні дані відхиляються з реєстром рядків. Новий fit не замінює старий автоматично.

У вихідній діагностиці прямо вказано, що запас енергії, режими Battery Charge / Save та заряджання не можна доводити без коректного SOC тягової батареї або прапорця режиму. Надлишок розрахункової потужності ДВЗ може містити допоміжні споживачі, прогрів і похибку каналів. Батарея R_{int} і рекуперація в цьому застосунку — окремі явні спрощення, не оголошені каліброваними за цими логами [2].

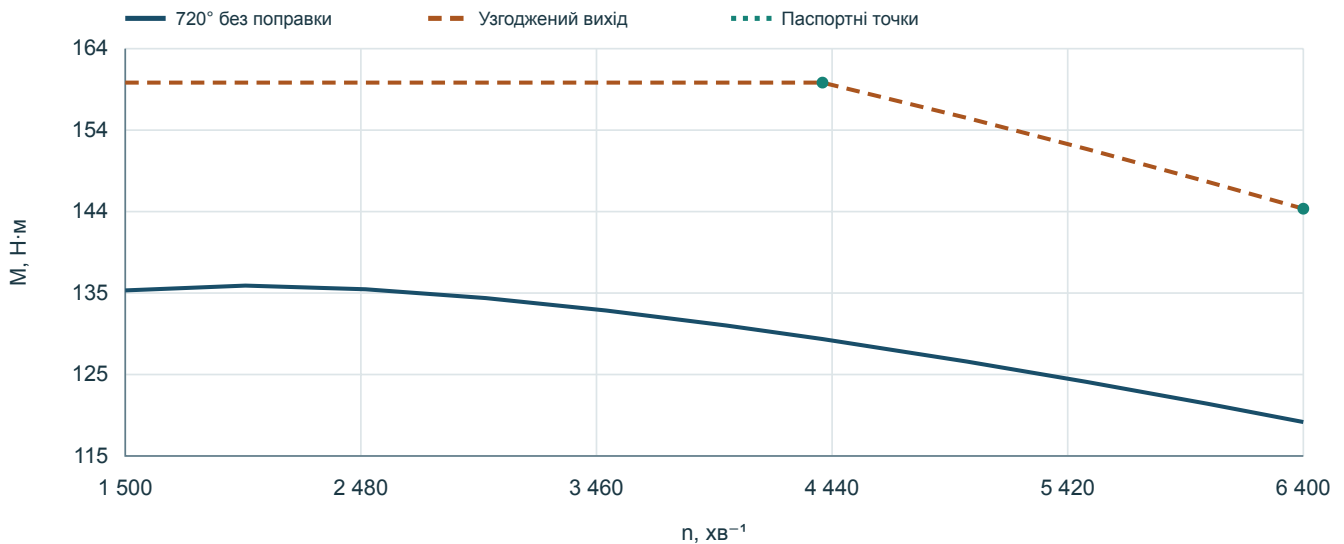
Двоточкове узгодження 1ZR

n, хв ⁻¹	До, Н·м	Після, Н·м	Опора, Н·м
4 400	128,951	160	160
6 400	118,904	144,732	144,732

Що перевірено, а що ні

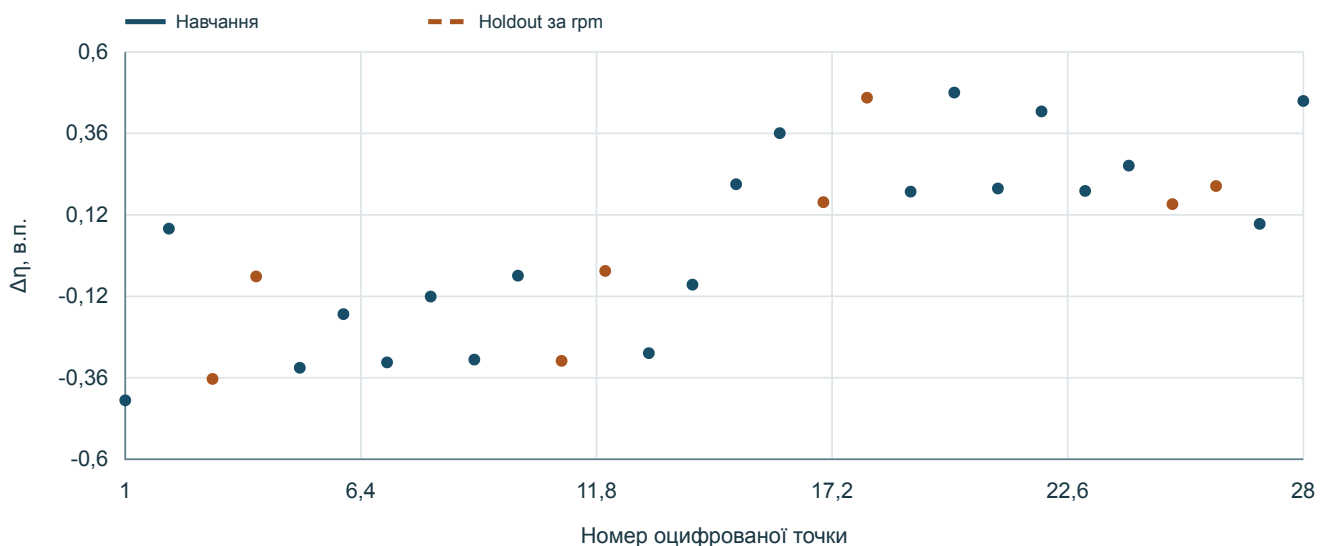
Джерело / метод	Навчання	Перевірка	Статус
1ZR, дві опори	2 точки / 2 коефіцієнти	Незалежних точок 0	Тільки вихідний момент; не паливо/тиск
EMRAX 228, контури	20 точок; RMSE 0,284 в.п.	8 точок; RMSE 0,26 в.п.	Fit графіка, не стендова валідація
GG2W паливо, власний OBD-експеримент	Перенесені коефіцієнти	-3,088% відносно MAF/lambda	Метрика джерела; не незалежний паливомір
GG2W повний ланцюг, історичний звіт	Контролер не перенесено	-66,565% відносно еталона звіту	Не точність логера; не тест нового Powertrain
Brogen contour CSV	Пробний fit	Див. brogen-audit.json	Не застосовується за замовчуванням

1ZR: вихідний момент та обмежене узгодження



Двоточкове узгодження виходу 1ZR. Тиск, температура та витрата палива 720° моделі не калібровані цим перетворенням.

EMRAX 228: η_{fit} – $\eta_{ізолінії}$



Залишки апроксимації ізоляцій EMRAX 228 у відсоткових пунктах, не відносних відсотках.

3. Карти ДВЗ та електромашин

EPA описує побудову повних ALPHA-карт із експериментальних і змодельованих ділянок, із визначенням робочої області, окремими низьконавантаженими режимами та перевіркою. Для транспортної моделі потрібна залежність витрати палива від швидкості та моменту; BSFC і ККД є похідними, а не заміною витрати на холостому ходу. Холодний пуск і перехідні поправки не входять до нашої стаціонарної реалізації [7].

На офіційній сторінці EPA також є електричні карти. EMOT включає мотор та інвертор, EDU додатково включає передачу, BISG — ремінний привід. Подвійно враховувати інвертор чи редуктор не можна. Поточний імпорт приймає motor-only та motor+inverter. Карти EDU/BISG відхиляються до реалізації окремого адаптера їхньої механічної межі [8].

Числові ZIP-пакети EPA у цьому випуску не завантажені: перевірено методичні сторінки й каталог посилань, але не числові матриці. Жодна з вбудованих карт не названа картою EPA. Імпорт powertrain-grid/1 приймає вже підготовлений JSON з rpm, torqueNm і values; рядки — частоти, стовпці — моменти. Це наш обмінний формат, не заявлений нативний формат ALPHA.

Для fuel_g_s обов'язкові H_u та maxTorqueNm для кожної частоти. Для loss_w обов'язкова системна межа; від'ємні моменти мають власні комірки. Нуль — числовий нуль, null — відсутнє значення. Білінійна інтерполяція не виходить за межі карти й не перетворює порожні комірки на нуль. На точному вузлі сусідні комірки з нульовою вагою не впливають.

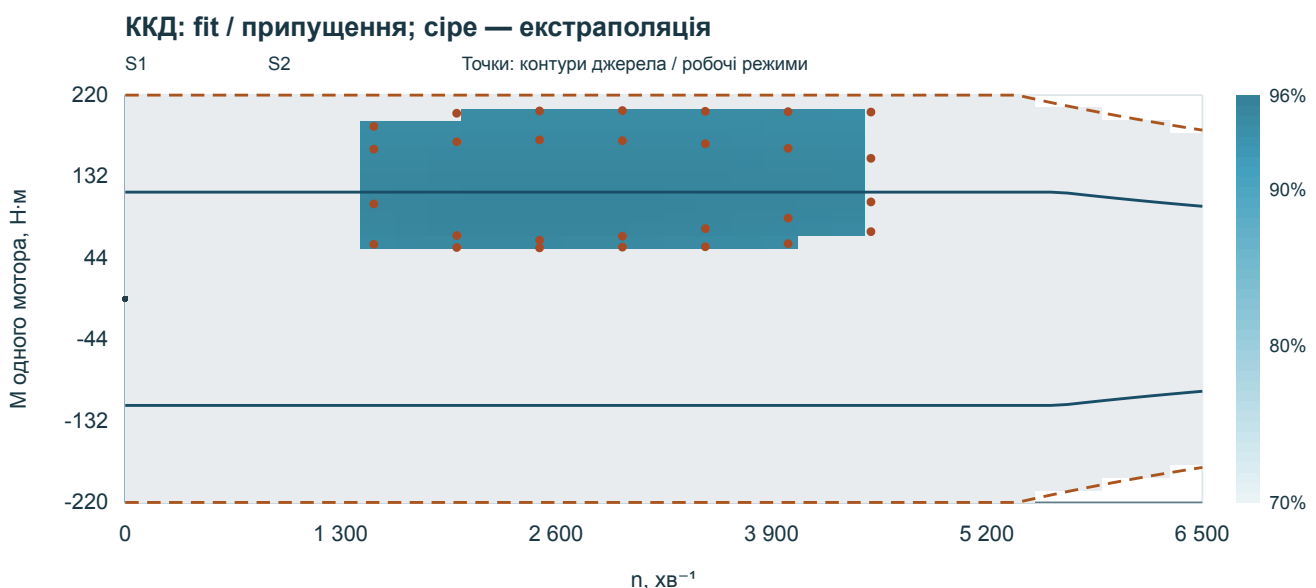
Для EMRAX 228 оцифровано 28 точок ізоліній 94% і 95% на сторінці 1 наданого datasheet. У просторі втрат підібрано невід'ємні коефіцієнти $L = c_0 + c_1v + c_2v^2 + c_3v^3 + c_4\tau^2 + c_5\tau^2v$, $v = n/1000$, $\tau = |M|/100$. Навчання — 20 точок; 8 точок на частотах 2000 і 4000 хв^{-1} не використовувалися при підборі. RMSE ККД на holdout — 0,260 відсоткового пункту. Це перевірка апроксимації графіка, не нове вимірювання [4].

Використана нижня межа втрат $3R_{25}(M/Kt)^2$ і верхня межа ККД 96%. Невизначеність оцифрування орієнтовно $\pm 3 \text{ Н}\cdot\text{м}$ та $\pm 50 \text{ хв}^{-1}$; умови випробування карти не повністю задані. Напруга і охолодження табличного MV/LC варіанта не доводять ідентичності умов графіка. За межами оцифрованих гілок і в генераторному режимі результат позначається як екстраполяція; час таких режимів підсумовується.

Симетрія втрат при зміні знака моменту прийнята лише для попереднього генераторного розрахунку. За $R_{\text{мех}} < 0$ маємо $R_{\text{ел}} = R_{\text{мех}} + L$, тому ККД рекуперації не обчислюється як ділення на моторний ККД. Імпортована карта не дзеркалиться автоматично: для генераторного режиму потрібні дані зі знаком «-».

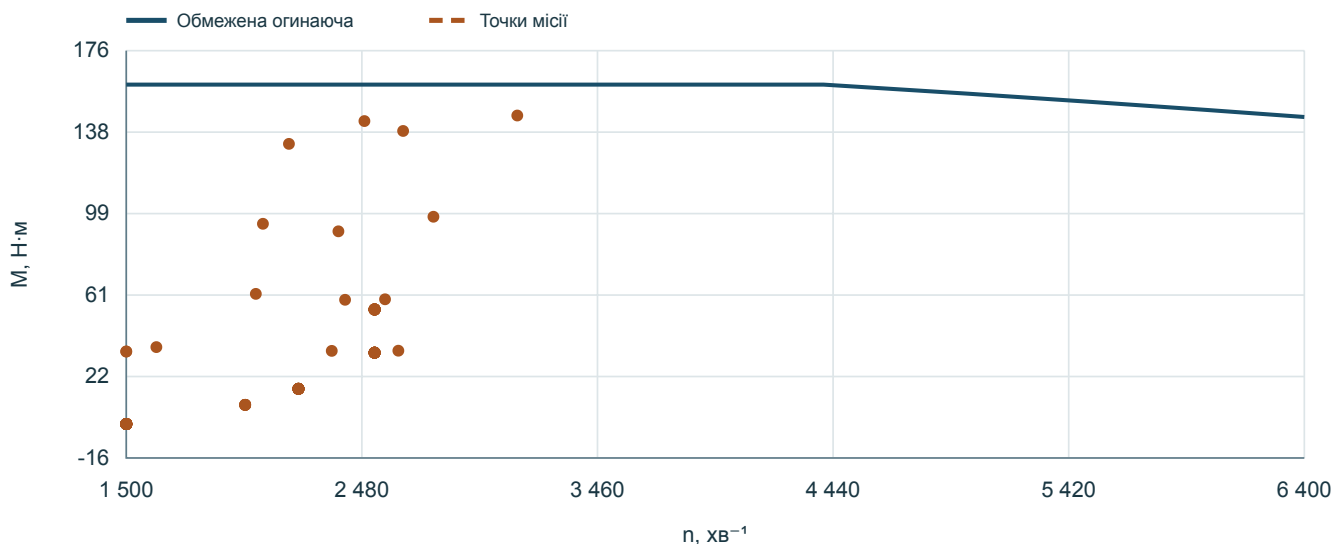
Надані Brogen CSV — точки ізоліній: заголовки Eff_... задають ККД, Loss_... — втрати у ватах, а комірки задають потужність у кВт. Перехід у координати моменту: $M = 1000P_{\text{кВт}}/(\pi n/30)$, тільки $n > 0$. Порожні та нульові граничні точки не використовувалися як вимірювання втрат. Пробний fit дав неприйнятну узгодженість ізоліній; набір збережено з висновком rejected-for-default-use. Це не доводить помилковості виробника — потрібна перевірка оцифрування, області та умов карти [6].

Зовнішніх числових карт не імпортовано. Активні тільки явно описані вбудовані моделі.



Моторна карта: лише забарвлена область спирається на оцифровані контури. Сіре та генераторний режим — припущення; не карта EPA.

Огинаюча й робочі точки: паливної карти немає



Огинаюча та точки місії. 1ZR не має паливної карти; GG2W — апроксимація за потужністю, не виміряна 2D-карта.

4. Вибір агрегатів та обмеження

У каталозі розділено EMRAX 208, 228, 268-C і 348, тільки варіанти MV з рідинним охолодженням LC. У 228 MV/LC: 124 кВт короткочасно S2 30 с, 68 кВт безперервно S1, 220/118 Н·м, напруга для пікової потужності 630 В. Число 75 кВт з титульної сторінки не переноситься до LC: воно відповідає іншому охолодженню. У 348 титульні й табличні дані суперечливі; в кодї збережено саме таблицю сторінки 2 та попередження [4,5]. Надані datasheet v1.7 попереджають про перехід до нового покоління; наведений приклад не підтверджує поточної доступності агрегату для закупівлі.

Момент обмежується одночасно $T_{\text{паспорт}}$, $K_t \cdot I_{\text{фаза, RMS}}$ і $P_{\text{паспорт}} / \omega$. Огинаюча «сталий момент — стала потужність» є наближеним верхнім обмеженням. Карта напруги, ослаблення поля, фактичні можливості інвертора й температура можуть зменшувати доступний момент. Струм батареї DC визначається окремо; його не прирівняно до фазного RMS.

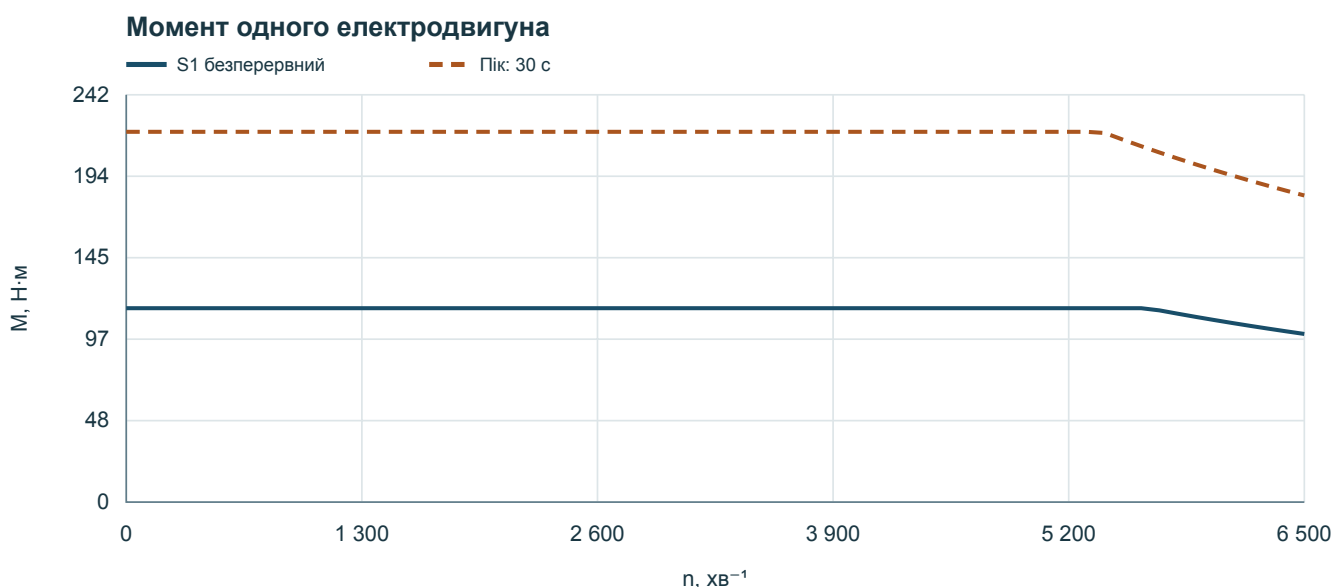
Для 208, 268-C та 348 немає числової ідентифікованої карти в цьому випуску. Використовується явно позначене припущення $\eta = 0,92$ із мідною нижньою межею втрат. Коефіцієнти EMRAX 228 не масштабуються на інші двигуни. Паспортне «до 96%» не є сталим ККД у всіх режимах.

У місії застосовано безперервні обмеження. Пікова крива на характеристиці — лише короткочасна огинаюча S2 30 с: вона не підсумовується в необмежений час роботи й не означає виконаного теплового розрахунку. Не моделюються прогрів, охолодження, чергування піків і дерейтинг.

BEV та послідовна схема мають одне задане передатне число. P2/ДВЗ використовують прийняту п'ятиступеневу коробку 3,5; 2,1; 1,4; 1,0; 0,8 і окрему головну передачу. Вибір ступеня враховує доступне зусилля і близькість до прийнятої робочої частоти. Це не заводська карта перемикачів. Інерційні перехідні процеси зміни передачі відсутні. Кілька однакових електромашин зведені до спільної частоти і передатного числа; незалежний розподіл тяги по колесах не розраховується.

У P2 нижче стабільної частоти ДВЗ він від'єднується і рушання забезпечує електромашина. Для порівняльного ДВЗ прийняте ідеалізоване ковзання зчеплення на низькій швидкості з окремим обліком теплових втрат. За відсутності даних не розраховуються ресурс зчеплення чи точний час розгону. У порівняльній схемі ДВЗ при гальмуванні від'єднаний від коліс; за додатного допоміжного навантаження він працює на мінімальній частоті для його живлення. Паливна відсічка й розряд низьковольтної батареї в цьому спрощенні не моделюються.

Електромашина	S1 / S2, кВт	S1 / S2, Н·м	VDC для піку	n _{max}	Карта в проєкті
EMRAX 208 MV / LC	47 / 86	75 / 150	420	7000	$\eta = 0,92$, припущення
EMRAX 228 MV / LC	68 / 124	118 / 220	630	6500	Fit двох ізоліній
EMRAX 268-C MV / LC	91 / 210	205 / 500	830	4500	$\eta = 0,92$, припущення
EMRAX 348 MV / LC	120 / 174	360 / 1000	830	4500	$\eta = 0,92$, припущення



Огинаючі одного MV/LC мотора з обмеженнями моменту, потужності та фазного струму.

5. Тяговий та енергетичний розрахунок

Потрібне зусилля $F = m \cdot a + m \cdot g \cdot \cos \beta + \rho \cdot C_d \cdot A \cdot (v + v_{\text{вітер}}) / 2 + m \cdot g \cdot \sin \beta$, де $\beta = \arctan(\text{ухил} / 100)$. Колісна потужність $P_k = F \cdot v$. Усі внутрішні величини — SI; швидкість інтерфейсу у км/год переводиться діленням на 3,6, частота хв⁻¹ — множенням на $\pi / 30$. Додатний вітер є зустрічним [3,9].

Для тяги $R_{\text{вал}} = P_k / \eta_{\text{тр}}$; для гальмування потужність на валу електромашини $R_{\text{вал}} = P_k \cdot \eta_{\text{тр}}$. Втрати редуктора в обох напрямках невід'ємні. Доступне тягове зусилля обмежено $\mu \cdot \text{звед} \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta$. Повне гальмування обмежено $\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta$; рекуперація додатково обмежена навантаженням ведучої осі. Це проста оцінка, не модель ABS/ESP або перенесення навантаження.

Паралельна схема: $P_k = \eta_{\text{тр}}(P_{\text{ДВЗ}} + P_m)$, тільки для додатного сумарного потоку. Послідовна схема: $P_{\text{ген,DC}} = \eta_{\text{ген}} P_{\text{ДВЗ}}$, $P_{\text{бат}} = P_m, \text{DC} + P_{\text{доп}} - P_{\text{ген,DC}}$. Батарея може допомагати генератору або приймати його надлишок у дозволених межах. Коли верхній SOC обмежує заряджання, генератор зменшує потужність; у балансі не зникає надлишкова енергія.

Фактичний потік батареї задовольняє R_{int} : $U_k = U_{\text{oc}} - I \cdot R$, $P_{\text{бат}} = U_k \cdot I$, $I = 2P_{\text{бат}} / [U_{\text{oc}} + \sqrt{U_{\text{oc}}^2 - 4RP_{\text{бат}}}]$. Додатний I означає розряд. Обмежуються струм, клемна напруга, дискримінант, SOC і доступний запас заряду за крок. $\text{SOC}_{\text{нов}} = \text{SOC}_{\text{стар}} - I \Delta t / (3600 C_A \cdot \text{год})$. Для $R = 0$ застосовується той самий стійкий вираз без ділення на R [3].

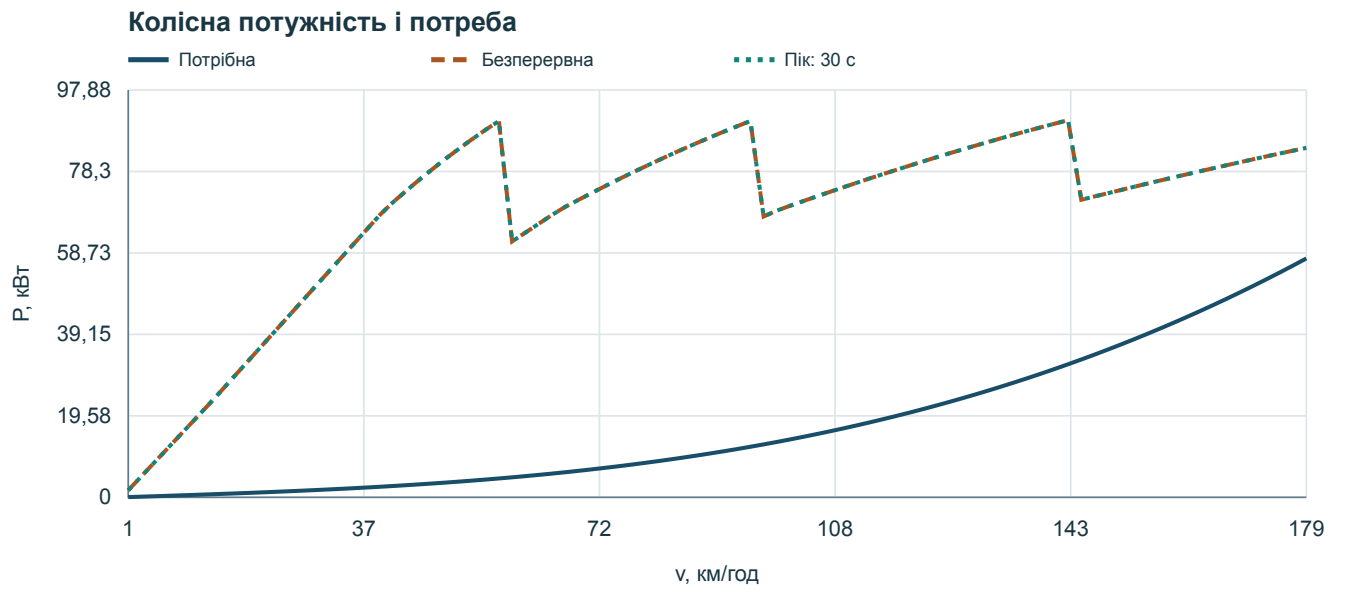
Сталі V_{oc} і R та $C_A \cdot \text{год} = 1000 E_k \text{Вт} \cdot \text{год} / V_{\text{oc}}$ — прийнята еквівалентна батарея. Втрати $I^2 R$ і зміна хімічної енергії U_{oc} обліковуються окремо від клемної енергії. Немає карти $V_{\text{oc}}(\text{SOC}, T)$, динамічної поляризації, старіння, напруг окремих комірок та теплової валідації. Показана напруга нижче паспортної опорної для мотора окремо позначається, а не приховується.

Гальмівне завдання розподіляється між дозволеною рекуперацією та фрикційним гальмом. Енергія заряджання від ДВЗ у Р2 не зараховується до рекуперації руху. При високому SOC або нульовому дозволеному струмі заряджання фрикційна частка зростає [9].

Контролер гібриду ілюстративний: гістерезис SOC $\pm 0,02$ біля цілі та поріг колісної потужності. Паливо й електроенергія показуються окремо. Менша витрата бензину при розряді батареї не означає більший загальний ККД. Для коректного порівняння HEV потрібна однакова кінцева енергія батареї або документована SOC-корекція; автоматичну корекцію до «еквівалентного палива» тут не вигадано.

$$F = 432,52 \text{ Н}$$
$$P_k = F \cdot v = 432,52 \cdot 25 = \mathbf{10,813 \text{ кВт}}$$
$$P_{\text{вал,потр}} = P_k / \eta_{\text{тр}} = 11,382 \text{ кВт}$$

Умова / результат	Значення
Швидкість / ухил / прискорення	90 км/год; 0%; 0 м/с²
Доступно у вибраній точці	10,813 кВт на колесах
Дефіцит	0 кВт
Струм батареї DC	0 А
Оцінка BEV на сталій швидкості, запас SOC ₀ →SOC _{min}	Не розраховано для цієї схеми/режиму



Колісна потреба та доступна потужність. Початковий SOC; пік короткочасний, не безперервний.

6. Результати сценарію та графіки

Початковий приклад — авторський цикл 600 с із 18 опорними точками, не WLTP, FTP75 чи сертифікаційний цикл EPA. Інтерполяція швидкості лінійна; інтегрування потоків виконується з внутрішнім кроком не більше 1 с. Власний CSV має стовпці time_s,speed_kmh,grade_pct. Час повинен зростати, швидкість — бути невід’ємною.

Спочатку перевіряйте статус виконання місії, дефіцит енергії, час виходу за область апроксимації та зміну SOC. Лише потім аналізуйте питомі витрати. Якщо місія невиконана, наведені витрати є сумою обслужених навантажень при заданій швидкості й не є прогнозом реального пробігу.

Графік вибору потужності показує колісну потребу на заданому ухилі та доступну безперервну/пікову потужність за початкового SOC. Це миттєві огинаючі з поточними струмовими й механічними обмеженнями, не доказ підтримання піку протягом усього маршруту.

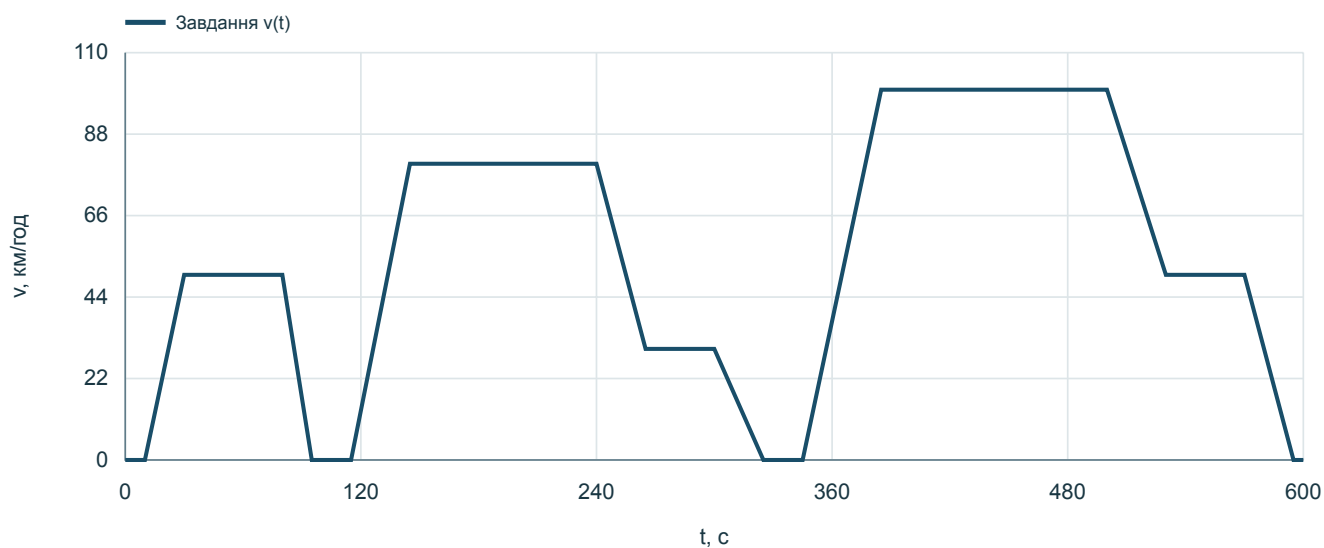
Оцінка запасу ходу доступна тільки для BEV: стала швидкість на горизонтальній дорозі, поточні допоміжні споживачі та доступний запас від початкового SOC до нижньої межі. Ухил і прискорення розрахункової точки не переносяться в цей режим. Оцінка не враховує температурну зміну батареї, зміну швидкості та старіння; це не паспортний пробіг.

Розрахований сценарій

Місія забезпечена в межах прийнятих обмежень. Похибка фізичної моделі цим статусом не оцінюється.

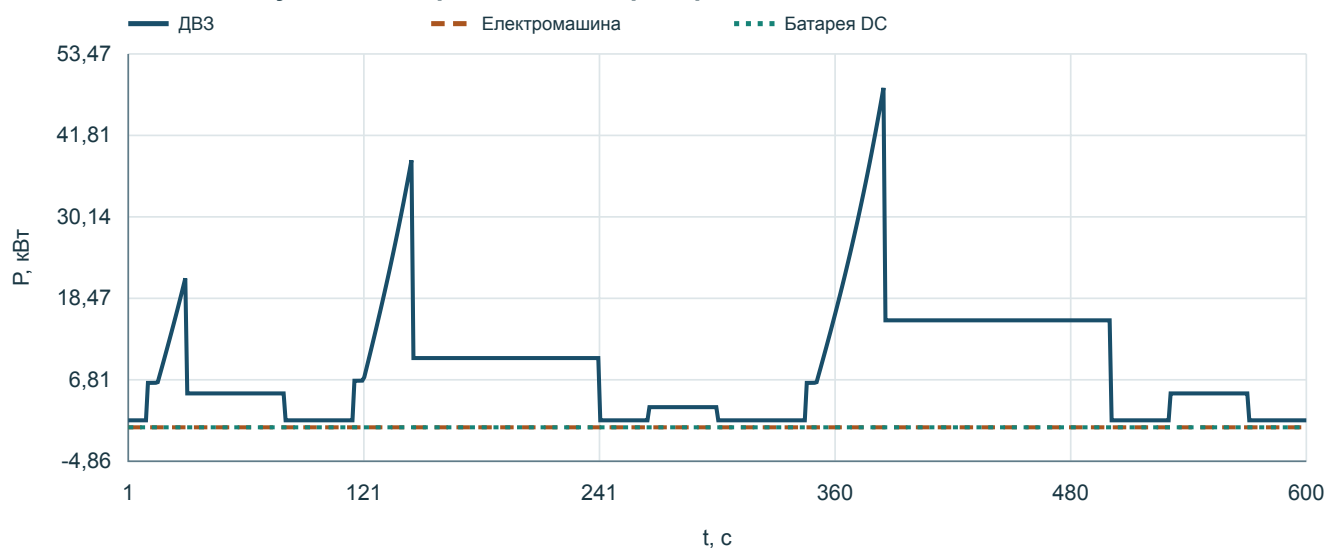
Величина	Результат
Графік швидкості	Вбудований авторський приклад
Схема	ДВЗ — порівняльна конфігурація
ДВЗ	1ZR-FAE — двоточкове узгодження вихідного моменту
Мотор	Не використовується
Дистанція / тривалість завдання	9,264 км / 600 с
SOC початковий → кінцевий	85 → 85%
Паливо	Паливо невідоме для частини робочих точок; повну витрату не підставлено
Нетто-енергія батареї на клемах	0 кВт·год; 0 кВт·год/100 км
Хімічна енергія батареї	0 кВт·год
Карта батареї / доказовість	Сталі Voc/R — прийнята модель
Температура батареї: початок → кінець / max	Не обчислюється у сталій моделі
Втрати I^2R батареї	0 кВт·год
Рекуперована механічна енергія на валу	0 кВт·год, до електричних втрат
Електрична рекуперація на DC-шині	0 кВт·год
Прийнято батареєю під час гальмування, на клемах	0 кВт·год, після допоміжного навантаження
Заряджання P2 від ДВЗ через електромашину	0 кВт·год, механічна частина
Фрикційне гальмування	0,22 кВт·год
Незабезпечена потреба / час	0 кВт·год / 0 с
Режими поза контурним fit / генераторні припущення	0 с із 600 с
Клемна напруга нижче опорної для піку мотора	0 с
Числовий критерій SOC HEV	$ \Delta SOC < 0,005$; це лише числовий критерій

Заданий швидкісний цикл

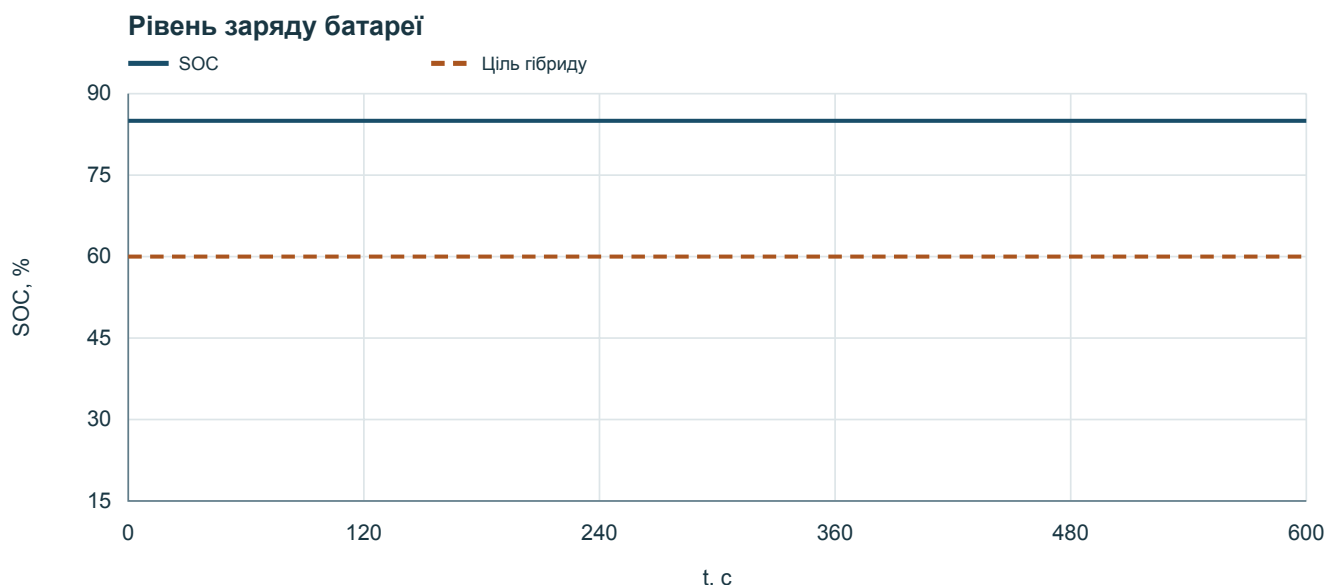


Задана швидкість місії. Це авторський приклад або імпортований цикл, не підтверджена досягнута швидкість при дефіциті.

Потоки потужності — прийнятий контролер



Потоки потужності у місії; знак батареї «+» — розряд, «-» — заряджання.



Зміна SOC. Різний кінцевий заряд не дозволяє порівнювати гібриди тільки за літрами бензину.

7. Перевірки, відтворення та подальші дані

Автотести перевіряють одиниці перетворення $\text{гВт/рад}\cdot\text{с}^{-1}$, вузли та пропуски карт, відмову екстраполяції імпортованих карт, механічний і DC-баланс, втрати R_{int} , обмеження SOC, рекуперацію при повній батареї, відмову при недостатній потужності, збереження невідомої паливної витрати та відокремлення навчальних і перевірочних груп.

Проходження цих тестів підтверджує реалізацію заявленої математичної моделі, а не її відповідність будь-якому серійному автомобілю. Фізична валідація потребує узгоджених режимів, виміряних моменту, швидкості, витрати палива, DC-напруги/струму, температур та кінцевого SOC.

Вихідні файли поділено за призначенням: powertrain/manuscript — невеликі авторські фрагменти; powertrain/src — чисті моделі й публікація; powertrain/data — дані з джерелами; powertrain/scripts — відтворення fit; tests — перевірки. index.html, build/* і native JSON генеруються; ручне редагування цих похідних файлів не змінює авторські джерела.

Збережений powertrain-workspace/1 містить параметри, цикл і явно імпортовані карти. Після відкриття результат обчислюється заново. Зміна поля позначає результат застарілим і блокує експорт до успішного перерахунку. Native engdoc експортує текст, скаляри й явні чисельні знімки; редактор Text_work самостійно не запускає автомобільний інтегратор.

Наступний доказовий крок — імпорт фактичного числового EPA-пакета для вибраного ДВЗ/електроприводу з перевіркою системної межі, а також власні виміряні режими і цикл. Для повного калібрування 1ZR потрібні повнонавантажена крива, часткові навантаження, паливна витрата та індикаторні дані; два паспортні максимуми цього не замінюють.

Для наступного OBD-калібрування до кожного каналу потрібні одиниця, джерело PID/обчислення логера, час і стан достовірності. Розбивку виконувати за поїздками, а не сусідніми рядками. MAF/lambda, Fuel Rate і Engine Power не вважати незалежними каналами, доки не з'ясовано їх визначення. Для батареї потрібні Udc, Idc, температури та SOC саме тягової батареї; для рекуперації — окреме від ДВЗ заряджання. За відсутності цих каналів залишаються оцінки/діагностика, а не доведена ідентифікація параметрів.

Чисельний контроль поточного сценарію	Нев'язка
Механічний баланс, max	0 Вт
DC-баланс, max	0 Вт
Енергія батареї: $E_{\text{ном}} \cdot \Delta \text{SOC} - \int U_{\text{ocl}} dt$	0 кВт·год
Кулонівська нев'язка	0 Ah
Теплова нев'язка (лише SOC/T модель)	— кВт·год
Час невідомої витрати палива	600 с
Перша непокрита точка	{ "time_s":0, "engineRpm":1500, "engineTorqueNm":0, "reason":"fuel-unknown" }
Відмови карт	0
Незабезпечені допоміжні споживачі	0 кВт·год

8. Вимоги, прямий розгін і порадник вибору

Прямий розгін інтегрує рівняння $m \cdot \delta \cdot dv/dt = F_{\text{доступна}} - F_{\text{кочення}} - F_{\text{повітря}} - F_{\text{ухилу}}$. Тяга обмежена моментом, потужністю, частотою, фазним/DC-струмом, батареєю та зчепленням. На нульовій швидкості допускається момент без механічної потужності; втрати міді залишаються.

Пік дозволено лише протягом меншої з тривалості, введеної користувачем, та паспортної S2. Далі використовується S1. Це обмежений одноразовий розгін, не теплова модель повторних прискорень. Перемикання передач миттєві; перенесення навантаження й детальна динаміка шин не моделюються.

Перевіряються розгін, доступна стала максимальна швидкість при початковому SOC, заданий ухил упродовж заданого часу та, за потреби, електричний запас ходу на сталій швидкості. Останній є попередньою оцінкою за сталих V_{oc}/R , не результатом WLTP. Місія перевіряється окремо.

Порадник перебирає скінченну сітку до 48 конфігурацій мотор–передача–батарея для обраної архітектури й незмінного ДВЗ. Першими стоять варіанти, що виконали вимоги та місію; далі менша прийнята батарея і кількість моторів. Це прозоре правило компактності, не оптимізація ціни чи серійний підбір комплектуючих.

Припущення щодо R_{int} -батареї та інвертора позначені явно. Непокриті картою режими й генераторні припущення збережені як попередження. Проходження модельного відбору не означає експериментальної придатності.

Вимоги виконано в прийнятій моделі

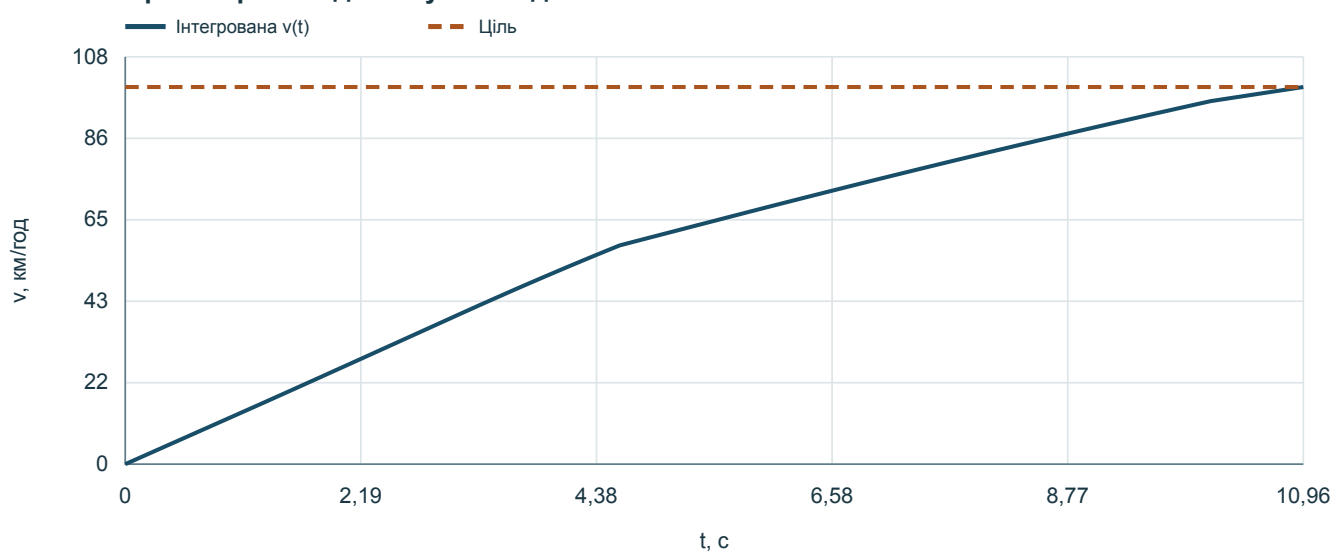
Перевірка	Розрахунок	Вимога	Статус
Напруга під навантаженням не нижча за табличну опору	1 так=1	1	Виконано
Стала швидкість 130 км/год при початковому SOC	25,2 кВт на колесах	25,2	Виконано
Розгін 0–100 км/год	10,96 с	15	Виконано
Ухил 10% / 40 км/год / 300 с	0 с дефіциту	0	Виконано
Електричний запас ходу при 90 км/год	—	0	Не задано

Прямий розгін: контроль	Значення
Досягнута швидкість	100 км/год

Прямий розгін: контроль	Значення
Шлях розгону	179,57 м
Кінцевий SOC	85 %
Крок інтеграції	0.1 с
Кінетична енергія – інтеграл надлишкової сили	0,00000001 Дж
SOC після окремого тесту ухилу	85 %

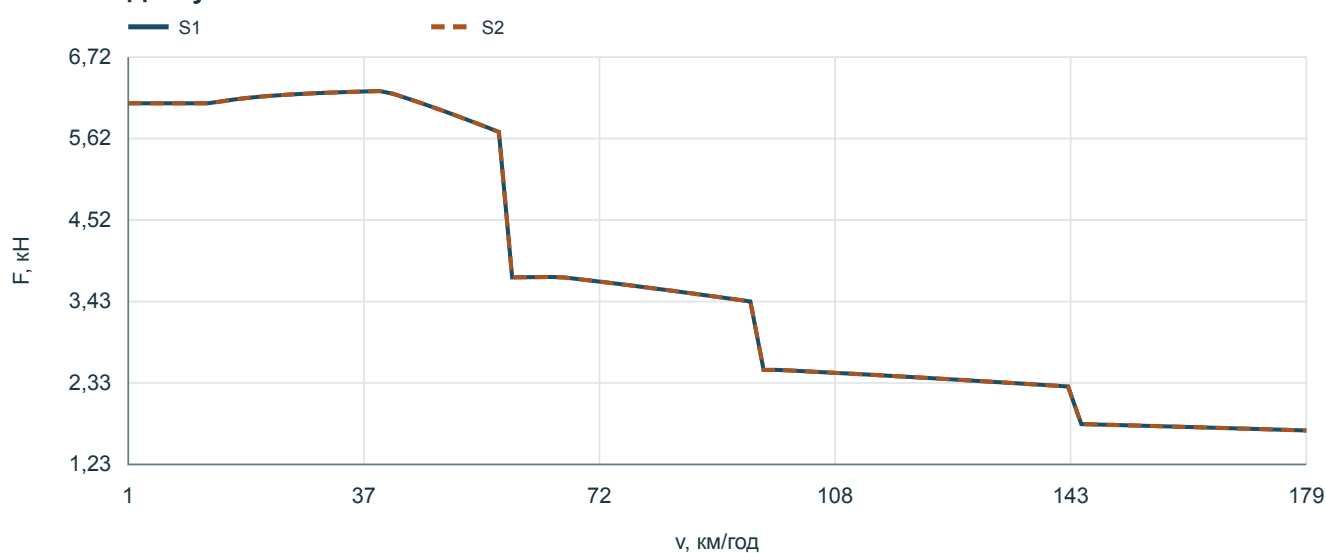
Витрата палива не визначена: немає паливної карти цього ДВЗ.

Прямий розгін: досягнута швидкість



Досягнута швидкість прямого розгону, а не заданий цикл. Пік обмежено у часі, потім S1; миттєві перемикання.

Доступна колісна тяга



Доступна колісна тяга при початковому SOC та обраних обмеженнях. S2 не є тривалою характеристикою.

9. Числові карти та контроль незалежних поїздок

Числові ZIP-пакети EPA спробувано отримати повторно; у цьому середовищі передача файлів не вдалася. Посилання на методику не позначено як імпортовану карту. Пакет містить контрольовані імпортери нормалізованих CSV/JSON та журнал невдалого отримання; синтетичні тести не названо EPA-даними.

Імпортована карта має містити назву компонента, одиниці, межу компонента, джерело й контрольні умови. Паливна карта не переноситься між кодами двигунів; карта втрат не переноситься між моторами. Пропущена комірка не дорівнює нульовій витраті. Інтерполяція за межами прямокутної області або через пропуск відхиляється.

Для власного OBD-експерименту підготовлено окремий контроль часових рядів із поділом за поїздками, одиницями й походженням сигналів. Сирі поїздки тут відсутні; нового навчання чи незалежної валідації GG2W не проведено. Приклади формату для тестування синтетичні й не змішуються з вашими вимірюваннями.

Калібрування 720° циклу, $V_{oc}(SOC, T)$, $R(SOC, T)$, теплових обмежень і заводського гібридного контролера лишається окремою роботою за наявності даних. Наявні коефіцієнти OBD збережено без зміни.

Реєстр поточних параметрів

Паспортні параметри моторів відокремлено від прийнятих умов автомобіля, батареї та контролера. Зміна базового значення — вибір користувача, не нове заводське свідчення.

Параметр	Одиниця	Значення	Статус
Схема силової установки		ДВЗ — варіант для порівняння	Прийнято
Модель ДВЗ		1ZR-FAE — двоточкове узгодження моменту (без паливної карти)	Прийнято
Гранична ефективна потужність ДВЗ	кВт	97	Прийнято
Граничний момент ДВЗ	Н·м	160	Прийнято
Нижня частота робочої області ДВЗ	хв ⁻¹	1 500	Прийнято
Верхня частота робочої області ДВЗ	хв ⁻¹	6 400	Прийнято
Електродвигун, тільки MV/LC		EMRAX 228 MV/LC — апроксимація ізоліній	Прийнято
Кількість однакових двигунів		1	Прийнято
ККД окремого інвертора		0,97	Прийнято
Піковий фазний струм одного інвертора	A RMS	400	Прийнято
Тривалий фазний струм одного інвертора	A RMS	200	Прийнято
Гранична DC-потужність одного інвертора	кВт	150	Прийнято
Маса у розрахунку	кг	1 600	Прийнято
Коефіцієнт аеродинамічного опору		0,29	Прийнято
Площа лобової проєкції	м ²	2,2	Прийнято
Коефіцієнт кочення		0,012	Прийнято
Густина повітря	кг/м ³	1,225	Прийнято

Параметр	Одиниця	Значення	Статус
Радіус кочення	м	0,31	Прийнято
Зустрічний вітер (мінус — попутний)	м/с	0	Прийнято
Коефіцієнт приведеної обертової маси		1,05	Прийнято
Прийнятий коефіцієнт зчеплення		0,8	Прийнято
Частка нормального навантаження на ведучі колеса		0,6	Прийнято
Допустима тривалість одного пікового розгону	с	30	Прийнято
Потрібна стала максимальна швидкість	км/год	130	Прийнято
Швидкість завершення розгону від 0	км/год	100	Прийнято
Граничний час розгону	с	15	Прийнято
Потрібний тривалий ухил	%	10	Прийнято
Швидкість на тривалому ухилі	км/год	40	Прийнято
Тривалість руху на ухилі	с	300	Прийнято
Потрібний електричний запас ходу (0 — не перевіряти)	км	0	Прийнято
Передатне число BEV / послідовної схеми		5,5	Прийнято
Головна передача P2 / ДВЗ		3,7	Прийнято
ККД механічної передачі		0,95	Прийнято
Допоміжне навантаження	кВт	1	Прийнято
Номінальна енергія батареї	кВт·год	48	Прийнято
Стала напруга розімкненого кола Voc	В	700	Прийнято
Мінімальна клемна напруга	В	630	Прийнято
Максимальна клемна напруга	В	800	Прийнято
Внутрішній опір пакета	Ом	0,12	Прийнято
Граничний струм розряду DC	А	250	Прийнято
Граничний струм заряджання DC	А	100	Прийнято
Початковий SOC		0,85	Прийнято
Нижня межа SOC		0,15	Прийнято
Верхня межа SOC		0,9	Прийнято
Цільовий SOC гібридного контролера		0,6	Прийнято
Поріг запуску ДВЗ за потребою колісної потужності	кВт	25	Прийнято
Бажаний режим ДВЗ у послідовній схемі	кВт	45	Прийнято
Гранична електрична потужність генератора	кВт	60	Прийнято
ККД генератора разом із випрямлячем		0,93	Прийнято

Параметр	Одиниця	Значення	Статус
Запас потужності на заряджання	кВт	4	Прийнято
Розрахункова швидкість	км/год	90	Прийнято
Ухил у розрахунковій точці	%	0	Прийнято
Прискорення у розрахунковій точці	м/с ²	0	Прийнято

Джерела та статус використання

[1] Попередній ICE 0.2.0 і реєстр Toyota у `data/sources.json`. 1ZR-FAE: лише паспортні точки зовнішньої характеристики. Початковий 720° модуль збережено без нового фізичного калібрування.

[2] Власний експериментальний проєкт користувача з OBD-II/MX+ логером. `vehicle_math_models / vehicle_model_library_examples_v0.11.zip`: `vehicle_instances/mitsubishi-outlander-phev-2014-gg2w/calibrations/willans_engine_fuel_map_v1.json`; `config/outlander_2014.yaml`. Коефіцієнти й звітovanі похибки перенесено. Engine Power обчислює MX+; еталон Willans — MAF/lambda-оцінка при AFR 14,1. Сирі навчальні поїздки у цьому архіві не надані; незалежна стендова точність не заявлена. Вибіркові копії та SHA-256 — `reference/model-library` і `powertrain/data/model-library-provenance.json`.

[3] Та сама бібліотека: `willans-affine-fuel-model`, `battery-rint`, `battery-soc-coulomb-counting`, `motor-efficiency-map`, `regenerative-braking-limit`, `longitudinal-force-balance`, EPA base/transient catalogues. Перевірено ці моделі, не кожний файл архіву. Реалізація JS — окрема; симулятор бібліотеки не видано за пройдений тест.

[4] EMRAX 228, datasheet v1.7, наданий PDF: с. 1 — оцифровані ізолінії; с. 2 — MV/LC, Rs і Kt. Умови графіка та табличної модифікації не оголошені тотожними. Копія в `reference/electric`, точки/коефіцієнти — `powertrain/data/emrax228-loss-fit.json`.

[5] EMRAX 208, 268-C, 348, datasheets v1.7, надані PDF, таблиці с. 2. Для 348: рекламні дані с. 1 не узгоджені з таблицею, прийнято таблицю MV/LC з явним попередженням. Інші типорозміри мають лише припущену ефективність у цій реалізації.

[6] Brogen, Centralized Electric Axle for Trucks, Dec 2025, с. 5, і два надані contour CSV. Сирі CSV збережено. Набір не використовується для типового прогнозу витрат через невдалу перевірку узгодженості. Brogen e-motor catalog June 2026 зареєстровано, але його рекламні максимуми не замінюють карту вибраного SKU.

[7] EPA — [Combining Data into Complete Engine ALPHA Maps](#), методичну сторінку перевірено 25.09.2026. Числові оригінали ALPHA у комплекті відсутні; вузький літеральний адаптер перевірено на синтетичних fixtures, не на оригінальних ZIP. Після окремого імпорту активні джерела наведено в розділі 3.

[8] EPA — [Combining Data into Complete eMotor ALPHA Maps](#), перевірено 25.09.2026. Системні межі EMOT / EDU / BISG різні; наш вузький адаптер не є імпортером усіх ALPHA-пакетів.

[9] Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. 3rd ed., 2018. Використано організацію режимів серійної/паралельної схем і розподілу потужності, зокрема розділ 9 та обмеження рекуперації. Числові приклади книги не перенесені як характеристики обраних агрегатів.

[10] EPA Dynamometer Drive Schedules, перевірено 25.09.2026: Data/EPA містить копії користувача UDDS/HWFET/US06 з перевіркою контрольних сум. Це графіки швидкості, не карти компонентів і не повна регуляторна процедура.

[11] MathWorks, Battery Equivalent Circuit: принципи залежностей OCV/R від SOC/T. Власний додатковий R_{int}/T модуль: лише омичне тепло й лінійне охолодження, без старіння, поляризації та ентропійного тепла. Числові параметри задаються окремим джерелом.

Інші надані книги Enge/Enge/Zoepf, Zhang, Zheng, Volkswagen SSP 499 і Introduction to Internal Combustion Engines зареєстровано для наступного розширення. Наявність у реєстрі не означає повного прочитання чи числового калібрування за ними. Файли книжок не дублюються у програмному архіві.